دوره بازرسی فنی جوش

فهرست مطالب

فصل اول : وظایف و مسئولیتهای بازرسی

- مقدمه
- مراحل بازرسی و پذیرش جوش
- وظائف بازرس جوش
- طبقه بندی بازرسان جوش
- ویژگیهای بازرس جوش

فصل دوم : فرآیند جوشکاری

- جوشکاری قوسی با الکترود دستی
- جوشکاری زیر پودری
- جوشکاری با گاز محافظ
- جوشکاری با سیم جوش تو پودری
- جوشکاری با الکترود تنگستنی
- جوشکاری ترمیت
- علائم جوشکاری
- آماده سازی قبل از جوشکاری

فصل سوم : طبقه بندی الکترودها ومواد مصرفی جوشکاری

- تقسیم بندی الکترودها
- نام گذاری الکترودها
- تست الکترود

- انتخاب الکترود
- شرائط نگهداری و انبارش

فصل چهارم : علائم جوشکاری

فصل پنجم : بررسی مدارک جوشکاری

- مراحل و نحوه تأئید مشخصات دستورالعمل جوشکاری (WPS)
- مراحل و نحوه تأئید گزارش کیفیت جوشکاری (PQR)
- بررسی صلاحیت جوشکار و اپراتور (WQT)

فصل ششم: متالورژی جوش

- منطقه تحت تأثیر حرارت در جوشکاری (HAZ)
- محافظت ناحیه قوس در جوشکاری
- اثر عناصر آلیاژی بر خصوصیات جوش
- پیش گرمایش
- ساختار Widmanstatten

فصل هفتم : عیوب در جوشکاری

فصل هشتم : آزمایشات غیرمخرب

- آزمایش مایعات نافذ (Penetrant Test – PT)
- آزمایش ذرات مغناطیسی (Magnetic Particle Test – MT)
- آزمایش امواج ماوراصوت (Ultrasonic Test – UT)
- آزمایش پرتونگاری (Radiography Test – RT)

فصل نهم : ضمائم

فصل اول

وظایف و مسئولیتهای بازرس جوش

مقدمه

سازه های جوش داده شده نظیر سایر قطعات مهندسی به بازرسی در مراحل مختلف قبل از ساخت ، حین ساخت و همینطور پس از ساخت نیاز دارند. بازرسی جوش می تواند از انجام کار بر طبق دستورالعملهای توافق شده، به کارفرما اطمینان لازم را دهد.

برای حصول اطمینان از مرغوبیت جوش و مطابقت آن با نیازمندیهای طرح باید کلیه عوامل موثر در جوشکاری در مراحل مختلف اجرا مورد بازرسی قرار گیرد.

مراحل بازرسی جوش

۱. بازرسی قبل از جوشکاری

این مرحله از بازرسی به منظور آماده کردن مقدمات کار جوشکاری صورت می گیرد که موجبات بروز عیوب جوش را از بین برده و یا به حدود قابل قبولی تقلیل دهد.

این بازرسی شامل اقدامات زیر می باشد:

- مطالعه دقیق نقشه ها و مشخصات فنی
- اطلاع از کیفیت مورد نظر کار و شرایط بهره برداری از قطعات و مجموعه کار
- انتخاب صحیح استانداردهای اجرایی

- انتخاب و ارزیابی روش جوشکاری مناسب

- انتخاب و بازرسی مواد مصرفی
- طرح و تنظیم نحوه اجرای جوشکاری
- بررسی تجهیزات جوشکاری
- آزمون جوشکاران و اپراتورها
- بررسی تسهیلات آزمایش

۲. بازرسی در حین فرآیند جوشکاری

این مرحله از بازرسی به منظور اجرای صحیح عملیات جوشکاری اطمینان از بکار بردن مواد مصرفی درست و جلوگیری از تخلف ها ضروری می باشد.

چند نمونه از بازرسی حین جوشکاری عبارتند از :

- بازرسی قطعات متصل شونده و درزهای آماده جوشکاری
- بازرسی محل های جوش و سطوح مجاور به منظور اطمینان از تمیزی و عدم آلودگی با موادی که اثرات زیان بخش بر جوش دارند.
- بازرسی سطوح برشکاری شده بکمک شعله یا شیار زده شده به روش هوا برش از نظر پوسته، ترک و غیره.
- بازرسی ترتیب و توالی جوشکاری، استفاده از قیدها و گیره ها و سایر تمهیدات به منظور کنترل پیچیدگی ناشی از جوشکاری.
- بازرسی مواد مصرفی جوشکاری از نظر دارا بودن شرایط مطلوب و گرم و خشک کردن الکترودهای روپوش قلیایی طبق دستورالعمل های مربوطه.
- بررسی وضعیت جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری از نظر داشتن مهارت و قبولی در آزمون مربوطه.
- بازرسی پیش گرم کردن و حفظ درجه حرارت بین پاسی در صورت لزوم.

۳. بازرسی بعد از جوشکاری

این مرحله از بازرسی به منظور درستی مجموعه ساخته شده یا نصب شده و حصول اطمینان از کیفیت جوش انجام گرفته می باشد.

چند نمونه از فعالیت های بازرسی بعد از جوشکاری عبارتند از :

- بازرسی چشمی از نظر وجود عیوب مرئی، ترکهای سطحی (چه در جوش و چه در فلز مبنا)، بریدگی کناره، کندگی، سوختگی، تقعر یا تحدب زیاد نیمرخ جوش، نامساوی بودن ساقها، پرنشدگی کامل، نفوذ اضافی، موجدار بودن بیش از حد عدم پرشدگی در ریشه و غیره.
- بازرسی تغییر شکلهای ناشی از جوشکاری (انقباض موضعی، خیز، خم شدگی، تابیدگی، چرخش، کمانش، موجدار شدن و غیره)، شکستگی محور، به هم خوردن زاویه ها و غیره.
- بازرسی ابعاد جوش و قطعه جوشکاری شده.
- بازرسی تنش زدایی و سختی سنجی پس از تنش زدایی.
- بازرسی های غیرمخرب (پرتونگاری، امواج فراصوتی، عیب یابی ذره مغناطیسی، مایع نافذ، جریان گردابی و غیره).

٤. ارزیابی کیفیت جوش بایستی پس از اتمام سه مرحله بازرسی قبل از جوشکاری، بازرسی در حین جوشکاری و بازرسی بعد از جوشکاری صورت پذیرد. جوش انجام شده و قطعه جوش داده شده بایستی با استانداردهای مطلوب کیفیت مطابقت داشته باشند. ارزیابی کیفیت جوشکاری به عهده بازرس جوش است.

برای ارزیابی کیفیت جوش لازم است استاندارد پذیرش یا معیار پذیرش جوش مشخص باشد و نوع آزمایش غیرمخرب و میزان آزمایش (صددرصد یا به صورت تصادفی و غیره) تعیین شود. از اینرو بازرس جوش بایستی نتایج آزمایشها و بازرسی های انجام شده را تجزیه و تحلیل نماید.

۵. پذیرش جوش در هر سه مرحله از بازرسی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در واقع پذیرش جوش پس از مقایسه کیفیت جوش حاصل با کیفیت مطلوب انجام می شود. پذیرش باید قطعی و غیر مبهم باشد. برای پذیرش باید گواهینامه صادر شود یا فرم مربوطه تنظیم و امضاء گردد.

٦. تهیه گزارش برای مراحل مختلف بازرسی و کلیه آزمایشهای انجام شده، ضروری است.
گزارش نتایج آزمایشها و بازرسی های انجام شده بایستی به صورت مرتب و مشخص و جداگانه تهیه و تنظیم شود.

وظایف بازرس جوش

بازرس جوش ممکن است با کارخانجات متعدد ساخت و کارگاه های متعددی سر و کار داشته باشد که بایستی در همه موارد ساعات کار و مقررات کاری سازمانهای مربوطه را رعایت نماید.
مراعات دقیق قواعد و مقررات کار خصوصاً در موارد پرسنلی، ایمنی و امنیتی الزامی است.
بازرس نباید خود را مستحق امتیازات ویژه بداند. از اینرو چنین انتظار می رود که بازرس جوش می بایست دارای شخصیت حرفه ای و با توانائی شعور بالا باشد.
بازرس بایستی در مورد کارگاه ساخت بی طرف باشد، بی معطلی و بدون آنکه تحت تاثیر نظر دیگران واقع شود با اتکاء به حقایق تصمیم بگیرد و با عقاید مختلف، تصمیم قبلی خود را به آسانی عوض نکند.
چند نمونه از وظایف بازرس جوش عبارتند از :

- تفسیر نقشه های جوشکاری و مشخصات.
- بررسی سفارش خرید به منظور حصول اطمینان از درستی مواد جوشکاری و مواد مصرفی.
- بررسی و شناسایی مواد دریافت شده طبق مشخصات سفارش خرید.
- بررسی ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی از روی گزارش نورد طبق نیازمندی های معین شده.
- بررسی فلز مبنا از نظر عیوب ظاهری
- بررسی نحوه انبارش مواد جوشکاری و دیگر مواد مصرفی.
- بررسی تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری

- بررسی آماده سازی اتصال جوش و نحوه اتصال
- بررسی بکار گرفتن دستورالعمل جوشکاری تایید شده.
- بررسی ارزیابی صلاحیت جوشکاران و اپراتوهای جوشکاری.
- انتخاب نمونه های آزمایش تولیدی.
- ارزیابی نتایج آزمایشات.

- نگهداری سوابق.
- تهیه و تنظیم گزارش.

دسته بندی بازرسان جوش

بازرسان جوش را به دسته های مختلفی می توان تقسیم نمود که یکی از رایج ترین تقسیم بندی های فوق بشرح ذیل است:

- بازرس کد ASME
- بازرس نماینده دولت
- بازرس خریدار، مشتری یا کارفرما
- بازرس کارخانه، سازنده یا پیمانکار
- بازرس یا متخصص آزمایشهای مخرب
- بازرس یا متخصص آزمایشهای غیر مخرب

گرچه وظایف بازرس داخلی و خارجی (بازرس انتخاب شده از داخل سازمان یا خارج از سازمان) ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند ولی در اینجا فقط به ذکر بازرس اکتفا می شود.
مطالبی که در اینجا عرضه می شود گاهی ممکن است به همه دسته بندی های فوق اتلاق شود یا فقط به یک یا چند تا از دسته بندی های فوق محدود گردد. در همه حالات فرض ممکن بر آن است که بازرس صلاحیتهای لازم را داشته و قادر است نوع سازه مورد نظر را که به او محول شده است، بازرسی نماید.

ویژگی بازرس جوش

برخی از ویژگیهای بارز یک بازرس جوش عبارتند از :

- آشنایی با نقشه ها و مشخصات فنی
- آشنایی با زبان جوشکاری
- آشنایی با فرایندهای جوشکاری
- شناخت روشهای آزمایش
- توانایی گزارش نویسی و حفظ سوابق
- داشتن وضعیت خوب جسمانی
- داشتن دید بصری خوب
- حفظ متانت حرفه ای
- تحصیل و آموزش مرتبط
- تجربه بازرسی
- تجربه جوشکاری

فصل دوم

فرآیند جوشکاری

جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار (Shielded Metal Arc Welding)

این روش که در برخی منابع، جوشکاری قوسی با الکترود دستی (Welding Manual Metal Arc) نامیده می شود و یا در اصطلاح عامیانه جوش برق به آن گفته می شود قدیمی ترین ، ساده ترین و مهمترین روش قوسی از نظر قابلیت تغییر پذیری بحساب می آید. جالب است بدانید که در حدود 50% از کل جوشکاری های صنعتی با این روش انجام می شود.

در این روش از الکترود فلزی که روپوش غیرفلزی از مواد فلاکس (سرباره ساز) دارد هم برای ایجاد قوس و هم تغذیه فیلرمتال استفاده می شود.حرارت تولید شده سبب ذوب شدن نوک الکترود ، روپوش الکترود و لبه های اتصال می شود و پس از دور شدن قوس الکتریک ، حوضچه مذابی که مخلوطی از مواد موجود در روپوش الکترود و مذاب حاصل از نوک الکترود و فلزات پایه می باشد، جامد شده و ناحیه جوش را بوجود می آورد.

جریان الکتریکی معمولاً در رنج 50-300A بوده و توان کمتر از حد 10Kw مورد نیاز است. جریان DC و یا AC هر دو می توانند برای جوشکاری استفاده شوند و قطبیت (Polarity) الکترود می تواند مثبت (قطبیت معکوس) و یا منفی (قطبیت مستقیم) باشد. انتخاب آن بستگی به نوع الکترود؛ نوع فلز پایه، اتمسفر جوشکاری و عمق ناحیه حرارت دیده دارد. اگر شدت جریان خیلی کم باشد ذوب

ناقص و اگر شدت جریان خیلی زیاد باشد سبب آسیب دیدن روپوش الکترود می شود و کارائی آنرا کاهش می دهد.

جوشکاری زیرپودری (Submerge Arc Welding)

در این روش قوس الکتریکی توسط پودر فلاکس پوشانده می شود و عملا" قوس الکتریکی قابل مشاهده نیست . فلاکس مورد استفاده تقریبا" همان نقش روپوش الکترود دستی را دارد. پودر فلاکس که حاوی دانه های آهک ، سیلیس ، اکسید منگنز ، فلوراید کلسیم و دیگر عناصر می باشد لایه مذاب کلفتی بر روی فلز مذاب حوضچه جوش تشکیل می دهد که از پاشش و ترشح جوش ، تشعشع حرارتی و پراکندگی دود جوشکاری جلوگیری می نماید و از این نظر نسبت به روش SMAW مزیت دارد. همچنین فلاکس نقش سد حرارتی را بازی کرده و سبب می شود تا عمق نفوذ جوش بیشتر شود. فلاکس به دو حالت مصرف می شود. فلاکس فیوز شده که مخلوط خشکی است که قبلاً ریخته شده و در برابر جذب هیدروژن مقاوم باشد. نوع دوم اگلومره آن است که توسط چسب سیلیکاتی بصورت گلوله های کوچک در آمده است و امکان جمع آوری آنرا آسانتر می سازد. الکترود بفرم سیم توپر با قطر mm 10-1.5 که بصورت کلاف می باشد و بصورت نوار استفاده می شود که معمولاً بصورت تک به درون قوس تغذیه می شوند. جریان الکتریکی در رنج 400-2000A است که بصورت DC و یا AC و با ولتاژ تا حدود v 440 اعمال می شود. بنابراین نرخ رسوب در این روش بسیار بالا بوده و لذا سرعت جوشکاری خیلی زیاد است و این خود یک مزیت منحصر بفرد خصوصا" برای اتصال ضخامتهای کلفت بشمار می رود. (سرعت تا حدود m/min 5 می تواند افزایش یابد).

این روش برای جوشکاری انواع فولادها (فولادهای آلیاژی ، زنگ نزن و ...) و برخی از فلزات غیرآهنی همچون Ti و AL بکار می رود. این روش معمولا" برای ضخامتهای بالای mm 6 توصیه می شود چرا که نرخ رسوب بالا سبب کاهش زمان و هزینه تولید می شود . برای مثال بهره وری این روش در مقایسه با روش الکترود دستی در حدود 10-4 برابر بیشتر است. کیفیت جوش و

پروفیل جوش خیلی خوب است و جوش از چقرمگی و فرم پذیری (مقاومت به ضربه) خوبی برخوردار است. میزان هیدروژن جوش در این روش کمتر از الکترودهای روپوش دار می باشد.

در هر حال محدودیتهائی نیز برای این روش ذکر شده است. برای مثال چون قوس الکتریکی غیرقابل مشاهده می باشد لذا لازم است قبل از جوشکاری ، حرکت الکترود (که در این روش بصورت کاملا" اتوماتیک انجام می شود) و انتخاب متغیرهای جوشکاری و سایر عوامل بخوبی تجربه و تنظیم شده باشند و سپس عملیات جوشکاری شروع شود چرا که حین جوشکاری چون امکان مشاهده قوس وجود ندارد بنابراین درست یا
نادرست بودن شرایط قابل درک نمی باشد. همچنین آماده سازی لبه های اتصال و تنظیم درز اتصال (Joint gap) نیز باید بدرستی و از پیش تنظیم شده باشد.
از آنجائیکه فلاکس از طریق یک لوله و تحت اثر وزن خود بر روی محل جوش تغذیه می شود، بنابراین از این روش فقط در حالتی که خط جوش بصورت افقی باشد می توان استفاده کرد، چرا که در وضعیتهای دیگر
کنترل مذاب و سرباره و رساندن فلاکس به محل جوش دشوار خواهد بود. البته برای جوشهای محیطی دور لوله ها و موارد دیگر چنانچه امکان چرخاندن قطعه وجود داشته باشد می توان از این فرآیند استفاده نمود.

روش جوشکاری با گاز محافظ (GMAW)

در این روش که اغلب MIG/MAG نامیده می شود ناحیه جوش توسط دمش گاز محافظ که از منبع خارجی تأمین می شود همچون گاز آرگون و هلیم و دی اکسید کربن و یا مخلوطی از این گازها

پوشانده می شود. اگر از گازهای خنثی مثل AR و He استفاده شود قوس پایدار که حاصل آن ترشح کم، جوش صاف و با کیفیت عالی است حاصل می آید. در هرحال اگر چه این گازها گران هستند ولی استفاده از آنها در جوشکاری فلزات غیرآهنی اجتناب ناپذیر می باشد. دی اکسید کربن و نیتروژن (N2, Co2) گازهای ارزانتری می باشند ولی ترشح جوش بیشتر بوده و ظاهر جوش ناصاف خواهد بود. یادآوری می شود که استفاده از گاز Co2 برای جوشکاری فولادهای با کربن کمتر از 0.15% همچون فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی توصیه نمی شود چون احتمال جذب کربن و کاهش خواص استحکامی و مقاومت به خوردگی وجود دارد. بعلاوه این گاز برای فولادهای پرکربن نیز توصیه نمی شود چونکه احتمال تجزیه Co2 و اکسیداسیون فولاد وجود دارد که منجر به تخلخل در جوش خواهد شد.

فلز پرکننده که در این روش نقش الکترود با قطبیت مثبت را هم دارد بفرم سیم و بصورت کلاف بطور اتوماتیک توسط نازل مخصوص به درون حوضچه جوش تغذیه می شود. علاوه بر وجود گاز محافظ، درون الکترود (سیم جوش) نیز مواد و عناصر اکسیژن زدا معمولا" وجود دارد تا از اکسیداسیون قطرات فیلرمتال و حوضچه مذاب جلوگیری نماید. در این روش جوش حاصله عاری از لایه فلاکس بوده و بنابراین در جوشکاریهای چند پاسه دیگر نیازی به زدودن فلاکس لایه قبلی نمی باشد و اگر چه این خود یک مزیت برای این روش محسوب می شود ولیکن محدودیت عدم امکان افزایش عناصر آلیاژی از طریق فلاکس نیز وجود دارد.

روش MIG/MAG که در دهه ۱۹۵۰ توسعه پیدا کرد برای جوشکاری فلزات آهنی و غیرآهنی بخوبی مورد استفاده می باشد و بطور وسیعی در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته است. و همانگونه که ذکر شد با استفاده از گاز محافظ مناسب و مد انتقال درست می توان مواد و ضخامتهای مختلف را جوشکاری نمود. از مزایای این روش می توان سرعت جوشکاری بالا، قابلیت تغییر پذیری خوب، ارزان بودن و انجام آسان را نام برد. بهره وری در این روش حداقل دو برابر روش الکترود دستی است. و بعلاوه براحتی می توان از سیستمهای اتوماتیک ورباتیک نیز استفاده نمود و بنابراین جایگزین مناسبی برای روش سنتی SMAW می باشد.

جوشکاری با سیم جوش توپودری (FCAW)

این روش مشابه با روش MIG/MAG می باشد با این تفاوت که درون سیم جوش آن فلاکس وجود دارد . یعنی سیم جوش در واقع لوله حاوی فلاکس می باشد. فلاکس موجود درون لوله این امکان را می دهد که بتوان از سیم بصورت کلاف استفاده نمود در حالیکه در روش جوشکاری با الکترود روپوش دار (SMAW) این امکان وجود ندارد. سیم جوش توپودری قوس پایدارتر، پروفیل جوش بهتر و خواص مکانیکی بالاتری را در جوشکاری بوجود می آورد. سیم جوش معمولا" قطر 1.5-2.5 mm دارد. توان مورد نیاز در حدود 20Kw می باشد. سیم جوش توپودری مخصوصی نیز وجود دارد که حفاظت کامل تری را برقرار می سازد. این روش نیز همچون روش MIG قابلیت اتوماسیون دارد و از اینرو برای انواع جوشکاری های متداول و خصوصا" برای فولادها و فولادهای زنگ نزن بکار می رود. بعلاوه نرخ رسوب این روش نیز بالاتر از روش MIG بوده و لذا برای اتصال ضخامتهای 25mm و بالاتر بخوبی قابل استفاده خواهد بود. پیشرفتهای اخیر منجر به تولید الکترودهای توپودری نازک شده است بطوریکه امکان جوشکاری قطعات نازک و کوچک را نیز فراهم کرده است.

یکی از مزایای منحصر بفرد این روش امکان تصحیح ترکیب فلز جوش از طریق مواد افزودنی به فلاکس مغزی الکترود می باشد و لذا می توان هر نوع ترکیبی را در جوش بوجود آورد.

جوشکاری با الکترود تنگستن (GTAW)

در این روش جوشکاری (Gas Tungsten Arc Welding) برای ایجاد قوس جوشکاری از الکترود مصرف نشدنی، تنگستن ، استفاده می شود و در حین جوشکاری، دمش گاز خنثی (معمولاً Argon) هوا را از منطقه جوشکاری دور کرده و از اکسید شدن الکترود تنگستن ، حوضچه مذاب یا جوش و منطقه تحت تأثیر حرارت جلوگیری می نماید.

در این روش جوشکاری که به روش TIG (Tungsten Inert Gas) نیز شناخته می شود، الکترود تنگستن ، صرفاً جهت ایجاد قوس بکار برده می شود و در حین جوشکاری مصرف نمی شود، در حالیکه در روش GMAW ؛ الکترود در حین جوشکاری مصرف می شود و از سیم جوش بعنوان پرکننده استفاده می شود.

درجه خلوص گاز خنثی و دبی گاز مصرفی از جمله پارامترهای موثر بر کیفیت جوش می باشد. استحکام بالای جوش بدست آمده از روش GTAW و نفوذ قابل توجه جوش از جمله پارامترهای موثر در انتخاب این روش جوشکاری در بیشتر صنایع بعنوان پاس ریشه می باشد.

روش جوشکاری ترمیت (Thermic Welding)

در این روش حرارت حاصل از واکنش اگزوترمیک (گرمازا) میان اکسیدهای فلزی و مواد احیاء کننده فلزی،
گرمای لازم برای ذوب اجزاء و تشکیل اتصال مورد نظر را فراهم می کند. معروفترین مخلوط مواد مورد استفاده در جوشکاری فولادها و چدنها از ذرات ریز اکسید آهن Fe_3O_4 و اکسید آلومینیوم AL_{2O3} و پودر آهن و پودر آلومینیوم تشکیل شده که بخوبی با یکدیگر مخلوط شده اند. واکنشهای اساسی که بین اجزاء این مخلوط صورت می گیرد عبارتند از :

$3/4\ Fe_3O_4 + 2AL \text{ --- } > 9/4\ Fe + AL_{2O3} + Heat$
$3Feo + 2AL \text{ --- } > 3Fe + AL_{2O3} + Heat$
$Fe_2\ O_3 + 2AL \text{ --- } > 2Fe + AL_{2O3} + Heat$

درجه حرارت بوجود آمده از نظر تئوریک در حدود 3200°C می باشد ولی در عمل این دما تا حدود 2200-2400°C تقلیل می نماید. مخلوط فوق الذکر که مخلوط ترمیت نام دارد حاوی مواد مخصوصی دیگر برای دستیابی به خواص ویژه در جوش نیز می باشد.

جدول ۱- اسامی اختصاری فرآیندهای جوشکاری

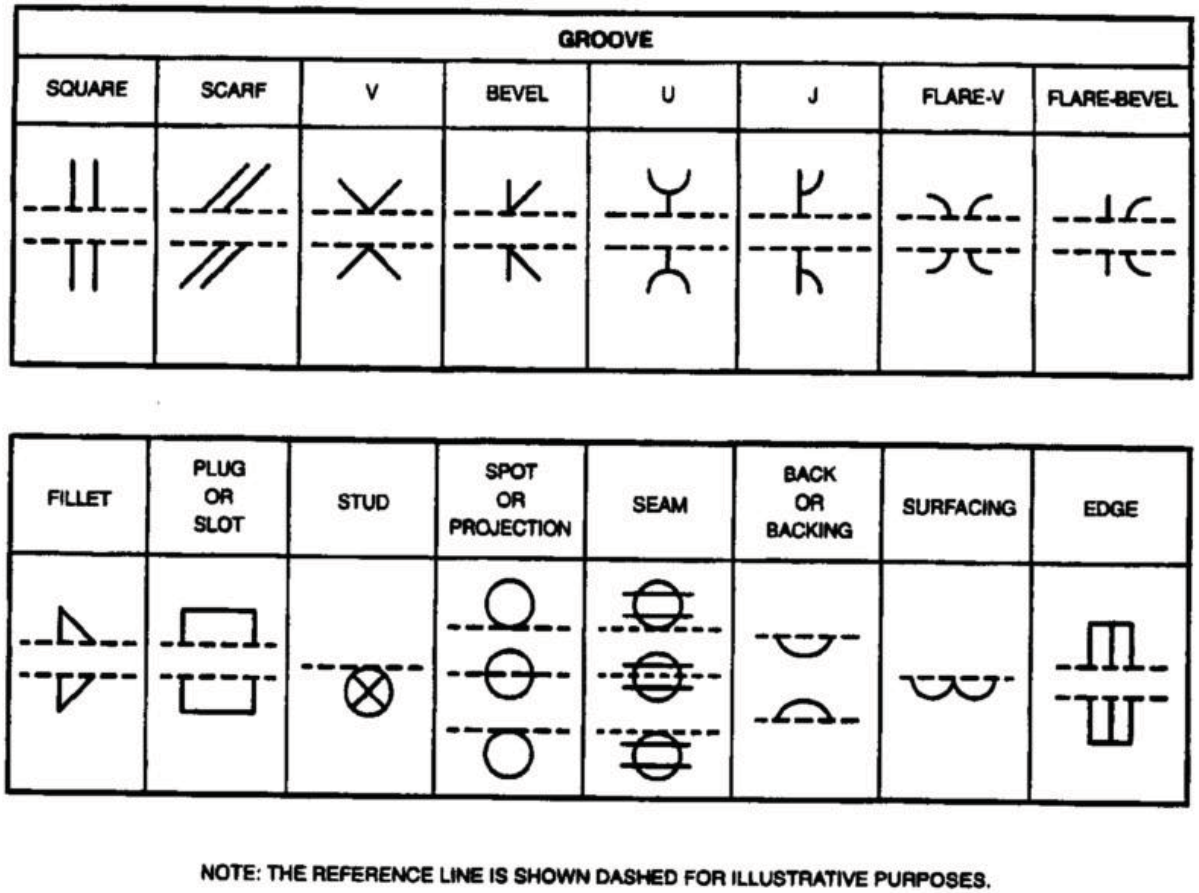
Symbol	*Welding Process*	روش جوشکاری
SMAW	Shielded Metal Arc Welding	جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار
GMAW	Gas Metal Arc Welding (MIG)	جوشکاری قوسی با گاز محافظ
FCAW	Flux Cored Arc Welding	جوشکاری قوسی با الکترود توپودری
SAW	Submerged Arc Welding	جوشکاری قوسی زیرپودری
EBW	Electron Beam Welding	جوشکاری با پرتو الکترونی
ESW	Electric Slag Welding	جوشکاری سرباره الکتریکی
TIC	Tungesten Inert Gas Arc Welding	جوشکاری با الکترود تنگستن و گاز خنثی
GTAW	Gas Tungesten Arc Welding (TIG)	جوشکاری با الکترود تنگستن و گاز خنثی
PAW	Plasma Arc Welding	جوشکاری قوس پلاسما
OFW	Oxy Fuel Welding	جوشکاری با سوختهای گازی
MIG	Metal Inert Gas Arc Welding	جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ خنثی
MAG	Metal active Gas Welding	جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ
EGW	Electric Gas Welding	جوشکاری گاز - الکتریکی

فصل سوم

علائم جوشکاری

علائم جوشکاری (Welding Symbols)

در تهیه نقشه های ساخت قطعات و سازه های فلزی که مورد جوشکاری قرار می گیرند، برای درک از مشخصات و ویژگیهای جوش از نشانه ها و علائمی در روی نقشه استفاده می شود که در این بخش مورد مطالعه قرار می گیرند. این سمبل ها نوع جوش، طرح اتصال (پخ) ، اندازه و طول جوش، روش جوشکاری ، مراحل عملیات جوشکاری و سایر اطلاعات مفید دیگر را در اختیار می گذارند. تعدادی از این نشانه ها که در جوشکاری مقاومتی و جوشکاری قوسی متداول می باشند در شکل زیر نشان داده شده است :



شکل (۱) – نمادهای جوشکاری بر اساس AWS A2.4

جوش نبشی (Filled Weld)

برخی از قواعد مهم برای نشان دادن جوش Fillet در نقشه ها بشرح زیر می باشد:

۱) از این نماد برای نشاندادن جوش نبشی و از این نماد < برای نشاندادن سمت و جهت جوش استفاده می گردد.

۲) اگر مثلث ( ) در زیر خط افقی قرار داشته باشد نشان میدهد که جوش در سمت پیکان (فلش) باید اجرا شود و اگر مثلث در بالای خط افقی باشد، آنگاه جوش می بایست در مقابل سمت فلش باشد. شکل (۲)

۳) اعداد سمت چپ مثلث نشانگر ساق جوش (leg) برحسب اینچ است و اگر جوش نبشی دارای ساقهای مساوی نباشد آنرا با دو عدد ضرب درهم نشان می دهند. اگر از واحدهای متریک استفاده می شود باید برروی نقشه ها ذکر شده باشد. شکل (۳)

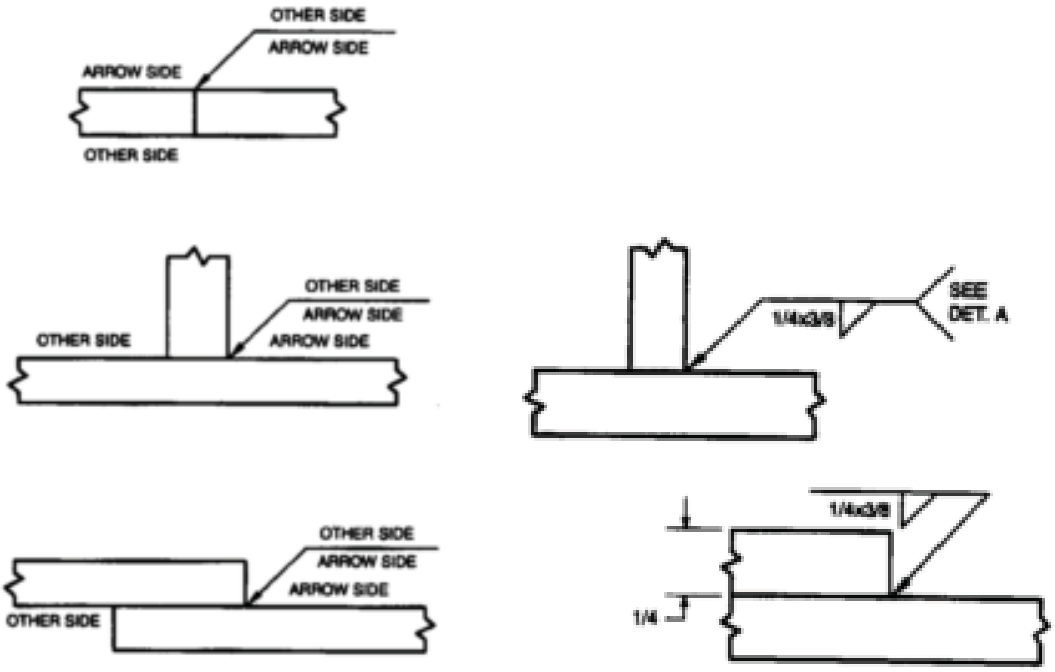
٤) اعداد سمت چپ مثلث ( ) نشاندهنده طول ساقها و عدد سمت راست نشاندهنده طول جوش می باشد. شکل (۳)

٥) در شکل (٤) مفهوم علام 4-2 این است که جوش های نبشی منقطع به طول 2 و به فواصل مرکز به مرکز 4 باید اجرا شود، یعنی در واقع فواصل بین هر دو جوش 2=2-4 می باشد.

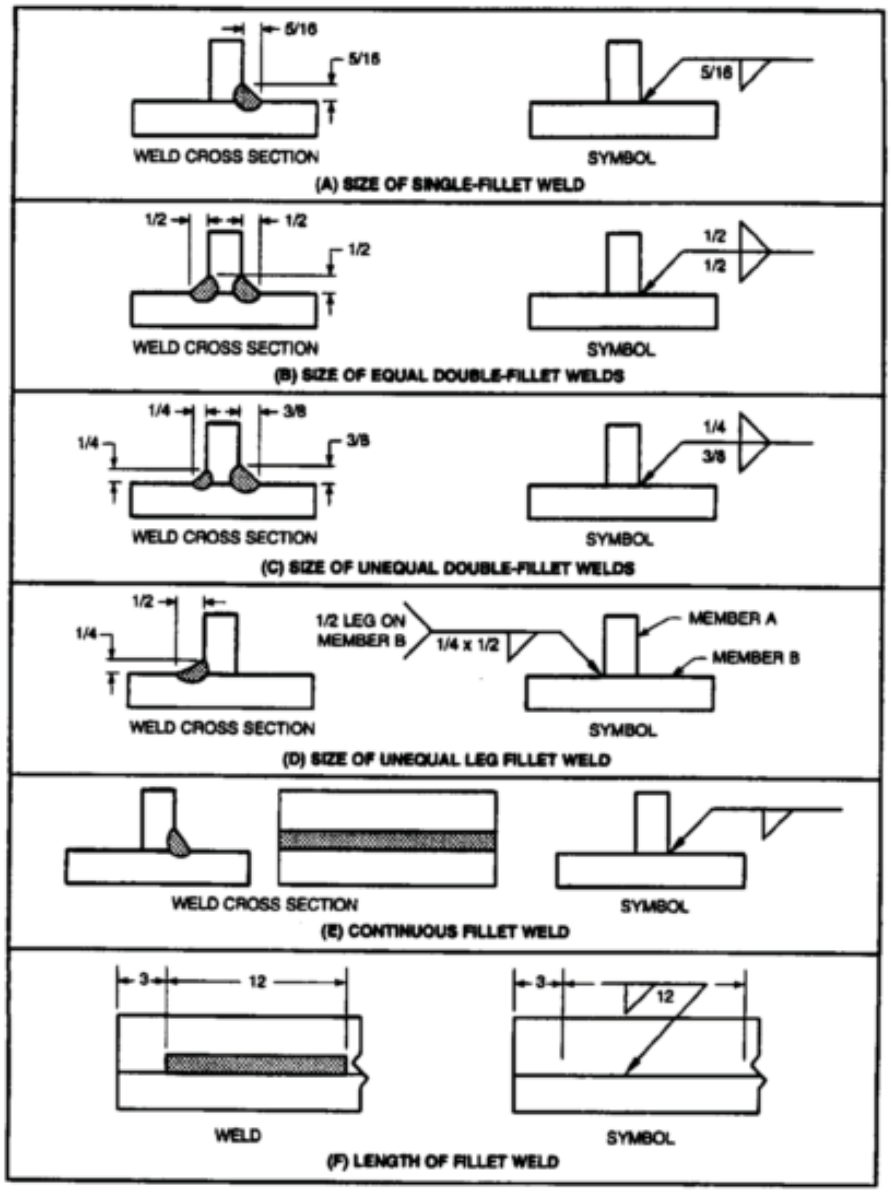
٦) اگر مثلثها در زیر هم قرارگیرند ( ) آنگاه بدین مفهوم است که جوشهای منقطع باید از هر طرف یک انتهای درز جوش را پوشش دهند . شکل (٦)

۷) برای نشاندادن جوش دور تادور از نماد ○ دایره استفاده می شود. شکل (٦)

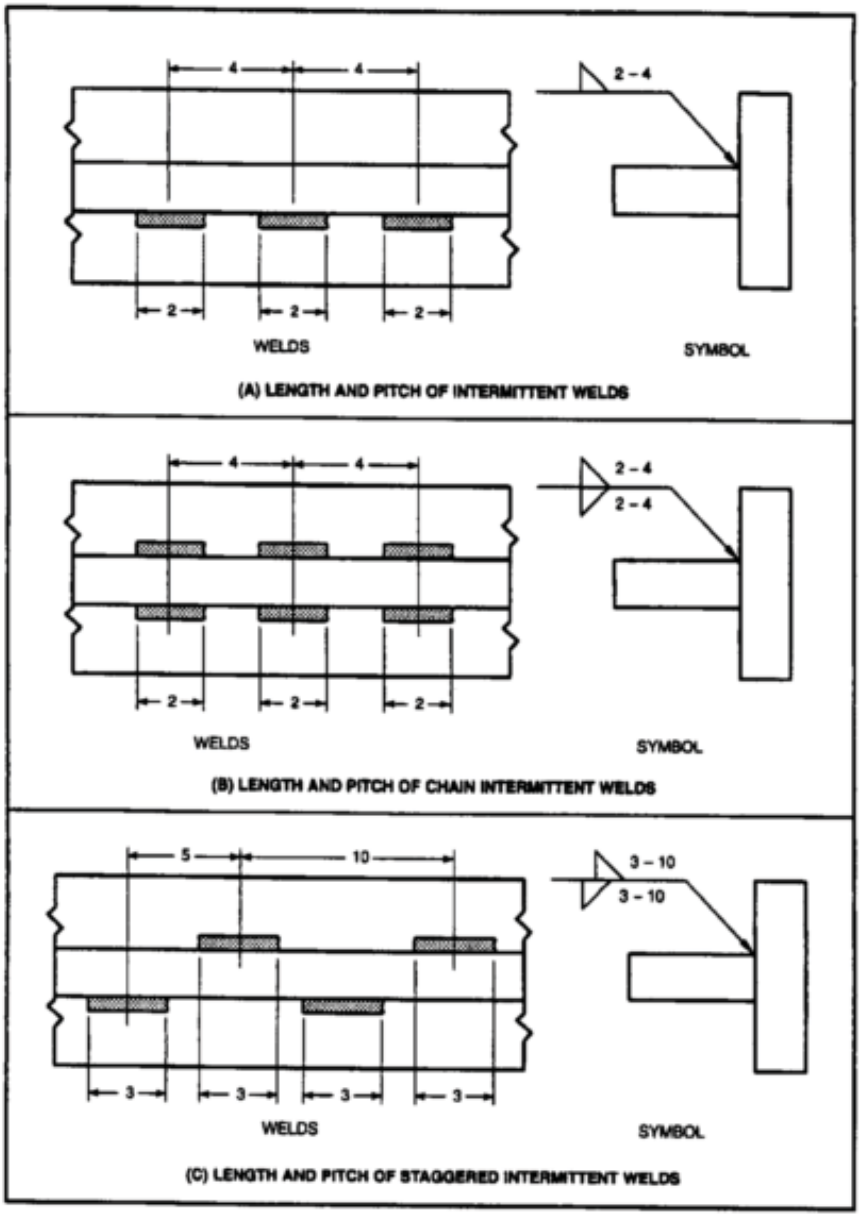
اشکال (۷) تا (۹) برخی از نشانه های رایج در نقشه خوانی را برای جوشهای سربه سر (Butt Weld) نشان میدهد. همچنین نشانه های مندرج در اشکال (۱۰) و (۱۱) ؛ مجموعه ای از نشانه های جوشکاری را بر اساس کد AWS نشان میدهد.



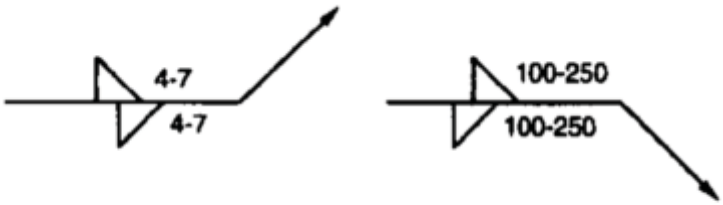
شکل (۲) – طرح شماتیک از جهات جوشکاری



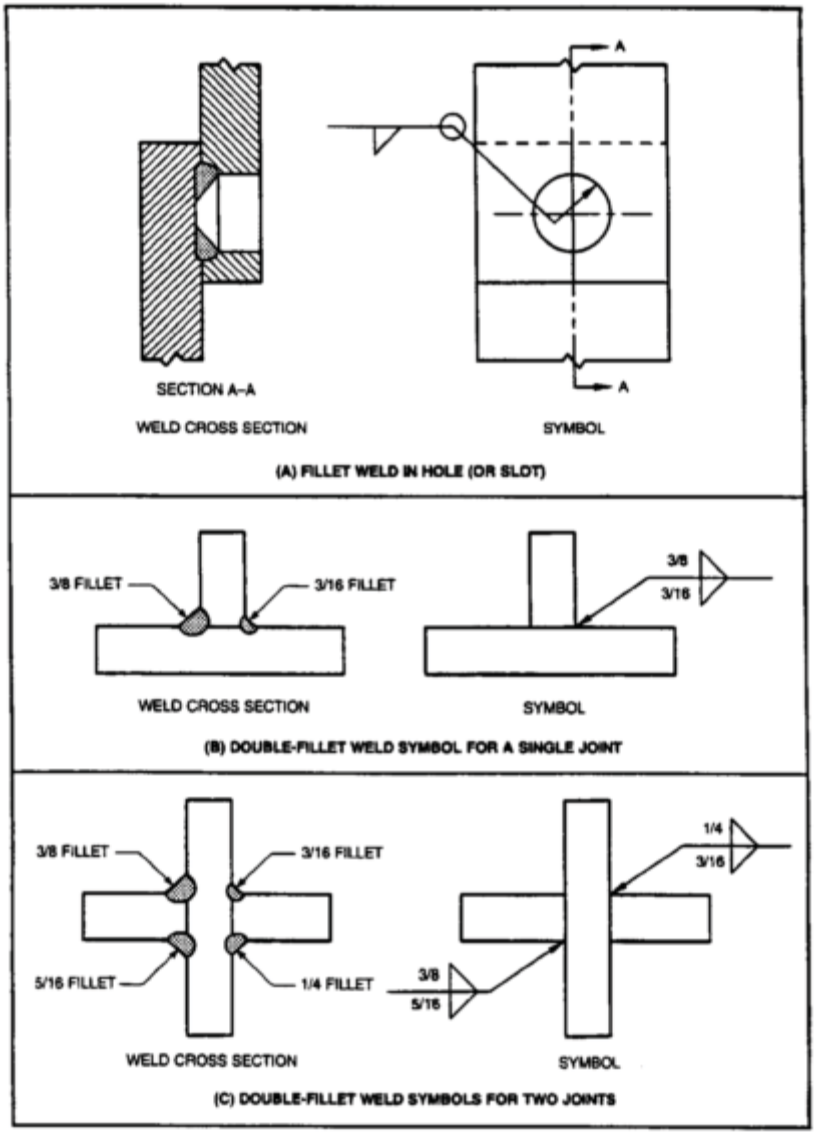
شکل (۳)- مشخصات ابعادی در برخی جوشکاری های Fillet



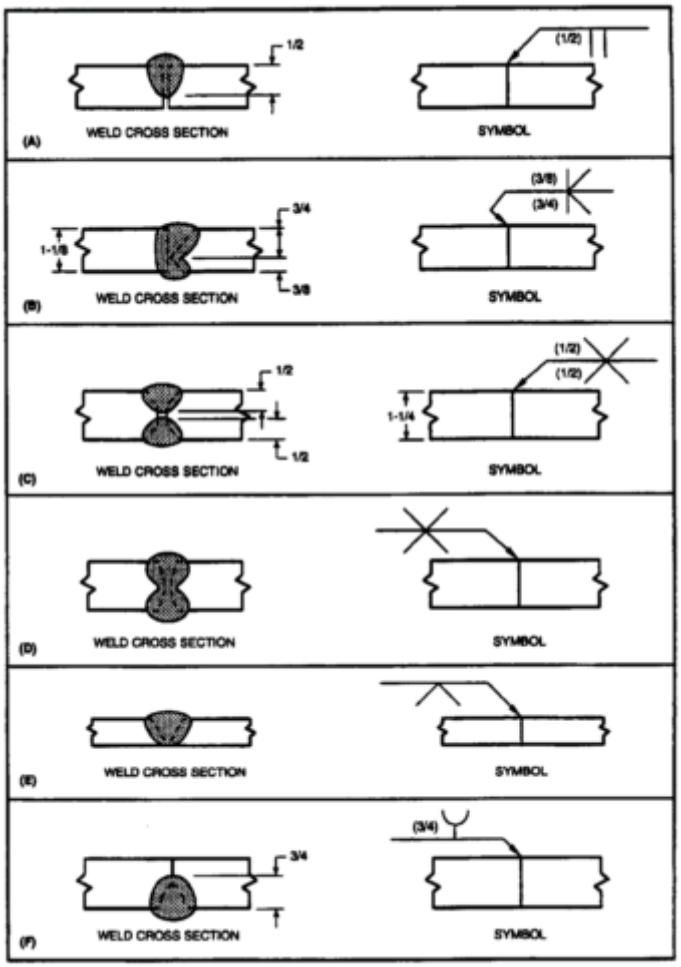
شکل (٤)- نمادهای جوشکاری برای جوشهای منقطع Fillet



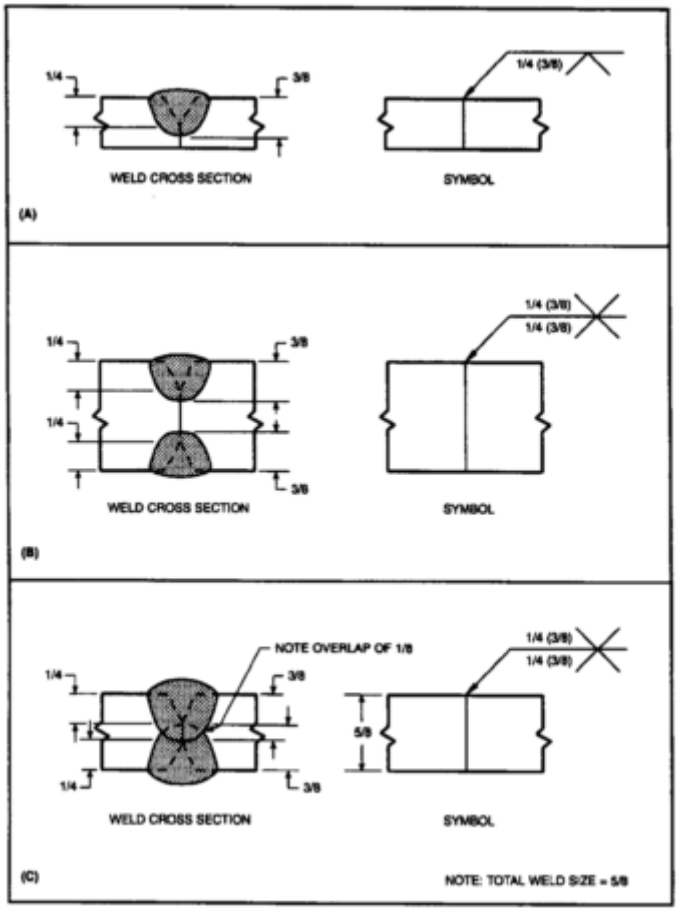
شکل (۵)-



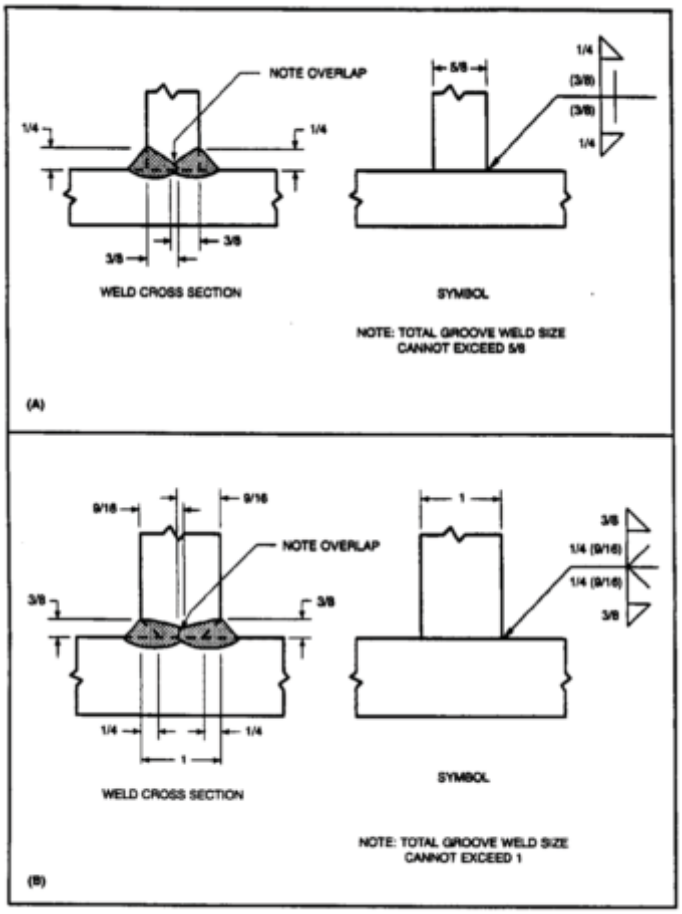
شکل (٦)- نمادهای جوشکاری برای جوشکاری مدور Fillet



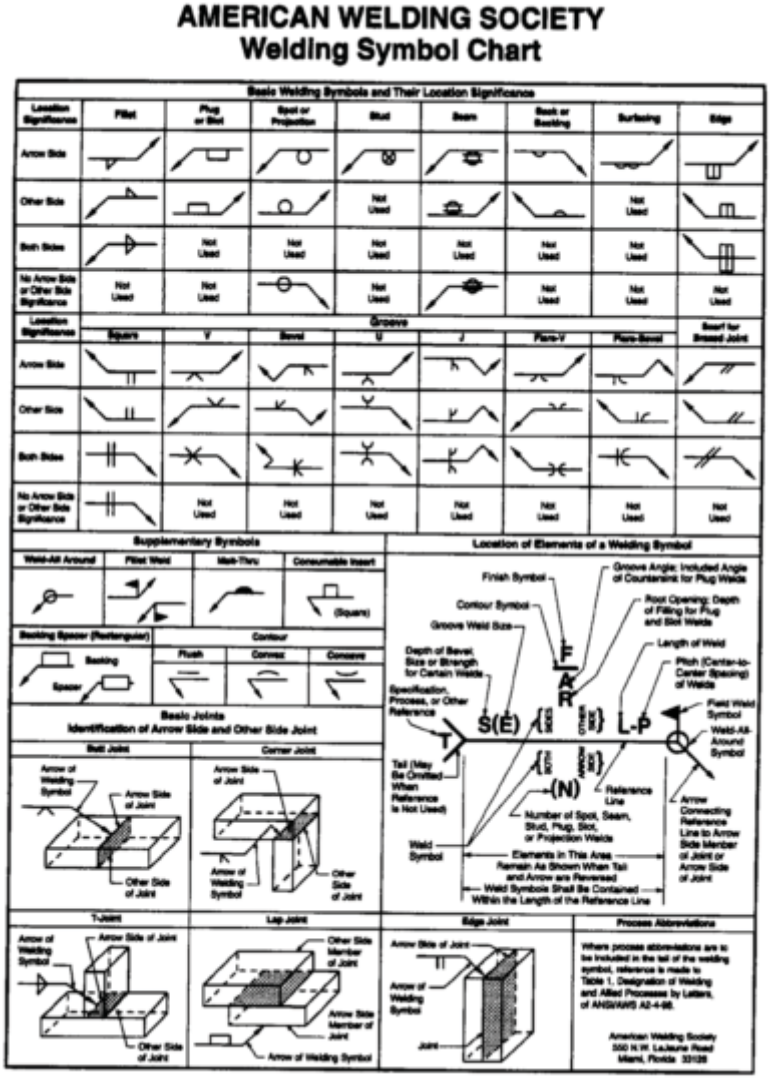
شکل (۷)- برخی از نمادهای جوشکاری در Groove Weld



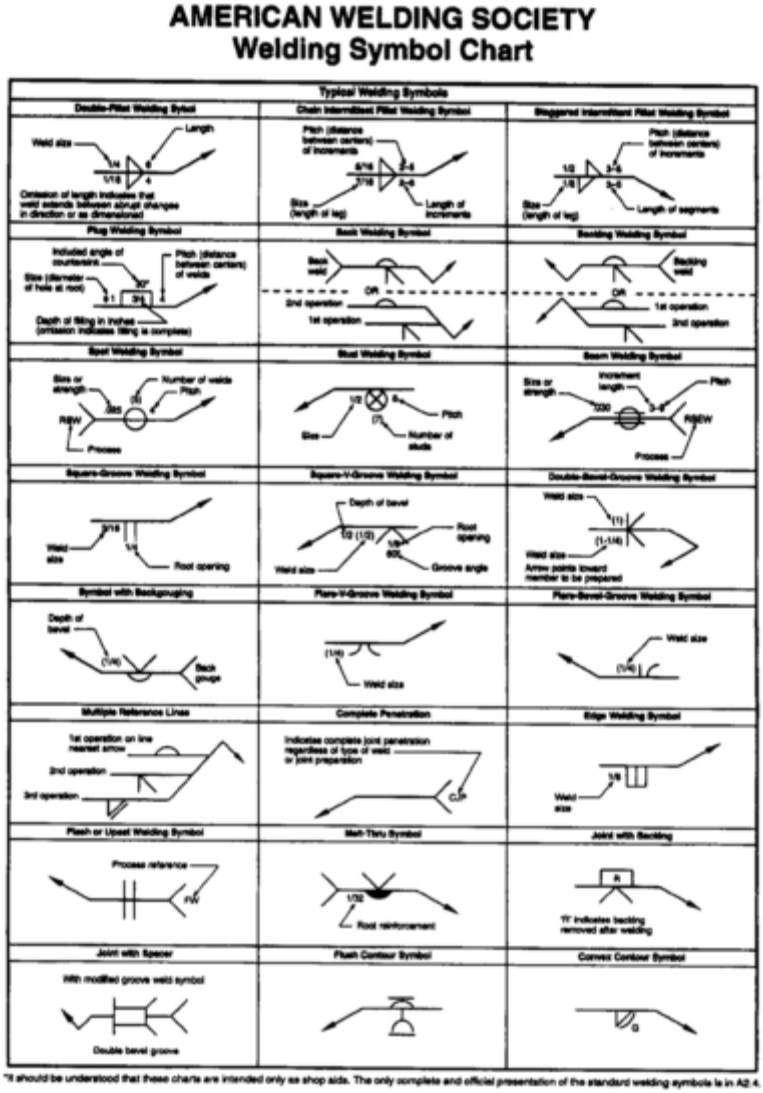
شکل (۸)- نمادهایجوشکاری در جوشکاری سربه سر بهماره عمق نفوذ جوش



شکل (۹)- استفاده از دو نوع جوشکاری Fillet و Butt در یک طرح اتصال



شکل (۱۰) – نمادهای جوشکاری رایج بر اساس AWS



*It should be understood that these charts are intended only as shop aids. The only complete and official presentation of the standard welding symbols is in A2.4.

شکل (۱۱)- نمادهای جوشکاری بر اساس کد AWS

مراحل آماده سازی قبل از جوشکاری

- **مرحله برش اجزاء:**

در جوشکاری سازه ها واسکلت های بزرگ فلزی که اغلب از انواع پروفیل ها و لوله هـا و ورق و تسمه و... ساخته می شوند ، ابتدا لازم اس که اجزاء مختلف طرح با اندازه و ابعـاد موجـود در نقشه ساخت، تهیه شوند. استفاده از فرآیندهای برشکاری برای تهیه این اجزاء بسیار متداول مـی باشد.

انتخاب روش برشکاری با در نظر گرفتن پاره ای از عوامل از جمله هزینه و سـرعت برشـکاری، کیفیت ظاهری و لبه برش و میزان تأثیر برروی ماهیت درونـی فلـز، دقـت ابعـادی در بـرش، در دسترس بودن تجهیزات و نیز امکان پخ زدن در حـین بـرش صـورت مـی گیـرد. در ایـن میـان روشهای برشکاری شعله ای خصوصاً برای اجزاء سنگین و برای کارهـای برشـکاری در محـل ، بیش از سایر روشها کاربرد دارند. روش هوا – برش که تجهیزات ساده ای مثل جوشکاری اکسی استیلین دارد ، می تواند بصورت دستی و یا نیمه اتوماتیک و یا بفـرم ماشـینهای تمـام اتوماتیـک بکار گرفته شود. روشهای مدرن تر همچون روش برش پلاسما و روش بـرش لیـزری بـه دلیـل دقت برش، صافی لبه برش و دیگر مزایا نسبت به روش شعله ای امروزه بیشتر مورد توجه قـرار گرفته اند. روشهای برش مکانیکی مثل استفاده از گیوتین نیز برای برش ورقها ، تسمه ها و لولـه ها و میل گرد و ... کاربرد زیادی دارد.

همانگونه که ذکر گردید یکی از جنبه هائی که در انتخاب روش برشکاری نقش دارد امکـان پـخ زدن در حین برش می باشد و به همین دلیل بطور شماتیک اسـتفاده از دو یـا سـه مـشعل بـرش بطور همزمان ، کـــه می تواند عمل پخ زنی با شکلهای مختلـف را در حـین بـرش انجـام دهـد، کاربرد قابل توجه ای دارند.

- **مرحله آماده سازی طرح اتصال مناسب (پخ زنی):**

قبل از جوشکاری می بایست لبه های درز اتصال پخ زنی شوند. برای مثال در جوشکاری قطعات ضخیم حتماً باید از طرح اتصال پخ دار استفاده شود تا جوش بخوبی نفوذ داشته باشد و اتصال از استحکام مناسب برخوردار گردد. پخ به صورت یکطرفه و دو طرفه و بفرم جناقی و لاله ای و ... می باشد که انتخاب هریک از آنها مستلزم درنظر گرفتن عواملی چون ضخامت قطعه، نوع فرآیند جوشکاری ، هزینه آماده سازی پخ ، جنس فلز پایه ، سهولت جوشکاری، وضعیت جوشکاری و... خواهد بود.

- **تمیز کردن لبه پخ :**

وجود آلودگیهای سطحی همچون چربی ، زنگ و اکسیدهای سطحی و سایر آلودگیها سبب بروز عیوبی چون تخلخل و آخال و... در جوش می شون که منجر به کاهش استحکام و بطور کلی عدم کارائی مطلوب اتصال می شوند. بنابراین قبل از شروع جوشکاری باید اینگونه آلودگیها را حذف نمود. جنس فلز پایه و نوع فرآیند جوشکاری در میزان و درجه تمیزی قبل از جوشکاری تأثیر مهمی دارد.

برای مثال در مورد فلزات حساس مثل تیتانیم و فولادهای زنگ نزن باید محل اتصال کاملاً تمیز گردد و یا در مورد جوشکاری با پرتو الکترونی می بایست محل اتصال کاملاً عاری از آلودگی باشد.

- **برنامه ریزی مراحل جوشکاری :**

ترتیب و برنامه ریزی مراحل مختلف جوشکاری از نظر تقسیم عملیات جوشکاری با توجه به تنوع روشهای مختلف ، جوشکاران مختلف (ماهر و نیمه ماهر و ساده) آلیاژهای مختلف ، وضعیت های مختلف جوشکاری، داخل و یا خارج از سالن بودن عملیات ، پیچیده بودن و یا سهولت عملیات جوشکاری و بازرسی جوش و ... از دیگر مراحلی است که می بایست قبل از جوشکاری آنها را در نظر گرفت و سبب می شود که کیفیت جوش بالاتر و هزینه های جوشکاری کمتر گردد.

انواع طرحهای اتصال :

در این قسمت به معرفی انواع مختلف طرح اتصال (پخ) و دلائل استفاده از آن در جوشکاری پرداخته می شود. شکل شماره (۱۲) تعدادی از متداولترین (پخ ها) را در جوشکاری نشان می دهد.

بطورکلی عوامل موثر در انتخاب طرح اتصال را بصورت زیر می توان برشمرد:

۱- تقلیل هزینه های آماده سازی

۲- دستیابی به استحکام مورد نظر

۳- ضخامت قطعه

٤- در دسترس بودن محل اتصال

۵- امکانات اجرائی

حال مرحله آماده سازی طرح اتصال و یا همان مرحله پـخ زنـی از نقطـه نظرهـای مختلـف مـورد بررسی قرار میگیرد.

۱- از نظر عمق نفوذ جوش :

در عمل حداکثر عمق نفوذ جوش به دلائل زیر حاصل نمی شود. اول آنکه نیروی قـوس الکتریکـی سبب بیرون زدن فلز مذاب از ریشه جوش می شود. دوم آنکه رقیـق شـدن بـیش از حـد فلـز پایـه ممکن است منجر به بروز مسائل متالورژیکی شود. سوم آنکه انـدازه جـوش بـرای جوشـکاری در محل محدودی می باشد.

برای طرح اتصال از نوع سر به سر ساده (Square Butt) در روشهای مختلف محدودیت عمق نفوذ به شرح جدول زیر وجود دارد:

روش جوشکاری	حداکثر ضخامت قابل جوشکاری در یک پاس
TIG	4mm (2 mm بهتر است)
GMAW (M1G)	3-4 mm
Plasma	تا 12 mm
الکترود دستی SMAW	2-3 mm

برای جوشکاری سازه های بزرگ، عمق نفوذ جوش کامل در یک پاس یک مزیـت مهـم محـسوب می شود چون امکان چرخاندن سازه برای جوشکاری از پشت محل اتصال اغلب وجود ندارد. برای مثال در کشتی سازی این مسئله حائز اهمیت می باشد . بهرحال برای جوشکاری مقـاطع ضـخیم از تکنیک پخ زنی استفاده می شود. اتصال V شکل (جناقی) یکطرفه ساده ترین نوع پخ می باشد، کـه معمولاً در حدود 1-2mm ریشه در نظر گرفته می شود چونکه لبه های تیز احتمـال سـوختن و آب شدن دارند.

انتخاب زاویه پخ ضرورتاً یک انتخاب میان زوایای بزرگ برای کنترل بهتر جوش و زوایای کوچک برای حداقل مصرف الکترود خواهد بود.

۲- از نظر تکنیک چند پاسه :

برای ضخامت های بیشتر واضح است که نیاز به چندین پاس جوش می باشد. هر پاس برای پاس قبلی یک سیکل باز پخت (تمپر) می باشد که طی آن دانه های فلز اصلاح می شوند. طرح اتصال بدون پخ از نظر آسانی آماده سازی بسیار مطلوب می باشد ولی استفاده از پخ مناسب کمک می کند تا عمق نفوذ جوش بیشتر شود و نیز پایداری قوس و تنظیم دقیق آن در وسط درز اتصال آسانتر باشد. البته بهتر است که شیار قسمت پشت پس از جوشکاری طرف اول بوجود آید، تا اینکه عیوب احتمالی موجود در ریشه پاس اول نیز حذف گردد. این تکنیک را (Backgouging) می نامند.

در هر حال یادآوری می شود که اگر زاویه پخ کم باشد احتمال تشکیل ترکهای خط مرکزی وجود دارد علاوه بر آنکه حرکت الکترود و زاویه دادن به آن در حین جوشکاری محدود می شود و اگر زاویه پخ زیاد باشد علاوه بر آنکه انقباض جوش بیشتر می شود مقدار الکترود مصرفی نیز زیادتر می شود که هزینه جوشکاری را افزایش می دهد.

۳- از نظر اتصال فلز ضخیم به نازک :

در هنگام جوشکاری اجزاء غیرهم ضخامت مسئله اصلی عدم بالانس حرارتی است . برای مثال اگر بخواهم حرارت لازم برای ذوب بخش ضخیم تر را تأمین کنیم آنگاه بخش نازک تر بیش از حد ذوب می شود و میسوزد (سوراخ می شود) . در این مواقع بهترین روش نازک کردن موضعی بخش کلفت می باشد و یا اتخاذ روشی که بخش نازک تر از حمایت بخش کلفت تر برخوردار باشد. (شکل ۱۳)

٤- از نظر در دسترس بودن محل جوش:

درز اتصال باید به حد کافی عریض باشد تا اجازه حرکت و مانور الکترود را بدهد حتی در جوشکاری خارج از سالن نیاز به قدرت مانور بیشتری خواهد بود و لذا زاویه پخ باید بیشتر باشد. مثلاً در جوشکاری در وضعیت افقی- عمودی ، از طرح اتصال غیرمتقارن استفاده می شود چونکه سبب می شود تا جوشکار بتواند در برابر جاذبه زمین موفق تر باشد. همچنین در روشهای جوشکاری اتوماتیک از زاویه پخ کمتر می توان استفاده کرد.

۵- از نظر عدم اعوجاج :

هر چقدر فلز جوش رسوب داده شده کمتر باشد و در واقع هر چقدر حرارت ورودی کمتر باشد اعوجاج حرارتی قطعه نیز کمتر خواهد بود. بنابراین طرح اتصال دو طرفه X شکل و در مقایسه با طرح اتصال V شکل که فلز جوش کمتر را می خواهد منجر به کاهش حد اعوجاج خواهد شد، اگر چه از نظر اقتصادی نیز سودمند می باشد. حتی اگر بتوان از درز اتصال دو طرفه استفاده نمود، می توان با تکنیک جوشهای متناوب در طرفین از بروز اعوجاج جلوگیری نمود. معمولاً پاس اول منجر به انقباض بیشتر شده چرا که اتصال مهار نشده می باشد.

برای جبران اینکار معمولاً پاس دوم را دوبار اجرا می کنند و همینطور پاس سوم سه بار اجرا می شود تا بالانس برقرار شود و یا اینکه طرح اتصال بصورتی انتخاب می گردد تا پاس اول کوچکتر از پاس دوم باشد.

در مورد طرح اتصال جناقی و یا لاله ای دو طرفه معمولاً پس از پاس اول اعوجاج زاویه ای بوجود می آید، که مقدار آن بیش از سایر پاسها می باشد، بنابراین اگر در پاس اول از فیکسچر برای مهار کردن اجزاء اتصال استفاده شود، تا حد زیادی می توان اعوجاج زاویه ای را کنترل کرد. همچنین در برخی مواقع بادر نظر گرفتن طرح پخ غیرمتقارن می توان شرایط را بگونه ای بوجود آورد که پاس اول با حجم فلز جوش کمتر و حتی الامکان نزدیک به خط وسط ضخامت باشد و سپس با پاسهای دیگر بالانس حرارتی را بوجود آورد.

فصل چهارم

الکترودهای جوشکاری

جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکش دار (SMAW) که در این متن اغلب تحت عنوان جوشکاری قوسی و در کارگاه توسط جوشکاران تحت عنوان جوشکاری دستی با الکترود نامیده می شود ، دارای یکی از وسیعترین کاربردها در ساخت ، مونتاژ و تعمیر وتقویت سازه های فولادی است. این مقبولیت به لحاظ گسترش الکترودهای روکش دار است که توانائی ایجاد جوش با خواص مکانیکی معادل و یا حتی بهتر از خواص فلز مورد جوشکاری را دارا می باشند.
در این بخش ضمن آشنائی با خواص عمومی الکترودها، مشخصات خصوصی آن دسته از الکترودهایروکش دار که دارای کاربرد وسیع در صنعت ساختمان هستند، مورد توجه قرار می گیرد.
هدف این است که قادر باشیم تا آنجا که خواص الکترود اجازه می دهد، جوشی ایجاد نمائیم که دارای مطلوبترین خواص فیزیکی و شیمیائی ، سلامت و ظاهر باشد .

تعاریف عمومی

- **الکترود جوشکاری قوسی** : فلز پرکننده به شکل مفتول با روکش یا بدون روکش که جریان الکتریکی توسط آن بین انبر الکترود و قوس الکتریکی منتقل می شود.
- **الکترود مداوم:** الکترود لخت پیوسته که به دور قرقره پیچیده و در جوشکاری اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد.
- **الکترود مغزه دار:** یک نوع الکترود مداوم (پیوسته) که پودر جوشکاری در مغزه آن قرار دارد و در جوشکاری اتوماتیک و نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد.

- **الکترود روکش دار :** یک الکترود فلزی با طول محدودو روکش نسبتاً ضخیمی از مـوادی کـه دو هدف اصلی را برآورده می کنند ۱- تثبیت قوس الکتریکی ۲- بهبود خواص فلز جوش

طبقه بندی وشناسائی الکترودهای دستی

الکترودها برحسب خواص مکانیکی مفتول فولادی ، نوع پوشش و وضعیت جوشکاری طبقـه بنـدی و برای شناسائی شماره گذاری می شوند.
عمدتا" الکترودها ازلحاظ چوش پذیری در ۵ گروه اصلی طبقه بندی می شوند :
الکترود فولاد نرمه ، فولاد پرکربن ، فولادهای آلیاژدار خاص، چدن و انواع الکترودهای غیرآهنی.

طبقه بندی الکترودهای پوشش دار بر اساس استاندارد بین المللی ISO

طبقه بندی الکترودها بر اساس این استاندارد از پوشش روی آنها انجام گرفته است که بیشتر بیان کننده خاصیت الکترود بر اساس مواد پوشش دهنده روی آن و بشرح زیر است :

الف : ***روکشهای روتیلی :*** روتیل که همان شکل طبیعی اکسید تیتانیم و اکسید آهن تیتان دار می باشـد پوشش اصلی این نوع الکترود را تشکیل می دهد. بعلت وجود مقدار زیـاد مـواد یـونیزه کننـده ؛ استفاده از این نوع الکترودها آسانتر است . زیرا دارای دو نـوع روکـش اسـت : یـک نـوع دارای سرباره غلیظ می باشد ، که بیشتر در حالت افقی و عمودی جوش گوشـه بکـار مـی رونـد. نـوع دیگر بعلت وجود، ترکیبات اضافه شده ، روانتر بوده و در حالتهای دیگر نیز مورد اسـتفاده قـرار می گیرد. با این نوع الکترود، نوار جوش با شکل ظاهری و مشخـصات مکـانیکی بـسیار خـوب بدست می آید. بعلت وجود روتیل و عناصر یونیزه کننده میتوان با جریان متناوب نیـز ایـن نـوع الکترودها را بکار برد.

ب : ***روکشهای سلولزی :*** پوشش این نوع الکترودها از سلولز و پنبـه، فـرو آلیاژهـای احیـا کننـده، و سیلیکاتهای طبیعی، تشکیل شده است که بر اثر سوختن آنها مقـدار زیـادی هیـدروژن و اکـسید کربن بوجود می آید که قوس و حوضچه مذاب را از تماس با هوا محافظت می نماید. ایـن نـوع

الکترودها برای جوشکاری در هر وضع، بخصوص مواردی که نفوذ زیاد مورد نظر باشد ، مناسب است.

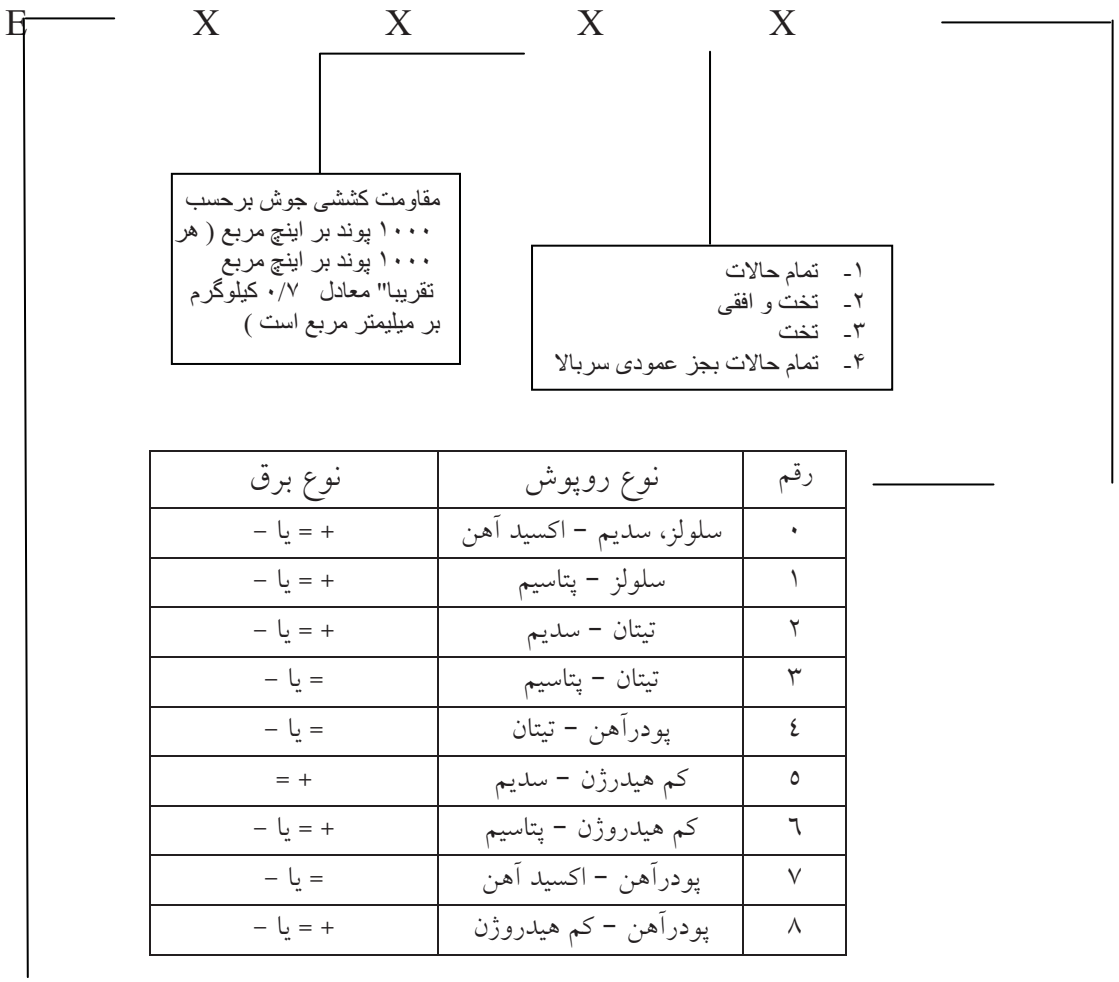
ج : ***روکشهای اکسیدی :*** مقدار زیادی از پوشش این نوع الکترودها از اکسید آهن سیلیس و سیلیکاتهای طبیعی تشکیل شده است که بعلت تولید سرباره مقدار نفوذ و استحکام کمتری نسبت به جوش حاصل از الکترودهای دیگر دارد ولی سطح جوش صاف و پخ می باشد. جوش گوشه با این نوع الکترود نیز شکل خوبی بخود می گیرد.

د : ***روکشهای قلیائی :*** پوشش الکترود شامل مقدار قابل ملاحظه ای کربنات کلسیم و فلوراید و آهک و فلوراسپار می باشد. بعلت تولید فلز جوش با هیدروژن کم برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژی که در مقابل ترک برداشتن منطقه مجاور جوش حساس هستند بسیار مناسب می باشد، با این نوع الکترود نوار جوش با بافت ریز و قابلیت انعطاف زیاد بدست می آید.

ه : ***روکشهای اسیدی :*** پوشش این نوع الکترود از اکسیدها و کربناتهای منگنز و آهن و مقداری سیلیسیم تشکیل شده است . این پوشش، نوعی سرباره پرحجم و روان تولید می کند که در نتیجه آن؛ جوش دارای ظاهر بسیار صاف و تمیزی خواهد شد. از این نوع الکترود می توان برای هر نوع جوش و در هر وضعیت استفاده کرد.

طبقه بندی الکترودهای پوشش دار به روش ASTM (که همان طبقه بندی A.W.S می باشد)

در این روش ، شمـــاره گذاری الکترود را با حرف E و چهار یا پنج رقم که در سمت راسـت حـرف مزبور قرار می گیرد نشان می دهند، وقتی تعداد ارقام چهار باشد ، دو رقم سمت چـپ و وقتـی تعـداد ارقام پنج باشد ، سه رقم سمت چپ حداقل تاب کششی فلز جوش و رقم بعدی، یعنی رقم ماقبل آخـر وضعیت جوشکاری و بالاخره رقم آخر نوع جریان برق، کیفیت و نوع قـوس و میـزان نفـوذ جـوش را نشان می دهد.



رقم	نوع روپوش	نوع برق
۰	سلولز، سدیم – اکسید آهن	+ = یا –
۱	سلولز – پتاسیم	+ = یا –
۲	تیتان – سدیم	+ = یا –
۳	تیتان – پتاسیم	= یا –
٤	پودرآهن – تیتان	= یا –
٥	کم هیدرژن – سدیم	+ =
٦	کم هیدروژن – پتاسیم	+ = یا –
۷	پودرآهن – اکسید آهن	= یا –
۸	پودرآهن – کم هیدروژن	+ = یا –

اگر الکترودی با E6010 نشان داده شود مفهومش این است که :

- حداقل تاب کششی جوش ٦٠ هزار پوند بر اینچ مربع است (برابر با $4280\ Kg/cm^2$)
- الکترود برای جوشکاری در هر وضعیتی مناسب است.
- الکترود فقط با جریان دایم و قطب گرائی معکوس بطور رضایت بخش کار می کند.

جدول طبقه بندی و کاربرد اصلی الکترودها بر اساس AWS

رده	نوع الکترود	وضعیت جوشکاری	نوع جریان	اثر قوس	نفوذ	نوع روکش	کاربردهای اصلی
نافذ و دارای مشخصات مکانیکی خوب	Exx10	تمام وضعیتها	DC+	شدید	عمیق	پرسلولز – سدیمی	جوش با مشخصات مکانیکی خوب حاصل می شود . که بهتر است کیفیت آن با بازرسی از طریق رادیوگرافی کنترل شود. در ساختمانها و جاهائی که جوش چند پاسه لازم است بکار می رود. مانند کشتی سازی، پل سازی، ساختمانها، لوله کشی و مخازن تحت فشار.
	EXX11	تمام وضعیتها	AC DC+	شدید	عمیق	پرسلولز – پتاسیمی	همان کاربردهای EXX10 را دارد با این تفاوت که با جریان متناوب و جریان مستقیم بکار برده میشود. مقاومت کششی و حد ارتجاعی آن اندکی بیشتر است.
در جوشکاری تولیدی کاربرد دارد	EXX12	تمام وضعیتها	DC- AC	آرام	متوسط	روتیلی – سدیمی	برای جوشهای یک پاسه، سرعت زیاد، جریان زیاد و جوش گوشه افقی توصیه میشود. در جوش گوشه و جوش شیاری، زمانی که درزها خوب جفت و جور (Fitup) نشده و دامنه تغییرات جریان زیاد می باشد استفاده از این الکترودها آسان و مفید است. نفوذ این الکترودها کمتر است. اما با یک پاس می تواند شرایط مورد نظر در بازرسی از طریق رادیوگرافی را تأمین نماید.
	EXX24	H.F.F (جوش گوشه افقی در وضعیت تخت)	AC DC	آرام	کم	روتیل – پودر آهن	روکش الکترود دارای گرد آهن است و برای جوش گوشه مناسب می باشد. پودر آهن موجود در روکش الکترود موجب می شود که سرعت ریختن فلز مذاب در درز نسبت به الکترود EXX12 بیشتر باشد. کاربرد این الکترودها آسان و ظاهر جوش خوب است. لازم است جفت و جور کردن درز نسبت به EXX12 بهتر انجام بگیرد ولی همان کاربرد را دارد.
کم نفوذ	EXX13	تمام وضعیتها	AC DC	ملایم	متوسط	روتیلی – پتاسیمی	کاربرد این الکترودها در جوش گوشه و جوش شیاری، زمانی که درزها خوب جفت و جور نشده و دامنه تغییرات جریان زیاد میباشد، آسان و مفید است. این الکترودها برای ورقهای کم ضخامت طراحی شده اند، اما می توان از آنها به جای یک الکترود

							کم نفوذ در کارهای دیگر نیز استفاده کرد. با وجود اینکه نوار جوش پهنی تولید می کند، غالباً در جوشهای قائم سرپائین مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین برای کارکردن با ترانسفورماتورهای جریان منتاوب و با ولتاژ کم مناسب است.
	EXX14	تمام وضعیتها	AC DC	ملایم	متوسط	روتیلی – پودر آهن	کاربرد نظیر EXX13 را دارد با این تفاوت که سرعت ریختن فلز مذاب آن بیشتر است و همچنین سرعت ریختن فلز مذاب در این الکترود کمتر از EXX24 و EXX27 است . در شرایط یکسان EXX13 و EXX14 سرعت جوشکاری یکسانی دارند. ظاهر جوش حاصل خوب بوده و کاربرد آن آسان است.

ادامه جدول طبقه بندی و کاربرد اصلی الکترودها بر اساس AWS

رده	نوع الکترود	وضعیت جوشکاری	نوع جریان	اثر قوس	نفوذ	نوع روکش	کاربردهای اصلی
کم هیدروژن مخصوص جوشکاری فلزات پرکربن	EXX15	تمام وضعیتها	DC+	آرام	متوسط	کم هیدروژن سدیمی	خواص فیزیکی خوبی دارند و بهتر است در بازرسی از روش اشعه x استفاده کرد. الکترود کم هیدروژن در مورد فلزات پرکربن و کم آلیاژ که جوشکاری آنها معمولاً با مشکل مواجه است بکار برده می شود. با استفاده از این الکترودها، پیش گرمایش و اصلاح حرارتی بعد از جوشکاری حذف شده یا تقلیل می یابد اگر روکش الکترود مرطوب باشد نتیجه خوبی نمیدهد. الکترودها باید قبل از مصرف مطابق دستورات سازنده گرم شود.
کم آلیاژ	EXX16	تمام وضعیتها	AC DC+	آرام	متوسط	کم هیدروژن سدیمی	کاربرد نظیر الکترود EXX15 را دارد با این تفاوت که هم با برق متناوب و هم با جریان مستقیم می توان بکار برد.
	EXX18	جوش گوشه افقی – وضعیت تخت	AC DC-	آرام	متوسط	پودر آهن – کم هیدروژن	روکش این الکترودها دارای ۳۰٪ پودر آهن از نوع تیتانی است . این الکترودها شبیه EXX15 می باشد ولی سرعت ریختن فلز مذاب در درز جوش بیشتر از EXX15 می باشد. جوش را با ظاهر خوب تولید می کند و سرباره تخت جوش بهتر جدا می شود و شدت جریان مورد استفاده بیشتر از EXX16 است.
	EXX25	جوش گوشه افقی – وضعیت تخت	DC- AC	آرام	متوسط		روکش این الکترودها دارای ۵۰٪ پودر آهن است و از نوع آهکی است. در این طبقه الکترودهای کم هیدروژن دارای بیشترین مقدار ریختن فلز مذاب است . این الکترودها قوس پایدار همراه با رشته جوش پهن و صافی تولید می کند و فقط در حالت تخت جوش گوشه بکار برده می شود.

مخصوص درزهای عمیق و مقاطع سنگین	EXX20	جوش گوشه افقی – وضعیت تخت	DC-AC	آرام	متوسط	اکسید آهن	این الکترودها برای جوشکاریهای تولیدی و مقاطع و قطعات سنگین نظیر مخازن تحت فشار ، شاسی ماشین آلات سنگین و قسمتهای سنگین ساختمانها ساخته شده است. این الکترودها فقط در وضع تخت جوش گوشه افقی قابل استفاده است. و وقتی احتیاج به جوش گوشه با بعد زیاد باشد مورد استفاده قرار می گیرد. کیفیت جوش حاصل از این الکترود خوب است.
	EXX27	جوش گوشه افقی – وضعیت تخت	DC-AC	آرام	متوسط	پودر آهن- اکسید آهن	سرعت جوشکاری با این الکترود بیش از سرعت کار با الکترودهای EXX20 می باشد. این الکترود مناسبترین الکترود برای جوشکاری پائین دست درزهای عمیق است.
	EXX30	تخت	DC-AC	آرام	متوسط		سرعت جوشکاری بیشتر از EXX20 می باشد. برای جوشکاری ورقهای سنگین در حالت تخت بکار میرود، و روباره آنها کند و روانتر از الکترود EXX20 است.

طبقه بندی پودر جوشکاری

پودر جوشکاری بر اساس خواص مکانیکی فلز جوش حاصل از مصرف پودر با هریک از سیم جوشهای مربوطه طبقه بندی میشود.

اول – پیشوند F معرف پودرجوشکاری

دوم – یک رقم معرف حداقل مقاومت کششی بر حسب ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع (مثلا" ٦ یعنی ٦۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع و ۷ یعنی ۷۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع)

سوم – حرف Z یا یک رقم ۰ ، ۲ ، ٤ یا ٦ معرف درجه حرارت آزمایش برای بدست آوردن مقاومت ضربه ای ۲۰ فوت پوند یا ۲۷ ژول

Z – بدون خواسته های ضربه ای

۰ – منهای صفر درجه فارنهایت (منهای ۱۸ درجه سانتیگراد)

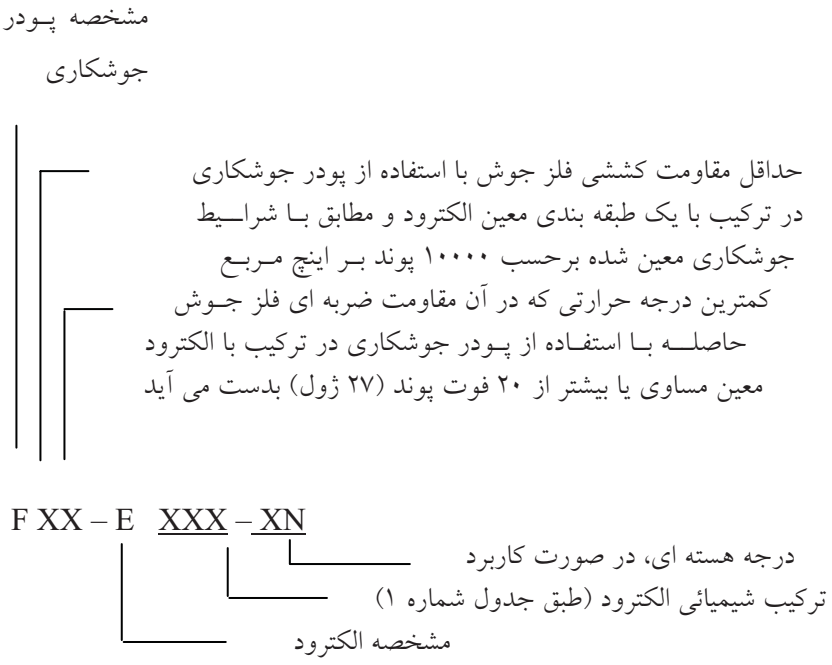
۲ – منهای ۲۰ درجه فارنهایت (منهای ۲۹ درجه سانتیگراد)

٤ – منهای ٤۰ درجه فارنهایت (منهاس ٤۰ درجه سانتیگراد)

٦ – منهای ٦۰ درجه فارنهایت (منهای ۵۱ درجه سانتیگراد)

طبقه بندی کلی سیم جوش پودر جوشکاری

برای طبقه بندی کلی ابتدا طبقه بندی پودر جوشکاری از سمت چپ شروع می شود سپس با یک خط فاصله طبقه بندی سیم جوشی که با آن مشخصات مکانیکی نشان داده شده بدست می آید، نوشته می شود.



شکل ٤- طبقه سیم جوش و پودر جوشکاری

طبقه بندی سیم جوش AWS-A5.17

سیم جوش مورد استفاده برای جوشکاری قوسی زیرپودری طبق استاندارد «الکترود لخت» نامیده می شود، بنابراین این طبقه بندی این سیم جوشها با E شروع می شود.

الف) بعد از حرف E یک حرف دیگر نمایانگر مقدار درصد منگنز در سیم جوش می آید:

ب) حرف L برای منگنز کم (ت احداکثر ٦٠٪ درصد)

حرف M برای منگنز متوسط (تا حداکثر ١/٤٠ درصد)

حرف H برای منگنز زیاد (تا حداکثر ٢/٢٥ درصد)

پ) بعد از حرف مربوط به منگنز، عدد یک یا دو رقمی معرف درصد اسمی کربن سیم جوش درج می گردد.

ج) وقتی بدنبال درصد اسمی کربن حرف K بیاید معرف آنستکه سیم جوش از جنس فولاد کشته با سیلیسیوم است.

چ) اگر پسوند N به مشخصه طبقه بندی اضافه گردد بمعنی مناسب بودن سیم جوش برای کاربردهای هسته ای است.

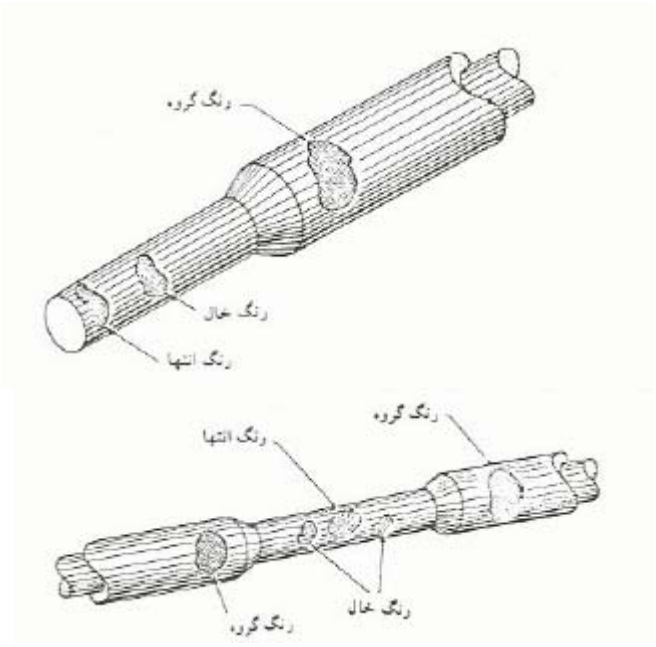
(برای کاربردهای هسته ای درصد گوگرد، فسفر ، واتـادیوم و مـس در فلـز جـوش بایـستی محدود باشد تا بتواند در مقابل شکنندگی ناشـی از تشعـشع مقاومـت نمایـد. بنـابراین سـیم جوشهای درجه N نبایستی روکش مسی یا مواد مس دار داشته باشند).

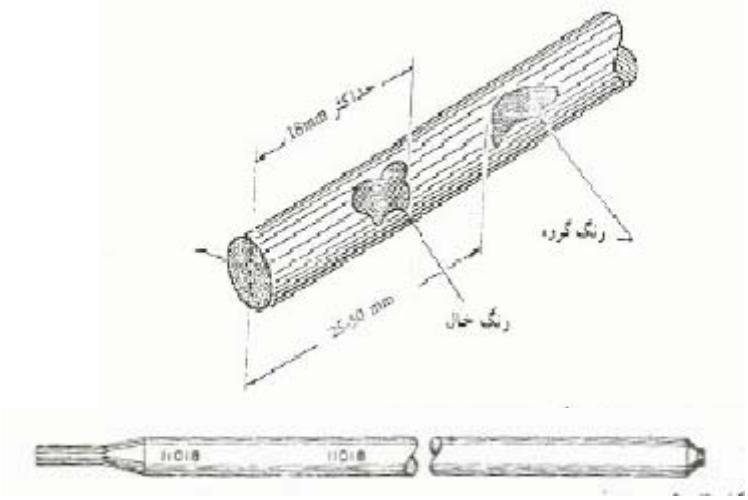
طبقه بندی سیم جوش های بهمراه ترکیب شیمیائی آنها در جدول (۱) درج گردیده است.

شناسائی الکترودها

دو سیستم اصلی برای شناسائی الکترودهای فولادی در صنعت جوشکاری به کار می رود. اولین سیستم شناسائی رنگ برای هر دو نوع الکترود روکش دار و بدون روکش است. این طریقـه شناسـائی توسـط انجمن ملی سازندگان الکتریکی (NEMA) و موسسه جوشکاری آمریکا (AWS) گسترش یافته است.

سیستم دوم شناسائی الکترود فقط برای الکترودهای روکش دار جوشکاری قوسی بکـار مـی رود. ایـن روش مستلزم مهر زدن یا حک کردن شماره طبقه بندی الکترود بر روی پوشش آن می باشد.





پوشش الکترودها

پوشش الکتـــرود یا پودر جوشکاری در جوش زیرپودری دارای چندین نقش اساسی است که بـشرح ذیل بیان می شود:

الف : پایدار کننده قوس می باشد که عمل جوشکاری را آسانتر می کند.

ب : موقع جوشکاری یک فضای گازی شکل در محل جوش بوجود میآورد و حوضـچه جـوش را از ناخالصیها و تماس با هوا محافظت می کند.

ج : پوشش الکترود به صورت سرباره روی نوار جوش می نشیند و از انجماد و سرد شدن سریع فلـز پس از انجماد جلوگیری کرده و بدین ترتیب کیفیت آن را بهبود می بخشد.

د : روکش الکترود در حد وسیعی ترکیب فلز جوش را تنظیم می کند خواه از طریق حفظ ترکیب اصلی مفتول فلزی الکترود یا با اضافه کردن عناصر دیگر . در این روش عناصر آلیاژی به فلز جوش اضافه شده و یا عناصر قبلی اصلاح می شوند.

مقایسه الکترودهای بدون روکش (لخت) و روکش دار

در سالهای نه چندان دور، الکترودهای بدون روکش بطور وسیعی در جوشکاری قوسی به کار می رفتند. حاصل کار، ظاهر ناخوشایندی بود. با وجود داشتن مقاومت کششی رضایتبخش ، شکل پذیری آنها پائین و مقاومتشان در برابر بارهای خستگی و بارهای ضربه ای کم بود.

استفاده از الکترودهای روکش دار، باعث غلبه بر عیوب الکترودهای بدون روکش گردید. وجود روکش در روی مفتول فولادی الکترود، قوس الکتریکی و فلز جوش را در حین عملیات جوشکاری از مرحله ذوب تا انجماد از هوای اطراف محافظت کرده و حاصل این محافظت ، ترکیب فلز جوشی است که دارای خواص قابل مقایسه با فلز پایه می باشد.

امروزه الکترود لخت فقط در جوش زیرپودری و یا تحت محافظت گاز مورد استفاده قرار میگیرد.

انتخاب نوع الکترود و پارامترهای جوشکاری

در بعضی مواقع برای جوشکاری از چند نوع الکترود میتوان استفاده کرد. عواملی که در انتخاب نوع الکترود موثرند عبارتند از :

الف – *ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی فلز مورد نظر:* الکترود باید با فلز مبنا (قطعه کار) سازگار باشد. بدین معنی که ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی الکترود باید با ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی فلز مبنا مطابقت داشته باشد.

ب – *کیفیت محل جوش :* چنانچه فاصله ریشه درز اتصال باز باشد باید از الکترودی که سرباره پرحجم تولید می کند استفاده کرد تا جلو سردشدن سریع فلز جوش را بگیرد. برای درزهائی که باریک می باشد باید از الکترودی که فلز مذاب حاصل از آن روان باشد و بتواند درز باریک را پر کند، استفاده نمود.

ج – *وضعیت جوشکاری :* در جوشکاری حالت قائم و بالاسری که لازم است فلز جوش سریعاً خود را بگیرد ، باید از الکترودهای مخصوص این حالتها استفاده کرد.

د – *شرایط کاربردی :* در بعضی مواقع استحکام زیاد جوش و یا استحکام ضربه ای بالا در دمای زیر صفر مورد نظر است. بنابراین ؛نوع الکترود مصرفی با مواردی که فقط ظاهر تمیز و صاف مورد انتظار است، متفاوت می باشد.

ه – *میزان نفوذ جوش :* بعضی از الکترودها قابلیت نفوذ زیادی دارند و میتوان ورقهای به ضخامت ١٤ تا ١٦ میلیمتر را بدون آمادگی درز، جوشکاری نمود. روکش این نوع الکترودها بسیار ضخیم بوده و ممکن است اسیدی یا روتیلی با کمی مواد سلولزی باشد. ضخامت زیاد روکش اجازه استفاده از شدت جریانهای زیاد را می دهد. بهتر است استفاده از این نوع الکترودها به جوشکاری فولادهای نرم و فولادهای با جوش پذیری کامل محدود گردد.

و – *مهارت جوشکار :* کارکردن با بعضی از الکترودها نیاز به مهارت بیشتری ، جهت ثابت نگه داشتن قوس دارد. یکی از عوامل بسیار موثر در کیفیت و ظاهرجوش ، مهارت در جوشکاری است.

ز – *زمان و هزینه جوشکاری :* الکترود باید از نظر اقتصادی نیز قابل قبول باشد. در انتخاب الکترود باید از الکترودی که بتواند در حداقل زمان درز مشخصی را پر نماید استفاده کرد، چرا که زمان زیادی، موجب بیشتر شدن هزینه جوشکاری می شود.

انتخاب قطر الکترود

انتخاب قطر الکترود به عوامل زیر بستگی دارد:

الف : ضخامت ورق : برای جوشکاری ورقهای ضخیمتر الکترود با قطر بیشتری لازم است . بطور کلی نباید از الکترودی که اندازه قطر آن بزرگتر از ضخامت قطعه کار است استفاده کرد.

ب *: مهارت جوشکار:* هنگام استفاده از الکترود با قطر بیشتر به منظور حرکت دادن الکترود و مهار کردن حوضچه جوش باید از جوشکار با مهارت زیاد استفاده کرد.

ج : *حالت جوشکاری :* در وضعیت جوشکاری قائم و بالاسری، الکترود ضخیم مناسب نیست. بزرگترین قطر الکترود بدلیل اثر نیروی ثقل در این حالتها ۵ می باشد.

د : *بعد جوش :* تناسب بین بعد جوش و قطر الکترود باید طوری باشد که جوشکاری بتواند با بیشترین سرعت ممکن و کمترین دفعات تعویض الکترود، جوشکاری مطلوبی را انجام دهد.

ه : *نوع آمادگی درز :* در مورد جوشکاری ورقهای ضخیم یا درزهای آماده سازی شده V یا جناغی و K، قطر الکترود به لحاظ رسیدن به عمق درز محدود می شود.

حداکثر قطر الکترود برای اولین پاس درزهای لب به لب پنج میلیمتر است ولی برای جوش گوشه از این لحاظ هیچ محدودیتی وجود ندارد.

انتخاب نوع جریان

نوع و شدت جریان به نوع الکترود، نوع قطعات مورد اتصال و ضخامت آنها بستگی دارد . با جریان دایم امکان تغییر قطب گرائی وجود دارد و استفاده از انواع الکترودها امکان پذیر است زیرا می توان قطب گرایی را با توجه به کیفیت مورد نظر تغییر داد. قوس حاصل از جریان دایم پایدارتر از قوس حاصل از جریان متناوب بوده و در نتیجه بعضی الکترودها مانند الکترودهای کم هیدروژن فقط با جریان دائم قابل استفاده اند. در ضمن چون قوس الکتریکی با جریان متناوب را با شدت جریان و ولتاژ کم مشکل میتوان حفظ کرد، برای جوشکاری ورقهای نازک کاربرد با جریان دایم مناسبتر است.

در جریان متناوب ، قطعه کار مغناطیسی نمیشود، زیرا جهت جریان ۵۰ سیکل (صد مرتبه) در هر دقیقه عوض می شود و در نتیجه جهت میدان مغناطیسی حاصل از آن مرتباً در تغییر است. به این ترتیب، خطر انحراف قوس بوجود نمی آید، در حالی که موقع استفاده جریان دایم این مسئله وجود داشته است. با توجه به این نکته که با جریان متناوب می توان از الکترود با قطر بزرگتر و شدت جریان بیشتر استفاده نمود. برای استفاده از الکترودهای با بازده زیاد که روکش آنها گرد آهن دارد و باید با شدت جریان بالا مورد استفاده قرار گیرند، جریان متناوب می تواند جوابگو باشد.

انتخاب شدت جریان ، ولتاژ ، طول قوس و سرعت حرکت الکترود

عوامل متعددی روی شدت جریان و ولتاژ موثرند که مهمترین آنها شامل وضعیت جوشکاری، قطر الکترود، نوع روکش و ضخامت قطعه کار می باشد، اما نمی توان حدود دقیقی برای آنها معین کرد.

برای تقریب اولیه می توان با توجه به ضخامت قطعه کار، آمپر و الکترود با قطر مناسب را در وضـعیت تخت از جدول زیر انتخاب کرد.

تناسب تقریبی شدت جریان با قطر الکترود و ضخامت ورق در وضعیت تخت

قطر الکترود (mm)	ضخامت ورق (mm)	شدت جریان (A)	ولتاژ تقریبی (V)
۳/۲۵-۲/۲۵	٤-۲	۱۰۰-٦۰	۱۷-۱۵
٤-۳/۲۵	٦-٤	۱۵۰-۱۰۰	۲۰-۱۷
۵-٤	۱۰-٦	۲۰۰-۱۵۰	۲۲-۲۰
٦-۵	بزرگتر از ۱۰	٤۰۰-۲۰۰	۲۲

با توجه به وضعیت جوشکاری، در مقدار شدت جریان محدودیت نیز وجود دارد، زیـرا در وضـعیتهای غیر از حالت تخت، شدت جریان زیاد موجب مشکلات قابل توجهی مانند سیلان فلز مذاب جوش بـه اطراف می شود و در نتیجه جوش با ظاهر بد بوجود می آید. بنابراین، مقدار حداکثر جریان با توجه بـه وضعیت جوشکاری مطابق جدول زیر در نظر گرفته می شود:

مقدار حداکثر جریان با توجه به وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری	**حد اکثر شدت جریان**
حالت تخت	**۲۵۰ آمپر**
حالت افقی	**۲۰۰ آمپر**
حالت قائم	**۱٦۰ آمپر**
حالت بالاسری	**۱۵۰ آمپر**

با توجه به مقادیر ذکر شده جهت جوش کاری در سه وضـعیت افقـی ، قـائم و بالاسـری بایـد از الکترودهای با

قطر کوچکتر استفاده شود.این امر موجب می شود تا تعداد پاسهای تولید جوش با بعد معین در وضعیتهای مختلف متفاوت باشد.مثلا در وضعیت تخت با جریان ۳۰۰ آمپر، جوشی با طول ساق ۱۰ میلیمتر را با یک پاس
می توان انجام داد ولی در وضعیتهای دیگر می توان با چندین پاس جوشی با مشخصات مذکور را به وجود آورد.
با توجه به جداول (۱-۳)و(۱- ٤)نوع الکترود ،شدت جریان،ولتازو تعداد پاسهای لازم را می توان انتخاب کرد.
بعد از اتمام یک پاس جوش،جهت انجام دادن پاس بعدی باید گل جوش پاس قبلی کاملا کنده شودتا سطح فلز
جوش قبلی نمایان شده و سپس جوشکاری پاس جدید روی فلز جوش پاس قبلی انجام شود.
آثار هریک از پارامترهای موثر بر خواص فیزیکی و ظاهر جوش به شرح زیر است:

- **شدت جریان**

شدت جریان زیاد ذوب کامل به همراه دارد،ولی موجب ترشح زیاد ذرات ودر بعضی مواقع موجب سوراخ
شدن وسوختن محل جوشکاری می شود.از طرفی شدت جریان کم باعث نقص نفوذ،آمیزش وگرده جوش بی قاعده می شود.

- ولتاژ

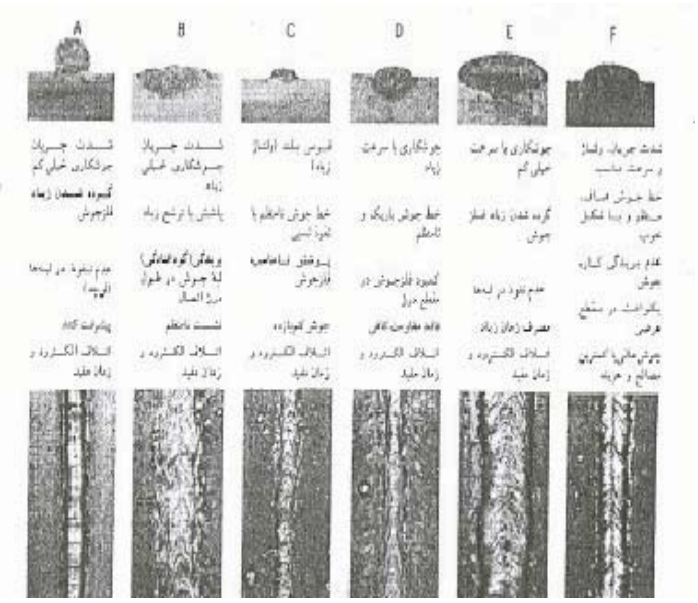
ولتاژ زیاد از حد باعث ایجاد ترشح ذرات و جذب زیاد نیتروژن و موجب به وجود آمدن خلل و فرج در جوش میشود .از طرف دیگر،ولتاژکمتر موجب ایجاد گرده جوش بی قاعده،نقص نفوذ و محبوس شدن سرباره زیاد در
جوش می شود.

- سرعت حرکت الکترود

سرعت حرکت زیاد الکترود باعث تولید گرده جوش باریک ولاغر واحتمالا موجب سوختگی کناره در لبه جوش
می شودوسرعت کم موجب می شود که حوضچه جوش بزرگی به وجود آمده ودر نتیجه سبب سررفتن جوش
شود .

- طول قوس

فاصله نوک الکترود تا حوضچه جوش را طول قوس الکتریکی می گویند.پس از برقرار شدن قوس الکتریکی باید
جوشکار سعی کند که این فاصله را در حد مناسبی حفظ کند.فاصله بیش از حد نوک الکترود از موضع جوش باعث می شود تا ذرات فلز جوش قبل از اینکه به محل جوش برسد سرد شده و موجب به وجود آمدن جوش
غیر یکنواخت و آمیزش ناقص و تداخل گازهای هیدروژن و اکسیژن و نیتروژن در جوش و ترشح و پایین آمدن
کیفیت جوش شود.طول قوس بهتر است به اندازه نصف قطر الکترود نگه داشته شودو نباید بیشتر از قطر الکترود
باشد .


A
B
C
D
E
F

آزمایش الکترود

در این مطالب الکترودهای خاصی مورد نظر نبوده و اعداد مورد قبول برای آن الکترودها داده نـشده تـا بتوان از این مطالب برای الکترودهای گوناگون کشورهای مختلف که بـرای جوشـکاری قوسـی دسـتی فولادهای ساده ساختمانی تهیه و عرضه می شوند، استفاده نمود.

بازدید ظاهری روپوش

روپوش الکترود بایسیتی محکم ، بادوام ، بدون ترک و یکنواخت باشد.

در بازدید ظاهری موارد ذیل مورد توجه قرار میگیرد:

الف – لخت بودن الکترود روپوشدار تا قطر ٦ میلیمتر تا نیم قطر و برای الکترود بزرگتر تا ۳ میلیمتر از سر الکترود مجاز است.

ب – برجستگی ها و سوراخهای تکی باندازه تا یک چهارم ضخامت روپوش مجاز است.

ج – فرورفتگی ناحیه ای نبایستی تعدادشان بیش از سه و طولشان بیش از ۲ میلیمتر و عمقشان بـیش از نصف ضخامت روپوش باشد.

د – منفذها نبایستی تعدادشان بیش از سه عدد در هر ۱۰۰ میلیمتر طول روپوش بوده و قطر هر منفـذ بیش از ۲ میلیمتر وعمق آن نصف ضخامت روپوش بیشتر باشد.

ه – روپوش نبایستی بیش از ۲ ترک موئی و بطول بیشتر از ۱۲ میلیمتر داشته باشد.

استحکام روپوش

طبق استاندارد روسی برای پی بردن به استحکام الکترود آزمایش زیر را انجام می دهند.

الف – الکتـرودهای تـا قطـر ۳ میلیمتر را از فاصله یک متری آزادانه و بطور افقـی بـرروی صـفحه فولادی رها می کنند.

ب – الکترودهای قطر بزرگتر از ۳ میلیمتر را از فاصله نیم متری آزادانه و بطور افقـی بـرروی صـفحه فولادی رها می کنند.

روپوش این الکتروده نبایستی در این سقوط آسیب ببیند.

تبصره : جدا شدن ناحیه ای روپوش که طول آن از ۲۰ میلیمتر تجاوز نکند اشکالی ندارد.

مقاومت روپوش در مقابل رطوبت

روپوش الکترود بایستی در مقابل رطوبت مقاومت کند و پس از آنکه بمدت ٢٤ ساعت در آب ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت علامت خرابی در آن پدیدار نگردد و چسبندگی خود را از دست ندهد.

تبصره : ساختن الکترود با روپوشی که در مقابل گرما مقاوم نباشد مجاز بوده و در اینصورت بایستی در پروانه الکترود ذکر شود.

هم مرکز بودن روپوش

روپوش الکترود بایسیتی با میله الکترود هم مرکز باشد و بطور یکنواخت میله را پوشانده باشد.

اختلاف ضخامت روپوش $e=S_1 - S_0$ نسبت به قطر میله الکترود نبایستی از مندرجات جدول ١٦ تجاوز نماید.

جدول ١٦- اختلاف ضخامت مجاز

اختلاف مجاز ضخامت روپوش میلیمتر $e=S_1 - S_0$	قطر میله الکترود میلیمتر
۰/۰۵	۱/٦
۰/۰۸	۲
۰/۱۰	۲/۵
۰/۱۵	۳
۰/۲۰	٤
۰/۲۵	۵
۰/۳۰	٦

برای تعیین یکنواختی ضخامت روپوش بایستی در سه محل که نسبت بهم تحت زاویه ۱۲۰ درجه قرار داشته و بفاصله ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر از هم باشند، ضخامت روپوش اندازه گیری شود.

ضخامت روپوش بایستی با میکرومتر و با دقت ۰/۰۱ میلیمتر کنترل شود.

کنترل هم مرکز نبودن روپوش را می توان با دستگاههای مخصوص (مغناطیسی و غیره) بدون تخریب روپوش انجام داد.

کیفیت اجرای جوشکاری

جوشکاری الکترود بایستی خصوصیات ذیل را داشته باشد:

الف – قوس بایستی بآسانی روشن شده و پایدار باشد. نوع جریان برق و شدت جریان جوشکاری طبق توصیه سازنده الکترود انتخاب شود.

ب – روپوش بایستی بطور مناسب با میله مغزه ذوب شده تا در انتهای الکترود، روپوش بصورت لوله یا شاخک باقی نمانده و مانع ذوب مداوم الکترود نشود.

ج – روی گرده جوش بایستی سرباره محافظ تشکیل شود که پس از سرد شدن براحتی برداشته شود.

د – فلز درز جوش و فلز مبنا نبایستی ترک داشته باشد.

نمونه برداری

الکترودهائی که دارای نوع و قطر یکسان بوده و روش ساخت واحدی داشته و یک جا عرضه می شوند (پارتی) نام دارند.

برای الکترودهای جوشکاری فولادهای ساختمانی و مقاوم حرارت حداکثر وزن پارتی ۲۰ تن و برای الکترودهای جوشکاری فولادهای عالی حداکثر وزن هر پارتی ۵ تن می باشد.

بازدید ظاهری و اندازه گیری بایستی با برداشتن تا ۰/۵ درصد الکترودها از محلهای مختلف هر پارتی (که از ۱۰ عدد الکترود کمتر نباشد) و بررسی آنها صورت پذیرد.

بازدید ظاهری الکترودها بدون استفاده از وسائل بزرگ نما انجام می شود.

از هر تن الکترود حداقل ۳ الکترود برای هر یک از موارد کنترل ظاهری (استحکام روپوش ، وضعیت ظاهری، مقاومت در مقابل رطوبت و هم مرکز نبودن) انتخاب می شود.

برای کنترل کیفیت جوشکاری و آزمایشات مکانیکی و غیره به تعداد لازم نسبت به قطر الکترود و حجم آزمایش نمونه گیری انجام می شود.

جوشکاری یک بار از اول پلیت بطرف آخر و بار دیگر از آخر پلیت به اول و بالعکس بطور متناوب صورت می گیرد.

ضخامت هر لایه از جوش نبایستی از ۲ میلیمتر کمتر و از ٤ میلمیتر بیشتر باشد.

در فاصله بین جوشکاری دو لایه نمونه در هوای آرام رها می شود تـا بـه درجـه حـرارت ۲۵۰ درجـه سانتیگراد خنک شود. درجه حرار روی سطح وسط درز جوش بوسیله پیرومتر یا وسائل مناسـب دیگـر کنترل می شود.
بعد از اتمام جوشکاری مجموعه آزمایش هیچگونه عملیات حرارتی لازم ندارد و بایستی در هوای آرام خنک شود.
درجه حرارت پلیت مبنا و تسمه زیر سری هنگام شروع جوشکاری لایه اول ۱۰ تا ۳۰ درجه می باشد.

شش نمونه آزمایش ضربه بایستی آماده شده و میانگین این شش نمونه آزمایش جدید بایـستی خواسـته ها را برآورده سازد.

آزمایش درز جوش

اتصال جوش لب بلب برای هر حالـت جوشـکاری (مـسطح ، عمـودی و سـقفی) کـه الکتـرود بـرای جوشکاری در آن حالت توصیه شده انجام می شود.

انواع پودرهای جوشکاری قوسی زیرپودری

پودرهای جوشکاری قوسی زیرپودری از ترکیبات معدنی قابل ذوب در نسبتها و مقادیر متعدد، ساخته شده اند انواع عمومی که پودرهای جوشکاری زیر پودری عبارتند از پودرهای ذوبی ، چسبی و مخلوط مکانیکی که هر نوع پودر دارای بعضی خصوصات منحصر به فردی است که برخواص مکانیکی و شیمیائی فلز جوش، اجرای جوشکاری و انتقال تغییرات محیطی اثر می گذارد.
پودرهای ذوبی از کسید فلز سیلیسیوم (Sio_2) با مقدار کمی از نمک Halide هستند که بطور کامل ذوب شده و تشکیل یک شیشه سیلیکاتی فلزی داده اند. محصول کوره پس از سرد شدن خرد شده و بصورت ذرات با اندازه مناسب برای جوشکاری در می آید.
پودرهای ذوبی را میتوان به دو دسته عمومی و فرعی تقسیم نمود:
دسته ۱- سیلیکاتهای فلزات قلیائی خاکی
دسته ۲- سیلیکاتهائی که در آن منگنز جایگزین تمامی یا قسمتی از فلزات قلیائی خاکی شده است.

پودرهای چسبی مشتملند بر مخلوطهای کامل اکسیدهای فلزات قلیائی خاکی ، منگنز ، آلومینیوم ، سیلیسیوم ، تیتانیوم یا زیرکونیوم.
این مخلوطها نیز دارای عاملهای آرام کننده یا اکسیژن گیرهائی نظیر سیلیکو منگنز، فرومنگنز، فروسیلیسیم یا آلیاژهای مشابه و مقادیر کمی از نمکهای هالوژنه هستند.
آنها همچنین ممکن است دارای عناصر آلیاژی چه بصورت عناصر فلزی یا بصورت فروآلیاژها باشند.
این مواد با چسب مناسبی بیکدیگر چسبانیده شده و طوری عمل آورده شده اند که تشکیل دانه های سختی داده اند و عوامل متشکله بطور یکنواخت در آنها توزیع گردیده اند.
پودرهای مخلوط شده مکانیکی، در این زمینه؛ ممکن است مخلوطهای مکانیکی چندین پودر ذوبی یا چسبی با نسبتهای متغیر یا مخلوطهای مکانیکی مواد معدنی با تقسیمات ریز و اکسیژن گیرهای فلزی در نسبتهای لازم برای اجرای مطلوب باشند.
واکنشهای حین جوشکاری بین الکترود، فلز مبنا و پودر موجب تغییرات در درصد کربن، منگنز و سیلیسیم فلز جوش می گردد.
تغییرات مزبور به ترکیب فلزمبنا، الکترود و پودر و زمان ، درجه حرارت و عناصر درگیر در واکنش بستگی دارد.

تأثیر عناصر آلیاژی برجوش زیرپودری

ترکیب شیمیائی سیم جوشهای زیر پودری ، معمولاً در درصد عناصر کربن، منگنز و سیلیسیوم با هم فرق دارند . درصدهای گوگرد و فسفر نیز ممکن است در بین حداکثر مجاز تغییر کنند.
بعلاوه، وجود عناصر ناخواسته نظیر نیکل، مس یا کرم در فولاد ، میتواند بر خواص فلز جوش و عمل جوشکاری نیز تأثیر گذارند. شدت این اثر با هر پودر و سیم جوش زیر پودری ، می تواند به گونه زیر باشد:

۱- افزایش درصد کربن، منگنز و سیلیسیم در سیم جوش منتج به افزایش عنصر مشابه در فلز جوش می گردد. افزایش منگنز به تنهائی در سیم جوش، بدون تأثیر اساسی بر درصد سیلیسیم ، منگنز در فلز جوش را زیاد می کند.

افزایش کربن در سیم جوش ممکن است واکنسهای منگنز – سیلیسیوم در ذوب را حین جوشکاری تسریع نماید. این واکنش به بازیافت کمتر منگنز و بازیافت بیشتر سیلیسیوم در فلز جوش منتج خواهد شد.

۲- افزایش کربن و منگنز در سیم جوش مقاومت تسلیمی و مقاومت کششی نهائی فلز جـوش را افزایـش می دهد. افزایش سیلیسیوم اثر کمتری دارد.

۳- عناصر ناخواسته نظیر مس ، نیکل و کرم ممکن است به مقدار قابل توجه و موثری مقاومت کششی فلز جوش را زیاد و قابلیت نرمی فلز جوش را کم نماید.

٤- سیم جوشهای دارای منگنز زیاد نظیر E114 خصوصا وقتیکه با پودرهای ذوبی دسته یک بکار برده شوند، سلامت فلز جوش را با کاهش تمایل به ترک خوردن و تخلهل ترقی میدهند.

٥- سیم جوشهای دارای مقادیر زیاد سیلیسیم نظیر EM15K, EM12R, El8K سیالیت ذوب و قابلیت ترسازی را زیاد می کنند. این موضوع به اصلاح شکل گرده ، منظم تر شدن لبه های جوش و سالمتر شدن جوش در سرعتهای جوشکاری حداکثر منتج می شود.

٦- عناصر ناخواسته نظیر مس، فسفر و وانادیوم ممکن است حساسیت رسوب جوش را به شکنندگی ناشی از تشعشع (کاهش مقاومت ضربه ای) و مقاوم کردن ناشی از تشعشع (افزایش مقاومت تسلیمی) در مقادیر قابل توجهی افزایش دهد.

فصل پنجم

بررسی مدارک جوشکاری

مراحل ونحوه تأئید مشخصات دستورالعمل جوشکاری

هدف از تنظیم یک WPS مشخص کردن جزئیات فرآیند جوشکاری یک قطعه یا ماده مورد نظر است. برخی کارخانه ها برای تولیدات خود یک گواهی کیفیت نیز تنظیم می کنند تا بوسیله آن شرایط آماده سازی، چک کردن و تأئید مشخصات بیان شده در روش جوشکاری کنترل شود. مآخذ اصلی گواهی کیفیت جوشکاری مخازن تحت فشار ASME IX Boiler and Pressure Vessels Code است .

مشخصات روش جوشکاری می بایست بر اساس نیازهای سازنده و بنا به تأئید مشاور طرح تنظیم شود. ذکر جزئیاتی که ذیلا" بدان اشاره می شود در هر WPS لازم القید است. مآخذ مورد استفاده این درس ASME.IX می باشد.

امروزه خواسته های کیفیتی جوش جهت کسب استانداردهای ISO 9000 باید بر اساس EN-729 تنظیم گردد. این استاندارد از چهار بخش به ترتیب راهنما انتخاب و استفاده ، خواسته های کیفیت کامل، خواسته های کیفیتی استاندارد و خواسته های کیفیتی ابتدائی جوشکاری را مطرح می سازند.

مشابه آنچه ASME IX در رابطه با کنترل کیفیت جوشکاری مخازن تحت فشار مطرح ساخته از استاندارد AWS D.1.1 برای سازه های فلزی طرح شده است. استاندارد عمومی تعیین کیفیت جوش قبل از EN729 در انگلستان BS4870 بوده است. در رابطه با جوشکاری مخازن اتمسفری و خطوط لوله گاز نیز معیارهای تعیین کیفیت به ترتیب API650 و API1101 آمده است.

مشخصات سربرگ فرم WPS :

در فرم ضمیمه شماره (۲) نمونه ای از آخرین WPS پیشنهادی ASME آمده است. بسته به شرایط کاری هر شرکت این فورمت قابل تغییر است. مطابق با کد ASME Sec. IX، در فرآیندهای مختلف جوشکاری، متغیرهای جوشکاری به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

الف) متغیرهای اساسی (Essential)

پارامترهائی هستند که در صورت تغییر آنها در یک WPS ، یک PQR جدید باید تدوین و تهیه شود.

ب) متغیرهای غیراساسی (Nonessential)

پارامترهائی هستند که صرفا" برای اطلاع در WPS قرار می گیرند و در صورت تغییر آنها ، احتیاج به انجام آزمایش مجدد و تهیه PQR جدید نمی باشد.

ج) متغیرهای مشروط (Supplementary Essential)

پارامترهائی هستند که در صورتی باعث تغییر PQR مربوط به یک WPS می شوند که در مشخصات فنی نسبت به انجام تست ضربه جهت تعیین کیفیت ،PQR ، اشاره شده باشند.

نمونه ای از متغیرهای فرآیندهای SMAW, SAW در ضمیمه شماره (٤) آورده شده است.

مشخصات اولیه یک WPS عبارتست از:

۱- شماره سری مشخصات روش جوشکاری (.Welding Procedure Specification No)

۲- تاریخ تنظیم WPS (Date)

۳- شماره بازبینی ها (Revisions)

٤- تاریخ بازبینی

٥- شماره سری گزارش کیفیت روش جوشکاری (.Supporting PQR No)

٦- روش یا روشهای مورد استفاده جهت جوشکاری ((Welding process (es)

بهتر است که فرآیندهای جوشکاری با نام اختصاری نشان داده شوند.

نحوه انجام فرآیند جوشکاری (Type)

بعنوان مثال: دستی (Manual) ، اتوماتیک ، نیمه اتوماتیک، ماشینی می توانند طرق مختلف اعمال یک فرآیند باشند. جوشکاری قوس با الکترود روپوش دار در صورت استفاده از الکترودهائی با طول محدود و به صورت دستی Manual تلقی می شود. روشهائی مانند FCAW در صورت جوشکاری دستی ، نیمه خودکار به حساب می آیند و اگر پیک آنها بر روی ماشین قرار گیرد و بطور خودکار حرکت کند، از آنجائیکه انتقال مفتول نیز خودکار بوده فرآیندی ماشینی (Machine) یا تمام اتوماتیک به حساب می آید.

لازم به تذکر است که ذکر مطالبی چون : نام شرکت یا کارخانه تولیدی، نام مشاور یا ناظر بر جوشکاری، نام قطعه یا عنوان پروژه و نظائر آن نیز باید در همین قسمت از فرم WPS بیایند.

طرح اتصال (Joints)

مشخصات طرح اتصالی که روش جوشکاری برای آن نوشته می شود بر اساس کد (QW-402) می بایست در قسمتی از فرم WPS درج شود. در صورت تمایل و نیاز، فرآیند پخ سازی مورد نظر نیز قابل ذکر است. معمولا" آماده سازی شیار یا پخ جوشکاری به یکی از روشهای برش اکسیژن، استفاده از الکترودهای کربنی، برش قوس پلاسما یا روشهای مختلف ماشین کاری انجام می شود. بهتر است ماشین کاری 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 و اشاره بدان در این قسمت از WPS امکان پذیر است.

بهتر است که مشخصات شیار چه بصورت کامل و چه اختصاری نشانگر پارامترهای ذیل باشد:

الف – نوع اتصال جوشکاری

ب – نفوذ جوش و ضخامت قطعه مورد جوشکاری

ج – شکل شیار جوشکاری

پشت بند (Backing)

بنا به صلاحدید طراحی و به منظور مواردی چون جلوگیری از اکسید شدن مذاب شیار جوش ، عدم ریزش مذاب از پشت شیار، افزایش یا کاهش سرعت انجماد در پشت جوش، اطمینان از خالی نماندن یا ایجاد زیر برش در قسمت پشتی جوش و غیره از تسمه ای فلزی ، جریان گاز یا فلاکس به عنوان

پشت بند استفاده می شود . در این قسمت از WPS با تأئید یا عدم تأئید در مورد استفاده از پشت بند اشاره می شود.

فلزات پایه (Base Metals)

ذکر نوع و ترکیب شیمیائی فلز مورد جوشکاری از جمله مهمترین مطالب قابل ذکر در **WPS** است. عنوان نمودن شماره استاندارد تقسیم بندی، ترکیب شیمیائی یا عملیات حرارتی خاص که قبل از جوشکاری باید روی ورق انجام شود در انتخاب سایر مشخصات فرآیند جوشکاری منجمله پیشگرم ، پس گرم ، انتخاب الکترود و تکنیک کار دخیل است.
مشخصات فلز پایه معمولا" بر اساس کد ASME (QW-403) انتخاب می شود.

عدد مشخصه .PNo

جهت کاهش تعداد فرمهای WPS و PQR فلزات پایه تحت عددی بنام P تقسیم بندی می شوند. در صورتی که برای آزمایش کیفیت فولاد تست ضربه لازم باشد تقسیم بندی جزئی تر شده و Group .No نیز مطرح می شود اساس تقسیم بندی های فوق الذکر ترکیب آلیاژ ، جوش پذیری و خصوصیات مکانیکی است. لیکن 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 صورت نیاز به آزمایش ضربه فلز پایه می بایست خصوصیات ویژه ای داشته باشد.
همچنین در ضمیمه شماره (۳) قسمت هائی از مشخصه .PNo آمده است.

در کدهای فوق الذکر .Gr-No نیز آمده است. در QW-424 ذکر شده، در صورتیکه آلیاژ در جداول QW-422 موجود نباشد بجای .P-No می توان مشخصات (Specification) ، نوع و درجه (Type &

(Grade) ترکیب شیمیائی (Chemical Analysis) یا خصوصیات مکـانیکی (Mechanical Properties) آلیاژ مورد جوشکاری را در WPS قید کرد.

محدودیت ضخامت (Thickness Range)

ضخامـــت مقطـــع مورد جوشکاری در این قسمت ذکر می شودبر اسـاس ASME بـرای کمتـر شـدن تعداد WPS می توان از محدوده ضخامت زیر استفاده کرد :

الف – ضخامت کمتر از 1/16 اینچ　　ب – 3/8> ضخامت > 1/16 اینچ

ج – 3/4 > ضخامت > 3/8 اینچ　　د – 1,1/2 > ضخامت > 3/4 اینچ

ه – ضخامت بالای 1,1/2 اینچ

سیم جوشها (Filler Metals)

الکترودها می بایست قبل از مصرف خشک شوند. روکش تمام کلاسهای الکترود تقریبا" کم هیـدروژن است. الکترودهای کلاس AWS A5.1 نیز به منظور عدم جذب هیدروژن توسط روکـش بایـد کـاملا" عایق بسته بندی شوند. درصورت باز شدن روکش عایق این الکترودها لازمست تـا قبـل از مـصرف ۲ ساعت در دمای C° 230-260 پیشگرم و خشک شوند.

الکترودهای کلاس AWS A5.5 روکش کم هیدروژنی دارند از اینـرو مـی بایـست قبـل از مـصرف ۱ ساعت در C° 370-430 خشک شوند. تمامی الکترودها بهتر است به محض باز شدن بسته بندی و قبل از مصرف در خشک کنی با حداقل ۱۲۰ درجه سانتیگراه نگهداری شوند.

پس از باز شدن درب بسته بندی یا خروج الکترودها از خشک کن الکترودها نباید پیش از زمان مندرج در ستون A از جدول (۱) در معرض اتمسفر قرارگیرند.

در صورتیکه الکترودی در محدوده زمانی ستون B جدول (۱) در اتمسفر قـرار گرفـت لازمـست تـا از نظر جوشکاری، بازبینی ظاهری و خواص دیگری که درAWSA5.5 آمده آزمایش شود.

الکترودی که با شرایط جدول (۱) سازگار باشد لازم نیست بیش از یک بار خشک شـود. الکترودهـای خیس شده به هیچ وجه قابل استفاده نیستند. لازم به تذکر است که تولید کنندگان الکترود موظفند تا در صـورت تمایـل خریـدار برگـه تأئیدیـه (Certificate) محصولـشان را در اختیـار ایـشان قـرار دهنـد. (AWS/A5.5)

جدول (۱)- زمان مجاز در اتمسفر قرار گرفتن الکترودهای کم هیدروژن

Electrode	Column A (Hours)	Column B (Hours)
A5.1 E70XX	4 max	Over 4 to 10 max.
A5.5		
E70XX	4 max	Over 4 to 10 max
E80XX	2 max	Over 2 to 10 max
E90XX	1 max	Over 1 to 5 max
E100XX	1/2 max	Over 1/2 to 4 max
E110XX	1/2 max	Over 1/2 to 4 max

عدد FNo

.FNo در حقیقت یک تقسیم بندی برای الکترودهاست در کد QW-432 از ASME طی جداولی بدان اشاره شده که البته در ضمیمه این جزوه آمده است. اساس این تقسیم بندی موارد استفاده ، کاهش تعداد WPS, PQR های یک پروژه و مشابهت خصوصیات جوشکاری سیم جوش بوده است.

در جدول (۲) چگونگی تقسیم بندی .F-No آلیاژهای مختلف آمده است.

جدول (۲) - .F-No آلیاژهای مختلف

QW	F-No.	نوع آلیاژ سیم جوش
432.1	1-6	آلیاژهای فولادی
432.2	21-24	آلومینیوم و آلیاژهای پایه A1
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	زیرکونیم و آلیاژهای پایه Zr
432.7	71-72	آلیاژهای روکش کاری و سخت کاری سطحی

آنالیز فلز جوش یا عدد .ANo

ANo. تنها در مورد آلیاژهای آهنی کاربرد دارد. بر اساس کد ASME (QW-404.5) ابتدا آنالیز جوش در هر فرآیند به روش زیر باید محاسبه شده و سپس بر اساس A-No. (QW-442) تشخیص داده شده و در قسمت مربوطه WPS درج گردد.

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

ب – برای ESW, GMAW یا از مشخصات ارائه شده توسط سازنده استفاده می شود. یا اینکه با شرایطی مشابه استاندارد نمونه آنالیز تهیه می شود. در هر دو صورت گاز محافظ باید گاز مورد استفاده در فرآیند باشد.

ج – برای SAW نیز یا از مشخصات سازنده تحت شرایط استفاده از فلاکس مشابه فرآیند اجرائی استفاده می شود و یا تحت شرایط کاری نمونه آنالیز تهیه می شود.

شماره مشخصات (Spec.No. (SFA)

بیش از بیست شماره مشخصات سیم جوش توسط ASME تعیین شده است. این تقسیم بندی در ASME با یک پیشوند SF همراه است. در جدول (۳) شماره مشخصات اقسام سیم جوش ها بر اساس کد بندی AWS آمده است:

جدول (۳)- شماره مشخصات خانواده های مختلف سیم جوش

شماره مشخصات	نوع سیم جوش
A5.1	مشخصات الکترودهای جوشکاری قوس فولاد معمولی
A5.3	مشخصات الکترودهای جوشکاری قوس آلومینیوم و آلیاژهای آلومینیومی
A5.4	مشخصات الکترودهای روکش دار فولاد زنگ نزن کرومدار و کروم نیکل
A5.5	مشخصات الکترودهای روکش دار فولاد کم آلیاژ ویژه جوشکاری قوس
A5.6	مشخصات الکترودهای روپوشدار مس و آلیاژهای آن
A5.7	مشخصات سیم جوش و الکترودهای سخت مس و آلیاژهای آن
A5.8	مشخصات سیم جوش لحیم کاری (Brazing)
A5.9	مشخصات سیم جوش لخت فولاد زنگ نزن کرومدار و کرومی نیکلی همچنین سیم جوشها و الکترودهای لایه لایه ، کامپوزیت و توپر
A5.10	مشخصات سیم جوش و الکترود لخت برای جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آن
A5.11	مشخصات الکترودهای روکش دار نیکل و آلیاژهای آن
A5.12	مشخصات الکترودها و سیم جوش لخت جوشکاری TIG
A5.13	مشخصات الکترودهای روکش دادن سطحی
A5.14	مشخصات سیم جوش و الکترودهای لخت نیکل و آلیاژهای آن
A5.15	مشخصات سیم جوشها و الکترودهای روکش دار جوشکاری چدن

A5.16	مشخصات سیم جوش و الکترودهای تیتانیوم و آلیاژهای آن
A5.17	مشخصات الکترودهای لخت فولاد کربنی و فلاکس برای SAW
A5.18	مشخصات الکترودهای فولاد معمولی ویژه GMAW
A5.19	مشخصات سیم جوش و الکترودهای لخت آلیاژهای منیزیم
A5.20	مشخصات الکترودهای توپودری فولاد معمولی ویژه جوشکاری قوس
A5.21	مشخصات الکترودها و سیم جوشهای روکش کردن کامپوزیت
A5.22	مشخصات الکترودهای توپودری فولاد زنگ نزن کرومدار و کروم نیکل
A5.23	مشخصات الکترودهای لخت فولاد کم آلیاژی و فلاکس برای SAW
A5.24	مشخصات الکترودها و سیم جوش لخت جوشکاری زیرکونیم و آلیاژهای آن

معمولا" سازندگان الکترودهای جوشکاری شماره مشخصات (.SFA.No) ارائه می کنند در غیر اینصورت با استفاده از جدول (۳) این قسمت تکمیل می شود. در صورت عدم وجود SFA می توان نام تجاری الکترود را در این قسمت ذکر کرد.

شماره کلاس و استاندارد ASM الکترود ([AWS No. [Class]):

استانداردهای گوناگونی برای نام گذاری الکترودها وجود دارد مانند : DIN, BS, JIS, AWS, ISO , ... برای الکترودهای روکش دار کلاس A5.1 جوشکاری با قوس الکتریکی نامگذاری به روش AWS ابتدا باحرف E به معنای الکترود آغاز می شود، دو عدد اول پس از E نشان دهنده استحکام کششی فلزجوش الکترود بر حسب Ksi می باشد (در الکترودهای استحکام بالا سه عدد اول مانند E11013G) مثلا":

E60XX, E70XX, E80XX, E90XX, E110XX, E120XX, اولین عددی که پس از دو رقم استحکام می آید نشان دهنده وضعیت جوشکاری قابل اجرا با این نوع الکترود است:

الف – EXX1X: جوشکاری در چهار وضعیت (OH,H,V,F) امکان پذیر است.

ب – EXX2X: جوشکاری در وضعیتهای تخت واقعی (H,F) امکان پذیر است.

ج – EXX3X: جوشکاری فقط در حالت تخت (F) امکان پذیر است.

آخرین عددی که در نامگذاری الکترود به روش AWS می آید از 0- 8 متغیر است و نشان دهنده کلاس روپوش الکترود، نوع برق و سایر خصوصیات گروه جوش می باشد .
در مورد الکترود یا سیم جوش کلاس A5.4 فولادهای زنگ نزن نام استاندارد آمریکائی (ASTM) فولاد زنگ نزنی که آنالیز مشابه با ترکیب سیم جوش یا الکترود دارد. پس از حرف (E) (در مورد جوشکاری قوس) آورده می شود. به عنوان مثال E316 L-16 یا E310 یا E304 سیم جوشهای ویژه جوشکاری با فرآیندهای OFW بجای حرف E با G آغاز می شوند مانند G316 که سیم جوش فولاد زنگ نزن باترکیب آلیاژ فولاد ASTM316 است.
به منظور فراگیری نحوه نامگذاری سایر کلاسهای الکترودهای فرآیند FCAW, GMAW, SAW, ... لازمست تا به استاندارد ASME II-Part C مراجعه شود.

سایز الکترود (Size of Electrode):

برای انجام با صرفه ترین جوش انتخاب اندازه الکترود قطر میله مغزی) باندازه انتخاب نوع الکترود اهمیت دارد. در انتخاب اندازه الکترود موارد زیر مورد توجه قرار می گیرند: طرح اتصال ، ضخامت لایه های جوش، حالت جوشکاری ، حرارت قابل تحمل توسط قطعه و مهارت جوشکار.
تعداد لایه ها یا پاسهائی که جوش احتیاج دارد بطور عمده بستگی به طرح اتصال ، اندازه الکترود ، ضخامت فلز پایه، حالت جوشکاری دارد. اندازه مناسب الکترود برای مصرف در جوشهای مختلف برای اتصالات و حالات جوشکاری مختلف ذیلا" بیان شده است:

الف – برای جوش لوله یا سایر اتصالاتی که احتیاج به ذوب خوب در ریشه دارد و امکان جوشکاری از پشت جوش نیست ، حداکثر الکترود به قطر 3.25 تا 4 میلیمتر برای پاس اول پیشنهاد می شود. برای جوشکاری پاسهای دیگر در تمام حالات الکترودهای قطر 4 تا 5 میلیمتر می تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای جوشکاری در حالت تخت از الکترودهای با قطر بالای 5

میلیمتر نیز استفاده می شود. در لوله های قطر کم پاس اول با الکترود قطر 2.5 و سایر پاسها با الکترودهای قطر 4 ،3.25 قابل جوشکاری است.

ب – در جوشکاری اتصالات V شکل یا جناغی یک طرفه که دارای تسمه های در پشت اتصال می باشند در حالت تخت برای پاس اول می توان از الکترود قطر 5 و برای پاسهای دیگر از الکترود بزرگتر استفاده کرد.

ج – برای جوشکاری گوشه ای در حالت تخت و سربه سر غیر تخت الکترود 5 میلیمتری حداکثر قطری است که عملا" مصـــرف مـــی شود و در این حالت نیز اغلب پاس اول با الکترود قطر 4 میلیمتر جوشکاری می شود.

ه – در مورد الکترودهائی که با روکش کم هیدروژن اندازه معمول برای جوشکاری عمودی و بالا سر قطرهای 4 ، 3.25 میلیمتر و برای جوشکاری تخت و افقی قطر 5 یا بزرگتر می باشد.

وضعیت جوشکاری (Position)

بر اساس کد ASME (QW-405) قطعات مورد جوشکاری در یکی از چهار وضعیت زیر قرار دارند.

الف: تخت (Flat)

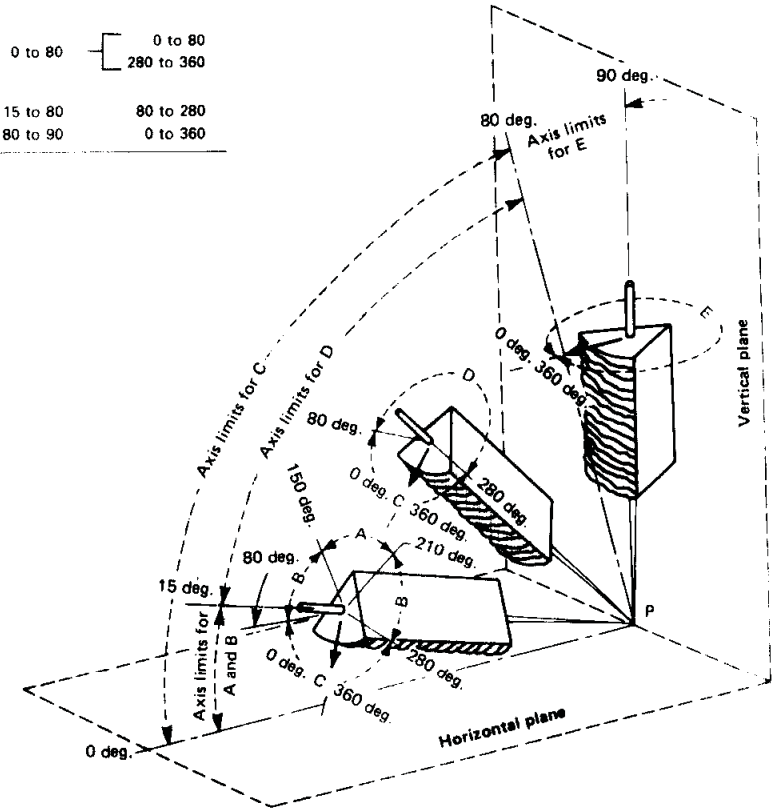
ب : افقی (Horizontal)

ج : عمودی (Vertical)

د : بالای سر (Over head)

در اشکال ۱ تا ٤ جهت و زوایائی که هر یک از چهار حالت فوق اتفاق می افتد نشان داده شده است.

Tabulation of Positions of Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis, deg.	Rotation of Face, deg.
Flat	A	0 to 15	150 to 210
Horizontal	B	0 to 15	80 to 150 210 to 280
Overhead	C	0 to 80	0 to 80 280 to 360
Vertical	D	15 to 80	80 to 280
	E	80 to 90	0 to 360



GENERAL NOTE:

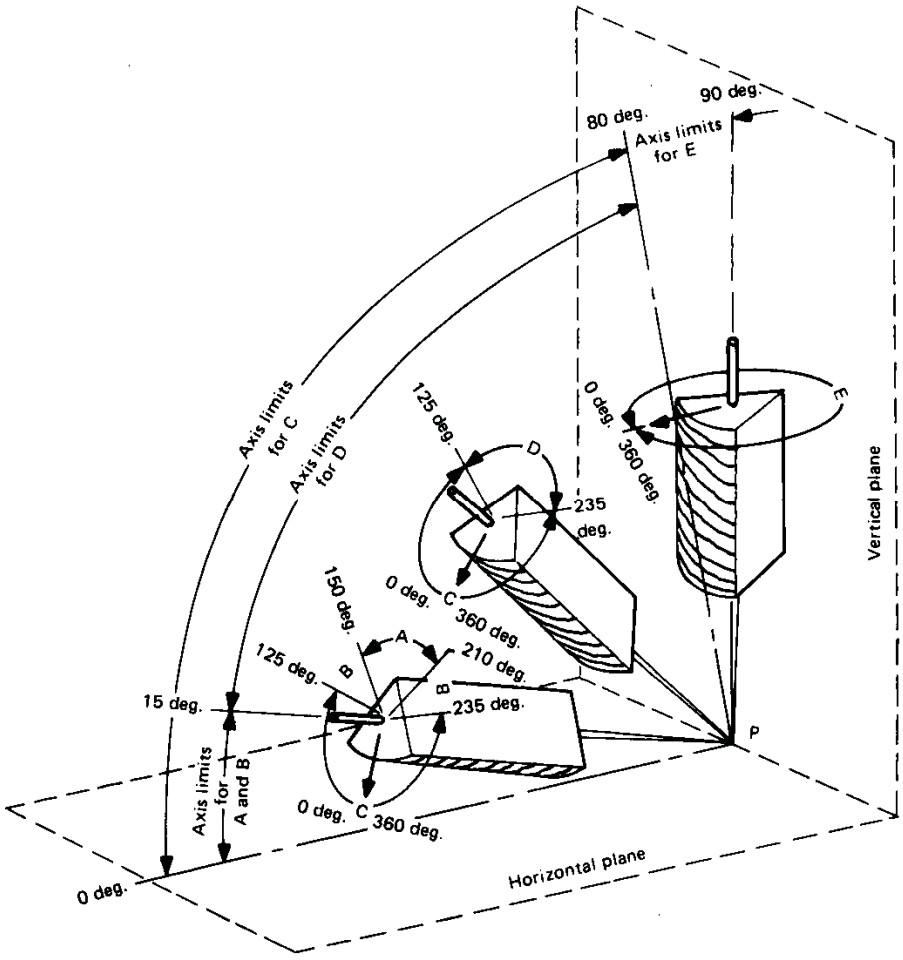
The horizontal reference plane is taken to lie always below the weld under consideration.

Inclination of axis is measured from the horizontal reference plane toward the vertical.

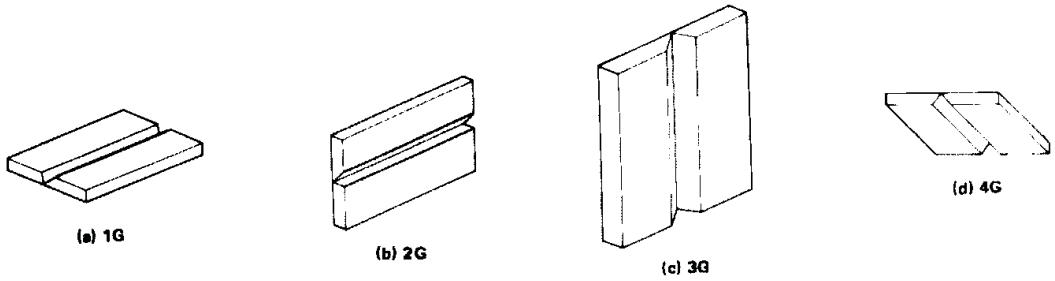
Angle of rotation of face is measured from a line perpendicular to the axis of the weld and lying in a vertical plane containing this axis. The reference position (0 deg.) of rotation of the face invariably points in the direction opposite to that in which the axis angle increases. The angle of rotation of the face of weld is measured in a clockwise direction from this reference position (0 deg.) when looking at point *P*.

شکل ۱ - وضعیتهای مختلف جوشکاری شیاری (Groove Weld)

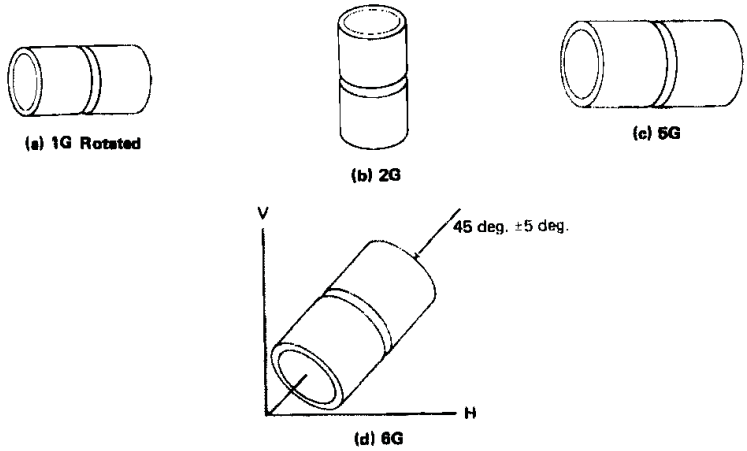
Tabulation of Positions of Fillet Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis, deg.	Rotation of Face, deg.
Flat	A	0 to 15	150 to 210
Horizontal	B	0 to 15	125 to 150 210 to 235
Overhead	C	0 to 80	0 to 125 235 to 360
Vertical	D	15 to 80	125 to 235
	E	80 to 90	0 to 360



شکل ۲- وضعیت های مختلف جوشکاری گوشه (Fillet Weld)

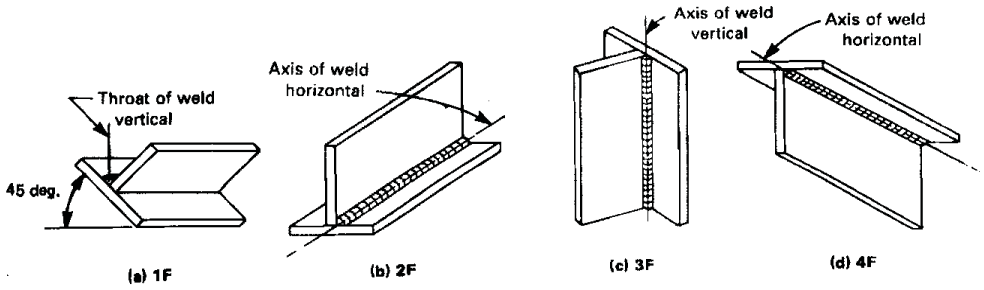


QW-461.3 GROOVE WELDS IN PLATE — TEST POSITIONS

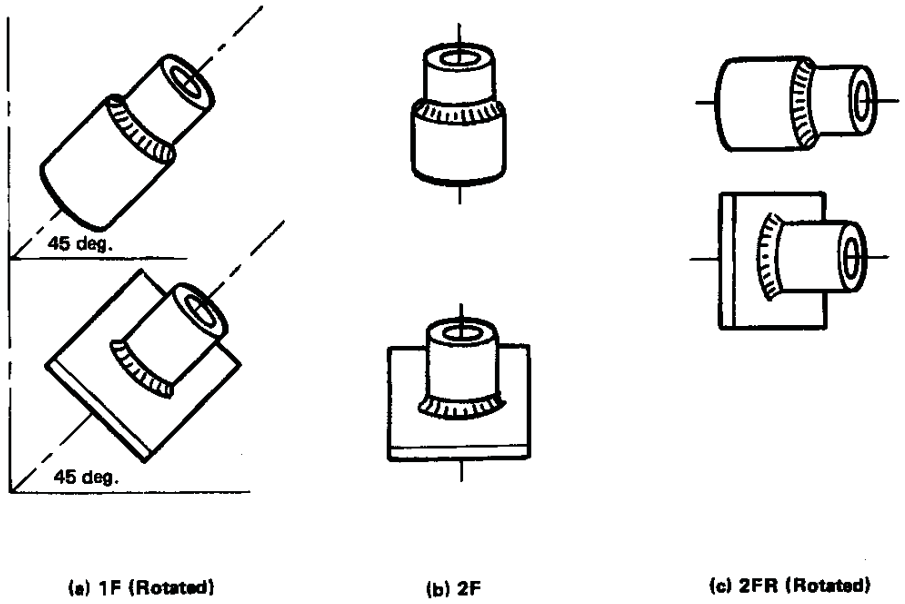


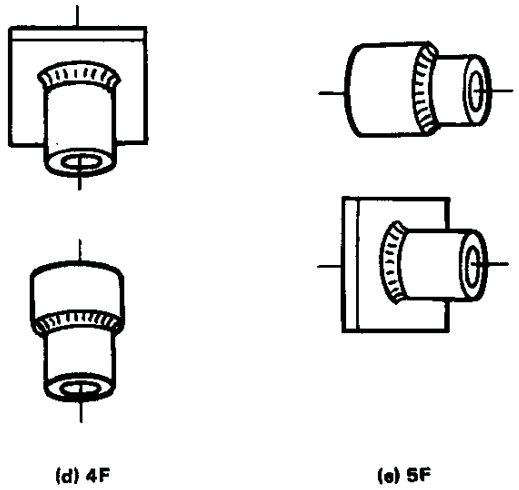
QW-461.4 GROOVE WELDS IN PIPE — TEST POSITIONS

شکل ۳- وضعیت قرارگیری قطعه در جوش Groove



QW-461.5 FILLET WELDS IN PLATE — TEST POSITIONS





شکل ٤- وضعیت قرارگیری قطعه در جوش Fillet

جدول (٤) - کد اختصاری وضعیتهای جوشکاری

جوشکاری شیاری ورق		جوشکاری شیاری لوله		جوشکاری گوشه ای ورق		جوشکاری گوشه ای لوله	
وضعیت	علامت	وضعیت	علامت	وضعیت	علامت	وضعیت	علامت
تخت	1G	چرخش افقی لوله	1G	تخت	1F	لوله مورب با چرخش	1F
افقی	2G	لوله در حالت عمودی	2G	افقی	2F	لوله ثابت عمودی	2F
عمودی	3G	لوله افقی ثابت	5G	عمودی	3F	لوله افقی با چرخش	2FR
بالای سر	4G	لوله مورب ثابت	6G	بالای سر	4F	لوله عمودی جوش بالای سر	4F
						لوله افقی ثابت (تمامی حالات)	5F

وضعیت شیار (Position of Groove)

با استفاده از علامت های اختصاری دو ستون سمت راست جدول (٤) وضعیت شیار مشخص می شود. در مورد جوشکاری ورق و لوله علامتها متفاوتند.

پیشگرم (Preheat):

معمولا" برای جلوگیری از ترکیدگی، پیچیدگی و پیدایش فازهای ناخواسته و ... قبل از جوشکاری ، قطعه پیشگرم می شود. همچنین در حین عملیات جوشکاری، کنترل دمای بین پاسی از نظر بالاتر نرفتن از یک حد مجاز و عدم تنزل به کمتر از دمای پیشگرم باید انجام پذیرد. این عمل معمولا" بوسیله گچ های حرارتی صورت می پذیرد. بنا به تغییر رنگ یا ذوب شدن گچ های حرارتی در درجه حرارت خاص دمای قطعه قابل کنترل خواهد بود.

بجز فرآیندهای جوشکاری (Stud Welding) , EGW, ESW حداقل دمای پیشگرم و حداکثر درجه حرارت بین پاسی می بایست بر اساس QW-406 و با توجه به ضخامت ورق مربوطه تعیین شوند.

عملیات حرارتی پس از جوشکاری (تنش زدائی)(Postweld Heat Treatment) :

***) درجه حرارت (Temperature)**

از آنجائیکه رایج ترین حالت عملیات حرارتی تنش زدائی پس از جوشکاری است معمولا" درجه حرارت مربوط به تنش زدائی جوش به شرح ذیل در این قسمت ذکر می شود:

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

ب - برای سایر فولادها در محدوده 650 C° (1100-1200 F°)

ج – درجه حرارت کوره به هنگام قراردادن نمونه در آن نباید از (315 C°) 600 F تجاوز نماید.

د – بالای 315 C°نرخ گرم کردن نباید از 220 C° /hr تجاوز نماید و این نرخ گرم با تقسیم نمودن 220/t که ضخامت قطعه برحسب اینچ است بدست می آید.

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

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

ز – در سردکردن قطعه نرخ سرمایش نباید از 260 C°/hr تجاوز نماید. این نرخ با تقسیم 260/t که ضخامت بزرگترین قطعه برحسب اینچ است محاسبه می شود.

برای تنش زدائی لوله ها، مخزن ها و اشکال دوار با استفاده از ضخامت معادل مقطع محاسبه شده و پس از مقایسه بیشترین ضخامت مقطع حقیقی قطعه با مقدار فوق الذکر، زمان نگهداری و نرخ گرمایش و سرمایش بدست می آید.

***) زمان نگهداری (Time Renge)**

زمان لازم جهت تنش زدائی بسته به هر اینچ ضخامت قطعه تغییر می کند. معمولا" در مورد فولادهای کونچ تمپر، درجه حرارت کمتر از دیگر فولادها اختیار می شود لذا باید زمان تنش زدائی افزایش یابد.

***) نوع گاز محافظ (Shielding Gas(es)**

به عنوان مثال گازهای Argon، CO2 یا مخلوط این دو (Ar-CO2) ، نیتروژن و در صورتیکه برای محافظت حوضچه مذاب از اتمسفر استفاده شوند در این قسمت قید می شود. ممکن است در فرآیندهای جوشکاری با الکترود توپودری یا حتی الکترود 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 لازمست .

در فرآیندهای جوشکاری با سوخت گازی (OFW) یا Oxyfuel Welding در این قسمت سوخت مورد مصرف قید می شودف بعنوان مثال : اکسیژن ، اکسی استیلن ، بوتان یا مخلوط اکسیژن و اکسی استیلن.

***) مشخصات الکتریکی (Electrical Characteristic)**

تغییر در نوع و قطبیت جریان الکتریکی، افزایش در گرمای ورودی و یا افزایش حجم و میزان فلز جوش رسوب داده شده بر واحد طول جوش باعث تغییر کیفیت جوش می شوند و میزان گرمای وارده از رابطه محاسبه می شود:

$$\text{Heating Pnt} \quad \frac{V * I * 60}{Speed(in/\min)}$$

همچنین میزان فلز جوش با افزایش اندازه گرده جوش و یا کاهش طول خط جوش به ازای هر الکترود، متناسب است. در قسمتهای 44 تا 48 از WPS نمونه (۱) مشخصات الکتریکی بر اساس کد (QW-409) آمده است.

***) نوع جریان مستقیم یا متناوب (Current AC or DC)**

برخی الکترودها با جریان AD, DC بهتر کار می کنند . در صورت استفاده از جریان DC نشان دادن قطبیت جریان نیز لازمست.

برای انتخاب جریان AC یا DC در برگه مشخصات سازنده الکترود توصیه هائی آمده است. شروع قوس با AC مشکل تر است و معمولا" در فرآیندهائی که شروع قوس مشکلی ندارد (مانند TIG) استفاده می شود.

***) قطبیت (Polarity)**

در صورت انتخاب جریان DC اتصال الکترود به قطب مثبت یا منفی می تواند بر درجه حرارت ایجاد شده در قوس و عمق نفوذ جوش تأثیر بگذارد. معمولا" با اتصال الکترود به قطب مثبت عمق نفوذ افزایش می یابد. قطبیت با علامتهای اختصاری زیر نشان داده می شود.

الف – اتصال الکترود به قطب مثبت در جریان مستقیم DCEP=Direct Current Electrode Positive

ب – اتصال الکترود به قطب منفی در جریان مستقیم DCEN= Direct Current Electrode Negative

بر اساس قرارداد DCEN پلاریته مستقیم و DCEP پلارتیه معکوس قلمدارد می شوند.

***) تکنیک و روش کار : (Technique)**

نکات تکنیکی روش جوشکاری باتوجه به کد ASME (QW-410) بیان می شوند.

***) گرده زنجیری یا موجی (String or Weave Bead)**

در این قسمت شکل گرده موردنظر ذکر می شود . در مواردی که گرده های نازک کافی بوده ویا کمترین حرارت وارد به قطعه لازمست، از گرده های زنجیر استفاده می شود زیرا سرعت حرکت دست در این تکنیک بیشتر است. گرده های موجی به اشکال گردشی و هلالی اجرا می شوند.

***) سایر کلاهک ، نازل یا سوراخ عبور گاز (Orifice or Gas Cup Size)**

در فرآیندهای جوشکاری با گاز محافظ اشاره به موارد فوق لازم است.

***) تمیزکاری اولیه و بین پاسی (برس زدن ، سنگ زدن و غیره)**

(Initial & Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc))

تمیز کردن سطح قبل از انجام جوشکاری مانند زدودن زنگارها، چربی ها و کثیفی های قطعه باعث افزایش کاهش کیفیت جوش می شود. همچنین در حین عملیات جوشکاری چند پاسی و در اتمام کار. تمیزکردن سطح اعم از پاک کردن سرباره حاصله و غیره باعث کاهش و حذف عیوب جوش نظیر سرباره محفوظ در مذاب و آخال و غیره خواهد شد.

روشهای اعمالی معمولا" برس زدن ، استفاده از اسکنه و چکش ، سنگ زدن ، استفاده از فرز انگشتی و ... است.

***) روش برداشتن پشت جوش (Method of Back Gouging)**

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

الف – قوس حاصل از الکترود کربنی (Air Carbon arc Gouging)

ب – برداشتن بوسیله شعله اکسی استیلن (Oxy Acetylene Gouging)

ج – سنگ زدن یا تراشکاری Grinding or Chipping

***)جوش تک پاسی یا چند پاسی 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 مطرح می شود . عنوان تک یا پند پاس در این قسمت کافیست.

***) سرعت حرکت (Travel Speed)**

این فاکتور مخصوصا" درجوشکاریهای اتوماتیک اهمیت فراوان دارد و عامل تعیین کننده میزان حرارت وارد به قطعه است. در فرآیندهای دستی ذکر سرعت کم، متوسط یا زیاد کافیست . اما در مورد دستگاه ههای خودکار سرعت حرکت با دیمانسیون (L/T) بیان می شود.

***) مسائل دیگر (Other)**

در این قسمت بسته به فرآیند جوشکاری به مسائل مختلفی از این قرار می توان اشاره کرد که ممکن است بعضا" در مورد یک فرآیند ذکر آن الزامی و در مورد فرآیند دیگر نادیدنی باشد.

الف – ماهیت شعله از نظر خنثی یا اکسید یا قلیائی بودن در فرآیندهای OFW

ب – روش حرکت شعله در فرآیندهای OFW به صورت Forhand or Backhand

ج – تغییر در زاویه گان در فرآیند EBW

د – فاصله مابین الکترودها در فرآیند Multi Electrode

ه – نیاز به تناوب عملیات جوشکاری از یک سمت به پخ سمت دیگر برای جلوگیری از پیچیدگی

ز – لزوم استفاده از روشهای دستی و خودکار به طور متناوب و نحوه تغییرات در استفاده

ح – لزوم استفاده از کوبش یا چکش کاری جوش به منظور تنش زدائی

بررسی صلاحیت جوشکاران و اپراتورها (WQT)

کلیات

آزمون با درنظر داشتن مشخصات یک روش جوشکاری تائید شده انجام می گیرد.

جوشکار و اپراتور جوشکاری که نمونه آزمایش را که طبق مشخصات روش جوشکاری تائید شده است، آماده میکند و تائید وی با توجه به قسمتهای زیر که ابعاد آزمون را مشخص می کند انجام میگیرد.

برای هر جوشکاری که در آزمون تائید می شود باید براساس نوع کار و نوع جوشکاری کارت شناسائی صادر گردد که دربرگیرنده علائم و حروف مشخصه کاروی باشد.

امتحان جوشکاری براساس استانداردهای ASME و ANSI

جوشکار باید در مورد فرایند جوش و نوع جوش انتخابی خود که روی آن کار می کند امتحان پس دهد و از این حیث مورد تائید قرار گیرد. چنانچه هریک از متغیرهای اساسی جوشکاری که در جدول (۵) بیان شده است تغییر کند، جوشکار باید مورد آزمایش مجدد قرار گیرد.

نمونه آزمایش باید طبق مشخصات روش جوشکاری WPS تائید شده جوش داده شود و بعد به شکل و اندازه مورد نیاز تراشکاری گردد.

جدول شماره (٦) به تناسب ضخامت تقریبی تعداد نمونه آزمایش و تعداد و نوع آزمایش را که باید انجام گیرد مشخص می کند.

جدول شماره (۷) حدود قطر لوله های مورد استفاده در امتحان جوشکاری

جدول شماره (۸) وضعیت نمونه های آزمایشی برای امتحان جوشکار را نشان می دهد.

جدول شماره (۵)

متغیرهای اساسی جوشکاری برای امتحان جوشکار براساس A.S.M.E

متغیرها به اختصار	SMAW	SAW	GMAW	GTAW

اتصال	- Backing	X		X	X
آلیاژ اصلی	C Pipe Dia (2)	X	X	X	X
	C P-No (3)	X	X	X	X
(آلیاژ پرکننده) الکترود و میله جوشکاری	± Inserts				X
	C F-No (1)			X	X
	G T Qualified	X	X	X	X
وضعیت	+ Position	X	X	X	X
	C Vert Welding Progress	X		X	X
گازی محافظ	C Type Fuel Gas				
	- Gas Backing			X	X
جریان برق	C Transfer Mode			X	
	C Current or Polarity				X

اختصارات:

C : تغییر

+ : اضافه (شدن)

- : حذف (شدن)

i: افزایش (یافتن)

d : کاهش (یافتن)

t : ضخامت جوش

T : ضخامت آلیاژ اصلی

توجه:

۱- تائید امتحان جوشکار برای عدد F برابر با ٤ ، در مورد جوشکاری با عدد F پائین ترهم معتبر است.

۲- درصورتیکه قطر قطعه کار زیر حداقل موردنیاز باشد، جوشکار باید دوباره امتحان شود.

جدول شماره (٦) - الف

حدود ضخامت نمونه آزمایش برای امتحان جوشکار براساس استاندارد ASME آزمایش خمش عرضی

نوع و تعداد نمونه آزمایش			ضخامت جوش مورد تائید اینچ (۲)	ضخامت نمونه جوشکاری شده اینچ (۱)	نوع اتصال
خمش ریشه	خمش رو (۵)	خمش پهلو	حداکثر		
۱	۱	(٦)	۲t	تا ۳/۸	شیاری
۱	۱	(۷)	۲t	از ۳/۸ تا ۳/٤	شیاری
		۲	حداکثر مقداری که میشود جوش داد	از ۳/٤ به بالا	شیاری

توجه:

۱- تمام شیار قطعه باید بوسیله جوش پر شود، اگر روی جوشکاری یک شیار دو و یا تعداد بیشتری جوشکار کار کرده اند ضخامت (t) جوش هر جوشکار باید معین شود و درستون ضخامت نمونه ذکر گردد.

۲- برای امتحان جوشکار در جوشکاری لوله باید از دو لوله با ضخامتهای مختلف مطابق جدول شماره (۱۷) استفاده شود. البته جوشکار برای لوله با قطر کمتر مورد تایید قرار خواهد گرفت.

۳- ضخامت ۳/٤ اینچ به بالا برای امتحان سه جوشکار یا بیشتر مورد استفاده قرار میگیرد و جوشکاران ممکن است فرایند جوش همانند ویا گوناگونی را بکار برده باشند.

٤- برای وضعیت 5G و 6G که در Q.W-302.3 ذکر شده است ٤ نمونه آزمایش مورد نیاز است.

۵- آزمایش خمش رو و ریشه برای موارد زیر بکار می رود.

الف- یک جوشکار که از دو فرایند جوش استفاده می کند.

ب- دو جوشکار که از یک فرایند جوش یا از چند فرایند جوش استفاده کرده اند.

٦- برای ۳/۸ اینچ ضخامت نمونه امتحان دو آزمایش خمش جانبی به جای آزمایش خمش رو ریشه کافی است.

۷- دو آزمایش خمش جانبی می تواند جانشین خمش رو و ریشه بشود.

جدول شماره (٦)- ب

حدود و ضخامت و نمونه آزمایش برای امتحان جوشکار براساس استاندارد ASME

آزمایش خمش طولی

تعداد و نوع آزمایشات مورد نیاز		ضخامت جوش مورد تائید ۱ اینچ	ضخامت نمونه جوشکاری شده اینچ (۱)	نوع اتصال
خمش ریشه (۲)	خمش رو (۲)	حداکثر		
۱	۱	۲t	تا ۳/۸ اینچ	شیاری
۱	۱	۲t	بالاتر از ۳/۸	شیاری

توجه:

۱- تمام شیار قطعه باید بوسیله جوش پرشود، اگر دو یا تعداد بیشتری جوشکار روی جوشکاری یک شیار کار کرده باشند، ضخامت (t) جوش هر جوشکار و هر فرایند باید معین شود و جداگانه در ستون ضخامت نمونه ذکر گردد.

۲- برای امتحان سه جوشکار یا بیشتر در ضخامت های ۳/٤ اینچ به بالا استفاده می شود و جوشکاران ممکن است یک فرایند جوش یا چند فرایند جوش را بکار برده باشند.

۳- آزمایش خمش رو و ریشه در موارد زیر کاربرد دارد.

الف) یک جوشکار ازدو فرایند جوش استفاده کرده باشد.

ب) دو جوشکار از یک یا دو فرایند جوش استفاده کرده باشند.

٤- بد نیست که در شرایط زیر برای امتحان جوشکار پرتونگاری هم صورت گیرد.

الف) جوشکار – اگر جوش شیار باشد روی آلیاژهای عدد P ، ۱ تا ۱۱ انجام شده باشد و از فرایندهای جوش G.T.A.W و S.M.A.W و S.A.W و G.M.A.W استفاده گردد.

ب) برای اپراتور جوشکاری باید یک متر از جوش را مورد بازرسی قرارداد. حداقل طول نمونه باید ٦ اینچ باشد واین شامل لوله نیز هست برای لوله های کوچکتر تعداد نمونه بیشتری مورد نیاز است و این تعداد به ۸ عدد هم می رسد.

۵- قبل از D.T پرتونگاری انجام می شود.

جدول (٦) – ج

نمونه آزمایش و حدود ضخامت برای امتحان جوش براساس A.S.M.E

جوشکاری فیلت لوله های کوچک

تعداد و نمونه های آزمایش مورد نیاز		ضخامت مورد تائید	قطر خارجی تائید شده	اندازه لوله نمونه که جوش داده شده است
شکست	آزمایش ماکرو			
۱	۱	هر اندازه	حداقل اندازه جوش داده شده	کمتر از ۳/٤ اینچ
۱	۱	هر اندازه	بالا تر از یک اینچ	بین ۳/٤ اینچ و ۲ اینچ
۱	۱	هر اندازه	بالاتر از ۷/۸ و۲ اینچ	بالاترا ز ۳ اینچ

جدول (٦)– د

نمونه آزمایش و حدود ضخامت برای امتحان جوشکار براساس A.S.M.E

جوشکاری فیلت صفحات

تعداد نمونه های مورد نیاز		حدود مورد تائید	ضخامت نمونه آزمایش جوش داده شده	نوع اتصال
آزمایش شکست	آزمایش ماکرو			
۱	۱	همه آلیاژهای اصلی با ضخامت مختلف، اندازه فیلت و قطرهای خارجی ۷/۸ ۲ اینچ و بالاتر	۳/۱٦ اینچ تا ۳/۸ اینچ	اتصال فیلت T

جدول (٦) – ه

نمونه آزمایش و حدود ضخامت برای امتحان جوشکار براساس A.S.M.E

جوشکاری شیاری صفحه با لوله برای تائید مرغوبیت جوشکاری فیلت

نوع و تعداد نمونه آزمایش موردنیاز	حدود مورد تائید	ضخامت نمونه آزمایش جوش داده شده	نوع اتصال

جوش فیلت وقتی مورد تائید است که براساس جدول ١٦-الف و ١٦-ب و ١٦-ج مورد تائید قرار گیرد.	همه ضخامتهای آلیاژ اصلی اندازه فیلت و قطرها	هرضخامتی	هرنوع شیاری

جدول شماره (٧)

حدود لوله های جوشکاری شده برای امتحان جوشکار (١) براساس A.S.M.E

جوش شیاری

قطر خارجی مورد تائید (حداکثر مشخص نیست)	اندازه اسمی لوله جوشکاری شده
حداقل کمتر از اندازه جوشکاری شده نباشد	کمتر از ٣/٤ اینچ
بالاتر از یک اینچ	از ٣/٤ تا ٢ اینچ
٢ ٧/٨ اینچ و بالاتر (٢)	بالاتر از ٢ اینچ

توجه:

١- نوع و تعداد نمونه آزمایش مورد نیاز براساس جدول شماره (١٦)- الف می باشد.

٢- 2,7/8 اینچ قطر خارجی برابر با اندازه قطرنامی 2,1/2 اینچ می باشد.

مطابق با کد A.S.M.E IX آزمایش پرتونگاری (رادیوگرافی) را میتوان جانشین آزمایشات مکانیکی نمود.

امتحان و ارزیابی جوش براساس استاندارد A.S.M.E قسمت IX ردیف QW-153 ، QW-152 و QW-162 انجام میگیرد. درصورت عدم توفیق جوشکار در آزمون میتوان مطابق استاندارد ASME قسمت IX ردیف QW-320 پس از یک دوره آموزشی یا حتی بلافاصله از وی امتحان مجدد بعمل آورد.

تست مجدد QW-320

اگر جوشکار و اپراتور جوشکاری در امتحان مردود شود، برگزار کردن امتحان مجدد برای وی منوط به شرایط زیر است:

جوشکار یا اپراتور جوشکاری که مردود شده است با انتخاب نمونه هائی مشابه نمونه های قبلی، از هرکدام دو نمونه جوش داده و برروی آنها آزمایشات لازم بعمل آید. هردو نمونه براساس معیار قبولی باید موردتائید قرار گیرد.

الف) برای همان وضعیتهائی که امتحان انجام شده است دو نمونه مجددا" جوش داده می شود. طول جوش برای صفحه باید ۱۵ سانتیمتر و برای لوله باید ۳۰ سانتیمتر باشد. برای لوله با قطر کمتر تعداد نمونه نباید بیش از ۸ عدد باشد.

ب) با توافق سازنده برای امتحان جوشکاری که قبلا" مردود شده است، از همان نوع جوشی که قبلا" انجام داده طولی به قطر ۳۰ سانتیمتر را انتخاب کرده و پرتونگاری می کنند. اگر نتیجه پرتونگاری موردتائید بود جوشکار نیز تائید می شود و اگر جوشکار مردود شود باید تمام جوشکاری تولید شده بوسیله این جوشکار پرتونگاری شده و تعمیر گردند.

ج) با توافق سازنده برای امتحان مجدد اپراتور جوشکاری که قبلا" مردود شده است ۱۵ سانتیمتر از جوشهای کارشده توسط این جوشکار را انتخاب نموده و رادیوگرافی می کنند. اگر اشکالی در کارنبود اپراتور قبول میشود. اما در صورت عدم توفیق وی تمامی جوشهائی که قبلا" بوسیله این جوشکار انجام گرفته بود باید پرتونگاری و درصورت لزوم تعمیر شوند.

اگر جوشکار امتحان فرایند جوشکاری مشخصی را که با موفقیت گذرانده است به مدت ۳ ماه یا بیشتر دنبال نکند باید مجددا" امتحان شود(این مدت تا ٦ ماه قابل افزایش است و این درصورتی است که جوشکار فرایند جوشکاری دیگری را دنبال کرده باشد)

امتحان مجدد فقط با استفاده از یک اتصال برای همه وضعیتها و ضخامت ها و آلیاژها کافی است.
قابل ذکراست که چنانچه یکی از متغیرهای اساسی مندرج در جدول شماره (۵) عوض شود امتحان مجدد جوشکاری الزامی خواهد بود.

هنگامی که اپراتور جوشکاری برای یک فرایند مشخص جوش مورد تایید قرار گرفت برای فرایندهای دیگر جوش نیز به امتحان نیاز دارد.

برای جوشکاری و اپراتور جوشکاری تائید شده باید گواهینامه ای برطبق W.Q.R (ثبت تائید جوشکار) صادر شود که فرم آن ضمیمه شده است.

مراحل و نحوه تأئید گزارش کیفیت جوشکاری

ساخت و نصب سازه های جوشکاری مستلزم این است که نشان دهیم کیفیت مواد اولیه، روش جوشکاری و فلز حاصل از جوش، مطابق با خواسته های استاندارد می باشد.

این کار به کمک یکسری آزمایشات مخرب و غیرمخرب تحت عنوان گزارش کیفیت روش جوشکاری PQR انجام می شود. (Procedure Qualification Report)

هدف از انجام آزمایشات تعیین کیفیت روش جوشکاری آن است که نشان دهیم، روش جوشکاری تدوین شده (WPS) با اتصالی سالم و با خواص مکانیکی مطلوب و قابل پذیرش در محدوده استاندارد مربوطه، بوجود می آورد. نتیجه آزمایشات در فرم خاصی ثبت شده که به آن گزارش کیفیت روش جوشکاری Procedure Qualification Record (PQR) می گویند.

مراحل تهیه PQR

برای تهیه یک PQR چهار مرحله زیر طی می شود:

مرحله اول – آماده سازی و جوشکاری نمونه های مناسب

مرحله دوم – آزمایش نمونه های تهیه شده

مرحله سوم – ارزیابی نتایج و نتیجه گیری راجع به آماده سازی، جوشکاری و آزمایشات

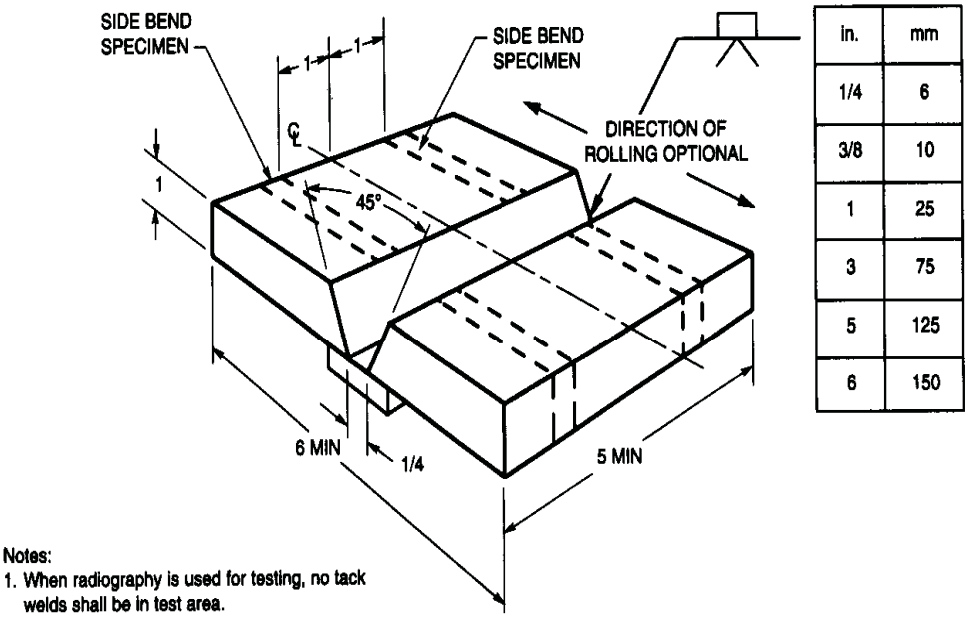
مرحله چهارم – ثبت و تأئید نتایج (در صورت قابل قبول بودن آنها)

مرحله اول :آماده سازی و جوشکاری نمونه های مناسب

معمولا" نمونه ها به نحوی مونتاژ و ساخته می شوند که درز اتصال در وسط نمونه قرار بگیرد. انـدازه، نوع و ضخامت نمونه باید متناسب با نوع و ضخامت موادی که در تولید جوشکاری مـی شـوند و نیـز تعداد، نوع و اندازه نمونه های آزمایشی لازم برای آزمایشات باشد. مواد ، نحوه و جزئیات جوشـکاری نمونه ها باید مطابق با WPS مربوطه باشد، به عبارت دیگر متغیرهای ضروری باید یکسان باشد.

ابعاد و اندازه نمونه ها باید حداقل با مقادیر ذکر شده در استاندارد مطابقت داشته باشد. مطابق با همـین استاندارد اندازه و محل نمونه های آزمایش کـه از نمونـه هـای جوشـکاری شـده بدسـت مـی آینـد ، مشخص شده است.

شکل (۵) نحوه قرارگیری و مونتاژ نمونه ها جهت تهیه PQR را نشان می دهد.



in.	mm
1/4	6
3/8	10
1	25
3	75
5	125
6	150

Notes:
1. When radiography is used for testing, no tack welds shall be in test area.
2. The backing thickness shall be 1/4 in. min to 3/8 in. max; backing width shall be 3 in. min when not removed for radiography, otherwise 1 in. min.

شکل (۵) - نحوه مونتاژ جهت تأئید روش جوشکاری و تهیه PQR

مرحله دوم : آزمایش نمونه های تهیه شده

آزمایشات مشخصی بر روی نمونه های جوشکاری شده باید انجام شود. نوع و تعداد نمونه هائی که برای تست های مخرب لازم است، بستگی به استاندارد مورد استفاده و مشخصات کاربردی ویژه سازه دارد. اغلب تست های غیرمخرب نیز انجام می شوند.

آزمایشهای مورد نیاز برای جوشهای شیاری عبارتند از:

۱) بازرسی چشمی (Visual testing)

۲) آزمایش رادیوگرافی یا اولتراسونیک (Non destructive test: RT, UT)

۳) آزمایش خمش – ریشه برای سلامت جوش (Root-Bend test)

٤) آزمایش خمش – گرده برای سلامت جوش (Face- Bend test)

٥) آزمایش کشش از فلز جوش برای خصوصیات مکانیکی فرآیندهای (All – Weld Metal tension) EGW, ESW

٦) آزمایش ضربه برای تعیین چقرمگی و انرژی ضربه (Impact test)

۷) آزمایش ماکرواچ برای سلامت و نفوذ موثر ساق جوش (Macroetch test)

۸) آزمایش کشش با مقطع کاهش یافته برای اندازه گیری استحکام کششی (Tensile test)

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

۱) بازرسی چشمی (Visual Inspection)

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

۳) آزمایش خمش- جانبی برای سلامت جوش (Side-Bend test)

٤) آزمایش کششی از فلز جوش برای خصوصیات مکانیکی (All-Weld Metal tension)

تعداد ، نوع و روش آماده سازی نمونـه هـای آزمـایش جـوش در اسـتانداردهای گونـاگون تفاوتهـای مختصری با هم دارد که برخی از آنها در مورد جوش سر به سر ورق فولاد کربنی با ضـخامت کمتـر از ۱۰ میلیمتر بصورت زیر است :

استاندارد ASME, Sec IX : دو عدد آزمایش کشش عرضی ، دو عدد خمش گـرده (180°) ، دو عـدد خمش ریشه (180°)

استاندارد AWS, D1.1 : دو عدد آزمایش کـشش عرضـی ، دو عـدد خمـش گـرده (180°) ، دو عـدد خمش ریشه (180°) ، آزمایش غیرمخرب

استاندارد BS4870 : یک آزمایش کشش عرضی، یک خمش گرده (180°) ، یک خمش ریـشه)(180° ، سختی سنجی مقطع، مطالعه مقطع عرضی ، آزمایش غیرمخرب)

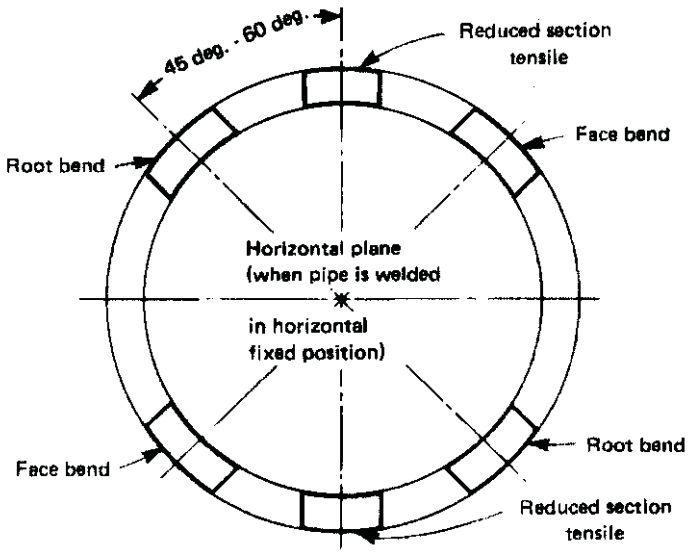
Discard		this piece
Reduced section		tensile specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Discard		this piece

QW-463.1(a) PLATES — LESS THAN ¾ in. THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION

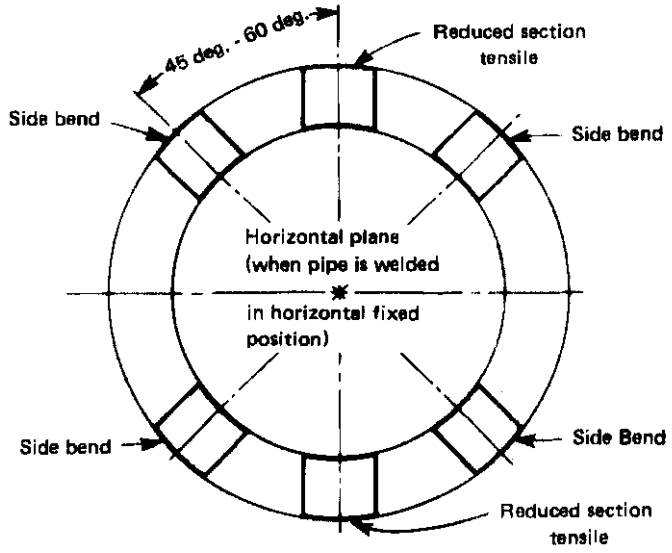
Discard		this piece
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Discard		this piece

QW-463.1(b) PLATES — ¾ in. AND OVER THICKNESS AND ALTERNATE FROM ⅜ in. BUT LESS THAN ¾ in. THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION

شکل (٦) - محل انتخاب نمونه های آزمایش جهت تأئید روش جوشکاری شیاری ورق



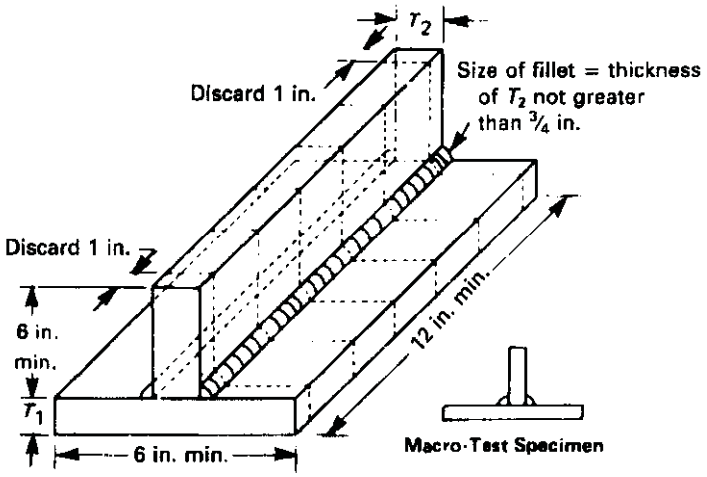
QW-463.1(d) PROCEDURE QUALIFICATION



QW-463.1(e) PROCEDURE QUALIFICATION

شکل (۷) - محل انتخاب نمونه های آزمایش جهت تأئید روش جوشکاری شیاری لوله

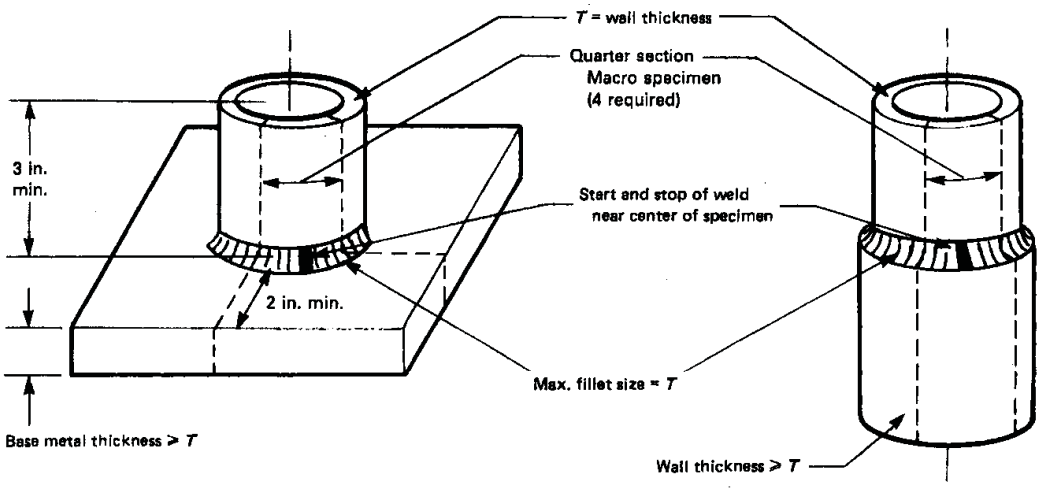
T_1	T_2
$\frac{1}{8}$ in. and less	T_1
Over $\frac{1}{8}$ in.	Equal to or less than T_1 but not less than $\frac{1}{8}$ in.



GENERAL NOTE: Macro test — The fillet shall show fusion at the root of the weld but not necessarily beyond the root. The weld metal and heat affected zone shall be free of cracks.

QW-462.4(a) FILLET WELDS — PROCEDURE

شکل (۸) - محل انتخاب نمونه های آزمایش جهت تأئید روش جوشکاری گوشه ورق



GENERAL NOTES:
(a) Either pipe-to-plate or pipe-to-pipe may be used as shown.
(b) Macro test:
(1) The fillet shall show fusion at the root of the weld but not necessarily beyond the root.
(2) The weld metal and the heat affected zone shall be free of cracks.

QW-462.4(d) FILLET WELDS IN PIPE — PROCEDURE

شکل (۹) - محل انتخاب نمونه های آزمایش جهت تأئید روش جوشکاری گوشه لوله

مرحله دوم : آزمایش نمونه های تهیه شده

***) آزمایش کششی با مقاطع کاهش یافته**

قبل از انجام آزمایش تمام اندازه های نمونه کنترل می شوند. سپس نمونه در فک های دستگاه قرار گرفته و بار اعمال می شود. آزمایش تاحد پارگی نمونه ادامه می یابد. اگر حداکثر بار وارده را بر مساحت مسطح مقطع نمونه تقسیم کنیم. استحکام کششی بدست خواهد آمد. همچنین از روی تفاوت طول نمونه ، قبل و بعد از آزمایش (اندازه ثانویه با کنار هم قراردادن نمونه های شکسته اندازه گیری می شود) امکان محاسبه درصد ازدیاد طول وجود دارد.

قبل از انجام آزمایش تمام اندازه های نمونه کنترل می شوند. سپس نمونه در فک های دستگاه قرار گرفته و بار اعمال می شود. آزمایش تا حد پارگی نمونه ادامه می یابد.

***) آزمایش ماکرواچ**

ابتدا مقطعی از نمونه بریده شده و توسط سنگ صاف می شود. سپس با سنباده زنی متوای با کاغذ سنباده های مختلف – از زبر به نرم – سطح نمونه صیقلی می شود. برای اچ کردن محلولهای مختلفی وجود دارد که در استانداردها ذکر شده است.

***) آزمایش خمش**

نمونه ها در سه شکل ریشه، سطحی و جانبی تهیه می شوند. نمونه ها مطابق استاندارد در نگهدارنده قرار گرفته و بوسیله یک سنبه سرگرد ، خمیده می شوند.

نمونه باید بر روی قالب قرار گرفته و سپس سنبه سرگرد پائین آمده و 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 قسمت خالی قالب قرار می گیرند.

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

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

نمونه ها پس از اعمال فشار باید کاملا" به شکل U در آمده باشند. ضمن اینکه فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت باید کاملا" در مرکز قالب قرار گرفته و پس از انجام آزمایش خمش میان قسمت خمیده قرار بگیرند.

آزمایش کشش نمونه فلز جوش

آزمایش کشش بر اساس ASTM A370 انجام می شود. مشخصات فنی ابعادی نمونه های مختلف بر اساس کد ASME در ضمیمه شماره (۵) آورده شده است.

آزمایشات غیرمخرب

۱- بازرسی چشمی
۲- آزمایش ذرات مغناطیسی برای تشخیص ترک
۳- آزمایش مایعات نافذ برای تشخیص ترکهای سطحی
٤- آزمایش رادیوگرافی
۵- اولتراسونیک

مرحله سوم : ارزیابی نتایج

نتایج قابل قبول آزمایشات

نتایج حاصل از آزمایشات با معیار پذیرش مربوطه در استاندارد مقایسه شده و در صورت تأئید و قابل قبول بودن ، نتایج قابل درج در PQR می باشند.

مرحله چهارم : ثبت و تأئید نتایج

پس از تعیین نتایج آزمایشات، مشخصات فرآیند تهیه نمونه و نتایج آزمایشهای تعیین کیفیت باید در فرم خاصی با عنوان گزارش کیفیت روش جوشکاری Procedure Qualification Record (PQR) ثبت شده و پس از مطالعه نتایج آزمایشات، مورد تأئید قرار گیرد.

فرم PQR عموما" دو صحفه 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 . به عبارت دیگر در صفحه اول اطلاعاتی نظیر: روش جوشکاری ، طرح اتصال ، فلز پایه پرکننده ، وضعیت جوشکاری ، پیشگرم و ... ذکر می گردد.

در صفحه دوم فرم PQR نتایج آزمایشات کشش، خمش ، ضربه و در صورت نیاز دیگر آزمایشات نظیر سختی سنجی ، آنالیز شیمیائی و ... درج و تأئید می گردد. ضمیمه شماره (۳) 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 گزاش آزمایشات نیز در PQR درج می گردد. تنظیم کننده PQR نهایتا" با ذکر تاریخ گزارش کیفیت روش جوشکاری را امضاء می کند.

نکات لازم در نوشتن PQR (در محدودیت متغیرها)

جهت کاهش هزینه و زمان ناشی از آزمایشات تعیین کیفیت لازمست تا محدوده ای برای متغیرهای PQR در نظر گرفته شود. بدیهی است تغییر هر یک از متغیرها در خارج از محدوده تعریف شده، منجر به نوشتن PQR , WPS جدید می شود.

بر اساس استاندارد هر تولید کننده موظف به ارائه WPS جهت مشخص کردن روش جوشکاری (WPS) است و هر WPS باید به کمک آزمایشهای کنترل کیفی (PQR)، تأئیدیه کیفیت دریافت کند. پس هر WPS به یک PQR نیاز دارد. اما با توجه به نکات کد امکان تنظیم یک PQR برای تضمین کیفیت چندین WPS وجود دارد. در جداول کد امکان تغییر (افزایش یا کاهش) هر یک از متغیرهای اساسی، تکمیلی و غیراساسی فرآیندهای مختلف جوشکاری مورد مقایسه قرار گرفته است.

فصل ششم

متالورژی جوش

منطقه تحت تأثیر حرارت در جوشکاری
(Heat Affected Zoon)

انتقال حرارت در حوضچه جوش به فلز مبنا، از بخشهای اساسی فرایند انجماد می باشد. تاثیر ثانوی انتقال حرارت، افزایش درجه حرارت فلز مبنای مجاور مرز ذوب است که در این ناحیه چند واکنش متالورژی بوقوع می پیوندد.

این واکنشهای متالورژی برخواص مکانیکی اتصال جوش تاثیر می گذارند یعنی مقاومت کششی و مقاومت ضربه ای را کم می کنند و سختی را زیاد می کنند و یا ترک تشکیل میدهد.

ساختار فلز مبنا در ناحیه تاثیر حرارت بستگی به ترکیب شیمیائی آن و چگونگی گرم کردن و سرد کردن دارد:

مرز منطقه تاثیر حرارت بوسیله کمترین درجه حرارتی که در آن تغییرات متالورژی بوقوع می پیوندد، مشخص می شود.

فولادهای ساختمانی در منطقه تاثیر حرارت (HAZ) تمایل به سخت شدن دارنـد، زیـرا سـرعت سـرد شدن اتصالات جوش داده شده طوری است که حالتی شبیه بـه عملیـات حرارتـی آب دادن پـیش مـی آورد.

میزان سخت شدن در درجه اول به ترکیب شـیمیایی فـولاد بـستگی دارد. فولادهـای سـاختمانی دارای مقادیر کمی از عناصر آلیاژی می باشند. برای سهولت پیرامـــون مسائـــل جوشکاری از شاخص مشهور "کربن معادل" استفاده می شود.

در کربن معادل هر عنصر آلیاژی به تناسب نقشی که در سخت کردن بازی می کند، ضریبی دارد.

فرمولهای متعددی برای محاسبه کربن معادل تدوین کرده اند که یکی از رایج ترین آنها عبارتست از:

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

بطور کلی، فولادهای با کربن معادل کمتر از ۰/۳۸ درصد در منطقه تاثیر حرارت سخت نمی شـوند، در حالیکه فولادهای با کربن معادل ۰/۵۰ درصد ممکن است سختی هم تراز با سختی فولاد ابزار عملیـات حرارتی شده بدست آورند.

بنابراین چنانچه فولاد کم کربن بطور نرمـال سـختی ۱۹۰ ویکـرز داشـته باشـد، سـختی منطقـه تحـت تأثیرحرارت (HAZ) ممکن است تا ٤۰۰ ویکرز برسد.

گرچه گاهی گفته می شود که سخت شدن منطقه تاثیر حرارت (HAZ) بر مقاومـت قطعـه یـا مناسـب بودن آن برای بهره برداری اثر ندارد ولی موارد ویژه ای نظیر خوردگی تنشی (SCC) ایجاب می نماید که سختی از حد معینی تجاوز ننماید و بـه ایـن منظـور گـاهی عملیـات حرارتـی پـس از جوشـکاری ضروری می گردد.

نگرانی عمده از سخت شدن منطقه تاثیر حرارت، تشکیل ترک است که بطور موثری مقاومت اتـصال را کاهش می دهد.

اگر هیدروژن نیز بصورت محلول در فولاد در طول مرز ذوب حـضور داشـته باشـد، وقتـی سـختی از حدود ۳۰۰ ویکرز تجاوز کند خطر تشکیل ترک زیاد است.

این میزان سختی با تغییرات متالورژی در منطقه تاثیر حرارت پیش می آید و با ترکیب شیمیائی و سرعت سرد کردن قابل کنترل است. چون فولادهای با مقاومت بالا تقریبا" همواره نسبت به فولادهای کم کربن، کربن معادل بالاتری دارند، افزایش سختی مشکل عمده ای در جوشکاری پدید می آورد.
برای جوشکاری فولادهای با کربن معادل بالاتر از ۰/٤۰ درصد، دستورالعملهائی لازم است که نه تنها سرعت سرد کردن را پایین بیاورد بلکه همچنین درصد هیدروژن را به حداقل ممکن برساند.
هیدروژن از راههای زیادی نظیر روپوش الکترود، رطوبت موجود در گاز محافظ و چرب بودن سیم جوش و فلز مبنا وارد حوضچه جوش می گردد.

هیدروژن وارد شده در فلز مذاب حل شده و به داخل فلز مبنا هدایت گردیده و در منطقه تاثیر حرارت متمرکز می شود.
مقدار هیدروژن حوضچه جوش برحسب میلی لیتر هیدروژن بر ۱۰۰ گرم فلز جوش بیان می شود و معمولا" محدوده آن ۵ تا ٤۰ میلی لیتر بر ۱۰۰ گرم فلز جوش است. توزیع واقعی هیدروژن در اتصال جوش داده شده تا حدود زیادی به درجه حرارت فلز مبنا بستگی دارد.
هیدروژن در فلز داغ بسرعت نفوذ می کند ولی حرکت آن در درجه حرارت اطاق بسیار کند است.
بنابراین حین جوشکاری براحتی در منطقه تاثیر حرارت جاری می شود ولی از نوار حرارت دیده خارج نمی شود.
پیش گرم کردن فلز مبنا هیدروژن را در ناحیه وسیعی پراکنده کرده و تمرکز آن را در ناحیه سخت شده کم می کند. علاوه برآن، پیش گرم کردن سرعت سرد شدن را کند کرده و حداکثر سختی را تقلیل می دهد.
به این دلیل هنگام جوشکاری فولادهای ساختمانی با مقاومت بالا از پیش گرم کردن (۷۵ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) استفاده می شود.

محافظت ناحیه قوس در جوشکاری

در هر فرآیند قوسی، محیط و گازهای مجاور با قوس، تأثیر زیادی بر خواص جوش دارنـد و از اینـرو جوشکاری در جو کنترل شده ، بهترین خواص مکانیکی مورد نیاز را فراهم می نماید.
هواز از نظر حجمی تا ۲۱ درصد اکسیژن ، ۷۸ درصد نیتروژن یا ازت و مابقی شـامل رطوبـت و سـایر گازها مانند Co2 تشکیل شده است. در بین عناصر ، سه عنصر بیشترین ضرر را در جوشـکاری سـبب می شوند که عبارتند از اکسیژن ؛ ازت و هیدروژن
اکسیژن عنصر بسیار اکتیو بوده و به آسانی با عناصر دیگر موجود در فلز یا آلیاژ ترکیب شده و تـشکیل اکسیدها و گازهای ناخواسته می دهد. به هنگام سردشدن فلز جوش ، اکسیژن آزاد در ناحیـه قـوس بـا کربن موجود در فلز ترکیب شده و Co تشکیل می دهد که اگر این گاز بهنگام سرد شدن در فلز جوش مجبوس شود، در حفره هائی جمع می شود و باعث بروز تخلخل یا Porosity در جوش می شود.

ازت بیشترین مشکل را در مورد جوشکاری فولاد از بین عناصر موجود در هوا، پیش مـی آورد . آهـن مذاب قادر است مقدار نسبتاً زیادی ازت را بصورت محلول جذب کند ولی و در درجه حـرارت اوراق قابلیت انحلال ازت در آهن بسیار کم است. بنابراین موقع سرد شدن از حالـت مـذاب، ازت از مـذاب خارج شده و یا در مذاب باقی می ماند که بعضاً به صورت ترکیبات ازت ، در می آید.
این ترکیبات سبب می شوند ، مقاومت تسلیم و کششی فولاد بالا رود و سـختی فلـز زیـاد شـود ولـی چقرمگی و مقاومت ضربه ای را به طور قابل درجه ای پـائین مـی آورد و از آنجائیکـه درصـد ازت در هوا زیاد است، لذا محافظت از مذاب جوش کاملاً ضروری است.
ئیدروژن نیز برای جوشکاری مضر است. ئیـدروژن تـأثیر زیـادی روی خـواص جـوش مـی گـذارد . هیدروژن نیز مانند ازت تا مقدار نسبتاً زیادی در آهن مذاب حل می گردد ولی پس از سردشدن قابلیت انحلال هیدروژن در آهن کم می شود و در نتیجه هیدروژن از آهن جدا شـده و در فلـز محبـوس مـی گردد. هیدروژن محبوس در فلز جوش، در بعضی نقاط جمع می شـود و موجـب افـزایش فـشار و یـا تنش می گردد و این فشار یا تنش می تواند منشاء ترک در جوش باشد و بعـدها بـه قـدر کـافی رشـد نماید.

پیش گرمایش ***Preheating***

به منظور اجتناب از ترک خوردن نقاط سخت شده در منطقه تأثیر حرارت در فولادهای فریتی، قبل از جوشکاری می بایست از پیش گرمایش Preheating استفاده نمود.

پیش گرم کردن دارای فوائد زیر می باشد:

۱- جلوگیری از ترک خوردن قطعه بر اثر تجمع تنشهای حرارتی

۲- جلوگیری از افت حرارتی ناحیه جوش فلزات ضخیم (معمولاً بیشتر از ۱۹ میلیمتر)

۳- جلوگیری از تجمع ئیدروژن در یک منطقه و پراکنده کردن انتهای هیدروژن موجود در فلز

٤- برطرف نمودن رطوبت احتمال موجود در طرح اتصال

۵- به تعویق انداختن تشکیل ساختارهای نامطلوب، با سختی بالا و کم کردن استعداد ترک خوردن

درجه حرارت پیش گرمایش به نوع اتصال ، ضخامت فلز و جنس فلز بستگی دارد. اگر درجه حرارت فلز مبنا کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد باشد، پیش گرمایش ضروری است . (منظور از درجه حرارت فلز مبنا درجه حرارت فلز تا فاصله ۱۵۰ mm اتصال است)

اگر لبه اتصال بهر دلیلی مرطوب باشد، جوشکاری نبایستی انجام شود و دو لبه مورد اتصال بایستی حداقل تا $80^{\circ}c$ پیش گرم شود.

درجه حرارت پیش گرم می بایست بکمک ترموکوبل دماسنج، پیرومتر و یا گچ حرارتی کنترل شود. وقتیکه پیش گرم کردن لازم است ، جوشکاری می بایست بدون وقفه ادامه یابد و اگر در جوشکاری وقفه افتد، در آن صورت می بایست درجه حرارت پیش گرم کردن حفظ گردد و یا قطعه به آرامی خنک شود و قبل از آغاز مجدد جوشکاری، پیش گرم کرن دوباره اعمال شود.

پیش گرم کردن بایستی طبق مشخصات روش جوشکاری WPS، انجام شود و درجه حرارت آن کنترل شود.

ساختار ***Widmanstatten***

ساختاری که در زیر به آن اشاره می گردد برای اولین بار بوسیله شخصی بنام A.de.Widmanstatten مشاهده گردید. این ساختاری دارای نظم قرینه ای در سه یا چهار جهت

بوده و از مقاومت به ضربه بسیار کمی برخوردار است، بنابراین در فولادها عامل تردیست.
عواملی که باعث شکل گرفتن این ساختار می گردد عبارتند از :

۱- ترکیب شیمیائی فولاد

۲- درجات حرارتی بالا در فاز استنیت (Overheating)

۳- نرخ سرد شدن فولاد از فاز استنیت

هر چند که رنج تشکیل ساختار .Wid در اثر Overheating بسیار کم است معهذا در فولادهائی که کربن آن بین 0.2-0.4 درصد است این ساختار گسترش می یابد و در قطعات جوشکاری این ساختار ممکنست در فلز جوش و نیز در HAZ تشکیل شود.

شکل (۱) – طرح شماتیک منطقه ذوب و اطراف جوش

ناحیه Overheating ناحیه ای است که فولاد به درجات حرارتی بالا می رسد و ساختار فولاد کاملاً استنیت می باشد و استنیت ها صددرصد درشت و بزرگ می باشند.

شکل (۲) – طرح شماتیک تغییر اندازه دانه ها در هنگام سرد شدن

دیاگرام شکل (۲) اندازه ذرات را در درجات حرارتی متفاوت نشان میدهد همانطوریکه دیده میشود در درجه حرارت A3 که حدوداً ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می باشد ، اندازه استنیت ها کوچک می باشند.

بین θL و θ1 استنیت ها شروع به بزرگ شدن می نمایند و بین θ2 و θ1 ذرات مخلوطی است از ذرات

ریز و درشت و بین θ3 و θ2 ذرات استنیت به صد در صد درشتی می رسند.

درشتی ذرات استنیت نه تنها در ارتباط با درجه حرارت است بلکه در ارتباط با زمان نیز می باشد.

دیاگرام شکل (۳) درصد درشتی ذرات را که در ارتباط با درجه حرارت و زمان است نشان می دهد.

شکل (۳) – منحنی تغییرات اندازه دانه ها برحسب زمان

اندازه ذرات به درجه حرارت ثابت ولی در زمان طولانی درشت مـی گردنـد . ترکیـب ایـن دو پـارامتر بطور کامل در دیاگرام فوق نشان داده شده است.

در ناحیه ای که استنیت ها به صد در صد درشتی می رسند اطـراف اسـنتیت هـای ریـز را احاطـه مـی نمایند و پس از تغییر فاز یعنی $\alpha + Cem$ Υ پرلیت های درشت، پرلیت های ظریفتر را درهم قفـل می نمایند که چنین ساختاری را Widmanstatten می نمامند.

شکل (٤) ساختار Widmanstatten در فولاد

عناصر آلیاژی مانند منگنز- کرم و مولیبدن در شکل گرفتن این نوع ساختار اثر زیادی دارند. جدول زیر مقاومت ساختار Widmanstatten را با فولاد آنیل شده و تمپر شده نشان میدهد و با توجه میتوان مشاهده نمود که مقاومت به ضربه این ساختار نسبت به ساختاری که فاقد آنست بسیار کم می باشد.

جدول (١)- چقرمگی ساختار فولاد آنیل شده و Widmanstatten در برخی فولادها

Chemical composition of Metal			Impact value (Kgm/ cm^2)		
C	Mn	Si	Widmanstatten structure	Tempered Back	Annealed at 850 ° c
0.19	0.32	Trace	3.2	6.40	17.8
0.37	0.74	0.36	2.35	6.0	15.20
0.46	0.87	0.15	2.8	5.20	14.60

کیفیت جوش

در فرآیندهای جوشکاری، کلمه کیفیت جوش Weld Quality ، یک کلمه نسبی است و بستگی به کاربرد دارد. بطور کلی یک جوش وقتی با کیفیت است که نیاز کار را برآورده نماید ولی بایک جوش

وقتی میتواند عالی باشد که از نظر مشخصات در سطح بالائی باشد و هزینه اضافی برای مشتری نداشته باشد.

کیفیت جوش در زبان عامه، اغلب به معنی شکل هندسی جوش می باشد و یا شامل موارد دیگر از جمله سختی، ترکیب شیمیائی، چقرمگی نیز می باشد. در کیفیت جوش هردو مسئله اقتصادی (Economic) و ایمنی (Safety) مهم است.

مسئله اقتصادی باعث می شود که قطعه قابل رقابت با محصولات دیگر باشد و مسئله ایمنی باعث میشود که قطعه از لحاظ امنیت جانی اشخاص و امنیت پروژه قابل قبول باشد. کیفیت جوش معمولا" بوسیله آزمایشات مخرب و غیرمخرب مورد ارزیابی قرار می گیرد و محدوده تائید آنها توسط کدها و استانداردها مشخص می شود.

بطور کلی پنج فاکتور تضمین کننده کیفیت عبارتند از:

۱) انتخاب فرآیند جوشکاری (Process Selection)

فرآیند باید برای نوع کار بخصوص مناسب باشد

۲) آماده سازی (Preparation)

طراحی اتصال باید مناسب فرآیند جوشکاری باشد

۳) روش کار (Procedure)

برای اطمینان از حصول نتایج یکسان، روش کار باید به صورت جزء به جزء توضیح داده شود و به صورت یکسان در طول کار دنبال شود.

٤) پیش آزمایش کردن (Pretesting)

برای نیل به کیفیت لازم است روش کار و فرآیند بوسیله نمونه مناسب آزمایش و مورد تائید قرار گیرد.

خواص مکانیکی فلز جوش

گروهی که نقطه تسلیم جوش انها به مقدار قابل ملاحظه ای بالاتر از فلز مبنا بوده و گروهی که مقاومت تسلیمی و نهائی جوش آنها مشابه فلز مبنا می باشد.

گروه اول که روشهای جوشکاری با سردشدن سریع نامیده می شوند عبارتند از جوشکاری با الکترودهای روپوشدار و جوشکاری با گاز محافظ.

گروه دوم که روشهای جوشکاری با سردشدن آهسته نامیده می شوند عبارتند از: جوشکاری قوسی مستغرق (جوش زیرپودری)، جوشکاری الکتریکی سرباره ای.

بالا بودن نقطه تسلیم فلز جوش کم کربن حاصل از جوشکاری با الکترودهای روپوشدار قسمتی بخاطر ریز بودن دانه ها بوده و قسمتی بخاطر چگالی بالای جابجاشدگی ها می باشد. چنین جوشی مشتمل است بر دانه های ریز فریت (غالبا" کشیده شده) با کاربید و مرزدانه اوستنیتی. عموما" نقطه تسلیم فولاد تابعی از عکس جذر قطر دانه است و این قاعده برای فلز جوش نیز صادق است.

جنبه قابل توجه دیگر فلز جوش فولاد کربنی حاصل از الکترودهای روپوشدار آنست که وقتی زیر درجه حرارت بحرانی حرارت داده شود هیچ نشانه ای از تبلور مجدد یا نرم شدن ندارد (احتمالا" بعلت شبکه کاربیدی اطراف دانه های فریت).

نقطه تسلیم بالا و مقاومت به نرم شدن جنبه های مطلوب هستند و نشانه آن است که فلز جوش قوی تر از زوج فلز است و این مزیت با تنش زدائی اتصال از دست نمی رود.

در جوشکاری الکتریکی سرباره ای و تا حد کمتری در جوشکاری قوسی مستغرق، اندازه دانه فلز جوش نسبتا" درشت بوده و مطابق با آن نقطه تسلیم جوش کمتر است.

در جوشکاری چند پاسه هرپاس جوش قسمتی از فلز جوش پاسهای قبلی را تحت عملیات حرارتی قرار میدهد و در نتیجه بعنوان یک مجموعه، خواص جوش یکنواخت نمی باشد.

جوش حاصل از جوشکاری چند پاسه فولاد کربنی رویهم رفته دارای مقاومت تسلیمی کمتر از جوشهای تک پاسه بوده ولی خواص ضربه ای بهتری دارد.

مقاومت به خستگی نمونه آزمایش تمام جوش با مقاومت به خستگی خود ورق فرق اساسی ندارد. مقاومت به خستگی اتصالات جوش داده شده به عوامل متعددی از جمله طرح اتصال، اندازه، نوع و مقدار عیوبی که میتواند حضور داشته باشد، مقدار هیدروژن در فلز جوش و عملیات حرارتی پس از جوشکاری بستگی دارد.

مساعدترین طرح مقطع اتصال آنست که جوش تراشیده شده و تخت و هم سطح ورق گردد و برعکس نامساعدترین طرح مقطع اتصال وجود زاویه تیزبین ورق و گرده جوش می باشد.
وقتیکه عیب در جوش موجود باشد، مقاومت استاتیک آن نیز کاهش می یابد ولی اگر فلز جوش از نظر مقاومت قوی تر از فلز مبنا باشد تا اندازه معینی ازعیب می تواند در جوش موجود باشد بدون آنکه مقاومت اتصال نسبت به فلز مبنا کم شود مثلا" اگر تخلخل تا جمعا" ۵ الی ۱۰ درصد مساحت مقطع عرضی در جوشهای با الکترودهای روپوشدار یا جوشهای حاصل از روپوش جوشکاری قوسی مستغرق حضور داشته باشد در مقاومت اتصال کاهشی ایجاد نمی نماید.

جوش پذیـــری

جوش پذیری عبارتست از قابلیت تشکیل اتصال جوش با کیفیت بالا و بدون پیدایش ترک، منفذ و عیوب دیگر بدون توجه به روش جوشکاری
جوش پذیری فولاد به ترکیب شیمیائی فولاد و درصد همه آنها به درصدکربن بستگی دارد.

تقسیم بندی فولاد از نظر کربن

از نظر درصد کربن موجود، فولادها را به سه دسته کلی می توان تقسیم کرد:

فولاد کم کربن – دارای ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ درصد کربن
فولاد با کربن متوسط – دارای ۰/۲۵ تا ۰/٦۰ درصد کربن
فولاد پرکربن – دارای بیش از ۰/٦۰ درصد کربن

تقسیم بندی جوش پذیری فولاد

فولادها را از نظر جوش پذیری به چهار گروه می توان تقسیم کرد:

***) جوش پذیری خوب**

۱- شامل فولادهائی هستند که در هنگام جوشکاری معمولی هیچگونه ترکی در آن پدیدار نگردد.

***) جوش پذیری رضایتبخش**

۲- فولادهائی هستند که فقط تحت شرایط کارگاهی (درجه حرارت بالای صفر درجه سانتیگراد و هوای بدون باد و غیره) بدون ترک جوش می خورند.

***) جوش پذیری محدود**

۳- شامل فولادهایی هستند که تحت شرایط عادی اگرجوشکاری شوند تمایل به ترک خوردن دارند.

چنین فولادهائی نیاز به مراقبت های خاص و روشهای ویژه ای دارند تا حین جوشکاری ترک نخورند.

بعنوان مثال نیاز به پیش گرمایش با حرارت حین جوشکاری، عملیات حرارتی قبل یا بعد از جوشکاری، آمادگی مخصوص لبه، کاربرد روشهای خاص یا رعایت ترتیب جوشکاری و غیره دارند.

***) جوش پذیری ضعیف**

٤- شامل فولادهائی هستند که تمایل به ترک خوردن حین جوشکاری داشئه و میتوانند با استفاده از روشهای مخصوص و متناسب به همان فولاد، جوشکاری و متصل گردند.

جدول (۲) - جوش پذیری برخی فولادها و آلیاژها

کل عناصر آلیاژی	جوش پذیری با درصدکربن			
	خوب	رضایتبخش	محدود	ضعیف
تا ۱	تا ۰/۲۵	۰/۳۰ - ۰/۲۵	۰/٤٥ - ۰/۳۰	بیش از ۰/٤٥
۱ تا ۳	تا ۰/۲۰	۰/۳۰ - ۰/۲۰	۰/٤۰ - ۰/۳۰	بیش از ۰/٤۰
بیش از ۳	تا ۰/۱۸	۰/۲۸ - ۰/۱۸	۰/۲۸ - ۰/۱۸	بیش از ۰/۳۸

کربن C	منگنز Mn	سیلیسیوم Si	گوگرد S حداکثر	فسفر P حداکثر	مقاومت کششی کیلوگرم بر میلیمتر مربع	درصد ازدیاد	جوش پذیری
تا ۰/۲۳	–	–	۰/۰۶۰	۰/۰۷	۳۲ تا ٤۷	۱۸ تا ۲۲	خوب
۰/۰٦ تا ۰/۱۲	۰/۲۵ تا ۰/۵۰	حداکثر ۰/۰۵	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	۳۲ تا ٤۷	۲۸ تا ۳۳	خوب
۰/۰۹ تا ۰/۱۵	۰/۲۵ تا ۰/۵۰	حداکثر ۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	۳٤ تا ٤۲	۲٦ تا ۳۱	خوب
۰/۱٤ تا ۰/۲۲	۰/٤۰ تا ۰/٦۵	۰/۱۲ تا ۰/۳۰	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	۳۸ تا ٤۷	۲۳ تا ۲۷	خوب
۰/۱۸ تا ۰/۲۷	۰/٤۰ تا ۰/۷۰	۰/۱۲ تا ۰/۳۰	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	٤۲ تا ۵۲	۲۱ تا ۲۵	رضایتبخش
۰/۲۸ تا ۰/۳۷	۰/۵۰ تا ۰/۸۰	۰/۱۵ تا ۰/۳۵	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	۵۰ تا ٦۲	۱۷ تا ۲۱	رضایتبخش
۰/۳۸ تا ۰/٤۹	۰/۵۰ تا ۰/۸۰	۰/۱۵ تا ۰/۳۵	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	٦۰ تا ۷۲	۱۳ تا ۱۵	محدود
۰/۵۰ تا ۰/٦۰	۰/۵۵ تا ۰/۸۵	۰/۱۵ تا ۰/۳۵	۰/۰۵۵	۰/۰٤۵	۷۰ تا ۸۰	۹ تا ۱۱	ضعیف

قسمتی از فلز مبنای مجاور جوش که ذوب نشده ولی بعضا" تغییرات متالورژیکی را پشت سر نهاده است به منطقه تاثیر حرارت یا HAZ معروف است.

همانطور که قوس درز جوش به جلو حرکت می کند یا برای تعویض الکترود یا در خاتمه جوش قطع میشود، حین سردشدن نواحی گرم شده دو فرایند عمده مکانیکی و متالورژیکی اتفاق می افتد.

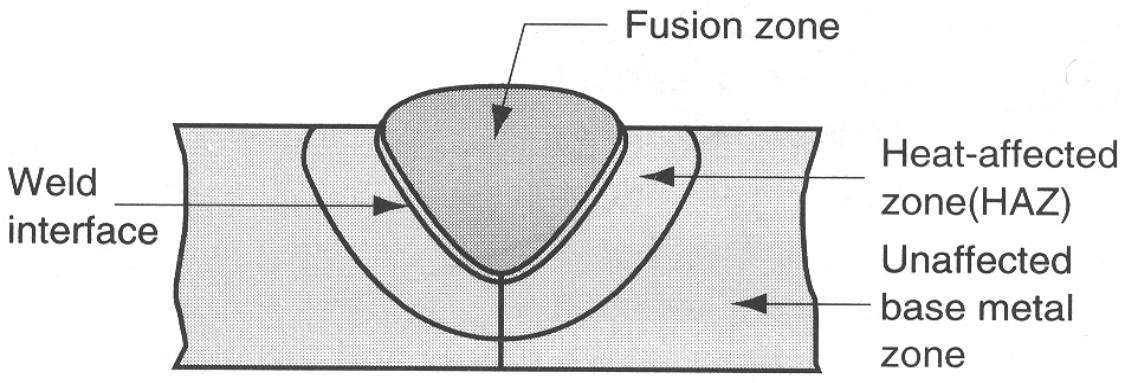
فرایند مکانیکی

تنشهای باقیمانده و پیچیدگی از انقباض موضعی ناحیه جوش حین انجماد و سردشدن ناشی می شود.

فرایند متالورژیکی

با سردشدن فولاد و عبور از محدوده تبدیل فرایند متالورژیکی که قبلا" به آن اشاره شد بطور معکوس اتفاق می افتد. اگر سردشدن آهسته انجام گیرد، دوره تبدیل در سردشدن برعکس دوره تبدیل در گرم شدن خواهد بود. مطابق شکل (۵) گرچه اندازه دانه تغییر می کند ولی منطقه تاثیر حرارت ترکیبی از فریت، پرلیت و سمانتیت خواهد داشت و بنابراین مشابه فلز مبنای نرم اصلی خواهد بود.
سرعت سرد شدن به کل ورودی حرارت از جمله پیش گرمایش و ترکیبی از اندازه جسم، ضخامت و قابلیت هدایت حرارت بستگی دارد. چون جرم فلز مذاب حین جوشکاری در مقایسه با فلز مبنای مجاور خود فوق العاده کم است، از این نظر سرعت سرد شدن فوق العاده زیاد است.

این موضوع خیلی واضح است، زیرا فلز جوش طی مدت چند ثانیه از نقطه ذوب فولاد به درجه حرارت حدود ٦٥٠ درجه سانتیگراد میرسد و فولاد برنگ سیاه در می آید. وقتیکه فولاد فوق العاده کم کرین (مثلا" فولاد پرچ با کربن کمتر از ۰/۱۰ درصد)بطور سریع سرد شود، تقریبا" تمام اوستنیت به فریت تبدیل شده و فولاد نرم و داکتیل باقی می ماند.



شکل (۵) - طرح شماتیک جوش و منطقه HAZ

A- ناحیه کار سرد (دانه های کشیده)

B- ناحیه تبلور مجدد با دانه های هم محور که درشت ترین دانه ها در مجاورت جوش قرار گرفته اند.

C- ناحیه جوش (ساختار ریخته ای با دانه های ستونی)

گرچه گاهی گفته می شود که سخت شدن منطقه تاثیر حرارت بر مقاومت قطعه یا مناسب بودن آن برای بهره برداری اثر ندارد ولی موارد ویژه ای نظیر خوردگی تنشی ایجاب می نماید که سختی از حد معینی تجاوز ننماید و به این منظور گاهی عملیات حرارتی پس از جوشکاری ضروری می گردد.

نگرانی عمده از سخت شدن منطقه تاثیر حرارت، تشکیل ترک است که بطور موثری مقاومت اتصال را کاهش می دهد.

اگر هیدروژن نیز بصورت محلول در فولاد در طول مرز ذوب حضور داشته باشد، وقتی سختی از حدود ۳۰۰ ویکرز تجاوز کند، خطر تشکیل ترک زیاد است.

این میزان سختی با تغییرات متالورژی در منطقه تاثیر حرارت پیش می آید و با ترکیب شیمیایی و سرعت سرد کردن قابل کنترل است. چون فولادهای با مقاومت بالا تقریبا" همواره نسبت به فولادهای کم کربن، کربن معادل بالاتری دارند، افزایش سختی مشکل عمده ای در جوشکاری پدید می آورد.

برای جوشکاری فولادهای با کربن معادل بالاتر از ۰/٤۰ درصد، دستورالعملهایی لازم است که نه تنها سرعت سرد کردن را پایین بیاورد بلکه همچنین درصد هیدروژن را به حداقل ممکن برساند.

هیدروژن از راههای زیادی نظیر روپوش الکترود، رطوبت موجود در گاز محافظ و چرب بودن سیم جوش و فلز مبنا وارد حوضچه جوش می گردد.

هیدروژه وارد شده در فلز مذاب حل شده و به داخل فلز مبنا هدایت گردیده و در منطقه تاثیر حرارت متمرکز می شود. مقدار هیدروژن حوضچه های جوش اندازه گیری و نسبت به سختی معینی مقادیر بحرانی بدست آمده است.

این مقدار برحسب میلی لیتر هیدروژن بر ۱۰۰ گرم فلز جوش بیان می شود و معمولا" محدوده آن ۵ تا ٤٠ میلی لیتر بر ۱۰۰ گرم فلز جوش است. توزیع واقعی هیدروژن در اتصال جوش داده شده تا حدود زیادی به درجه حرارت فلز مبنا بستگی دارد.

هیدروژن در فلز داغ بسرعت نفوذ می کند ولی حرکت آن در درجه حرارت اطاق بسیار کند است، بنابراین حین جوشکاری براحتی در منطقه تاثیر حرارت جاری می شود ولی از نوار حرارت دیده خارج نمیشود.

پیش گرم کردن فلز مبنا هیدروژن را در ناحیه وسیعی پراکنده کرده و تمرکز آن را در ناحیه سخت شده کم می کند. علاوه بر آن پیش گرم کردن سرعت سرد شدن را کند کرده و حداکثر سختی را تقلیل می دهد.

به این دلیل هنگام جوشکاری فولادهای ساختمانی با مقاومت بالا از پیش گرم کردن (۷۵ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) استفاده می شود.

فصل هفتم

عیوب و علل پیدایش آنها در جوشکاری

مطالبی که در این قسمت بیان می شود در برگیرنده کلیه عیوب حاصل از اتخاذ روش غلط در جوشکاری گاز و یا قوس الکتریکی نخواهد بود، بلکه به طور اجمالی معایبی را که عمومیت داشته و به اصطلاح شناخته شده هستند مورد بررسی قرار می دهند و باز یادآور می گردد عللی که برای پیدایش این عیوب ذکر شده همگی این علت ها نیستند، به طور مثال وقتی برای عیب ترک عرضی عللی را ذکر میکنیم امکان دارد در بعضی موارد عامل بخصوص دیگری موجب آن باشد که در این فصل ذکر نشده باشد و این به خاطر گسترده بودن دامنه صنعت جوشکاری که خود یک ریخته گری در حد کوچک ولی علمی است می باشد نه به خاطر نارسا بودن مطالب.

به طور کلی عیوب حاصل در جوش را میتوان به صورت ساده ای طبقه بندی کرد.

عیوب ریشه ای جوش

عیوب داخلی جوش

عیوب سطحی و یا جانبی جوش

در این طبقه بندی عیوب ریشه ای به نواقصی اطلاق می شود که معمولا در پاس یک "Root Pass" بوجود می آید و جزء نواقص مهم شمرده می شود، عیوب داخلی نواقصی است که در قسمت "Filling Hot Pass " بوجود می آید و از نظر اهمیت در درجه دوم قرار دارد و عیوب سطحی یا جانبی که در بعضی موارد با بازرسی عینی نیز قابل رویت می باشند و در پاس رو یا "Cap" ایجاد می شوند که به آسانی قابل تعمیر هستند.

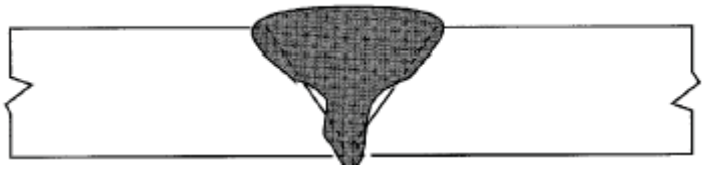
البته نقص Crack که به صورتهای مختلف مشاهده می شود می تواند در کلیه پاسها بوجود آید و یکی از عیوب بسیار مهم جوش تلقی می شود.

اکنون بطور اختصار به بررسی هر یک از عیوب و علت بوجود آمدن و محل قرار گرفتن عیب در داخل جوش می پردازیم.

ذوب ناقص(LACK OF FUSION)

علل بوجود آمدن ذوب ناقص در جوش عبارت است از:

- سرعت حرکت جوشکاری زیاد است
- جریان جوشکاری خیلی پایین است
- غلط بودن شکل آماده سازی قطعه
- قطر الکترود کم می باشد
- در حین جوشکاری سرگردانی قوس وجود داشته است
- غلط بودن زاویه نگهداری الکترود یا سیم جوش در زمان جوشکاری

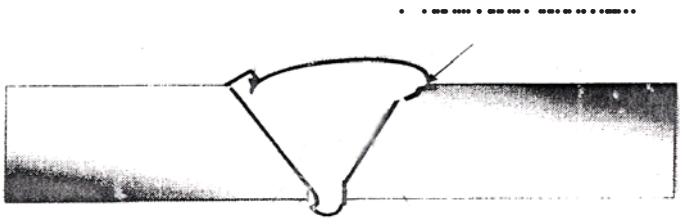


شکل ۱۲- وقوع عیب ذوب ناقص.

قارچی شکل شدن گرده جوشOVER LAPPING

علل ایجاد قارچی شکل شدن گرده جوش (شکل۱۳) عبارت است از:

- سرعت جوشکاری خیلی پایین است
- زاویه سیم جوش، الکترود و یا تورچ جوشکاری صحیح نیست
- سایز سیم جوش یا الکترود خیلی زیاد است (نسبت به آمپر)

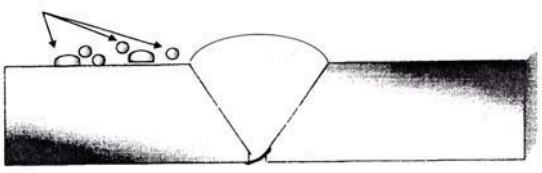


شکل۱۳- قارچی شدن شکل گرده جوش.

جرقه SPATTER

علل پاشش جرقه در اطراف گرده یا خط جوش(شکل۱۴) عبارت است از:

- سرگردانی قوس ARC BLOW
- بالا بودن جریان جوشکاری
- زیاد بودن طول قوس جوشکاری
- وجود رطوبت، تمیز نبودن قطعه کار، استفاده از سیم جوش یا الکترودهای معیوب



شکل۱۴- جرقه های اطراف گرده جوش.

سرگردانی قوس MAGNETIC ARC BLOW

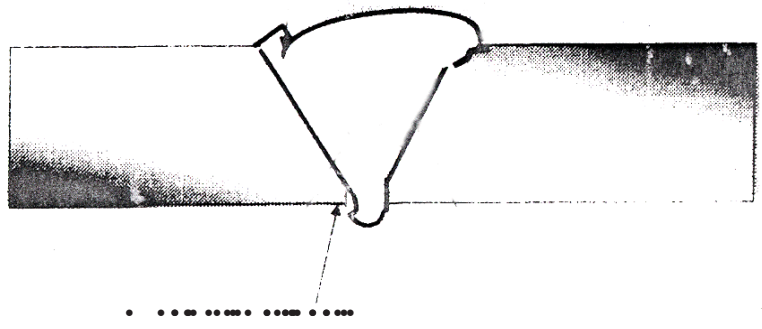
علل بوجود آمدن سر گردانی قوس عبارت است از:

- متعادل نبودن میدان مغناطیسی در قطعه کار هنگام جوشکاری
- اتصال قطعات با اختلاف ضخامتی خیلی زیاد

نفوذ ناقص LACK OF PENTRATION

علل موثر در تشکیل یک جوش با نفوذ ناقص(شکل۱۵) عبارت است از:

- پایین بودن جریان برای جوشکاری
- کوچک بودن زاویه شیار پخ ها
- ضخیم بودن پاشنه جوش
- کم بودن فاصله لبه ها در ناحیه ریشه جوش
- عدم مهارت جوشکار
- عدم هم ترازی لبه قطعات

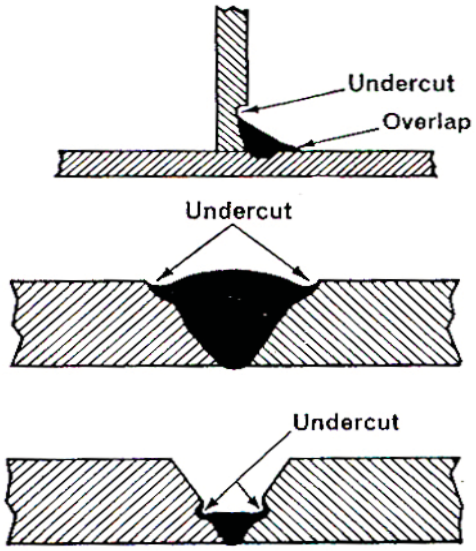


شکل۱۵- نفوذ ناقص فلز جوش.

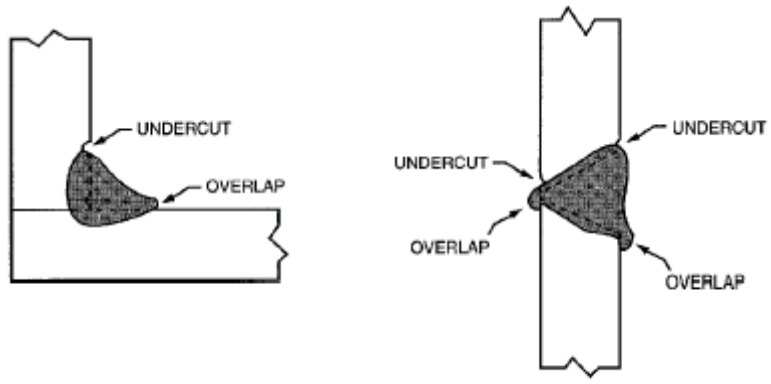
بریدگی کناره های جوش UNDER CUTTING

عوامل موثر در بوجود آمدن بریدگی کناره های جوش شکل(۱۶) عبارت است از:

- صحیح نبودن حرکت دست و عدم مکث در کناره های جوش در جوشکاری زیگزاگی
- جوشکاری با جریان خیلی زیاد
- طول قوس خیلی زیاد
- جوشکاری با سرعت بالا و زاویه غلط تورچ یا الکترود
- سرگردانی قوس ARC BLOW



شکل۱۶- بریدگی کناره جوش.



شکل ۱۷- عیوب Under Cut و Overlap.

تخلخل های گازی POROSITY

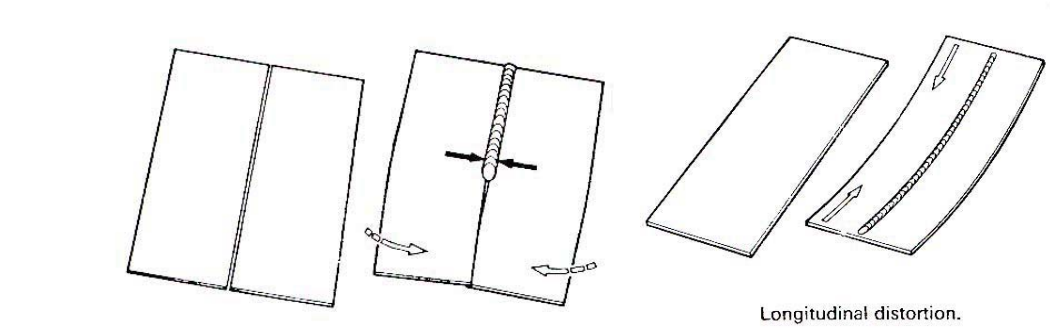
علل ایجاد تخلخل در جوش عبارت است از:

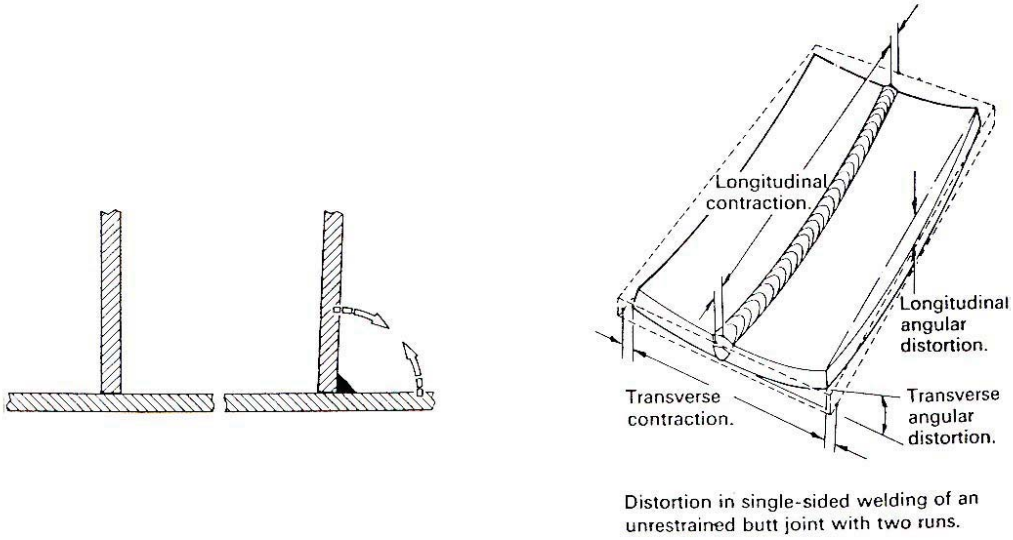
- کم یا زیاد بودن طول قوس و رعایت نکردن فاصله صحیح تورچ تا سطح کار
- زیاد بودن جریان جوشکاری
- تنظیم نبودن صحیح گاز محافظ در جوش MIG-MAG و TIG
- زیاد بودن سرعت حرکت تورچ و یا الکترود
- پوشیده بودن سطح قطعه مورد جوشکاری از روغن ، گریس ، لایه های اکسید، گرد و غبار و کثیف بودن
- مرطوب بودن و معیوب بودن سیم جوش الکترود
- زاویه غلط تورچ در جوشکاری MIG-MAG و TIG و وزش باد در محیط کار

پیچیدگی(اعوجاج)DISTORTION

علل بوجود آمدن پیچیدگی در قطعه (شکل۱۸)جوشکاری شده عبارت است از:

- رعایت نکردن موقعیت خال جوشها در زمان مونتاژ قطعات و ابعاد غلط خال جوش
- رعایت نکردن ترتیب جوشکاری قطعات جوشکاری شده طبق دستور العمل جوشکاری قطعه WPS
- رعایت نکردن ابعاد قطعات قبل از مونتاژ و درست فیت نکردن قطعات
- استفاده ناصحیح از فیکسچر جوشکاری هنگام جوشکاری قطعات مونتاژ شده
- رعایت نکردن ابعاد جوش(بالا بودن سایز جوشها)



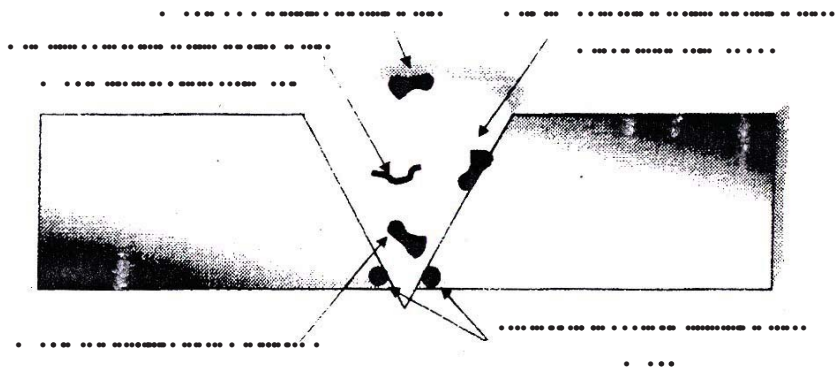


شکل۱۸- پیچیدگی و اعوجاج در جوشکاری.

آخال و سر باره (گل جوش) Slag Inclusion

علل بوجود آمدن آخال سرباره (این واژه به مواد جامد اکسیدی و غیر فلزی مثل آخال گل جوش، آخال تنگستن، آخال لایه های اکسیدی فلز و آخال سوختگی فلز در زمان لیه سازی با برش کار گفته می شود) عبارت است از(شکل۱۹):

- پریدگی یا سوختگی کنارهای جوش در پاسهای ریشه و پاسهای میانی
- سوختگی سطح لبه های آماده شده برای جوشکاری
- آلودگی تنگستن در فلز جوش در جوش TIG
- عدم پاکسازی کامل گل جوش در جوشکاری چند پاسه



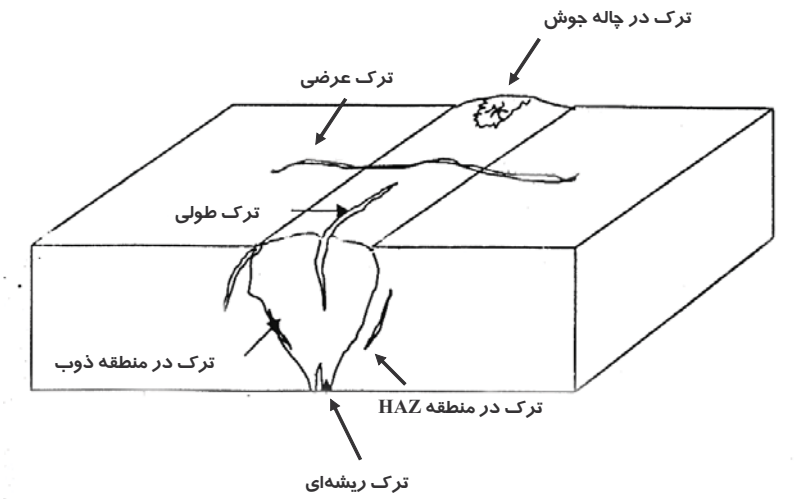
شکل۱۹- انواع مختلف آخال.

ترکCRACK

علل بوجود آمدن ترک در جوش(شکل۲۰) عبارت است از:

- استفاده از الکترود و یا سیم جوش اشتباه

- انتخاب غلط ومقدار دما برای پیش گرم و پس گرم
- انتخاب اشتباه برنامه و دما برای عملیات حرارتی قطعه
- تنش های داخلی وسطحی جوش به خاطر طراحی غلط اتصال
- برداشتن سریع الکترود و قطع سریع جوشکاری ترک چاله جوش و یا ترک انقباضی CRATER
- سرد کردن قطعه جوشکاری شده با سرعت بالا



شکل ۲۰-انواع ترکها.

فصل هشتم

آزمایشات غیر مخرب

- مایعات نافذ

این روش آزمون را می توان برای عیب یابی بسیاری از قطعات، به شرط آنکه عیوب به سطح قطعه راه داشته باشند، به کار گرفت. مبانی آزمون عبارتست از نفوذ یک مایع در عیوب (منافذ) سطحی در اثر جاذبه موئینگی، و مشاهده ترکهای سطحی با چشم غیرمسلح پس از انجام عملیات ظهور برروی مایع نافذ به منظور نمایان شدن کامل ترکها، مایع نافذ با یک ماده رنگی روشن رنگ آمیزی شده یا ماده ای فلورسانت به آن افزوده می شود. در حالت نخست ، ماده رنگی معمولا" قرمز است و سطح پس از افزودن ماده ظاهر کننده، با نور معمولی هم قابل رویت خواهد بود، ولی در حالت دوم قطعه را باید در نور فرا بنفش مورد بازرسی چشمی قرار داد.

زمان و نحوه بهره گیری از این آزمون دقیقاً معلوم نشده است ولی یکی از نخستین شکلهای اعمال آن استفاده از دوده بر روی سطح لعابی ظروف سفالی برای مشاهده ترکهای لعاب کاری گزارش شده است. در این روش، دوده در ترکها وارد شده و مرز آنها را بوضوح مشخص می کرد. این روش سپس برای تزئین ظروف سفالی مورد استفاده قرار گرفت.

زمینه پیدایش بازرسی مایع نافذ با تکنیک نفت و گچ همراه است. عیب یابی ترکها در قسمت لوکوموتیو راه آهن بطریق زیر انجام میگرفت. اول قطعات را چند ساعت در نفت غوطه ور ساخته و بعد از تمیز کردن نفت اضافی با کهنه آغشته به پارافین، یک رنگ سفید اعمال میشد. رنگ مخلوطی از الکل چوب و گچ است که وقتی خشک شود، از آن پودر سفید ریز بدست می آید. نفتی که از سطح قطعه کار داخل ترکها شده، از سوراخ ریز به بیرون تراوش کرده و در داخل گچ مانند باریکه سیاه قابل دیدن (مرئی) می باشد.

مبانی آزمایش

روش بازرسی فوق الذکر شامل پنج مرحله اصلی بشرح زیر است:

- آماده سازی سطح
- استفاده از مایغ نافذ
- پاک کردن مایع اضافی از روی سطح
- ظاهر سازی (انجام مرحله ظهور)
- مشاهده و بازرسی سطح

آماده سازی سطح

تمام سطح مورد آزمایش باید کاملاً تمیز شده و پیش از اعمال روش کاملاً خشک شود، لازمه موفقیت در آزمون این است که سطح از چربی ، آب، روغن و دیگر مواد آلوده کننده عاری باشد.

استفاده از مایع نافذ

پس از آماده شدن سطح، مایع نافذ با روش مناسب به نحوی بر آن عرضه می شود که سطح از غـشائی پیوسته از مایع پوشیده گردد. مایع باید به مدت کافی، بـرای نفـوذ در عیـوب سـطحی، در روی قطعـه بماند.

پاک کردن مایع اضافی

پس از نفوذ مایع در عیوب سطحی، قطعه باید از مایع اضافی پاک شود. برخی از مایعات نافذ را میتوان با آب شست، ولی برخی از آنها را باید با به کارگیری حلال های خاص زدوده کرد. در هر حال شستن یکنواخت سطح، به منظور موثر بودن بازرسی ، لازم می باشد.

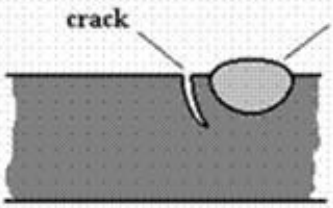
استفاده از ماده ظهور

مرحله ظهور برای نمایش واضح عیوب ضرورت داشته و معمولاً از پودر نرم گـل سـفید بعنـوان مـاده ظاهر کننده استفاده می شود. این ماده را میتوان بصورت خشک بکار بردولی غبارات آن اغلب در یـک مایع فرار به صورت دوغاب درآمده و پس از افشانده شدن برروی سطح، لایه یکنواخت و نازکی از آن سطح قطعه را می پوشاند. مایع

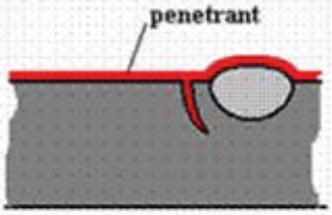
نافد درون منافذ سطحی ، در این مرحله به آهستگی به منافذ دورن پودر گل کشیده شده و پخش شدن نافذ در ماده ظاهر کننده ، مرز عیوب سطحی را به روشنی و به اندازه ای بزرگتر از انـدازه واقعـی آنهـا نشان خواهد داد. هنگامی که از نافذ رنگی استفاده شود ، رنگ آنباید با لایه گل سفید روی سطح قطعـه کنتراستی محسوس ایجاد نماید، اگر از مایعات نافذ فلورسانت استفاده شود، می توان مرحلـه ظهـور را نیز در مواردی حذف نمود.

مشاهده و بازرسی

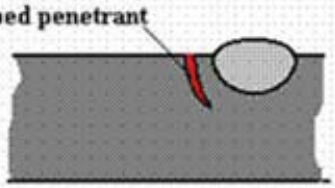
پس از گـــذشت زمـــان لازم برای برگشت مایع نافذ به درون ماده ظاهر کننـده، سـطح قطعـه مـورد بازرسی قرار می گیرد. آزمون با مایعات رنگی در شرایط نوری بسیار دقیق (بـا نـور قـوی) انجـام مـی گیرد، ولی بازرسی با مایعات دارای خاصیت فلورسانس در نور فرابنفش انجام میـشود، در ایـن حالـت مایع نافذ از خود نور مربی گسیل داده و مرز عیوب به نحوی روشن و واضـح مـشخص میـشود، پـنج مرحله اساسی روش مایعات نافذ در شکل زیر نشان داده شده اند.



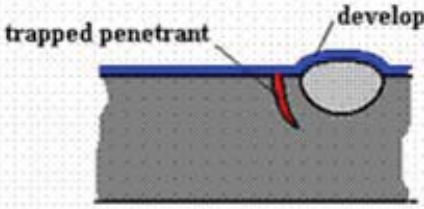
Cleaned surface of a weld which has a crack in the heat affected zone



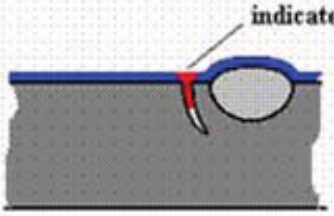
Liquid penetrated is drawn into a crack by capillary action



After the surface is cleaned penetrant remains trapped in the crack



Developer is sprayed onto the surface



Penetrant migrates from the crack, reacts with the developer and causes a colour change which identifies the crack location

۱- تمیزکردن و آماده سازی سطح

به منظور هرچه دقیق تر بودن نتایج بازرسی با مواد نافذ، لازم است سطح قطعه مورد آزمایش کاملاً تمیز باشد. در صورت تمیز نکردن سطح، به نحو مطلوب، ممکن است برخی از عیوب به خاطر نفوذ نکردن مایع در آنها (در اثر بسته بودنشان) و همچنین نزدیکی سطوح کثیف به دهانه عیوب و جذب مایع نافذ بوسیله آلودگیها، قابل تشخیص نباشد. به علاوه ممکن است مایع نافذ با برخی از آلودگیهای سطحی وارد واکنش شده و در نتیجه قابلیت نفوذ آن به ترکهای ریز کاهش یابد.

برای تمیز کردن سطح می توان از روشهای متنوع؛ بطور مجزا و یا همزمان، استفاده کرد. انتخاب روش به طبیعت قطعه، نوع آلودگی سطحی و تعداد قطعاتی که باید بازرسی شوند بستگی خواهد داشت. برس زنی ، شن پاشی خشک یا تر و تمیزکاری سایشی در استوانه های دوار از جمله روشهائی هستند که می توان آنها را برای زدایش پوسته های اکسیدی نازک ، گدازه های جوشکاری چسبیده به سطح و آلودگی های سطحی مورد استفاده قرار داد. تمیزکاری فراصوتی نیز در هنگامی که با تعداد زیادی از قطعات کوچک سرو کار داریم روشی مناسب به حساب می آید.

چربی و روغن با استفاده از حلال ها، آب تحت فشار و بخار تمیز می شود. همچنین می توان از روشهای تمیزکاری شیمیائی نیز بهره گیری کرد، محلولهای قلیائی برای زدودن روغن ها، چربی ها و لایه های سطحی کربن مناسب بوده و برای تمیزکردن سطح از پوسته های ضخیم اکسیدها از محلولهای اسیدی قوی استفاده می شود.

۲- مایع نافذ

بعد از تمیزکاری و آماده کردن، مرحله بعدی بکار بردن ماده ای است که در یک زمان مناسب وارد هر نوع عیبی که به سطح راه دارد بشود. در استانداردهای مختلف مدت زمان مناسب ارائه شده است.برای نمونه در استاندارد BS ٦٤٤٣ این زمان ده دقیقه درنظر گرفته شده است. زمان متوسط تماس مایع نافذ با قطعه کار بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه است. مایع نافذ جدید به ندرت زمانی طولانی نیاز داشته و احتمال تبخیر آن در درجه حرارت محیط نیست.

هنگامی که بازرسی تعداد زیادی قطعه کوچک را مورد آزمایش قرار میدهد ، غوطه ور کردن قطعات در مخزن حاوی نافذ معمولاً مناسب ترین روش می باشد. قطعات را پیش از وارد کردن به مخزن باید کاملاً تمیز و خشک کرد، زیرا آب و یا محلول تمیز کننده باقیمانده برروی سطح ، نفوذ مایع در عیوب را دچار وقفه ساخته و به علاوه مایع را آلوده خواهد ساخت. در خلال غوطه ور کردن قطعه باید دقت کافی در جلوگیری از تشکیل تله هوا مبذول شده و تمام سطوح قطعه کاملاً تر شود، معمولاً قطعات به مدت از پیش تعیین شده ای غوطه ور و سپس شسته می شوند. در این مرحله باید اطمینان حاصل کنیم که مایع نافذ از تمام تورفتگی ها و مجاری قطعه گذشته و خارج شده است. قطعاتی که روی سطحشان دارای مایع نافذ باشند باید پس از خشک کردن ، مجدداً غوطه ور شوند.

به آب بستن به صورت سیلاب معمولاً برای آزمایش بخش های گسترده ای از سطح یک قطعه مورد استفاده قرار می گیرد، در اینجا مایع نافذ با فشار کم و به نحوی پاشیده می شود که از پودر شدن آن جلوگیری گردد. در این مورد باید دقت شود که مایع تمام سطح مورد آزمایش را بپوشاند و سطح در تمام مدت نفوذکردن مایع در آن ؛ به حالت تر باقی بماند.

هنگامی که بازرسی قطعات منفرد مورد نظر بوده و یا آزمایش در جا انجام گیرد، نافذ به وسیله برس و یا پاشیدن با افشاننده ای بادی بر سطح قطعه اعمال می شود. اگر شکل قطعه پیچیده باشد برس زنی ترجیح داده

می شود. در این مورد نیز مانند روش سیلابی باید از خشک شدن مایع نافذ بر روی سطح جلوگیری شود.

خصوصیات مایع نافذ

برای موفقیت آمیز بودن بازرسی با مایعات نافذ، لازم است این مـواد از ویژگیهـائی کـه ذیـلاً مورد توجه قرار می گیرند برخوردار باشند. معمولاً و در عمل، فرمولهای مواد نافذ بـه نحـوی انتخـاب می گردد که ترکیب بهینه ای از پارامترهای مورد لزوم را دارا باشند:

- قابلیت نفوذ

مایع نافذ باید از قابلیت ورود (نفوذ) در نقایص و عیوب کاملاً ریز سطحی و همچنـین دیگـر مجـاری سطح قطعه برخوردار باشند.

- قوام

مایع نافذ باید قابلیت ترکنندگی خوبی داشته و بتواند لایه ای پیوسته در روی سـطح ایجـاد نمایـد، بـه علاوه باید قادر باشد در مدت معینی به درون منافذ و عیوب سطحی کشیده شود.

- سیالیت

گذشته از ویژگیهای بالا، مایع نافذ باید قابلیت جاری شـدن از مجـاری درون قطعـه را دارا بـوده و در همین حال مقدار بسیار ناچیزی از آن از درون عیوب بیرون کشیده شود.

- قابلیت حل کنندگی

در صورت لزوم باید مایع نافذ بتوان با انحلال مواد آلوده کننده سطح و درون عیـوب، از میـان آنهـا راه باز کرده و عیوب را پرنماید.

- پایداری

مایع نافذ باید در دامنه وسیعی از دما و رطوبت پایدار بوده، تشکیل کف ندهد و به علاوه مواد فـرار آن در زمان انبار شدن در مخازن نگهداری باید از بین نرود.

- قابلیت شستشو

ماده نافذ باید به سادگی از سطح قطعه شسته شده و در عین حال، مقـداری از آن کـه بـه درون عیـوب وارد شده نباید تحت تأثیر قرار گیرد.

- ویژگیهای خشک شوندگی

مواد نافذ باید در مقابل خشک شدن و بیرون کشیده شدن کامل از عیوب، در خلال خشک کردن قطعـه با هوای گرم و پس از شستشوی سطح، مقاوم باشند. در حالت ایده آل، گرمـا بایـد برگـشت مـایع بـه سطح قطعه را تسهیل کرده و بنابراین به نمایان شدن عیوب کمک نماید.

انواع مایع نافذ

مایعات نافذ از لحاظ نحوه پاک شدن از سطح و ماهیت رنگ آنها تقسیم بندی میشوند.

متداولترین مایعات نافذبا توجه به نحوه شستشوی آنها از سطح که مورد استفاده قـرار مـی گیرنـدبقرار زیر می باشند:

- سیستم قابل شستشو با آب(water washable)

ایـــن سیستم که از مایعات دارای خاصیت فلورسانس و یا رنگی بهره می گیرد طوری طراحی شده که می توان مایع را مستقیماً ، به کمک آب، از سطح قطعه پاک کرد ، از اینرو فرآینـد بازرسـی سـریع و از کارآئی بالائی برخوردار است. عملیات شستشوی سطح، به خصوص اگر با افـشاندن آب انجـام گیـرد، باید کاملاً با دقت همراه باشد. در یک سیستم خوب و کارآمد، شرایط و عوامل مـوثر از قبیـل فـشار و دمای آب ، مدت زمان شستشو، شرایط سطحی قطعه و ویژگیهای مایع بـرای شـسته شـدن بایـد بهینـه شوند. البته در این شرایط هم امکان شستشوی مایع درون عیوب کوچک منتفی نمی شود.

- سیستم همراه با امولسیون سازی(post emulsifier)

اگر آشکارسازی عیوب کوچک سطحی ضرورت داشته باشد معمولاً از مایعات با حساسیت زیاد که با آب شسته نمی شوند استفاده می شود. این قبیل نافذها دارای پایه روغنی بوده و پاک کردن آنها احتیاج به انجام یک مرحله اضافی، یعنی امولسیون سازی ، دارد. ماده امولسیون ساز بعد از اعمال ماده نافذ و گذشت زمان کافی برای جذب آن در عیوب، افزوده میشود. مزیت اصلی این سیستم این است که ماده امولسیون ساز باعث حل شدن مازاد ماده نافذ در آب شده و شستشو با آب را امکان پذیر می کند. در صورتیکه فرآیند کار دقیقاً کنترل شود، ماده نافذ درون عیوب دست نخورده مانده و معمولاً عیوب کوچکی که، اغلب به خاطر شسته شدن ماده نافذ قابل تشخیص نیستند، با بکارگیری این روش قابل رویت خواهند بود.

علی رغم مزیت یاد شده، این سیستم به خاطر گران قیمت بودن مواد نافذ و امولسیون ساز و طولانی تر بودن زمان کار، روش بازرسی نسبتاً هزینه زا می باشد، و بکارگیری آن نیز به وسائل نقلیه بیشتر و فضای زیادتری دارد.

- سیستم قابل شستشو با حلال(solvent)

اغلب ضرورت ایجاد می کند که تنها بخش کوچکی از سطح قطعه بازرسی شده و یا به جای انجام بازرسی در ایستگاههای آزمون متداول، اینکار " درجا " صورت گیرد. در اینگونه موارد از مایعات نافذ قابل شستشو با حلال استفاده میشود، و معمولاً برای تمیز کردن اولیه سطح و زدایش نافذ مازاد، از یک نوع حلال استفاده می شود.

مواد حلال به دو گروه قابل اشتعال و غیر قابل اشتعال تقسیم می شوند. تمیز کننده های قابل اشتعال از جنبه آتش سوزی خطرناک بوده ولی از هالوژن عاری می باشند، در حالیکه گروه دوم از حلال های هالوژنی می باشندو بنابراین به کار بردن آنها در فضای بسته (به خاطر سمی بودنشان) توصیه نمی شود.

مایعات نافذ از لحاظ مواد رنگی آن به دو نوع اصلی تقسیم می شوند:

- مایع نافذ با زمینه رنگی

مایعات نافذ با زمینه رنگی معمولاً قرمز رنگ هستند. وقتی که روشنائی روز کافی است یا روشنائی مصنوعی لامپ موجود باشد و امکان استفاده از نور ماوراء بنفش به خاطر دسترسی به منبع آن نباشد از این نوع مایع نافذ استفاده میشود. برای مایع نافذ قرمز از ظهور پاششی سفید رنگ استفاده میشود زیرا در زمینه سفید علائم قرمز به وضوح مشخص می گردد. جای طبیعی استفاده از مایع نافذ با کنتراست رنگی در کارگاه است که در آن آزمایشات ساختمانی و جوشکاری انجام می گیرد. این مایع نافذ قابل شستشو با آب نیزمی باشد و برای ریخته گری خشن به ندرت از آن استفاده می شود.

- مایع نافذ فلورسنت

بیشتر استفاده مایع نافذ فلورسنت در کارخانجات روی قطعات ریخته گری، آهنگری ، قطعات دقیق، آلیاژ آلومینیوم ، فولادهای ضدزنگ و غیره انجام می گیرد. شستشوی مایع نافذ اضافی با آب بوده و از پاک کننده ها نیز میتوان استفاده نمود. مایع نافذ فلورسنت بیشتر از مایع نافذ زمینه رنگی، حساس بوده و ده برابر زمینه قرمز قابل دیدن است و این بخاطر آن است که بازرسی در اطاق تاریک انجام میگیرد و اپراتور عیوب درخشانی در زمینه سیاه و تاریک می بیند.

روش بکار بردن مایع نافذ

روشهای بکار گیری مایع نافذ مختلف بوده و بستگی زیادی به محیط کار دارد. معمولترین روش بکارگیری مایع نافذ زمینه رنگی با پاشش مخزن های کاری است (AEROSOL) . روش اعمال مایع نافذ اساسی نبوده و در حقیقت کاملاً می تواند مختلف و درهم باشد ، به شرطی که از خطر آلودگی مواد خارجی اجتناب شود. نحوه بکار بردن مایع نافذ وقتی که از مجموعه قابل حمل استفاده میشود، مهم نیست ولی باید تمام سطح ناحیه بازرسی به دقت ملاحظه شود.

۳- پاک کردن مایع اضافی از روی سطوح

بعد از اینکه مایع نافذ در یک زمان قابل قبول بر روی سطح مورد آزمایش قرار گرفت، مقدار اضافی آن باید پاک شود. البته این امر نبایدبر مایع نافذی که داخل نواقص و عیوب نفوذ کرده تأثیرداشته باشد.
این امر حیاتی است که سطح نباید زیاد شسته شود تا داخل نواقص نیز پاک شده و مایع نافذ از آن خارج گردد. بهرحال بدون شستن درست و کافی مایع نافذ اضافی یک زمینه قوی باقی مانده و کنتراست و وضوح بین نواقص و سطح آزمایش را کاهش می دهد.
انتخاب نوع مایع نافذ و روشی که استفاده می شود بوسیله سه عامل زیر مشخص می شود:
الف – نوع نواقصی که انتظار می رود
ب – شکل هندسی قطعه کار
ج – برداشت سطح تمام شده قطعه کار (مقدار همواری)

حداقل اندازه نقص که میتواند بوسیله مایع نافذ فلورسنت عیب یابی شود بوسیله مقدار ناهمواری سطح قطعه کار محدود می شود.

ماده نافذ اضافی روی سطح قطعه، معمولاً با مالیدن پارچه ای پنبه ای و آغشته به حلال بر روی آن پاک می شود. در صورت امکان باید از تکنیکهای شستشوی سیلابی پرهیز شود، زیرا در اینصورت بیرون کشیده شدن نافذ از عیوب نیز متحمل خواهد بود. اگر این روش آزمون با دقت و رعایت دستورالعمل های لازم انجام گیرد دارای حساسیت چشمگیری خواهد بود. در عین حال باید توجه داشت که هزینه اعمال آن نسبتاً زیاد می باشد، زیرا قیمت مواد بالا و فرآیند کارگر طلب است.

٤- ماده ظهور

مرحله ظاهر سازی بحرانی ترین بخش فرآیند بازرسی به شمار می رود. با به کارگیری ظاهر کننده های مناسب می توان عیوب مرزی را که در صورت بکارگیری ظاهر کننده نامناسب مشخص نمی شوند پیدا کرده و به وجود عیوب بسیار ریز پی برد. بعلاوه بکار بردن چنین موادی زمان بازرسی را در اثر شتاب دادن به پیدایش نشانه های سطحی عیوب کاهش خواهد داد.

به منظور دستیابی به شرایط بهینه بازرسی، مواد ظاهر کننده برای بکار بردن با نافذهای مشخص ساخته می شوند. از اینرو است که باید از ظاهر کننده ها و نافذهای دارای سازگاری استفاده شود، در غیراینصورت ممکن است ظاهر کننده هیچگونه تأثیری بر نافذ باقی نگذارد. برای آن که یک ظاهر کننده بتواند عملکرد مناسب داشته باشد،

ماده ظهور انواع مختلفی بشرح ذیل دارد که لازم است ترکیبی بهینه از شرایط و ویژگیهارا دارا باشد:

- ماده ظهور پودر خشک

معمولاً ماده ظهور پودر خشک فلورسنت نمی باشد، سبک و کرکی بوده و خاصیت جذب بالائی داشته و به سطح فلزی خشک می چسبد، ولی به سطح خیس بهتر می چسبد . بنابراین بطورکلی برای خروج مایع نافذ از عیوب مناسب است.

پودر خشک در نور سفید به سختی دیده می شود، اما در اطاق تاریک زیر نور ماوراءبنفش کنتراست فلورسنت درخشانی دارد و بهمین علت برای سیستم فلورسنت مناسب نیست.

بعلت طبیعت جاذب الرطوبه آن اگر مقدار قابل ملاحظه ای استنشاق یا بلعیده شود، مجرای بینی، گلو را خشک می کند . مضر نیست اما ناراحتی ایجاد می نماید. کم و بیش بهتر است هنگام کار با آن احتیاط شود.

- مایع ظهور بدون آب

این مایع را اغلب اوقات ماده ظهور باحلال معلق کننده می نامند. معمولترین حلال تری طروانان ۱-۱-۱ می باشد. اگر چه سلفور یا هالوژن آزاد با مواد قابل اشتعال همچون آستن و نفت نیز استفاده می شود.

این نوع ماده ظهور معمولترین ظهوری است که با مایع نافذ زمینه رنگی استفاده می شود این ماده یک زمینه سفید رنگ ایجاد می کند که عیوب را به آسانی قابل رویت می نماید.

- مایع ظهور آبی

ماده ظهور آبی را میتوان بدو بخش قابل تعلیق و قابل حل تقسیم نمود. نوع قابل تعلیق آن بصورت پودر سفید خریداری شده و به نسبت درست مخلوط می گردند. مخلوط خیلی رقیق آن برای آزمایش فلورسنت استفاده میشود. مرتباً باید آنرا بهم زد تا مواد معلق یکنواختی خود را حفظ کنند.

نوع قابل حل، این نوع ماده ظهور در آمریکا کاملاً متداول است. اما در اروپا توجه کمی به آن نشان می دهند، بصورت دانه های ریز فروخته می شود. در حقیقت یک نوع نمک قابل حل در آب می باشد و وقتی با آب حل شد رنگ حصیری می گیرد.

اگر قطعه کار با مایع ظهور خیس شود و خشک گردد، سطح آن به سختی در نور عادی آشکار می گردد. این نوع ظهور محدود به فلورسنت می باشد.
پاشش ماده ظهور به روشهای گرد باد پودر خشک ، ایروسل یا پیستوله های بادی انجام می گیرد.

۵- بازرسی

۱. انجام بازرسی :

قطعه کار باید بمحض اعمال ماده ظهور بازرسی می گردد. مخصوصاً این عمل زمانی که از مایع ظهور معلق در حلال استفاده میشود ، ضروری است. مایع نافذ بعضی اوقات می تواند سریعاً از یک شکاف خارج شده و سوراخ و عیوب هم جوار خود را مسدود سازد. بازرسی قطعاتی که در داخل کابینت ماده ظهور زده میشوند و یا ماده ظهور آن آبی است، خیلی دشوار می باشد. بهرحال بعنوان یک اصل زمان

ظهور از صفر تا ۳۰ دقیقه تغییر میکند. بعضی بازرسان پیشنهاد می کنند زمان ده دقیقه برای ظهور کافی است، اما نظر عمومی بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه است. که رعایت آن رضایت بخش می باشد.

۲. تمیز کاری و محافظت بعد از آزمایش

اغلب لازم است باقی مانده مواد آزمایش از قطعه کار تمیز شود . بهرحال در بعضی حالات وقتی که یک رنگ با کیفیت بالا برای سطح قطعه کار بکار می رود طبیعی است سطح آن از مایع نافذ و باقی مانده ماده ظهور زدوده شود.

برای زدودن مایع نافذ بهتر آنست که اول یک ضخامت تری از پوشش مایع ظهور غیرآبی اعمال شود و وقتی خشک شد با برس نرم برس زده شود و بالاخره در داخل حلال زداینده و شوینده غوطه ور ساخته یا به آن پاشیده شده تا کاملاً خیس شود.

اگر قسمتهای پیچیده ای مورد آزمایش قرار می گیرد ، باید با آب گرم مخلوط با حلال باقی مانده، مواد ظهور را پاک نمود. در قطعاتی که با روش فلورسنت آزمایش می شوند، از پودر خشک بعنوان ظهور استفاده می شود در آن صورت باید با هوا تمیز گردد. این عمل تمیزکاری با حلال سرد یا مایع داغ ضدگریس ممکن است دنبال گردد. یک نکته را به خاطر بسپاریم که زدودن جامدات با مایع و بخار ضد گریس دشوار است.

۳. محافظت

وقتی بازرسی مایع نافذ کامل شد، سطح مورد آزمایش بطور ثابتی به آلودگی های خارجی آسیب پذیر است. در حقیقت بسیاری از آزمایشات ممکن است هزینه بالائی داشته باشند. محافظت حتی با روغن سبک ضد رطوبت از احتیاطات به جائی است . در این دفتر آموزشی روشهای مناسب محافظت بررسی نمی گردد و میدان عمل آن نیست. کافی است بگوئیم که محافظت با موادی که بکار می بریم باید سازگار باشد.

مزایا، محدودیت و دامنه کاربرد

با توجه به عدم نیاز به سیستم های الکترونیک، فرآیند آزمون با مایعات نافذ ساده و تجهیزات آن نیز در مقایسه با دیگر روشها ارزانتر می باشد. همچنین سازماندهی روشها و استانداردهای بازرسی برای محصولات و فرآورده های گوناگون معمولاً ساده تر از روشهای پیشرفته تر است.

این روش را میتوان برای بازرسی تمام مواد، بجز مواد متخلخل، بکار گرفت و در برخی از موارد حساسیت آن از روش ذرات مغناطیسی هم بیشتر می باشد. روش مایعات نافذ برای قطعات به هر شکل و اندازه مناسب بوده و برای بازرسی کیفیت محصولات نیمه ساخته و کامل شده و همچنین بازرسی جریان عادی قطعات در زمان کار نیز مناسب می باشد. در این حالت بازرسی ممکن است درجا و بدون نیاز به پیاده کردن سازه های پیچیده انجام شود و یا مشتمل بر بازرسی قطعات پیاده شده غیرقابل دسترسی (پنهان) یک مجموعه، مثلاً قطعات موتور یک هواپیما در زمان تعمیر اساسی باشد.

محدودیت واضح و اصلی روش مایعات نافذ این است که تنها از عهده بازرسی عیوب سطحی بر می آید و عیوب زیر سطحی را باید با دیگر روشهای غیرمخرب تشخیص داد. دیگر عوامل موثر در محدودیت دامنه عملکرد این روش ناصافی سطح و متخلل بودن ماده است، بخصوص تخلخل می تواند نشانه هائی را، که هریک از آنها می توانند اشتباهاً یک نقص به حساب آیند، ایجاد نماید.ودیگر آنکه record دائمی ندارد.

تست ذرات مغناطیسی Magnetic Particle Test

روش تست ذرات مغناطیسی جهت آشکار سازی عیوب سطحی و نزدیک به سطح مواد مغناطیسی شونده (فرومغناطیسی) بکار می رود. تاریخ استفاده از این روش تست به سال ۱۹۲۰ میلادی بر می گردد و علیرغم آنکه این روش کاملاً پذیرفته نبوده است اما در جنگ جهانی دوم استفاده گسترده ای از آن شد. در اوایل از باطری و جریان مستقیم استفاده می گردید البته در آن دوران استفاده از روش جریان متناوب قابل قبول نبوده است . از سال ۱۹۳۵، این تست جایگزین روش گچ و روغن برای تشخیص نواقص سطحی شد. علت مغناطیسی نامیده شدن این روش بخاطر کشف آن در شهر ماگنزیا در یونان باستان می باشد که استفاده از آن به زمانی می رسد که بشر دریافت اگر یک میله مغناطیسی را معلق نگه دارد، در جهت شمال و جنوب قرار می گیرد که انتهای میله مغناطیسی که بطرف قطب شمال قرار می گیرد بنام قطب شمال و طرف دیگر برای قطب جنوب نامگذاری شده است و علت این امر نیز اثر میدان مغناطیسی زمین بر این میله مغناطیسی می باشد.

تئوری و تعاریف مغناطیسم

مواد از نظر خواص مغناطیسی بدو دسته مغناطیسی و غیر مغناطیسی تقسیم می شوند. موادی مانند آهن و نیکل و کبالت و بعضی آلیاژهای آنها که جذب آهن ربا می گردند مواد مغناطیسی و موادی مانند مس و برنج و شیشه و چوب که جذب آهن ربا می شوند مواد غیر مغناطیسی نامیده می شوند.

- ماده مغناطیسی

مـــاده ای است که قابلیت جذب آهن یا هر ماده فرومغناطیسی دیگر را داشته باشد. هنگامیکه مـاده ای مغناطیسی شود یک میدان مغناطیسی اطراف آن ایجاد می شود که می تواند مـواد فرومغناطیـسی دیگر را جذب کند.

هر مغناطیس دو قطب مثبت (+) و منفی (–) دارد. قطبهای مغناطیـسی هـم نـام یکـدیگر را دفـع و قطبهـای مغناطیسی غیرهمنام یکدیگر را جذب می کنند.

مواد فرومغناطیسی موادی هستند که بشدت جـذب میـدان مغناطیـسی میگردنـد. آنهـا را میتـوان تبـدیل بـه مغناطیس نمود و آزمایش پودر مغناطیسی برروی آنها انجام داد. در شکل زیر عوامـل آهـن ربـا شـدن مـواد فرومغناطیسی نشانداده شده است که در نهایت دارای یک قطب شمال و یک قطب جنوب می گردند.

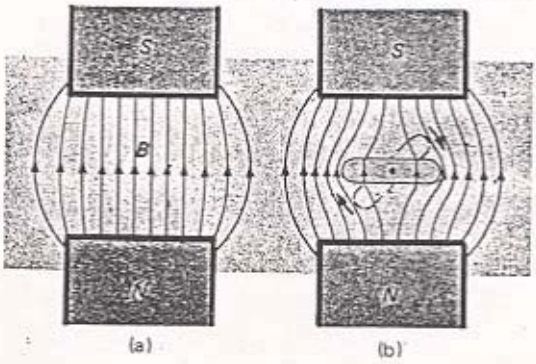
- *مواد غیرمغناطیسی*

مواد غیرمغناطیسی خود به دو دسته دیامانیتیک و پارامانیتیک تقسیم می شوند.

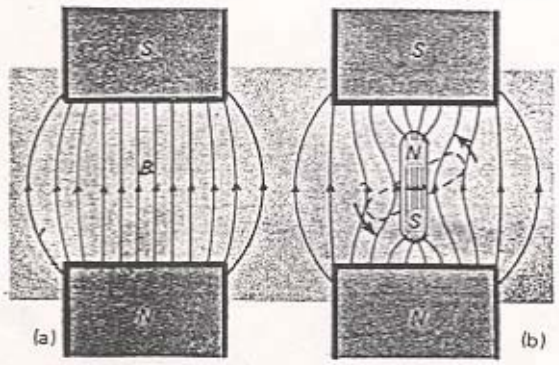
در مواد پارامانیتیک تعداد الکترونهای چرخنده بـدور هـسته در جهـت خـلاف یکـدیگر مـساوی نیـستند و بنابراین کمی خاصیت مغناطیسی دارند و اگـر در یـک میـدان مغناطیـسی قـرار گیرنـد، تعـدادی از اتمهـا و مولکولهای آنها طوری تغییر

وضع می دهند که میدان مغناطیسی آنها تقریباً در جهت میدان خارجی قرار می گیرد. بنـابراین در میـدانهای شدید خارجی، خاصیت مغناطیسی ار خود نشان میدهند.

در مواد دیامانیتیک ، بعلت چرخش الکترونهـایش در دودسـته مـساوی و در خـلاف جهـت هـم، خاصـیت مغناطیسی ندارند.

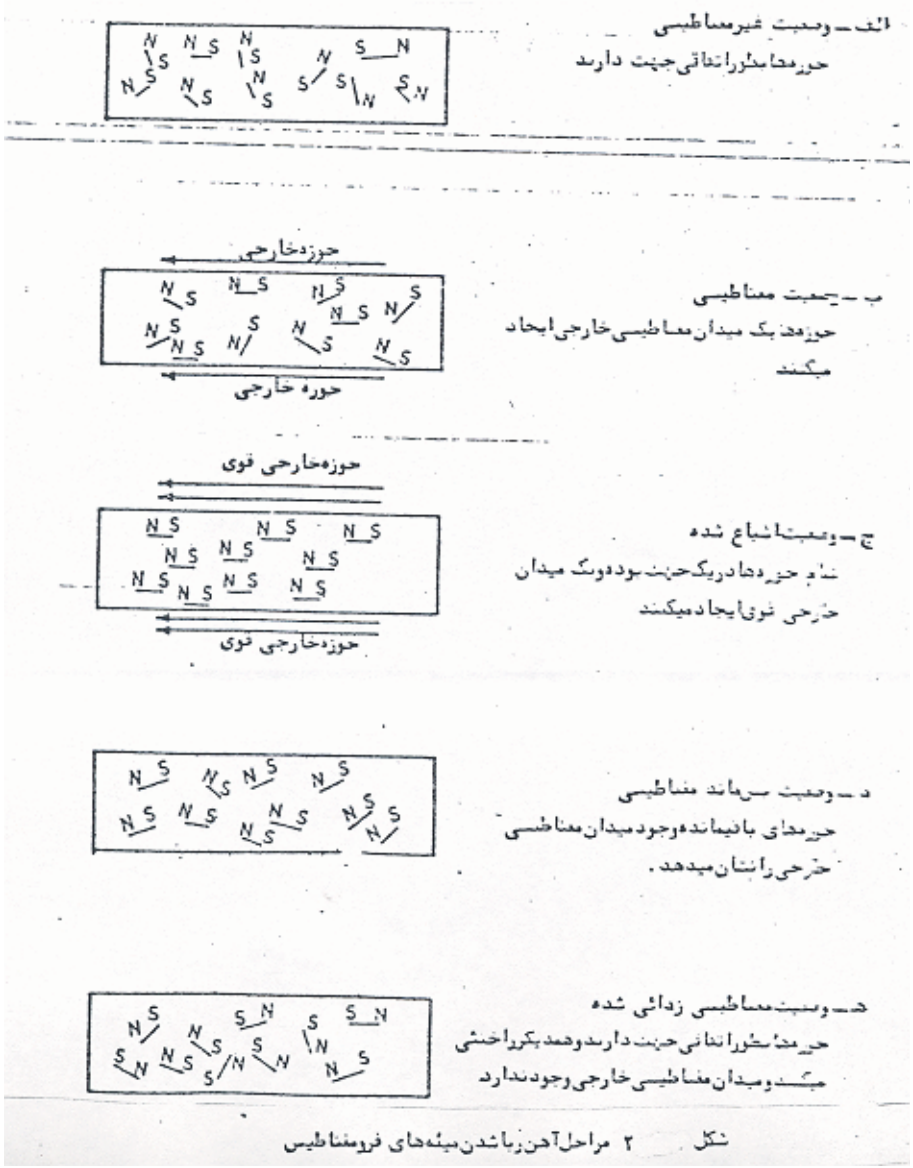


الف ــ وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دوقطب یك آهن ربا پیش از قرارگرفتن وبعداز قرارگرفتن یك ماده دیاما نیتیك درمیدان



ب ــ وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دوقطب یك آهن ربا پیش از قرارگرفتن و بعداز قرارگرفتن یك ماده پاراما نیتیك در میدان

شکل 1 ــ قرارگرفتن یك ماده دیا یا پاراما نیتیك در میدان آهن‌ربائی



شکل ۲ مراحل آهن‌ربا شدن میله‌های فرومغناطیس

- میدان مغناطیسی

هر ماده مغناطیسی شده دارای دو قطب مثبت و منفی است و همچنین اطراف ماده مغناطیسی شده میدان مغناطیسی که شامل خطوط میدان است وجود دارد. نام دیگر خطوط میدان Magnetic Flux Lines (خطوط شار مغناطیسی) می باشد. این خطوط را میتوان با قراردادن یک آهن ربا در زیر یک صفحه کاغذ که روی آن براده آهن وجود دارد ترسیم می گردد. این خطوط از قوانین زیر تبعیت می نمایند:

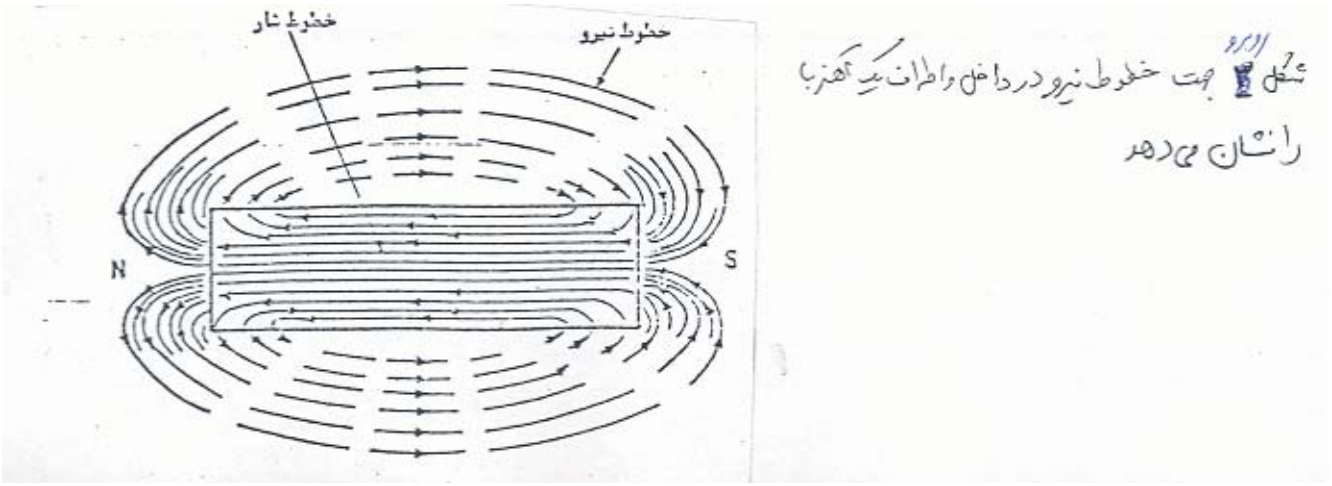
۱- جهت قراردادن شار مغناطیسی از قطب شمال به جنوب در خارج ماده مغناطیسی از جنوب به شمال در داخل آن است.

۲- خطوط شار مغناطیسی همدیگر را قطع نمی نمایند.

۳- بطور جانبی یکدیگر را دفع می کنند.

٤- در یک وضعیت کششی هستند.

٥- جائیکه شدت میدان مغناطیسی بزرگتر است خطوط نیروی بیشتری موجود است.



شکل ۲ جهت خطوط نیرو در داخل و اطراف یک آهنربا را نشان می دهد

- شدت میدان مغناطیسی

مقدار شار یا فلوی مغناطیسی در واحد سطح را شدت میدان مغناطیسی گویند و واحد آن تسلا می باشد که جانشین گوس شده است (تسلا ۱ = $۱۰^{٤}$ گوس) و آنرا با B نشان می دهند.

- نیروی مغناطیسی کننده

نیروی کلی که تمایل به ایجاد فلوی مغناطیسی در یک مدار آهن ربائی دارد را نیروی مغناطیسی کننده می نامند و واحد آن آمپر بر متر می باشد و با H نمایش داده می شود.

- فلوی مغناطیسی

مجموعه کل خطوط مغناطیسی موجود در یک میدان مغناطیسی را بنام فلوی مغناطیسی می نامیم.

- نفوذ پذیری (Permeability)

قابلیت نفوذ میدان مغناطیسی در ماده که بیانگر قدرت مغناطیسی شدن می باشد را می گویند. بعبارتی سهولت در قابلیت مغناطیسی شدن میزان نفوذ پذیری را نشان می دهد. آهن نرم و فولاد های کم کربن براحتی مغناطیسی شده (با نیروی الکتریکی کم) و نفوذپذیری زیادی دارند ولی خاصیت مغناطیسی خود را هم زود از دست می دهد و برعکس مواد مغناطیسی با نفوذپذیری کم مانند مونل ، بسختی مغناطیسی شده

ولی قابلیت نگهداری خاصیت مغناطیسی آنها بالاست. از همین رو آهن ربـای نعلـی شـکل از مـواد سـخت (فولاد سخت) ساخته می شود.

- اشباع

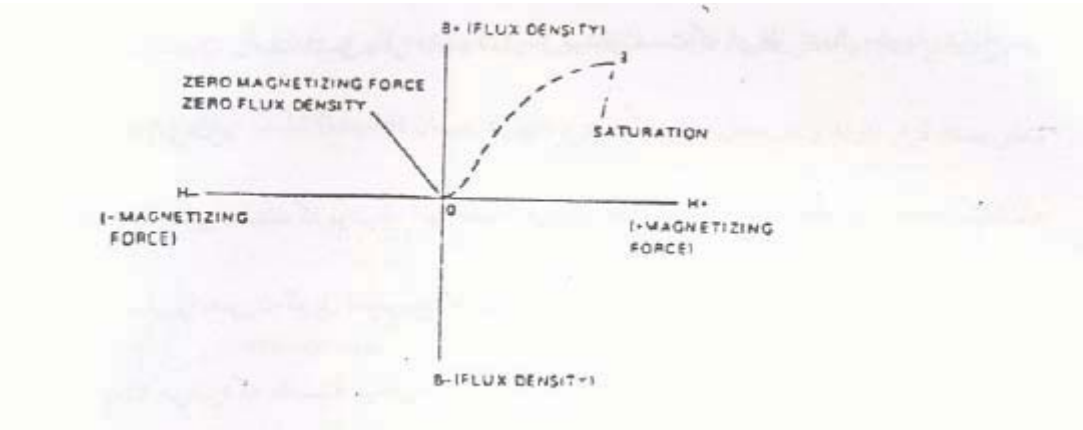
اشباع مرحله ای است که هر افزایش در نیروی مغناطیسی کننده (H) اعمـال شـده بـه قطعـه تغییـری در شدت میدان مغناطیسی B ایجاد نمی کند.

- نگهدارندگی (Retentivity)

درجه قابلیت نگهداری خاصیت مغناطیسی در مواد فرومغناطیسی را گویند.

رابطه بین نیروی مغناطیسی کننده و دانسیته شار میدان

اگر یک ماده مغناطیس شونده ای که خاصیت مغناطیسی در آن وجود ندارد را در یک سیم پـیچ (کویـل) قرار داده و جریان مستقیمی (DC) در کویل اعمال کنیم بطوریکه جریان از صفر شروع شده (آمپر) و بطـور پایه ای و با نرخ معین افزایش یابد منحنی ذیل بدست می آید:

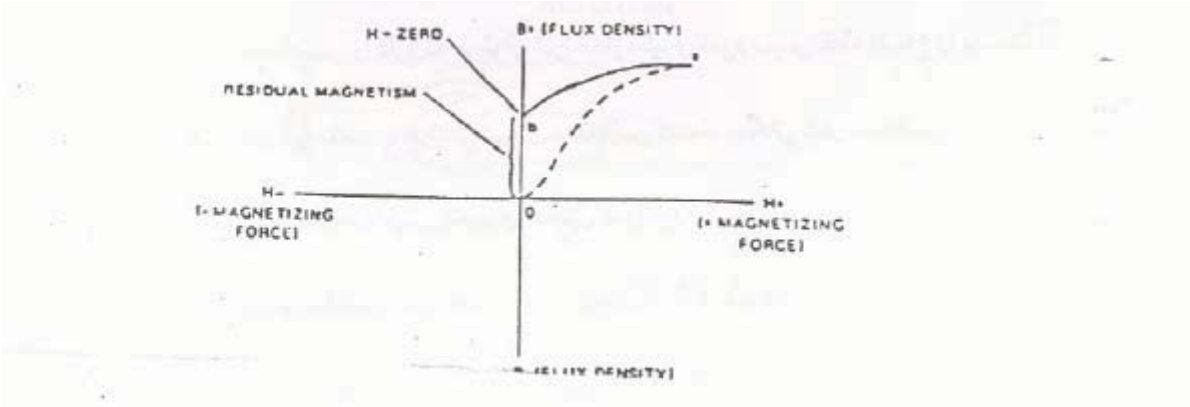


نتیجه حاصل از گراف فوق :

با افزایش نیروی مغناطیس کننده، شار جریان یافته خطوط میدان در ماده افزایش می یابد تا بـه نقطـه اشـباع برسد.

نکته :

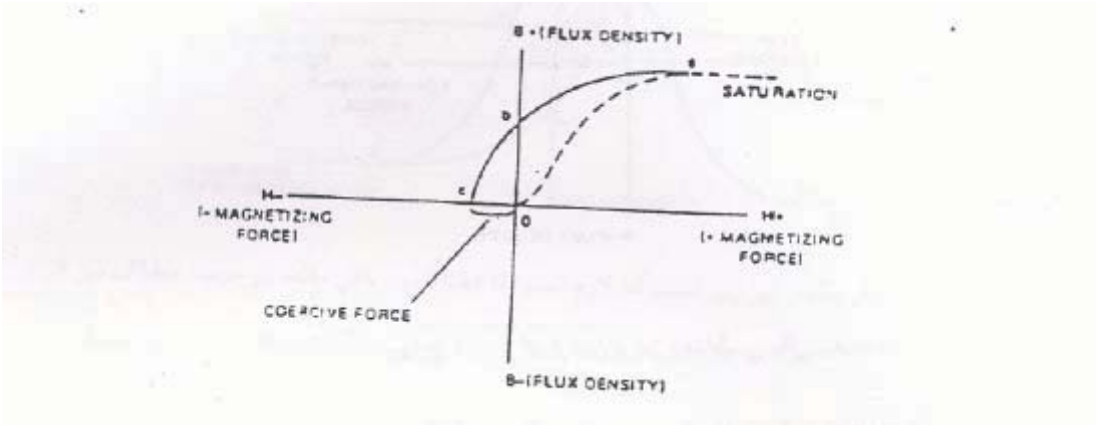
اگر در ماده خاصیت مغناطیسی قبلی وجود نداشته باشد به گراف فوق، گراف بکر (Virgin) گفته می شود. منحنی فوق میزان ماکزیمم دانسیته شار مغناطیسی را که می تواند در ماده جاری شود بیان می کند. در منحنی ذیل، با کاهش تدریجی نیروی مغناطیسی کننده؛ دانسیته شار میدان نیز کاهش می یابد ولی به صفر نمی رسد و به مقدار میدان مغناطیس باقی مانده در ماده، میدان (o to b) وجود خواهد داشت.



قدرت نگهداری (Retentively Power)

به قابلیت ماده در نگهداری یک مقدار مشخص مغناطیس باقی مانده گفته می شود.

نکته : مواد با قابلیت نفوذپذیری کم (ماده سخت) دارای قدرت نگهداری بالائی هستند.



با توجه به گراف فوق، اگر نیروی مغناطیس کننده بطور معکوس اعمال شود (همانند استفاده از جریان متناوب) بطوریکه بطور تدریجی و در جهت مخالف افزایش یابد، دانسیته شار مغناطیس باقی مانده کاهش

می یابد تا به صفر (نقطه C) برسد که این امر با اعمال یک نیروی مغناطیس کننده از نقطه 0 تا c ایجاد می گردد.

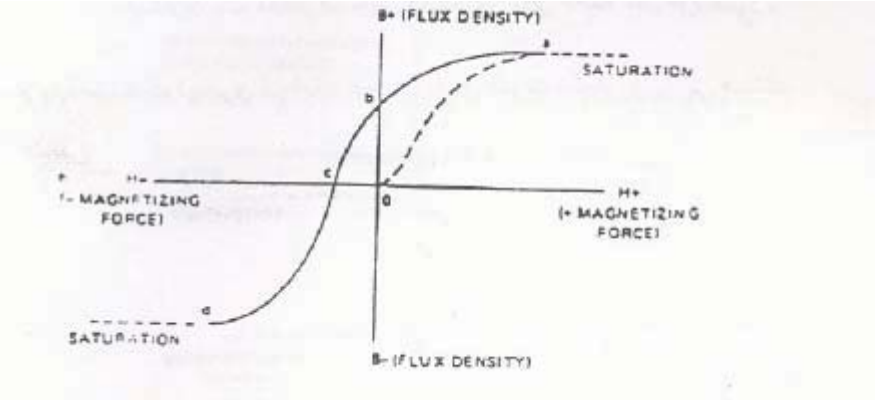
با اجرای عملیات فوق ، ماده عملاً از حالت مغناطیسی خارج شده (de magnetized) و ما می توانیم نیروی مغناطیس کننده لازم برای اینکار را محاسبه کنیم.

تعریف نیروی مغناطیس کننده معکوس : نیروی مغناطیس کننده معکوس (Coercive Force) به منظور از بین بردن مغناطیس باقیمانده در ماده بکار میرود.

نکته : مواد مغناطیسی سخت نیاز به نیروی مغناطیس کننده بیشتری جهت از بین بردن مغناطیس باقی مانده در ماده دارد . (Hard Iron)

نکته : فولادها دارای قابلیت نگهداری مغناطیس باقی مانده نسبتاً بالائی هستند.

در صورتیکه نیروی مغناطیس کننده از نقطه c بیشتر شود، دانسیته شار مغناطیسی تا نقطه اشباع زیاد می شود ولی در جهت معکوس (نقطه d)

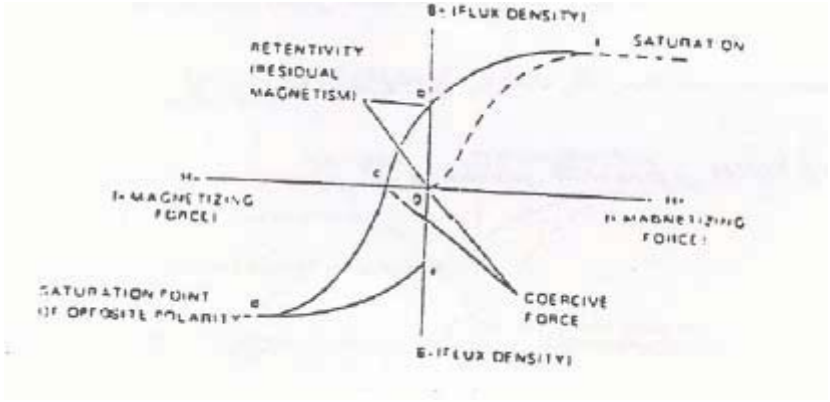


نکته : محدوده بین o-c نشان گر نیروی لازم برای از بین بردن مغناطیس باقی مانده در قطعه است.

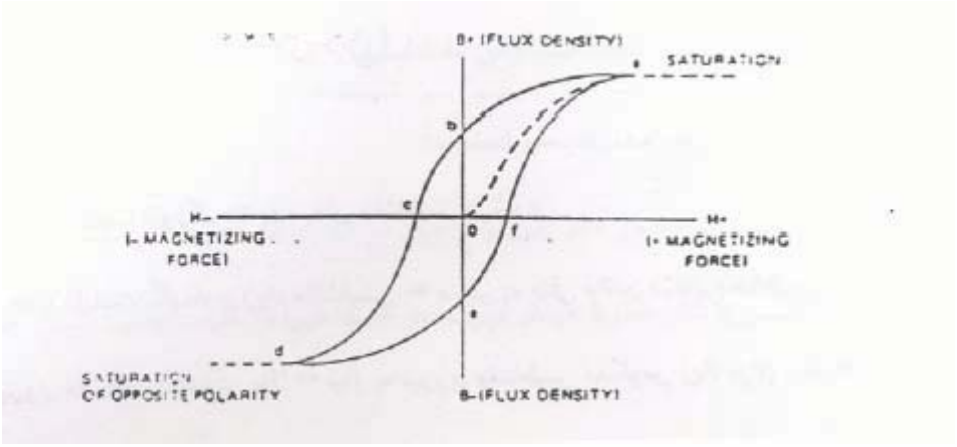
محدوده بین o-b نشانگر میزان مغناطیس باقی مانده در ماده است . (با قابلیت نگهداری خاصیت مغناطیسی در ماده)

نقطه d ، نشانگر نقطه اشباع در جهت مخالف است.

اگر مجدداً ، نیروی مغناطیسی را تا نقطه صفر کاهش تدریجی دهیم ، نقطه e تا o نشانگر میزان مغناطیسی باقی مانده در جهت مقابل است.



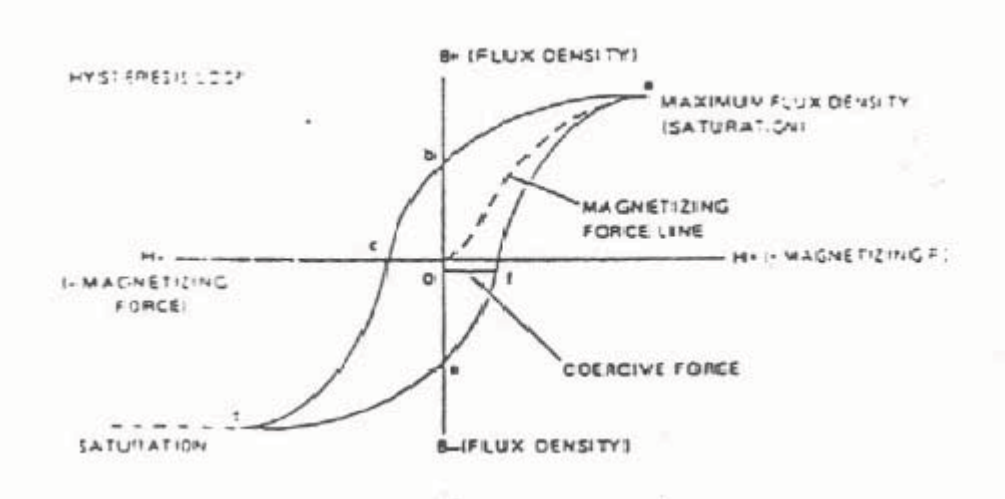
با افزایش نیروی مغناطیسی در جهت اصلی، یک چرخه (loop) کامل ایجاد می شود. باید توجه کرد که منحنی خط چین دیگر دنبال نمی شود و به آن منحنی اصلی یا اولیه گفته می شود.



نقطه بین f تا o نشانگر مقدار نیرویی است که لازم است تا مغناطیس باقی مانده در جهت مخالف نیز از بین برود.

نکته : نیروی مغناطیس کننده لازم جهت مغناطیس زدائی در جهت اصلی و جهت عکس با هم برابرند و فقط علامت آنها با هم فرق می کند. (یکی مثبت و دیگری منفی)

به منحنی بسته ذیل منحنی هیستریسیز (Hysteresis loop) گویند.



تعریف مقاومت مغناطیسی (Reluctance)

مقاومت ماده در مقابل نیروی مغناطیس کننده را گویند.

نکته : پهنای منحنی هیستر یسیز در مواد سخت بیشتر از مواد نرم است چون نیروی مغناطیس کننده لازم برای برطرف کردن مغناطیس باقی مانده در مواد سخت بیشتر است و علت آن بیشتر بودن میزان این مغناطیس باقی مانده می باشد

نتیجه گیری

۱- مواد با قابلیت نفوذ کم :به سختی مغناطیس میشود.

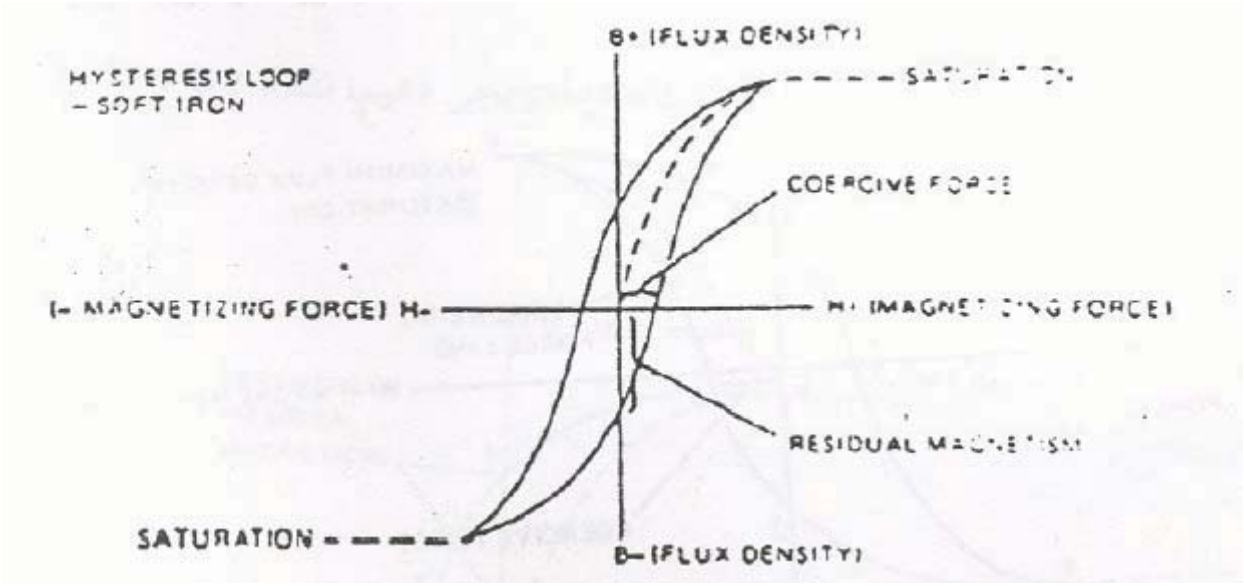
۲- مواد با قابلیت نگهداری زیاد مغناطیسی : منجر به باقی ماندن میدان مغناطیس قوی تر می شود.

۳- نیروی مغناطیس کنندگی بالا: نیاز به نیروی مغناطیس معکوس زیاد برای برطرف کردن مغناطیس باقی مانده دارد.

٤- مقاومت مغناطیسی بالا: مقاومت زیاد در مقابل نیروی مغناطیس کننده دارد.

۵- مغناطیس باقی مانده زیاد: باقی ماندن میدان مغناطیسی قوی تر را موجب شود.

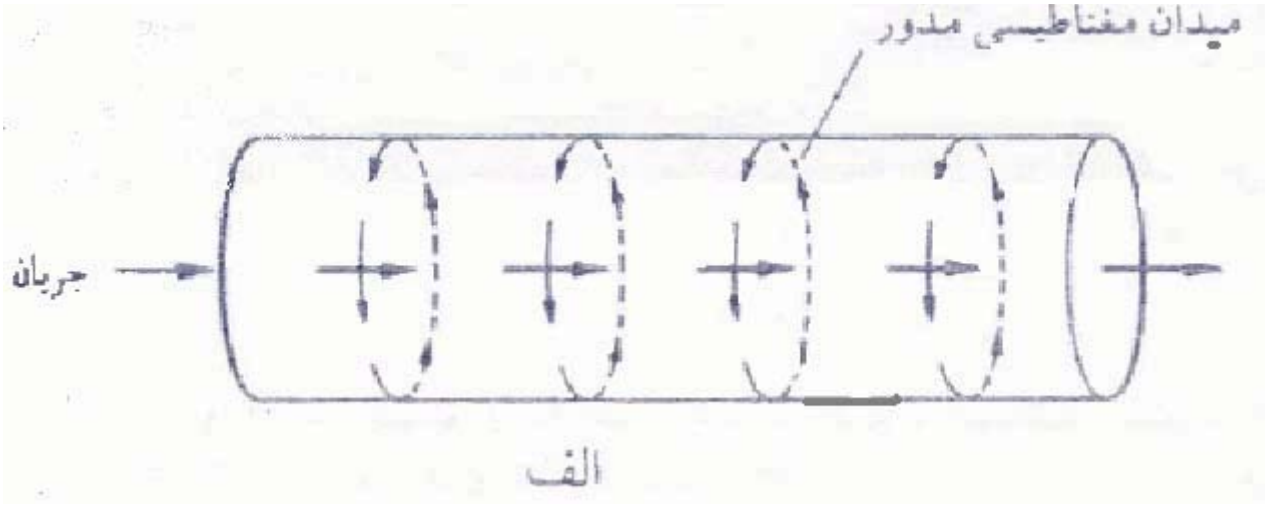
نکته : مواد مغناطیسی سخت ، مقاومت مغناطیسی بالائی دارند لذا نیاز به نیروی مغناطیس کننده قوی تر داشته و به طبع مغناطیس باقی مانده در آنها قوی تر است و نیاز به نیروی مغناطیس زدای قوی تری هم دارند.



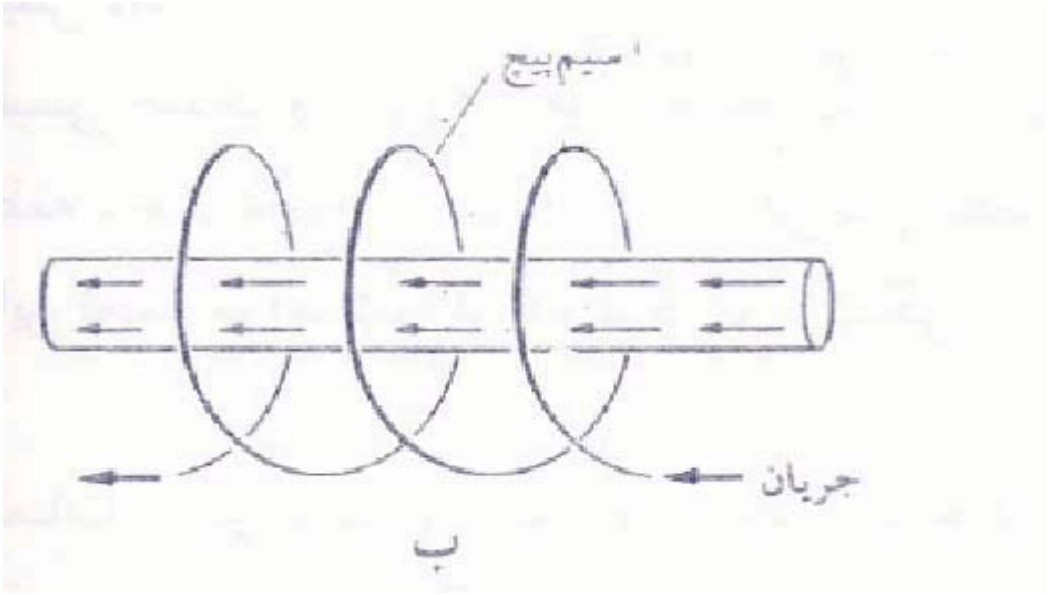
مغناطیسی کردن و اثر ناپیوستگی های مواد

جهت میدان مغناطیسی در یک مدار الکترومغناطیسی بستگی به جهت جریان در آن مدار داشته و خطوط میدان همیشه بر امتداد جریانی که از یک رسانا می گذرد عمود می باشد. رابطه بین جهت میدان و جریان نیز از روی قانون ساده انگشتان دست راست تعیین می شود.

جریانی که از یک ماده رسانای مستقیم مثل سیم یا میله میگذرد؛ در حول آن میدان مغناطیسی مدور ایجاد می کند و اگر رسانا از نوع فرومغناطیسی باشد، جریان الکتریکی در درون آن نیز ایجاد میدان خواهد کرد. بنابراین قطعه ای که به روش بالا مغناطیس شود دارای میدانی مدور مطابق شکل الف – خواهد بود.



الف



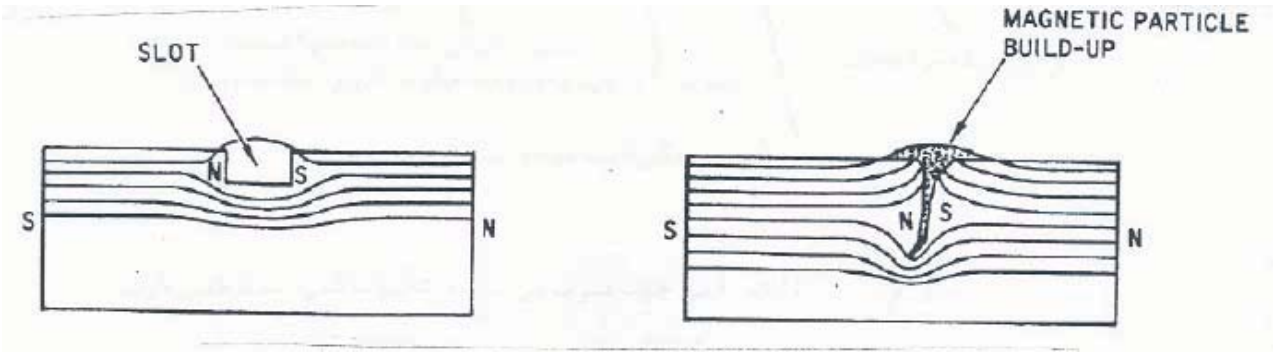
ب

جریان الکتریکی را میتوان برای ایجاد میدانهای طولی در قطعات نیز مورد استفاده قرارداد. در این حالت رسانای جریان به صورت سیم پیچی مرکب از یک یا چند دور در می آید که قطعه را احاطه کرده و جریان گذرا از آن ، در قطعه میدانی خطی مطابق شکل ب فوق ایجاد می کند.

- ***اثر ناپیوستگی های مواد***

زمانی که یک میله مغناطیسی بدونیم می شود هر قسمت بطور مجـزا دارای دو قطـب S,N مـی شوند و در صورت چسباندن آنها از دو سر غیرهمنام، قطبها بطور کامـل از بـین نرفتـه و یـک نـشتی در ناحیه اتصال باقی خواهد مانـد. نـشتی مغناطیـسی در حقیقیـت یـک شکـست یـا ناهمـاهنگی در مـدار مغناطیسی است. یک تغییر شدید در نفوذپـذیری یـک قطعـه کـار مغناطیـسی در تعـداد خطـوط میـدان مغناطیسی تأثیر داشته و می تواند میدان را دگرگون کند.

همچنین اگر تکه ای از ماده مغناطیسی جدا شود خطوط نیرو از میله جدا شـده و از طریـق هـوا از یـک قطب به قطب دیگر وارد می شود. آزمایش پودر مغناطیسی برنشت مغناطیسی تکیه دارد. که در حقیقـت سطح قطعات فرومغناطیسی را که هر گونه عیوب و نواقص سبب نشت شار مغناطیسی می شـود را مـی توان بازرسی نمـــود.



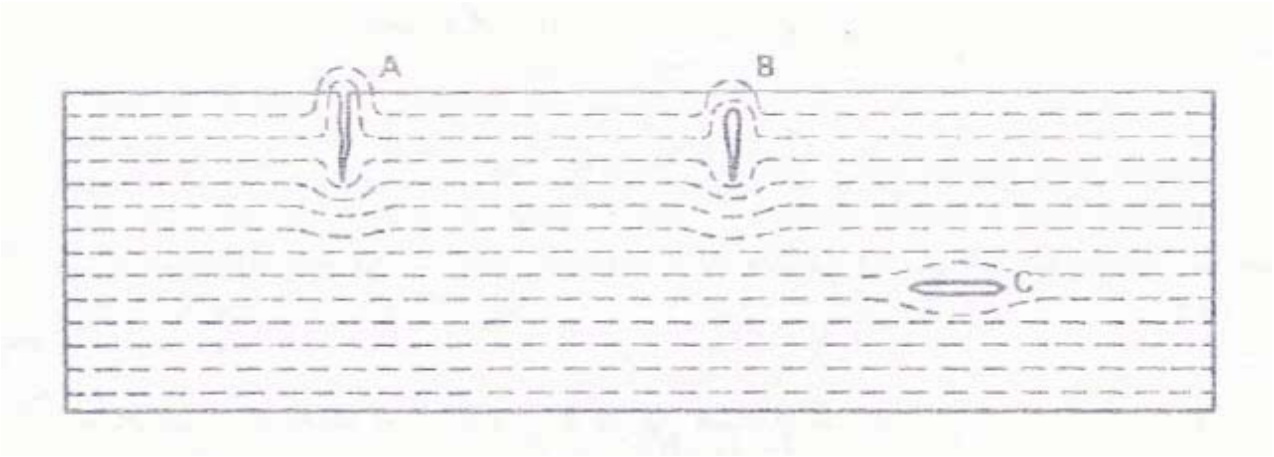
تعیین نشت فلوی مغناطیسی در آزمایش پودر مغناطیسی بعوامل زیر بستگی دارد:

۱- انـدازه عیوب ۲ - شکل عیوب ۳- حجم عیوب ٤- جهـت عیوب

٥- فاصـله عیب تا سطح قطعه کار ٦- نفوذپذیری مواد

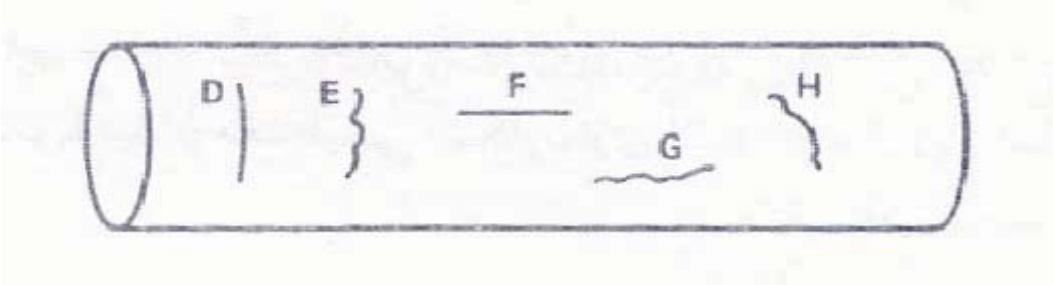
قابلیت آزمون ذرات مغناطیسی ، برای عیب یابی ، بستگی به امتداد عیوب نسبت به میـدان القـاء شـده در قطعه داشته، و در حالیکه عیب عمود بر امتداد میدان باشد از بیشترین کارآئی برخوردار خواهد بود. ایـن مسئله در شکل زیر نشان داده شده است. ملاحظه می شـود کـه عیـب A بیـشترین تـأثیر را بـر انحـراف (نشت) میدان برجای گذاشته ، عیب B هر چند که در زیر سطح قرار دارد ولی با توجـه بـه عمـود بـودن امتداد آن بر میدان مغناطیسی نیز میدانی نشتی ، ولی کوچکتر از نقص A ، ایجاد کرده ، در حالیکـه عیـب C به خاطر عمیق بودنش اثری ایجاد نکرده و تشخیص آن نامحتمل می باشـد. اگـر نقـص C نزدیـک بـه

سطح قطعه هم می بود، بخاطر هم راستا بودن با میدان مغناطیسی آشکار سازی آن با احتمال زیـاد امکـان پذیر نبود.



برای آگاهی از وجود تمام عیوب یک قطعه ، معمولاً لازم است آنرا از بـیش از یکبـار مغنـاطیس نمـائیم. برای قطعات به اشکال نسبتاً ساده اینکار به این ترتیب عملی می شود که برای تعیین عیوب طولی قطعه ، نخست میدان مغناطیسی دوار در آن القا شده و سپس قطعه مغناطیس زدائی و با استفاده از جریان حلقوی و ایجاد میدان محوری در آن ، عیوب غیرطولی آن نیز آشکار سازی می شود.

شکل زیر میله ای را که عیوب آن دارای امتدادهای مختلف اند نشان میدهد، با القاء مغناطیسی دو مرحلـه ای در این میله، جملگی عیوب آن قابل آشکارسازی خواهد بود.



عیب D در مرحله القاء میدان مدور هیچگونه اثر نشتی از خود بروز نداده ، ولی اگـر شـدت میـدان زیـاد باشد نقص نامنظم تر E ممکن است میدان نشتی ضعیفی ایجاد نماید. البتـه هـر دو نقـص D,E در زمـان القاء میدان طولی در قطعه به راحتی قابل تشخیص خواهند بود؛ نقص F در این هنگام غیرقابل تمیز بـوده و عیب G ممکن است نشانه ای ضعیف از خود برجای گذارد. نقص H در هر دو حالـت (میـدان القـائی مدور و طولی) قابل رویت می باشد. هنگامیکه شکل قطعه پیچیده باشد، میدان هایم مغناطیسی الفاء شـده در آن دچار اعوجاج شده و معمولاً ترکیبی از دو میدان دوار و طولی را در پی خواهد داشت.

ذرات مغناطیسی

ذرات مغناطیسی مورد نیاز برای بازرسی را میتوان از هر ماده فرومغناطیسی دارای پسماند کم تولید نمود. این ذرات معمولاً از پودر نرم اکسیدها و یا فلزات مورد نظر انتخاب شده و بسته به نحوه اعمال آنها به دو گروه تر و خشک تقسیم می شوند، در حالیکه ذرات خشک در هوا یا گاز منتقل می شوند ، ذرات تر در دوغابی از یک مایع ناقل به نمونه عرضه می گردند.

هوا محیط انتقال دهنده معمول (متداول) برای ذرات خشک بوده و برای پاشیدن پودر از یک دمنده مکانیکی پودر یا افشانک لاستیکی استفاده کرد. در اعمال پودر بر سطح قطعه باید دقت لازم معمول شده و از پاشیدن مستقیم آن با فشار باید پرهیز شود، زیرا در این شرایط دانه های پودر آزادی

جذب شدن بوسیله تمام میدانهای نشتی را نخواهند داشت. از این جهت سعی می شود دانه ها بصورت ابری یکنواخت به سطح قطعه مغناطیس شده نزدیک شوند. در حالیکه از روش بازرسی با پودر خشک استفاده شود، عاری بودن قطعه از چربی و دیگر لایه ها و مواد چسبنده حائز اهمیت می باشد، زیرا پودر می تواند بوسیله این مواد جذب شده و نشانه های کاذبی در ارتباط با وجود عیوب ایجاد نماید. برای سهولت مشاهده ، ذرات پودر در رنگهای متعدد که متداولترین آنها قرمز، زرد و سیاه است عرضه می شوند. همچنین پودرهای خشک با پوشش دارای خاصیت فلورسانس نیز مورد استفاده قرار میگیرند، در این صورت لازم است برای مشاهده سطح از نور فرابنفش استفاده شود. هر چند افزایش مواد رنگی به پودر از حساسیت روش بازرسی میکاهد؛ ولی مشاهده پودر رنگی ممکن است در مقایسه با پودرهای سیاه مثل پودر Fe_3O_4 راحت تر باشد. انتخاب پودر، در هر مورد، بستگی به طبیعت سطح قطعه خواهد داشت.

آزمون با پودر خشک همراه با تجهیزات مغناطیسی کردن قابل جابجائی بسیار کارآمد و برای آشکارسازی عیوب از قابلیت بالائی برخوردار می باشد، (به خصوص اگر سطح قطعه تا حدی ناصاف باشد) همچنین حساسیت آن برای تشخیص عیوب زیر سطحی از روش پودر تر بیشتر می باشد.

پودر تر معمولاً برای تجهیزات ثابت مورد استفاده قرار می گیرد تا استفاده از مخازن مایع در هنگام جابجائی مشکلی ایجاد ننماید. مایع ناقل یک فرآورده نفتی سبک مانند کروزن است ، هر چند می توان از آب هم استفاده نمود. ذرات معمولاً در رنگهای سیاه یا قرمز و یا پوردهای آبی و یا زرد متمایل به سبز دارای خاصیت فلورسانس عرضه می شوند.

ذرات تر دارای تحرک بیشتری، در مقایسه با پودر خشک، بوده و اعمال آنها نیز ساده تر می باشد. با توجه به اینکه ماده ناقل پایه نفتی دارد. وجود چربی در روی سطح مسئله چندانی ایجاد نمی کند ، در عین حال باید تمهیدات لازم در خصوص خطرات آتش گیری و سمیت مورد توجه قرار گیرد. به علاوه، حمام مایع باید بطور مداوم بهم زده شود تا آزادی حرکت ذرات و همگنی مایع حفظ گردد. تمیز کردن منظم مخزن فوق، به منظور حذف آلودگیها ، نیز باید مدنظر باشد.

روش بازرسی پودر تر، به خصوص هنگامی که از پودر خاصیت فلورسانس و نور فرابنفش استفاده شود، دارای حساسیت بسیار بالائی خواهد بود. هر چند که اندازه و شکل واقعی ذرات پودر

بستگی به سیاستهای خاص تولید کنندگان دارد، ولی لازم است از مزایا و محدودیت های مرتبط بـا ایـن پارامترها اطلاع حاصل شود.

اندازه دانه ها – ذرات درشت برای پل زنی حفره ها و ترکهای بزرگ مناسب تر از ذرات ریز می باشـند، در حالی که ذرات ریز برای آشکار سازی عیوب کوچک حساسیت بهتری دارند. دلیل بـر ایـن مـسئله را باید در عدم جذب ذرات درشت در میدانهای نشتی ضعیف جستجو کرد؛ در حالیکه ذرات ریـز بـسادگی به تله میدانهای نشتی ضعیف می افتند. البته چسبیدن دانه های ریز به اثرات انگشت، مناطق خاک آلـود و سطوح ناصاف نیز محتمل می باشد که این مساله نیز در آشکار شدن نشانه کاذب و مبهم شـدن موقعیـت عیوب واقعی می تواند موثر واقع شود.

ذرات دراز و باریک قابلیت قطبی شدن بیشتری نسبت به دانـه هـای کـروی برخـوردار بـوده و بنـابراین قادرند ترکها و عیوب قطعه را راحت تر مشخص نمایند، البته قابلیت تحرک این ذرات بخصوص اگر بهم چسبیده و دسته شوند کمتر از پودرهای کروی می باشـد. قـدرت تـشخیص عیـوب و درجـه حـساسیت بازرسی را میتوان با مخلوط سازی پودر کروی و دراز (سوزنی) افزایش داد.

مشخصات دستگاههای آزمایش مغناطیسی

این دستگاهها می تواند به ۳ دسته تقسیم گردد:

۱- قابل حمل

۲- متحرک

۳- نصب شده یکپارچه (ایستگاهی) Bench Type

الف - تجهیزات قابل حمل

- آهنربای دائمی

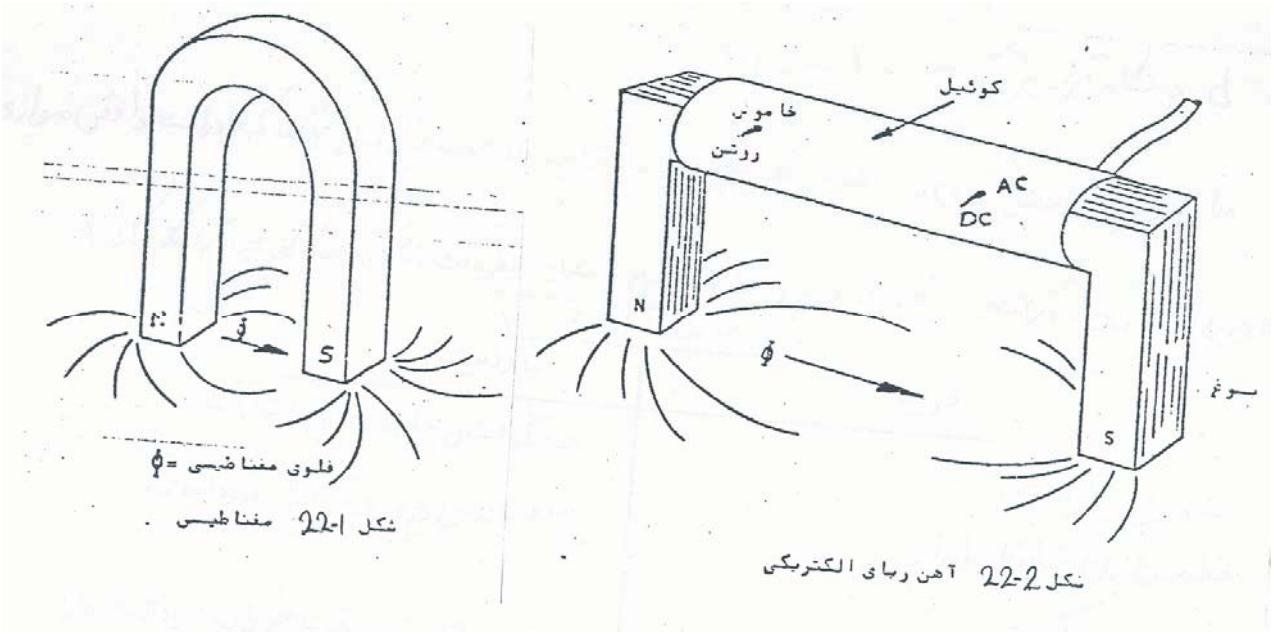
آهنربای دائمی بین دو قطب خود یک میدان مغناطیسی طولی ایجاد می کند. نوع جدید آن آهنربائی نعلی شکل است که بازوهای آن قابل تنظیم و انتهای قطب آن نیز از نظر هندسی قابل تغییر است. قابلیت عیب یابی آن وقتی که عیوب عمود بر فلو (۹۰ درجه) باشد مطلوب است. که در تئوریهای جدید نظر مثبتی به این وسیله ندارند. جدول زیر محدودیت و فواید آنرا نشان می دهد.

فوائد	محدودیت
نیاز به منبع تغذیه ندارد	فقط میدان طولی ایجاد می کند
به سطح عمودی می چسبد	بوسیله سایش آسیب می بیند
مسائل اتصال الکتریک بین قطعه کار و دستگاه ندارد	به سطح قطعه کار کشیده می شود
ارزان است	قدرت میدان مغناطیسی قابل تنظیم نیست
سطوح قطعه کار در اثر سوختن (یا قوس الکتریکی)	پودر مغناطیسی جذب قطب های آهنربا می شود.
زیان نمی بیند و سبک است	پای قطبها محل تماس بوده و دوباره باید آزمایش گردد

- ***آهنربای الکتریکی (YOKE)***

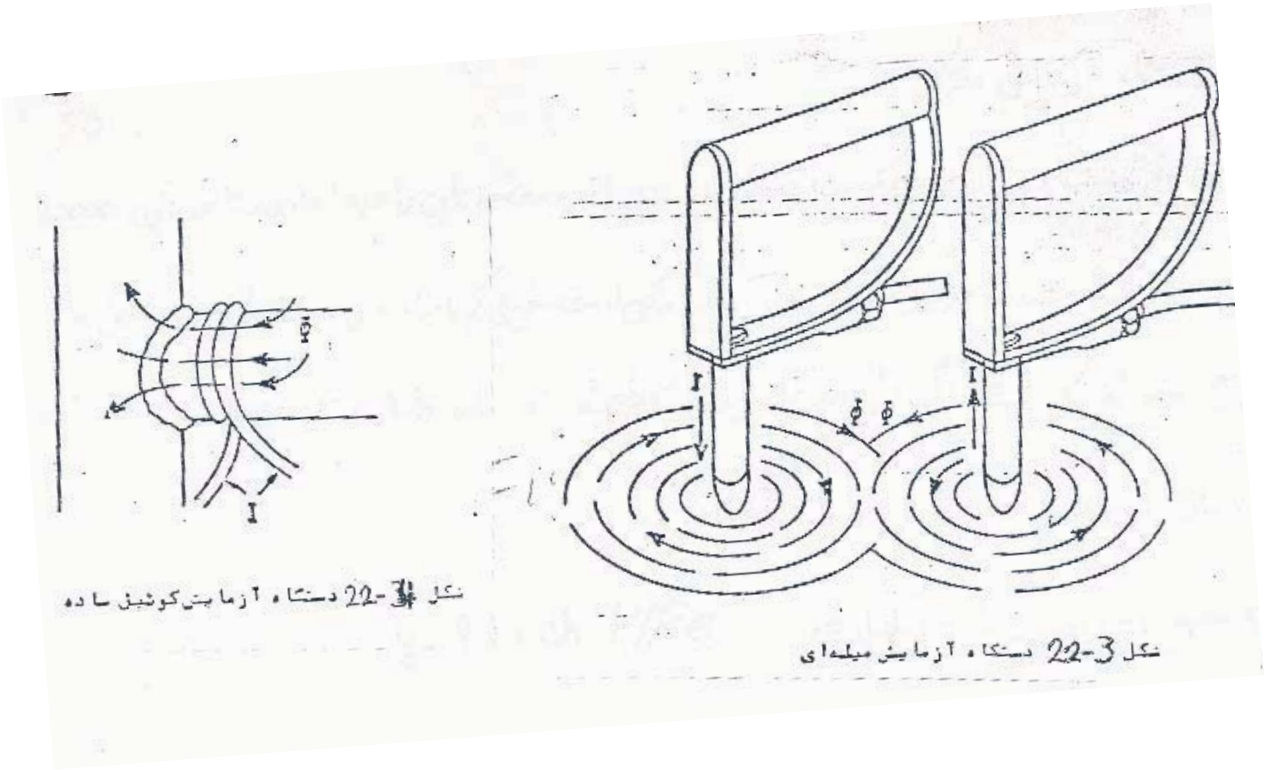
برای کاهش اتلاف جریان سرگردان، آهنربای الکتریکی را از ورقهای نرم آهن می سازند. مخصوصاً اگر از جریان متناوب مورد استفاده قرار گیرد. پایه ها دارای مفصل هستند تا در سطوح ناهموار نیز قادر به ایجاد تماس باشند. این آهنربای الکتریکی یک میدان طولی ایجاد می کند (شکل ۱-۲۲ و ۲-۲۲)

فوائد	محدودیت
با AC و DC کار می کند	به تغذیه برق نیاز دارد
قدرت میدان مغناطیسی قابل کنترل است	فقط میدان طولی ایجاد می کند
از شبکه برق می تواند مستقیم تغذیه گردد	با ولتاژ معینی کار می کند
با خاموش و روشن کردن دستگاه می توان به آسانی آنرا در محل آزمایش حرکت داد	قطبهای دستگاه پودر مغناطیسی را جذب می کند
به قطعه کار آسیب نمی رساند	پایه ها باید سطحی برای تماس داشته باشند
با DC می توان مغناطیس زدائی نمود	



- ***آزمایش میله ای (PROD) :***

این دستگاه آزمایش یک آمپری حدود ۱۰۰۰ آمپر را به قطعه کار جهت تولید میدان مغناطیسی مدور در قطعه می فرستد . شدت جریان زیاد می تواند سبب ایجاد قوس بین سطح قطعه کار و میله (الکترود) شود. سطح تماس باید بدقت تمیز گردد و میله و الکترود باید از جنسی انتخاب گردد که قطعه کار را آلوده و کثیف نکند. (Fig 22-3)



شکل 3-22 دستگاه آزمایش میله‌ای

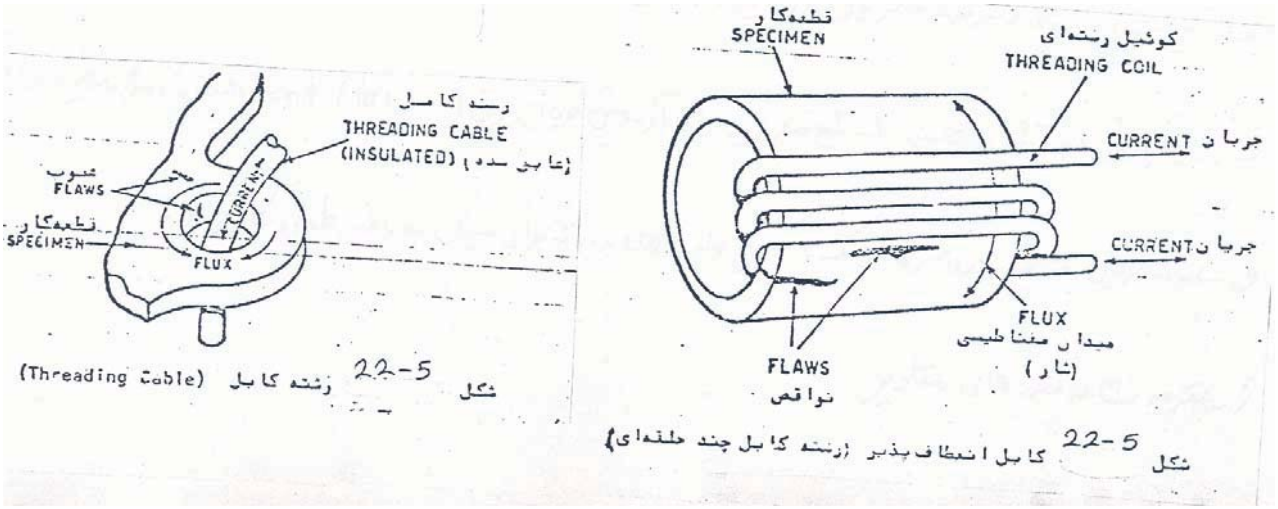
شکل 3-22 دستگاه آزمایش کوئیل ساده

جدول شماره ٦

فوائد	محدودیت
شدت میدان مغناطیسی قابل تغییر است	خطر قوس الکتریکی
میدان ایجاد شده از جریان AC و DC برای فضای محدود مفید است	خطر گرمایش بیش از اندازه
از ولتاژ پائین استفاده می شود	نیاز به ترانسفورماتور سنگین
قطبی موجود نیست تا ذرات مغناطیسی را جذب کند	امکان روشن کردن آن بدون تولید میدان
شدت جریان قابل کنترل است	امکان آلودگی قطعه کار بوسیله الکترود
شدت جریان قابل اندازه گیری است	زمان برای آماده کردن جهت تماس الکتریکی کامل معمولاً استفاده از آن احتیاج به دو نفر اپراتور دارد

- ***دستگاه آزمایش کوئیل انعطاف پذیر***

در این روش کابل حامل جریان بدور قطعه کار محکم پیچیده شـده و تولیـد میـدان مغناطیـسی طولی می کند که قادر است نواقص موازی کابل را آشکار کند. اگر امکان داشته باشـد، بایـد بـین حلقـه های کابل فاصله ای در نظر گرفت تا بازرسی قطعه کار بین آنها ممکن گردد. (Fig 22-5)



مزایا و محدودیتهای این روش بشرح ذیل میباشد:

فوائد	محدودیت
ساده برای کار است	جدا نگهداشتن حلقه های کابل دشوار است
خطر سوزاندن قطعه کار را ندارد	حدود بازرسی در هر بار آزمایش محدود است
جریان AC و یکسویه	
نیروی مغناطیسی ایجاد شده حاصلضرب جریان در دور کابل بوده و جریان قابل تنظیم است	بعضی مواقع مقدار شدت جریان زیاد لازم دارد

- ***دستگاه آزمایش حلقه بسته با کابل انعطاف پذیر***

کار این دستگاه بر اساس ایجاد میدان مغناطیسی توسط جریان برق، دور یک هادی است. کابل انعطاف پذیر برای قطعات جوشکاری شده ، ریخته گری شده بزرگ و قطعات آهنگری مفید و مناسب است. این کابلها بسته به شکل قطعه می تواند قرار بگیرد که در شکل نشانداده شده است. (5-22)
مزایا و محدودیتهای این روش بشرح ذیل میباشد:

فوائد	محدودیت
کار با آن ساده است	کابلهای طویل لازم دارد
قدرت میدان قابل تغییر است	بعضی مواقع جریان زیادی می کشد
سطوح بزرگ را میتواند بپوشاند	نگه داشتن کابل ها در مکان موردنظر دشوار است

ب - دستگاه آزمایش متحرک

این نوع دستگاهها نیاز است که بسمت قطعه کار انتقال یابد. بعضی از این واحدها قادرند تا جریان 20000 آمپر خروجی داشته باشند. جریان مورد نیاز آزمایش ممکن است خیلی کم باشد ولی بعلت طول زیاد کابل یا حجم بزرگ قطعه کار یک دستگاه آزمایش قابل حمل نمی تواند کافی باشد. تمام موارد b تا e قابل حمل نیز میتواند در این قسمت نیز جا گیرد. (مثلاً در اطاقکی نصب شود که بوسیله موتور بتواند حرکت کند)

ج - تجهیزات نصب شده و یکپارچه Bench Type

این واحدها بطور ثابت نصب می شوند و معمولاً برای آزمایش قطعات کارخانه ای بکار می روند. حدود، اندازه و خروجی آن بسته به کوچک یا بزرگ بودن قطعات از چند تا ده و بیست هزار آمپر را شامل می گردد. اساساً اجزاء الکتریکی دستگاه برای سهولت راه انداختن و کارکرد سریع آن برروی آن تعبیه شده که استفاده از آن راحت و بازدهی خوبی دارد.

اجزائیکه در یک واحد نصب شده یکپارچه بکار می رود بقرار زیر است : (شکل ۲۳)

الف – دسته تنظیم و پایه آن که بروی بدنه نصب شده است که سه نوع می باشد : دستی ، الکتریکی و پنوماتیک

ب - بهم زن مایع پودر در مخزن

ج – دستگاه پاششی و گردشی مایع پودر

د - تجهیزات و تسهیلات مربوط به جریان AC و یکسوکننده آن

ه - دو سر الکترود با پوشش توری مسی با سطح خیلی زیاد برای آزمایش جریان برق (Current Flow) که میدان مغناطیسی مدور ایجاد می کند.

و - سلنوئید جریان مغناطیسی در دو سر مرغک یا کوئیل صلب روی بدنه که برای میدان مغناطیسی طولی بکار می رود.

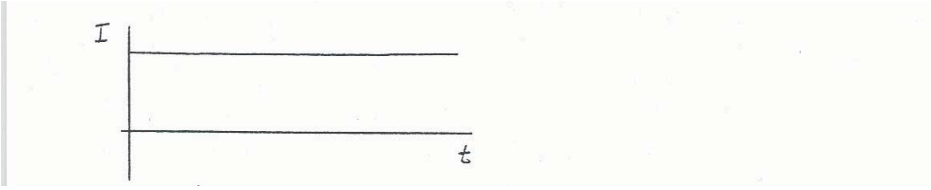
ز - عقربه نشاندهنده های مقادیر

مشخصات جریان مغناطیسی : (Magnetizing Current Characteristics:

جریان الکتریکی مورد مصرف در تست ذرات مغناطیسی می تواند جریان مستقیم، متناوب و یا نیم سیکل باشد.

- جریان مستقیم :

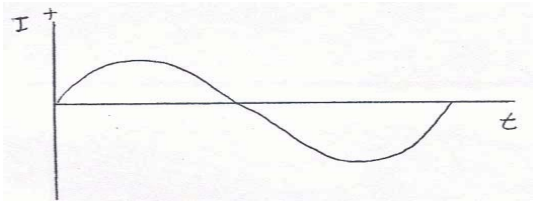
جریان برق فقط در یک جهت حرکت می کند و پالس و تناوبی وجود ندارد. بنابراین بعد از یک دقیقه ، مدار جریان به حداکثر خود می رسد و آمپر متر آنرا نشان می دهد. این جریان از یک مجموعه باطری یا از ژنراتور برق مستقیم تغذیه می شود و در ولتاژهای 220,110 ,440 برای کار با یوکها و سلنوئیدها مناسب است .



- جریان متناوب :

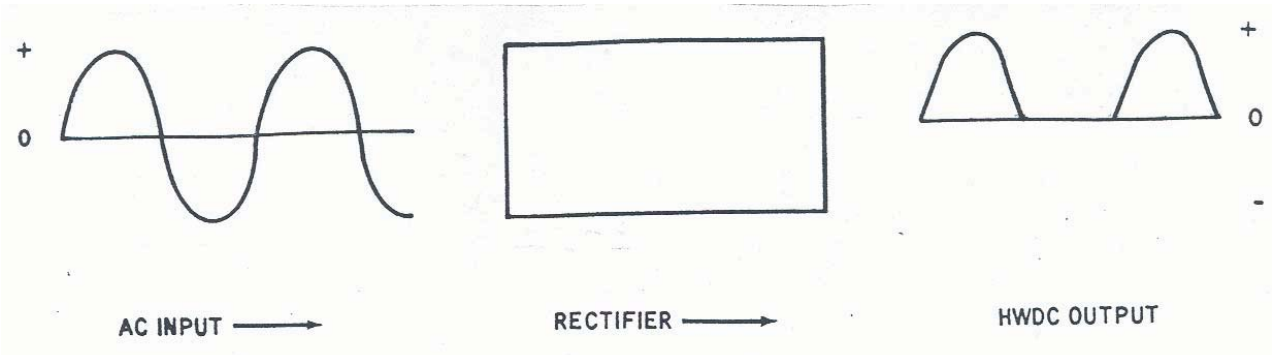
شکلی از جریان الکتریسیته است که وقتی شدت آن به حداکثر رسید بعد از آن بصفر رسیده و در جهت دیگر نیز به حد ماکزیمم می رسد. شدت جریان آن دوره ای بوده و در هر دوره تکرار می گردد.

همانطوریکه می دانیم اثر پوسته ای، پدیده ای است که در اثر آهنربائی ناشی از جریان متناوب ایجاد میشود و نزدیک به سطح قطعات فرومغناطیسی جای می گیرد، اثر پوسته ای نامیده می شود. بنابراین اگر بوسیله جریان متناوب میدان مغناطیسی ایجاد شود فقط در سطح قطعه کار و زیر آن میدان مغناطیسی موجود است و فقط می توان نواقص این ناحیه را بوسیله جریان متناوب عیب یابی نمود.



- جریانهای نیم سیکل یکسو شده :

یکسو کننده های جریان بالا و ولتاژ پائین برای یکسو کردن جریان در تست ذرات مغناطیسی در سالهای اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. مدار یکسو کننده شامل یکسو کننده ای است که جریان AC را به نیم سیکل تبدیل می کند .



امتیاز استفاده از این جریان (HWDC) موارد زیر می باشد:

۱- این جریان همچون جریان متناوب در هر فرکانس مورد استفاده قرار می گیرد و میتواند جریان ۳ فاز نیز باشد.

۲- مقدار نفوذ آن کاملاً قابل مقایسه با جریان DC می باشد و میتواند نا پیوستگیهای زیر سطح را نیز مشخص کند.

۳- اثر پالسی جریان روی افزایش حرکت ذرات مغناطیسی بسیار سودمند است.

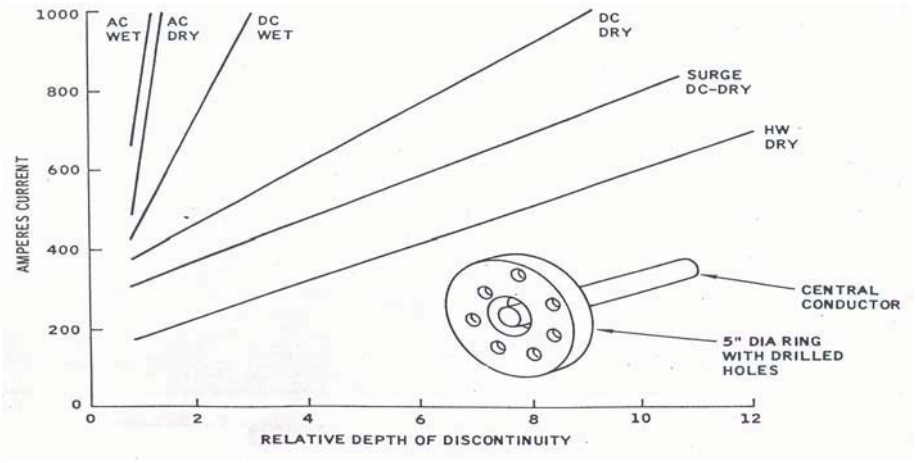
٤- می تواند در بعضی لوازم مورد مصرف با جریان DC نیز بکار گرفته شود.

کلاً میتوان این ۳ نوع جریان را از لحاظ برتری و عیب در جدول زیر نشان داد :

	امتیاز Advantage	محدودیت Disadvantage
DC	۱- بعلت نفوذ میدان در زیر سطح قطعه مورد تست عیب یابی زیر سطح نیز انجام پذیر می باشد	۱- بعلت آنکه ولتاژ DC با ترانسفوماتور کاهش پیدا نمی کند در مغناطیس کردن جا میدان دورا که جریان متناسب با سایز قطعه می بایستی تغییر کند مناسب نیست.
AC	۱- بعلت حرکت متناوبی که دارد حرکت ذرات مغناطیسی راحتتر در میدان نشتی حرکت می کند ۲- ولتاژ این جریان می تواند براحتی کم و زیاد شود	۱- بسبب اثر پوسته ای قدرت عیب یابی زیر سطحی را ندارد
HWDC	۱- در هر فرکانسی مورد استفاده قرار می گیرد ۲- بعلت نفوذ بداخل سطح، قدرت عیب یابی زیر سطح را دارد ۳- بعلت حرکت پالسی ، سبب کمک به تجمع ذرات مغناطیسی می شود ٤- در بعضی لوازم مورد مصرف با جریان DC نیز می تواند بکار رود.	

باید در نظر داشت که نواقص زیر سطح اهمیت زیادی دارند و لازم است که آنها را در هر جهتی که باشند بطریقی آشکار گردند، که جریان مستقیم یا یک سو شونده این امکان را فراهم سازد. خیلی اوقات از پس ماند مغناطیسی جهت نشان دادن عیوب ریز و کاهش عیوب نامربوط استفاده می شود که آن به تفکیک پس ماند گویند و زمانی است که از جریان برق مستقیم یا یک سو شده استفاده گردد. تستهای مختلف ثابت کرده است که جریان AC نسبت به DC و HWDC برای تشخیص عیوب حساستر است. (شکل ١٦)

بنابراین ، قبل از انتخاب مقدار نیروی مغناطیسی و شکل موج در یـک آزمـایش، نـوع ، جهـت و عمـق احتمالی نواقص می بایستی معین و مشخص گردد.



ترتیب ، توالی انجام آزمایش Sequence of Operation

تست ذرات مغناطیسی شامل هفت مرحله اصلی می باشد که این مراحل به ترتیب شامل:

۱- آماده سازی سطح قطعه

۲- برقرار کردن یک میدان دایروی در قطعه

۳- بازرسی برای علائم عیوب طولی

٤- برقرار کردن یک میدان طولی در قطعه

٥- بازرسی برای علائم حاصل از عیوب عرضی

٦- مغناطیس زدائی

۷- تمیز کردن کامل سطح قطعه از مواد تست

حال به توضیح در مورد هر کدام از این هفت مرحله می پردازیم:

مرحله اول – آماده سازی قطعه

وقتی قطعه به ایستگاه تست می رسد، معمولاً برای بازرسی آماده نیست و شرایط اولیه را بـرای تست دارا نمی باشد . در این مرحله ممکن است که نیاز به تمیز کردن یا دمونتاژ قطعه باشد.

- *تمیزکاری :* بمنظور اینکه قطعه را جهت شروع تست آماده سازیم لازم است که سـطح قطعـه از رطوبت، چربی ، روغن ، گریس ، پوسته اکسدی، رنگ و سایر عوامل مزاحم که در امر تست و ارزیابی آن خلل ایجاد میکند عاری گردد.

۱- آلودگی

در اثر وجود آلودگی و کثافات در سطح قطعه، ممکن است علائـم اشـتباده (False) در حـین تـست آشکار شود. این آلودگی می تواند محلول ذرات مغناطیسی را متأثر (آلوده) کنـد. آلـودگی سـطحی را میتوان بوسیله برس سیمی و یا دمش شدید ساچمه یا ماسه از سطح پاک کرد.

همچنین گاهی میتوان با استفاده از پارچه آغشته به مواد حل کننده غیرآتش زا، سطح را تمیز نمود که لازم است این مواد خاصیت خورندگی نداشته باشند و بعد از استفاده، باید خـشک شـوند. روشـهای خشک کردن شامل استفاده از دمنده های هوای گرم، لامپ های حرارتی و وانهای حرارتی یا خـشک کنها می باشند.

۲- زنگ با پوسته های اکسیدی (rust or Scale)

وجود زنگ یا پوسته های اکسیدی می تواند موجب آلودگی محلـول ذرات مغناطیـسی و اخـتلال در تست شوند. این عوارض سطحی را باید بوسیله برس سیمی یا آلکالین یا پاک کننده اسید زدود.

میتوان از دمش ساچمه یا ماسه با هوای فشرده در سطح استفاده کرد ولی باید متوجه به اثر نـامطلوب این روش در سطح فولادهای نرم بود. یک پوشش نازک و سخت از زنگ یـا پوسـته اکـسیدی نمـی تواند اثر چندانی بر آشکارسازی عیوب داشته باشد ولی ایـن امـر در مـورد عیـوب کوچـک صـادق نیست. در مورد جوش یک بازرسی مطلوب از جوش می توانـد بعـد از اسـتفاده از بـرس سـیمی یـا سندبلاست انجام گیرد و همچنین می توان برای افزایش حساسیت تا بیشترین مقدار، گرده جـوش را باسطح فلز پایه همسطح نمود (البته در صورت امکان)

۳- *رنگ (Paint)*

در صورتیکه قطعه حساس به عیوب زیر سطحی باشد، لازم است که لایه رنگ اگر با ضخامت بـیش از 0.33 میلیمتر باشد برطرف شود.

سطح رنگ شده ، میتواند یک زمینه بسیار عالی برای رویت عیوب باشد ولی از طرفی هم لایـه رنـگ ممکن است همانند یک عایق عمل کرده و در عبور جریان مغناطیس کننده اختلال ایجاد کند. اغلـب، اگر قطعه رنگ شده را بروش کویل یا Central Conductor (هادی مرکزی) مغناطیس کنیم، نیـاز بـه رنگ زدائی نیست.

٤- *پوشش (Planting)*

سطح پوشش کاری شده همانند سطح رنگ شده عمـل مـی کنـد بـا ایـن تفـاوت کـه پوشـش فـرو مغناطیسی، قابلیت هدایت الکتریسیته را دارد. ولی اگر آشکارسازی ترکهای ریز مدنظر باشد، پوشـش با ضخامت بیش از 0.13 میلیمتر باید برطرف شود. بیشتر پوششهای از جنس کادمیم، نیکل یـا کـروم معمولاً نازکتر از 0.13 میلیمتر بوده ولی پوشش با گالوانیزه گرم از 0.13 میلیمتر ضخیمتر بوده و بایـد برطرف شود حتی اگر مدنظر آشکارسازی عیوب بزرگ باشد.

٥- *گریس و روغن*

ذرات مغناطیسی خشک به سطوح آغشته به گریس یا روغن می چسبد و میتواند موجب بروز علائم اشتباه برانگیز شود. در روش استفاده از ذرات مغناطیسی تر که محلول در مایعی با پایه نفتی است گریس یا روغن سطح شسته شده، ولی ممکن است منجر به آلودگی محلول ذرات مغناطیسی گردد. با یک محلول با پایه آب، گریس و روغن از توزیع یکنواخت محلول ذرات در سطح جلوگیری کرده و از تشکیل علائم عیب ممانعت میکنند لذا لازم است که سطح دقیقاً از مواد چربی مانند گریس و روغن پاک گردد.

٦- *رطوبت*

در روش ذرات مغناطیسی خشک یک سطح مرطوب ممکن است مانع تحرک ذرات شده و ایجاد علائم اشتباه (False Indication) کند. همچنین در روش تر با پایه نفتی، سطح مرطوب موجب آلودگی محلول ذرات می شود . در روش تر ، آب و رطوبت سطح فقط موجب رقیق شدن محلول ذرات شده و هیچ اثر مضری بر تست ندارد.

مرحله دوم – برقرار کردن یک میدان مدور

اگر نیاز به برقراری میدان مدور در قطعه باشد لازم است که قبل از اعمال میدان طولی، میدان مدور اعمال شود. میدان دایروی را میتوان با روشهای Head shot ، هادی مرکزی و یا با استفاده از پراد در قطعه ایجاد کرد.

مرحله سوم – بازرسی برای علائم حاصل از عیوب طولی

بطور کلی بازرسی قطعه شامل تصمیم گیری درست در مورد اینکه چه عیبی ظاهر شده (تفسیر عیب)، چگونگی اثرات وجود عیب در سلامت قطعه (ارزیابی عیب) و اینکه عیب در محدوده مجاز است یا نه (طبق مشخصات) می باشد.

- *تفسیر (Interpretation)*

بمنظور تصمیم گیری در مورد مشخصات لازم جهت بررسی عیوب، لازم است که بازرس دارای تجربه و دانش کافی در زمینه نوع مواد مصرفی در قطعه ، نوع فلز مربوطه، چگونگی شکل دهی قطعه و همچنین نوع عیوب احتمالی آشکار شده در قطعه باشد همچنین نیاز است که بازرس، فرآیند تولید قطعه را بخوبی بداند و همچنین احتمال بروز نوع عیوب را با توجه به نوع فرآیند تولید قطعه حدس بزند. او

باید بداند که قطعه به چه دلیلی ممکن است در فرآیند تولید معیوب شود ضمناً در مواردی کـه در قطعـه علائمی نامشخص آشکار می گردد، نیاز است که بازرس از آزمایشات مخرب استفاده کند.

- *ارزیابی (Evaluation)*

در مرحله نخست ارزیابی ؛ لازم است که بازرس در مورد چگونگی عیوب آشکار شده در قطعه و اثر آن بر کیفیت و شرایط قطعه کار تصمیم گیری کند. اگر ناپیوستگی (Discontinuity) ایجاد شـده در قطعـه، برای سلامت قطعه مضر باشد یک عیب (Defect) محسوب می شود و میتواند منجر به تعمیر یـا اسـقاط قطعه شـود. بـه ایـن منظـور، همـواره ارزیـابی عیـب آشـکار شـده در قطعـه بـا معیـار قبـولی یـا ردی (Acceptance standard) ارائه شده توسط مشتری ، مقایسه میشود.

- *تست های تکمیلی (Supplemental Tests)*

گاهی اوقات ، دلائل ایجاد برخی علائم شبیه عیب حتی برای بازرسان مجرب نیز نامعلوم می باشد.
در چنین مواردی ، بمنظور کمک به ارزیابی صحیح توسط بازرس لازم است که تـستهای دیگـر هـم بـر روی قطعه انجام گردد. این تستهای تکمیلی بدو دسته اصلی تقـسیم بنـدی مـــی شـــوند . تـستهـــای غیرمخرب و تستهای مخرب تست های غیرمخرب شامل ارزیابی علائم ظـاهر شـده یـا ارزیـابی سـطح قطعه بوسیله یک ذره بین یا میکروسکوپ یا تست ذرات مغناطیـسی بـا روش مغنـاطیس باقیمانـده مـی باشد.
هرگونه سنگ زنی یا براده برداری سطحی از قطعه، منوط بر وجود اضافه اندازه در قطعه می باشد.
تستهای مخرب شامل شکست، اره کاری (Sawing) پرچ کردن سطحی و مقطع زنـی در قطعـه بمنظـور رویت مقطع عیب می باشد.

- *بازرسی مجدد (Reinspection)*

وقتی قطعه ای تحت بازرسی قرار گیرد و عیبی در آن یافت می شود ولازم است کـه آن عیـب برطـرف شود (قطعه تعمیر شود) باید بعد از تعمیر قطعه بمنظور اطمینان از انجام صـحیح فرآینـد تعمیـر و عـدم بروز عیوب جدید در قطعه که ممکن است در حین تعمیر ایجاد شوند بازرسی مجدد مطابق همان روش اولیه انجام گیرد.

- *بازرسی اضافی (Over inspection)*

گاهی یک خراش هم میتواند برای سلامتی قطعه خطرناک باشد ولی در چنین مواردی قطعه را نباید به سادگی اسقاط نمود وجود تجربه و دانش کافی در این زمینه می تواند در کاهش هزینه های اضافی موثر باشد.

مرحله چهارم – برقراری یک میدان طولی

مرحله بعدی، مغناطیس کردن قطعه در جهت طولی است.

مرحله پنجم – بازرسی

مرحله بعد، تفسیر و ارزیابی عیوب آشکار شده پس از اعمال میدان مغناطیسی طولی است که این فرآیند درست شبیه تفسیر و ارزیابی عیوب آشکار شده حاصل از میدان مدور می باشد.

مرحله ششم – تمیز کاری و پاک کردن نهائی قطعه از مواد تست

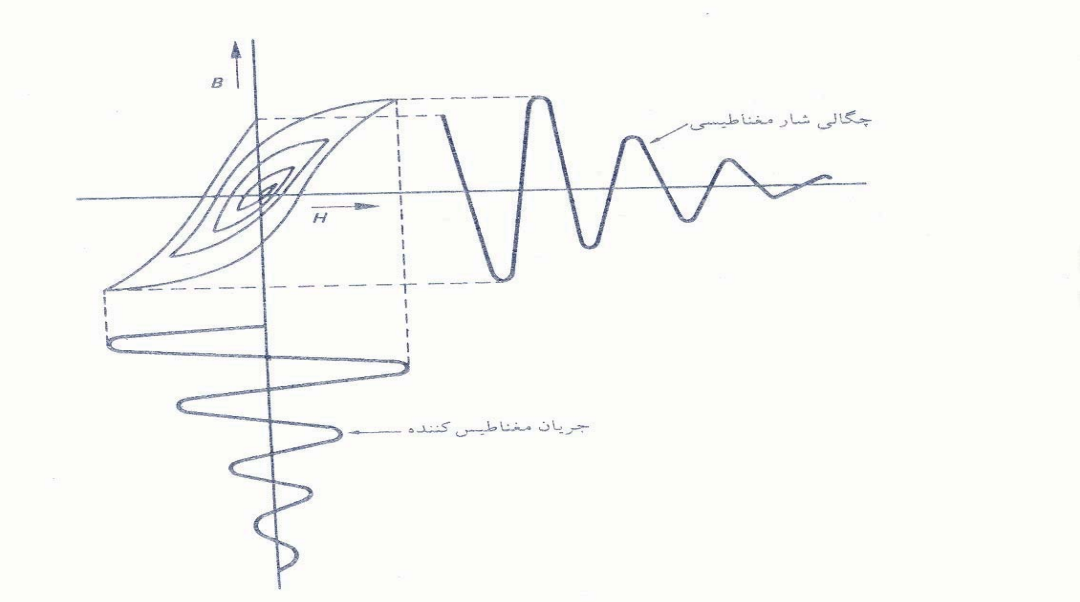
اگر از روش خشک استفاده شود، پاک کردن و برطرف کردن ذرات مغناطیسی مشکل مهمی ندارد و ذرات باقیمانده روی سطح را میتوان بوسیله دمش هوا یا خشک کردن از سطح زدود.
اگر از روش ذرات تر استفاده شود؛ یک لایه نازک از مایع حامل ذرات در روی سطح قطعه باقی می ماند بطوریکه وجود این لایه قابل ملاحظه می باشد. سیال حامل ذرات اگر آب یا مشتقات نفتی باشد بطور سریع خشک می شود.

مغناطیس زدائی

خاصیت مغناطیسی باقیمانده در یک ماده فرومغناطیسی آزموده شده با روش مغناطیسی، بستگی به ویژگیهای فیزیکی آن دارد. همانطور که پیشتر بیان کردیم مواد مغناطیسی سخت داری پسماند بالائی می باشند. در هر حال، معمولاً لازم است قطعه را پس از بازرسی مغناطیس زدائی نمائیم. برای اینکار دلائل چندی بشرح زیر قابل ذکر است:
ممکن است قطعه در جائی به کار رود که پسماند مغناطیسی آن بر عملکرد یا دقت ابزارهائی که نسبت به میدان مغناطیسی حساسیت دارند تأثیر گذارد.دلیل دیگر مغناطیس زدائی این است که ذرات سایش

دهنده ممکن است جذب بخش هائی همچون سطوح و جداره یاتاقانها و چرخدنـده هـا شـده و باعـث سایش شدید آنها شوند، همچنین ذرات ممکن است جذب سـطوح مغناطیـسی شـده و عملیـات بعـدی برروی قطعه از قبیل رنگ زنی و لایه گزاری الکتریکی را بـــا اخـتلال مواجـه نماینـد. اگـر قطعـه دارای خاصیت مغناطیسی ماشین کاری شود، تراشه های حاصل از اینکار می تواند جذب سطح قطعه شده و بر میزان صافی سطح و همچنین عمر ابزار تأثیر منفی برجای گذارد. بالاخره قابـل ذکـر اسـت کـه هرگونـه جوشکاری قطعه با قوس الکتریکی ، در صورت مغناطیس بودن آن؛ می تواند امتداد قوس را از نقطه اثـر اصلی آن منحرف نماید.

برای مغناطیس زدائی قطعه دارای پسماند آن را تحت تأثیر میدانی قرار می دهند که بطور پیوسته جهـت آن تغییر کرده و در همان حال شدت آن رفته رفته تا صفر کاهش یابد. شکل ۵-۳ منحنـی هـای فرضـی شدت جریان و چگالی شار مغناطیسی در خلال مغناطیس زدائی را نشان میدهد.



هنگامی که مغناطیس کردن برای بازرسی قطعه با جریان متناوب انجام گیرد، همان تجهیزات القاء میـدان را میتوان برای مغناطیس زدائی آن نیز بکار برد. پس از کامل شدن بازرسی ، جریان الکتریکـی مغنـاطیس کننده در حالیکه قطعه هنوز بین گیره های انتقال جریان و یا درون سیم پیچ رسانای جریان قرار دارد، بـه تدریج تا صفر کاهش داده می شود. اگر مغناطیس کـردن بـا جریـان مـستقیم انجـام شـده باشـد؛ بـرای مغناطیس زدایی به تجهیزات جریان متناوب نیز نیاز خواهد بود. ازبین بردن خاصیت مغناطیـسی قطعـات

با مقاطع بزرگ، تنها ، با جریان متناوب مشکل می باشد زیرا تأثیرات آن تنها به لایه های رویی سطح محدود می باشد، از اینرو است که در چنین مواردی معمولاً از ترکیب مغناطیس زدائی باجریانهای مستقیم و متناوب استفاده می شود.

روش تست آلتراسونیک

شاید اغلب ما چنین تصور نمائیم که استفاده از صوت برای عیب یابی روش جدیدی است ولی در واقع امر چنین نیست و اگر قدری در تاریخ به عقب برگردیم ملاحظه خواهیم نمود که از قدیم الایام اجداد ما با دقت در صدای اجسام جامدی مثل فلزات ، شیشه ، سفال در مقابل ضربه به سالم و بدون عیب بودن آنها پی میبردند . چنین روشهایی را ما نیز امروز در زندگی روزمره خود بکار می بریم . اما بدلیل اینکه صوت در حد شنوائی انسان صرفاً جهت شناسائی عیوب بزرگ قابل استفاده است لذا برای تشخیص عیوب خیلی ریز فکر دانشمندان معطوف استفاده از امواج مافوق صوت (آلتراسونیک) گردید . طول موج صوت در حد متوسط شنوائی انسان در حدود ۱/۲ متر می باشد در حالیکه طول موج آلتراسونیک ۱/۲ میلیمتر است . تکنیکهای تولیدی و اندازه گیری امواج صوتی با فرکانسهای خیلی بالا در دهه های اخیر میسر گردیده است و این امر با کشف پدیده مهم نیرو الکترو الکتریک صورت گرفت . البته کشف مزبور در سال ۱۸۸۰ توسط برادران کوری بعمل آمد . آنها گزارش دادند که ورقه‌های نازکی از بعضی کریستالها در صورتی که بشکل خاصی برش داده شوند در اثر اعمال فشار مکانیکی ایجاد یک پتانسیل الکتریکی می نمایند و هم او بود که پیشنهاد کرد با اعمال ولتاژ مناسب می توان این کریستالها را ه نوسان در آورد و یا بر عکس با نوسان کریستال می توان سیگنالهای الکتریکی مناسب دریافت نمود . یعنی در واقع از یک کریستال هم به عنوان فرستنده و هم به عنوان گیرنده استفاده شود .

۱- کلیات آزمایش :

بازرسی بوسیله امواج آلتراسونیک روش بسیار حساس برای کشف و شناسایی محل و اندازه عیبها بخصوص در عمق داخل قطعه می باشد. بازرسی آلتراسونیک بر این اساس ساخته شده که هرگونه عیب و یا تغییر چگالی مهم بعنوان یک بازتابنده امواج در داخل فلز عمل میکند. Probe شامل یک کریستال پیزو الکتیک میباشد که به ان یک ولتاژ متغیر اعمال میشود و کریستال شروع به ارتعاش سریع می نماید. این ارتعاشات بدرون قطعه منتقل گشته و در صورت برخورد با یک ناخالصی و یا تغییر در چگالی ،در این نقاط مقداری از این انرژِی ارتعاشی بازگشت می نماید و کریستال پیزوالکتریک این انرژی الکتریکی را دریافت می نماید و بصورت یک جریان الکتریکی از طریق سیم به دستگاه ارسال مینماید. سیکل انتقال و دریافت ٦٠ تا ١٠٠٠ بار در ثانیه تکرار می گردد.

نوسانات و امواج صوتی

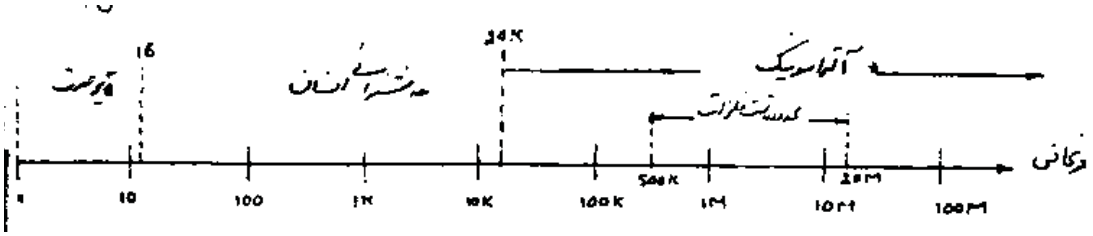
نوسانات: امواج صوتی در واقع عبارت از نوسان ذرات ماده در یکی از سه حالت جامد، مایع و گاز می باشد. ذرات مزبور در یک موقعیت مشخص نوسان نموده و تعداد نوسانات هریک از ذرات در مدت یک ثانیه فرکانس نوسان نامیده میشود. فرکانس بر حسب سیکل در ثانیه یا هرتز مشخص می گردد و آنرا با F نشان میدهند.

برای نوسان یک جسم دو شرط زیر همواره ضروری است:

الف- جرم: چون امواج صوتی در خلا منتشر نمیشوند لذا همواره ماده ای که دارای جرم باشد مورد نیاز است.

ب- الاستیسیته: همواره یک نیروی بازدارنده مورد نیاز است تا جرم مزبور را به حالت اولیه خود برگرداند. در حقیقت مقاومت در برابر کشش یا فشار را الاستیسیته جسم می گویند.

امواج صوتی عبارتست از نوسان ذرات ماده (جامد،مایع،گاز) می‌باشد. اصواتی را که ما میشنویم در واقع نوسانات ذرات هواست و این نوسانات دارای فرکانس و دامنه می باشند. ما فرکانس نوسـانات را بعنوان گام (PITCH) صـوت ودامنه نوسـانات را بعنوان شدت صـوت (LOUDNESS) میشناسیم. البته گوش انسان به نوسانات در هر فرکانسی حساس نیست و تنها به نوسانات در محدوده فرکانسی خاص عکس العمل نشان میدهد. این محدوده معمولا بین ١٦ تا ٢٠ هزار سیکل در ثانیه می باشد که آنرا حد شنوایی می نامند. فرکانسهای زیر ١٦ هرتز اصوات زیر صوت و فرکانسهای بالای ٢٠ هزار هرتز اصوات ما فوق صوت (آلتراسونیک)را تشکیل میدهند.



انتشار امواج :

در بررسی انتشاراامواج صوتی به دو جهت برخورد می کنیم:

جهت نوسان یعنی جهتی که ذرات منفرد ماده درا ین جهت نوسان میکند

جهت انتشار که موج در این جهت به جلو حرکت میکند .دو نوع اصلی امواج صوتی عبارتند از:

الف–موج طولی یا فشاری (Longitudinal waves) : در این نوع از امواج ،جهت نوسان ذرات جسم در جهت انتشار موج می‌باشد .

ب– موج عرضی یا برشی (Transverse waves) : در این نوع از امواج ،جهت نوسان ذرات جسم عمود بر جهت انتشار موج می باشد.

بعلت اینکه تنها جامدات در برابر نیروی برشی از خود مقاومت نشان می دهند لذا امواج برشی فقط در جامدات انتشار می یابد.

امواج طولی و عرضی خالص تنها در حالتی شکل می گیرند که ضخامت جسم در جهت عمود بر انتشار موج به اندازه قابل ملاحظه ای بزرگتر از طول موج باشد. در غیر اینصورت ترکیبات این دو نوع موج ایجاد میشود که دو نوع موج زیر از همه شاخصتر است:

الف–امواج لمب(LAMB) این نوع موج در سطح خیلی نازک منتشر می یابد بطوریکه کل حجم ماده به نوسان در آمده ودر واقع نقش هدایت کننده موج را ایفا میکند. این نوع موج بندرت در عیب یابی مورد استفاده قرار می گیردو کاربرد آن صرفا در تست ورقه های خیلی نازک می باشد و به جهت مشکل بودن تنظیم پروب اغلب در سیستمهای اتوماتیک بکار برده میشود.

ب– امواج سطحی(Surface waves) :در این نوع از امواج صوتی،حرکت ذرات به شکل بعضی است بطوریکه قطر بزرگ بیضی در جهت عمود بر انتشار موج میباشد. این نوع موج، فقط در امتداد سطوح ایجاد میشود ولی قادر است در سطوح منحنی نیز جریان یابد. امواج سطحی فقط در جامدات منتشر می شود.

سرعت انتشار امواج صوتی

سرعت انتشار امواج طولی،عرضی و سطحی از پارامترهای ثابت هر ماده ای محسوب میشود که مستقل از فرکانس و ابعاد قطعه می باشد و از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$Ve = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1-M}{(1+M)(1-2M)}}$$

$$Vt = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{2(1+M)}}$$

$$Vs = 0.9\ Vt$$

سرعت امواج طولی =Ve

سرعت امواج عرضی =Vt

سرعت امواج سطحی = Vs

مدول الاستینه یانگ =E

چگالی = ρ

ضریب ثابت پواسون =M

رابطه بین سرعت، فرکانس و طول موج :

فاصله ای را که صوت در یک پریود (زمان یک نوسان) طی میکند طول موج صوت نامیده می شود و آنرا با λ نشان میدهند.

$$V = \lambda . F$$

V= سرعت میلی متر بر ثانیه

λ = طول موج (میلی متر)

F= فرکانس (هرتز)

مثال: موج فشاری با فرکانس MHZ ۵ در فولاد منتشر میابد طول موج آن چقدر خواهد بود؟

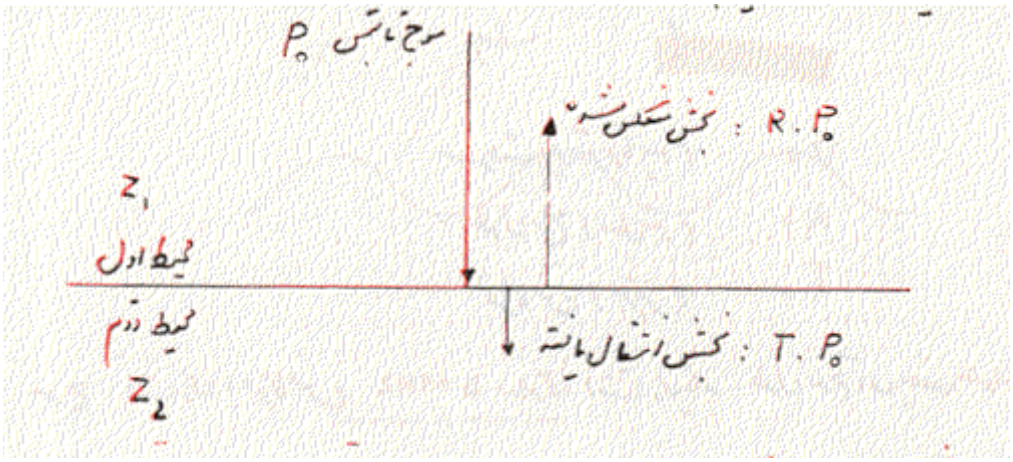
Ve=5960 m/s

$\lambda = V/F = \frac{5960x1000}{5x106}$ = 1/192 میلی متر

خواص امواج صوتی:

برخورد عمود صوت به مرز بین دو محیط

هرگاه موج صوتی تحت زاویه ۹۰ درجه به مرز مشترک دو محیط برخورد کند قسمتی از انرژی به محیط دوم عبور می کند.در حالیکه بخش دیگر انعکاس می یابد.شکل زیر



امپدانس اکوستیک(Z) –نسبت انرژی صوتی انتقال یافته و منعکس شده بستگی به امپدانس آکوستیک در محیط مزبور دارد. امپدانس آکوستیک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$Z= \beta.V$

β=چگالی جسم

V=سرعت صوت در جسم

در صد انرژی صوتی که در برخورد به جسم دیگر انعکاس می یابد برابر است با:

$$R=(\frac{Z1-Z2}{Z1+Z2})^2\times100\%$$

در صد انرژی صوتی که به محیط دوم انتقال می یابد برابر خواهد بود با:

$$T=\frac{4Z1Z2}{(Z1+Z2)}\times100\%$$

مثال: در صد انرژی صوتی را که بعد از برخورد از فولاد به آب انعکاس می یابد محاسبه نمائید؟

فولاد $Z1=46/7$

آب $Z2=1/48$

$R=88\%$

البته لازم به ذکر است که مقادیر R,T در واقع بستگی به فشار صوت دارد چرا که دامنه پژواک های دریافتی روی صفحه دستگاه آلتراسونیک متناسب با فشار صوت می باشد. لذا این صحبت مغایرتی با اصل انرژی ندارد.

هرگاه امپدانس آکوستیک در محیط با هم برابر باشد ($Z1=Z2$) در اینحالت هیچ انعکاسی رخ نمی دهد($R=0$) و صوت از مرز مشترک بین دو محیط بدون انعکاس عبور می کند ($T=1$)

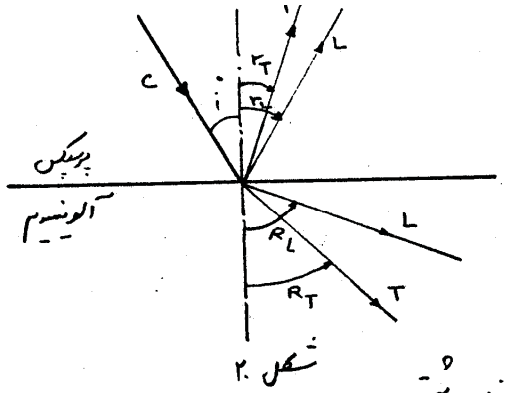
ماده واسط تست(COUPLANT)

همانطوریکه بعداً ملاحظه خواهید نمود در مرز بین گاز و جامد کلیه انرژی صوتی انعکاس می یابد بدین جهت است که امواج صوتی حساسیت زیادی نسبت به ترک دارند که در واقع یکفاصلههوایی بین دو لایه از جامد محسوب می شود .اما همین مساله در موقع ارسال امواج صوتی به داخل قطعه کار باعث ایجاد مشکل میشود چرا که ناچاریم فاصله هوایی بین پروب وقطعه کار را از بین ببریم که اینکاررا با افزودن یک ماده واسط که امپدانس آکوستیک آن بیش از هوا باشد می توان انجام داد.این ماده معمولا از سیالهایی نظیر آب،گلیسیرین،روغن،گریس،نفت و غیره انتخاب میشود.

برخورد مایل صوت به مرز بین دو محیط

هرگاه موج صوتی بصورت مایل به مرز بین دو محیط برخورد کند پدیده ایجاد شده پیچیده تر از حالت برخورد موج با زاویه قائمه خواهد بود. در اینحالت نیز مجددا مولفه‌های انعکاسی و انتقالی وجود خواهد داشت. البته قسمتی از انرژی صوتی انتقالی و انعکاسی به انواع دیگری از امواج نیز تبدیل خواهد شد.

در شکل زیر پدیده های انعکاس، شکست و تبدیل امواج به یکدیگر را در مرز بین دو محیط ۱و۲ (برای مثال پرسپکس به آلومینیوم) مشاهده میشود. روابط موجود ما بین موج ورودی و امواج انعکاسی ،شکست و تبدیل یافته از رابطه "اسنل" بدست خواهد آمد.



شکل ۲.

طبق قانون اسنل خواهیم داشت:

$$\frac{\sin i}{V_{1L}} = \frac{\sin r_T}{V_{1T}} = \frac{\sin r_L}{V_{1L}} = \frac{\sin R_T}{V_T} = \frac{\sin R_L}{V_L}$$

تنظیم سرعت CRT

اگر بخواهیم ضخامت کامل قطعه کار را روی صفحه CRT نشان دهیم باید مطمئن شویم که همزمان با حرکت صوت تا انتهای قطعه کار و برگشت آن به سطح قطعه ،نقطه نورانی نیز یک حرکت کامل از سمت چپ تا راست صفحه CRT انجام خواهد داد. برای تست قطعه کارهای نازک نقطه نورانی میتواند حرکت سریع انجام دهد ولی در قطعات ضخیم باید از سرعت حرکت آن کاست. دستگاههای عیب یاب آلتراسونیک می توانند هر قطعه ای به ضخامت معادل ٦ میلیمتر تا١٠ متر فولاد را بر روی صفحه CRT نشان دهند. بنابراین لازم است که محدوده سرعت نقطه نورانی خیلی وسیع باشد (از حدود $2\mu s$ تا $3500\mu S$).معمولا به کمک دو تکمه کنترل بر روی دستگاه آلتراسونیک ،تنظیم سرعت صورت می گیرد .
که این تکمه ها را کنترلهای عمق یا طول اندازه گیری می نامند.

سیستم دسی بل dB

در اغلب دستگاههای آلتراسونیک کنترل حساسیت بشکل کالیبره شده بر حسب واحددسی بل صورت می گیرد. به بیان دیگر با گردش تکمه مربوطه می توان ارتفاع پژواک ها را کم یا زیاد کرد.روی صفحه CRT ما معمولا به دو دسته اطلاعات دسترسی پیدا میکنیم:

١- محل سیگنال بر روی محور افقی که نشاندهنده عمق عیب می باشد.

٢- دامنه یا ارتفاع سیگنال که می تواند اطلاعاتی در مورد اندازه عیب به ما بدهد.

می خواهیم دو سیگنال آلتراسونیک به شدت های I_1,I_0 را با یکدیگر مقایسه کنیم. اگر با این سیگنالها یک ترانسدیوسر را به ارتعاش در آوریم و سیگنالهای الکتریکی به قدرت P_1,P_0 ایجاد شودنسبت این دو سیگنال I_0,I_1 با نسبت قدرت الکتریکی آنها بین P_0/P_1 برابر خواهد بود.

$I_0/I_1=P_0/P_1$

P V^2

$$\frac{I0}{I1}=\frac{Vo2}{V1}=\text{Log } Io/I_1=\text{Log }(Vo/V_1^2)=2\log(Vo/V_1)$$

این نسبت را بل (Bel) می گویند که بعلت بزرگ بودن این واحد از یکدهم آن یا دسی بل (dB)استفاده می کنند. لذا خواهیم داشت:

$\text{Log } Io/I_1 = 20 \text{ Log } Vo/V_1$ دی سی بل

چون ارتفاع سیگنال روی صفحه CRT بستگی به مقدار ولتاژ اعمال شده توسط ترانسدیوسر دارد . لذا در رابطه بالا به جای مقادیر ولتاژ می توان ارتفاع سیگنالها را جایگزین نمود. مثال:

هرگاه دو سیگنال با ارتفاع های ٤٠ و ٢٠ میلیمتر را با یکدیگر مقایسه کنیم رابطه دسی بل آنها چنین خواهد شد:

$dB = 20 \text{ Log } H0/H1 = 20 \text{ Log } 40/20 = 20 \text{ Log } 2 = 6 \text{ dB}$

بنابر این ٦ دسی بل به معنی نسبت دو به یک دامنه ها خواهد بود.

مثال:سیگنالی به اندازه ٢٠ دسی بل از سیگنال دیگر کوچکتر است. دامنه این سیگنال چند برابر کوچکتر است؟

$20 \text{ dB} = 20 \text{ Log } H1/H2 \quad \text{Log } H1/H2 = 1 \quad H1/H2 = 10$

یعنی دامنه یک سیگنال ١٠ برابر دامنه سیگنال دیگر خواهد بود.

پرتو امواج صوتی که از یک پروب آلتراسونیک منتشر می شود شباهت کامل با پرتو نورانی منتشره از یک چراغ قوه دارد.صوت بشکل مخروطی منتشر شده و با افزایش فاصله از منبع از شدت آن کاسته می شود . بنابراین برای آگاهی از چگونگی تاثیر پرتو صوتی در کیفیت بازرسی لازم است که شکل پرتو صوتی را بدقت مورد مطالعه قرار داده و میزان کاهش شدت آنرا در جهت طولی و عرضی بررسی نمائیم.

تغیرات شدت صوت :

بر اساس یک اصل کلی با افزایش فاصله از ترانسدیوسراز شدت صوت کاسته می شود. این تضعیف صوت در واقع بیانگر اتلاف انرژی است ،به بیان دیگر صوت در اثر حرکت در داخل جسم مستهلک می شود. علت استهلاک یا میرائی صوت عوامل زیر می باشد:

الف–جذب(absorption) انرژی صوتی به علت حرکت ملکولهایدر حال نوسان

ب- تفرق(scatter) امواج صوتی در اثر انعکاس از مرز دانه ها

ج- اثرات تداخلی(interference Effects) در مجاورت ترانسدیوسر

د- گسترش پرتو صوتی (Beam spread)

جذب و تفرق:

میزان انرژی تلف شده بعلت جذب در جسم بستگی به خواص الاستیکی جسم مزبور دارد بطوریکه فولاد و آلومینیوم دارای خاصیت جذب کمتر از سرب یا پرسپکس می باشد. میزان تفرق نیز بستگی به نوع جسم مورد آزمایش دارد بطوریکه هرچه اندازه دانه ها بزرگتر باشد میزان تفرق نیز بیشتر خواهد شد. در موارد ساخته شده بطریقه فورجینگ یا نورد معمولا تفرق کمتر از قطعات ریختگی است. در اثر عملیات حرارتی اندازه دانه ها کوچکتر شده و از میزان تفرق نیز کاسته می شود و در نتیجه تست
آسانتر می گردد. در تست مواد که از میزان جذب یا تفرق زیادی برخوردار هستند باید از فرکانسهای پائین تر استفاده نمود. می توان گفت که استهلاک صوت (جذب و تفرق) با کاهش فرکانس کمتر میشود و یا به بیان دیگر قدرت نفوذ صوت در مواد با استفاده از فرکانسهای کمتر افزایش می یابد.

اثرات تداخلی

هرگاه منبع انرژی به شکل یک نقطه باشددر اینصورت امواج صوتی در کلیه جهات از این نقطه منتشر خواهند شد که شباهت کامل با پخش امواج روی آب بعد از انداختن یک سنگ دارد. البته واضح استکه ترانسدیوسر فرستنده امواج صوتی یک منبع نقطه ای نیست بلکه یک صفحه پیزوالکتریک با ابعاد محدود می باشد.

در واقع اثرات تداخلی، تداخل انرژی های با طول موجهای مختلف است که در یک نقطه با هم تلاقی می کنند و نتیجه نهائی که ممکن است جمع شدن انرژیها یا حذف یکدیگر باشد.

میدان نزدیک Near field

همانطور که مشاهده شد تغییرات شدت صوت بعلت اثرات تداخل امواج در فاصله معینی از ترانسدیوسر رخ می دهد که این فاصله را "میدان نزدیک" پروب می نامند. در این فاصله پرتو صوتی به حالت موازی انتشار می یابد و بلا فاصله وارد میدان دور "Far Field"پروب می شود که پرتو صوتی بحالت مخروطی منتشر می شود . فاصله میدان نزدیک پروب از رابطه زیر قابل محاسبه است:

میدان نزدیک $NF = D^2/4\lambda$ قطر تراندیوسر $D=$

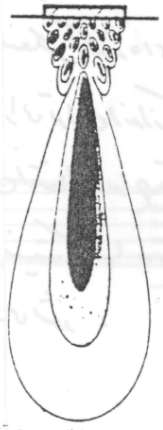
$NF = \frac{1}{-} (a^2 + b^2)(1-a/2b)$ طول موج صوت $\lambda =$

ابعاد تراندیوسر $a,b =$

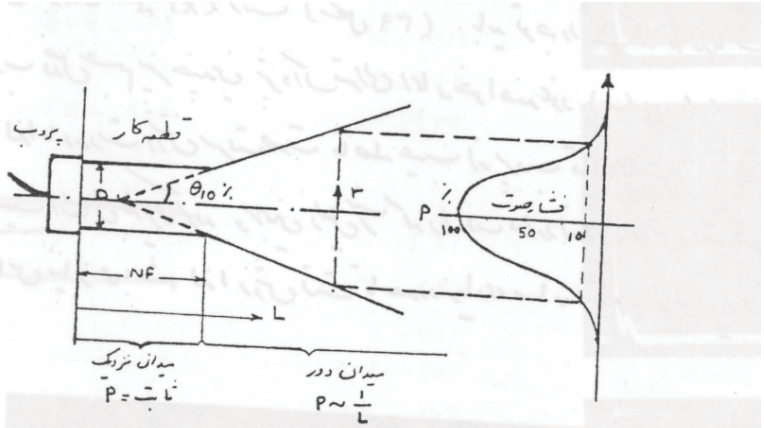
به علت مخروطی بودن انتشار پرتو صوتی ،شدت صوت نیز همانند پرتو های نورانی از قاعده عکس مربع فاصله پیروی می کند .یعنی با دو برابر شدن فاصله از پروب ،شدت صوت به ۱/٤ مقدار اولیه تنزل می یابد. البته مقدار واقعی شدت صوت عملا کمتر از ۱/٤ نیز خواهد بود که دلیل آن جذب،تفرق و سایر تلفات داخلی می باشد.

همچنین متناسب با فاصله گیری از محور به طرفین از فشار صوت کاسته خواهد شد.معمولا فاصله ای را که در آن شدت صوت بر روی لبه نسبت به محور به ۱/۱۰ تقلیل می یابد مشخص می سازند. زاویه مخروط در این حالت برابر خواهد بود با:

$Sin\theta_{10} = 1.08 \lambda /D$ (نقطه ای که شدت صوت به ۱/۱۰ تقلیل می یابد.)



توزیع فشار صوت



شکل ۴۶ - میدان آلتراسونیک ترانسدیوسر

۳-روشهای تست آلتراسونیک

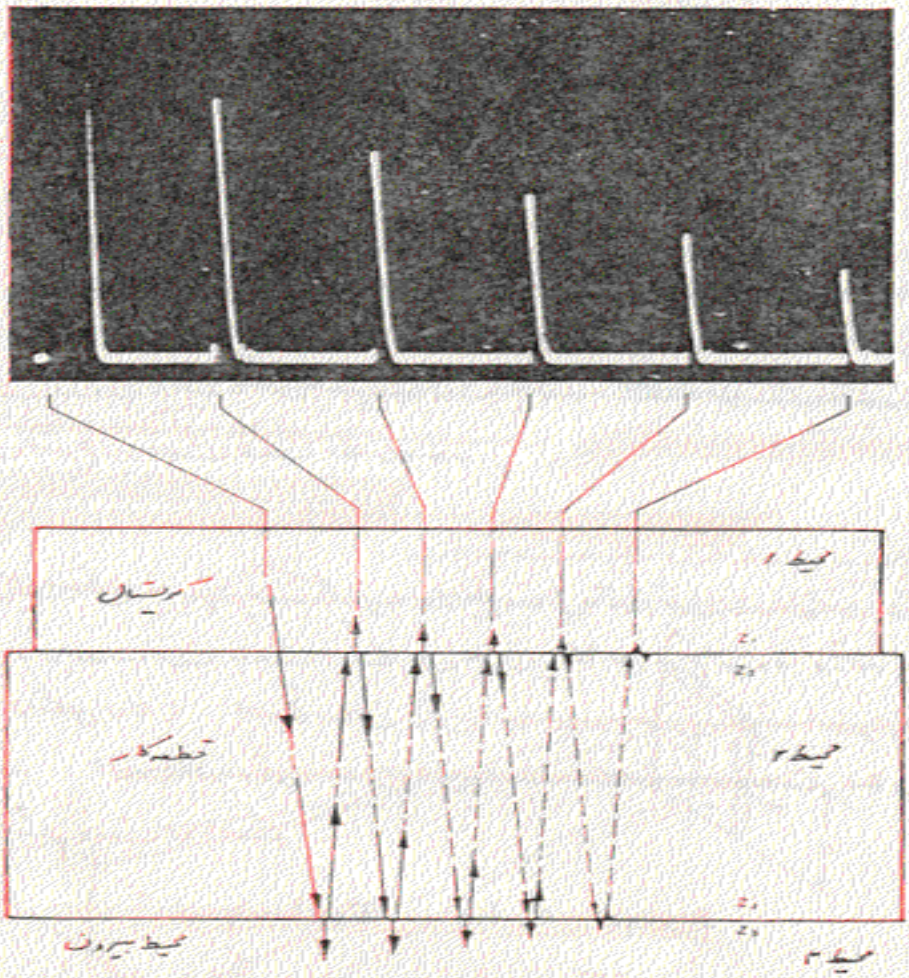
چنانکه دیدیم امواج آلتراسونیک بعد از برخورد به مرز مشترک دو محیط که دارای امپدانس آکوستیک مختلف هستند تجزیه شده،قسمتی از آن به محیط دوم انتقال می یابد و قسمتی دیگر انعکاس یافته و به محیط اول بر می گردد.مرز مشترک مزبور می تواند هرگونه نا خالصی یا عیبی در قطعه کار باشد که باعث می شود امپدانس آکوستیک در آن ناحیه با خود جسم متفاوت باشد.اما بر اساس اینکه موج انتقال یافته و یا موج برگشتی مورد ارزیابی قرار گیرد دو روش مختلف بشرح زیر جهت تست بکار می رود:

متد انتقال امواج Transmission Method

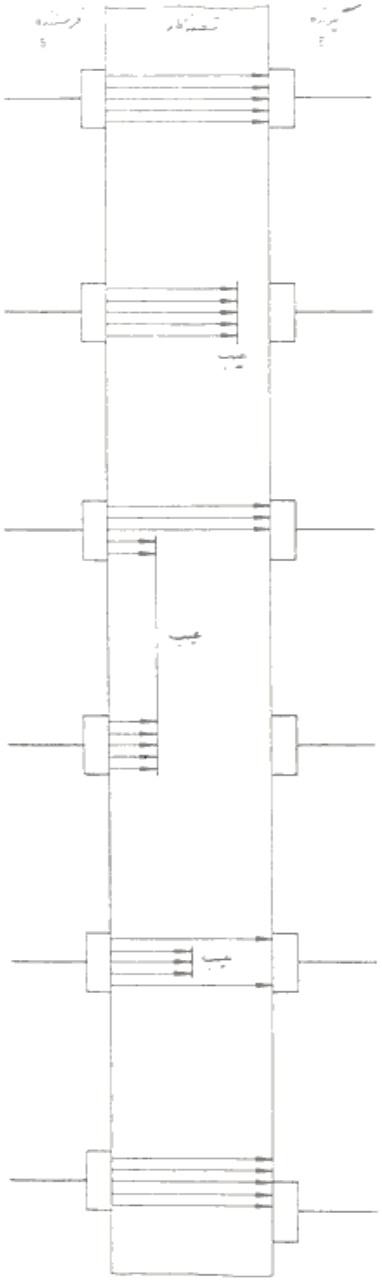
در این روش پروب فرستنده در یک سطح جسم و پروب گیرنده در سطح مقابل آن قرار داده می شود و بخش انتقال یافته امواج مورد بررسی قرار میگیرد.عیوب موجود در فاصله بین دو پروب فوق باعث انعکاس جزئی یا کامل موج شده در نتیجه موج دریافتی توسط پروب گیرنده تضعیف شده و یا بطورکامل محو می گردد.اصولا در این روش انتخاب موج پیوسته یا ضربانی تفاوتی نمی کند.چرا که فرستنده و گیرنده از نظر الکتریکی کاملا مجزا از یکدیگر می باشند.البته با این روش تعیین عمق عیب امکان پذیر نیست. علاوه بر این هماهنگی دقیق فرستنده و گیرنده در محل های مربوطه از الزامات مسلم تست می باشد.

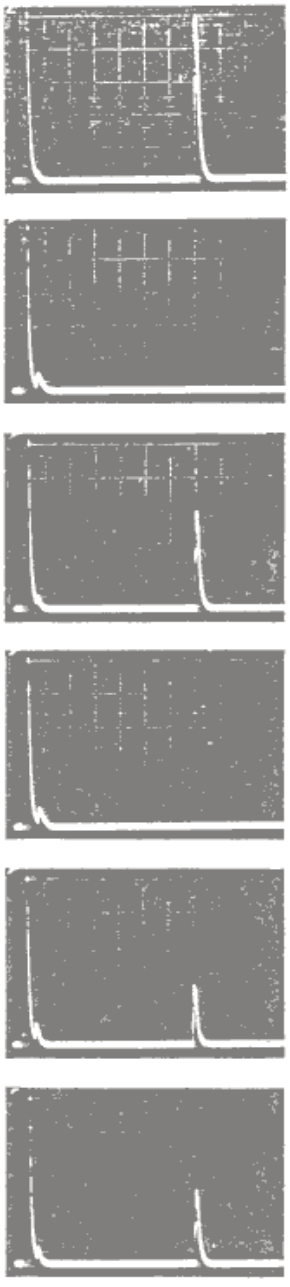
متد انعکاس امواج pulse Echo Technique

در این روش برای تشخیص عیب در قطعه کار از بخش انعکاس یافته امواج آلتراسونیک استفاده می شود. در این حالت یک ترانسدیوسر هم به عنوان فرستنده عمل می کندو هم بعنوان گیرنده. در این روش فقط از صوت ضربانی استفاده میشود. پالس های الکتریکی خیلی کوتاه تولید امواج آلتراسونیک مناسبی می کنند که بلا فاصله در حالیکه موج هنوز در جسم در حال انتشار است همان ترانسدیوسربعنوان گیرنده نیز عمل می کند. هرگاه سطح منعکس کننده در جهت عمود بر مسیر موج باشد موج به نقطه اولیه خود برگشت خورده و بعد از مدت زمان معینی به ترانسدیوسر می رسد که این زمان بستگی به سرعت صوت در جسم و به فاصله بین ترانسدیوسر و سطح منعکس کننده دارد. سپس ترانسدیوسر ارتعاشات آلتراسونیک را به پالسهای الکتریکی تبدیل می کند .البته تنها بخشی از انرژی آلتراسونیک به انرژی الکتریکی تبدیل میشود و بخشی دیگر از مرز مشترک بین قطعه کار و ماده واسط تست مجددا انعکاس یافته و بدرون قطعه کار بر میگردد و این مسیر برای چند بار تکرار میشود و نتیجه آن دریافت پژواکهای متوالی بر روی صفحه CRT است. باید توجه داشت که نه تنها سطح پشت قطعه کار بلکه هر نوع منعکس کننده ای مثل عیوب داخل جسم نیز چندین پژواک متوالی ایجاد خواهد نمود. از آنجائیکه زمانعبور موج را می توان اندازه گیری نمود لذا با در دست داشتن سرعت صوت فاصله عیب از پروب قابل محاسبه می باشد. در این روش برخلاف روش انتقال امواج تعیین محل عیب امکان پذیر می گردد و بهمین دلیل استکه در اغلب موارد از این روش استفاده می شود و مزیت دیگر آن اینستکه تنها به یک سطح تماس نیاز می باشد .لذا روش تست تا حدود زیادی ساده شده و شرایط نسبتا ثابتی در حین تست ایجاد می شود.



شکل ۳۹ ـ ایجاد تراوک های تداخلی از یک قطعه کار



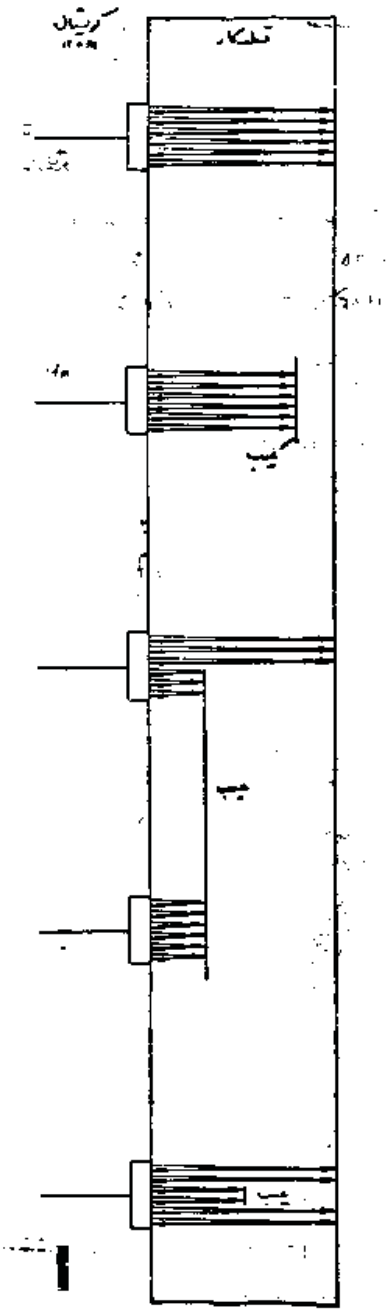


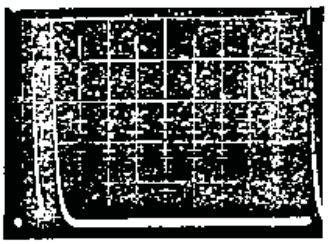
جدول ۱ - سرعت صوت و چگالی در فلزات

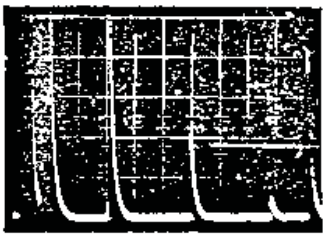
فلز	V_L (m/s)	V_T (m/s)	ρ (g/cm³)
آلومینیم	۶۲۰۰ - ۶۴۰۰	۳۱۴۰	۲٫۷
آمریسیم	۶۵۰۰	—	۳٫۷
برلیم (Be 5S)	۱۲۸۳۰ - ۱۲۹۵۰	۸٫۱ - ۸٫۵	
جیوه	۱۴۵۰	—	
مس	۴۶۰۰ - ۴۷۵۰	۲۲۶۰ - ۲۳۰۰	۸٫۹
فلزسخت (hard metal)	۶۸۰۰ - ۷۳۰۰	۴۰۰۰ - ۴۷۰۰	۱۱ - ۱۵
آهن	۵۸۵۰ - ۵۹۰۰	۳۲۳۰	۷٫۷ - ۷٫۸۲
سرب	۲۱۶۰ - ۲۴۰۰	۷۰۰	۱۱٫۳ - ۱۱٫۴
جیوه	۱۴۵۰	—	۱۳٫۶
مولیبدن	۶۲۸۰ - ۶۴۲۰	۳۳۶۰	۱۰٫۲
نیکل	۵۶۰۰ - ۵۸۹۴	۲۹۲۰ - ۳۲۱۹	۸٫۸
نیکل نقره	۴۷۹۰	۲۱۶۰	۸٫۴
نقره	۲۶۰۰ - ۲۷۹۰	۱۵۹۰ - ۱۷۶۰	۱۰٫۵
فولاد آستنیتی	۵۵۰۰ - ۶۱۰۰	۳۲۵۰ - ۳۴۵۰	۷٫۸
فولاد آهنی	۵۹۰۰ - ۶۱۰۰	۳۱۹۰ - ۳۳۵۰	۷٫۷ - ۷٫۸۶
قلع	۳۳۱۰ - ۳۳۲۰	۱۵۳۰ - ۱۶۷۰	۷٫۳
تنگستن	۵۱۸۳ - ۵۴۶۰	۲۶۲۰ - ۲۸۶۰	۱۹٫۱ - ۱۹٫۳
روی	۴۱۲۰ - ۴۱۷۰	۲۳۵۰ - ۲۴۱۰	۷٫۱

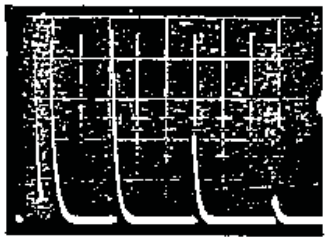
جدول ۲ - سرعت صوت و چگالی در غیرفلزات

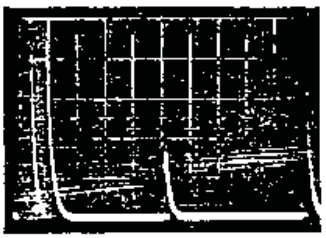
	V_L (m/s)	V_T (m/s)	ρ (g/cm³)
بزین اپوکسی	۲۴۰۰ - ۲۹۰۰	۱۱۰۰	۱٫۱ - ۱٫۲۵
شیشهٔ crown	۵۲۹۰ - ۵۶۶۰	۲۹۶۰ - ۳۴۲۰	۲٫۵ - ۳٫۶
شیشهٔ flint	۳۷۶۰ - ۴۸۰۰	۲۲۲۰ - ۲۹۵۰	۳ - ۴٫۶
شیشهٔ کرونز	۵۵۷۰	۳۵۲۰	۲٫۶
گرانیت پرس‌شده	۳۹۰۰ - ۱۱۰۰	—	۲٫۴۵ - ۱٫۸
پارافین سخت	۲۲۰۰	—	۰٫۸۳
پرسپکس	۲۷۶۰	۱۴۳۰	۱٫۱۸
پلی‌آمید	۲۶۰۰ - ۲۲۰۰	۱۲۰۰ - ۱۱۰۰	۱٫۲ - ۱٫۱
پلی‌استر	۲۳۵۰	۱۱۵۰	۱٫۰۶
چینی	۶۷۰۰ - ۷۶۵۰	۳۹۵۰ - ۴۰۰۰	۲٫۴
لاستیک سخت	۲۳۰۰	—	۱٫۲
لاستیک نرم	۱۴۸۰	—	۰٫۹
تفلون	۱۳۵۰	۵۵۰	۲٫۲

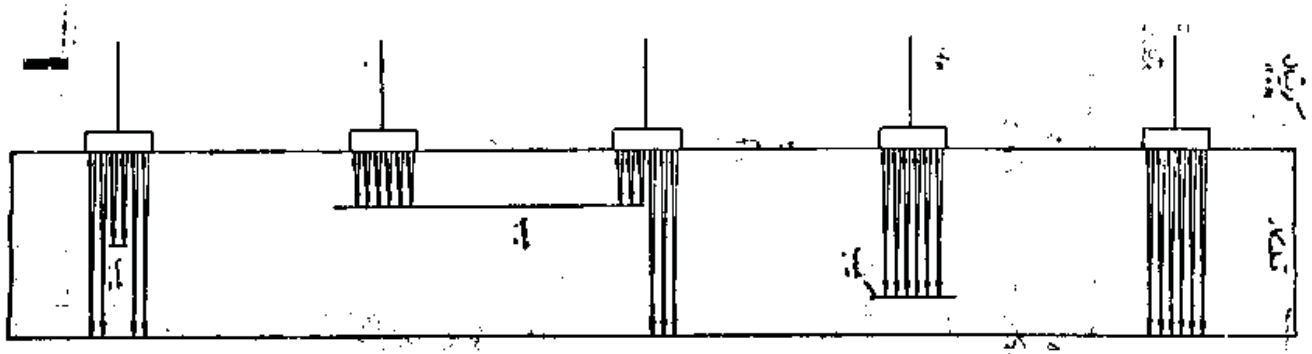


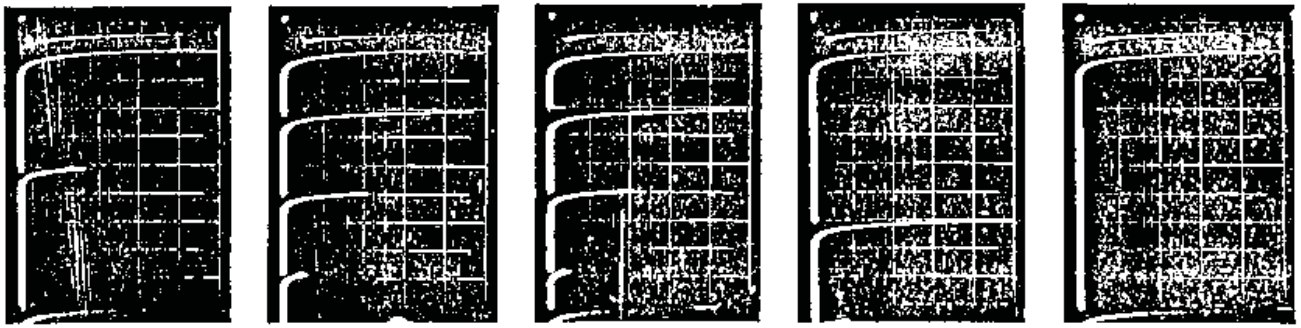












٤- پروبهای آلتراسونیک

انواع پروبهایی که امواج نرمال تولید می کنند به شرح ذیل هستند:

۱- پروب نرمال Normal Probe

عنوان پروب نرمال بعلت جهت ورود امواج صوتی به داخل قطعه کار به این پروبها اطلاق می شود(یعنی جهت عمود بر سطح جسم جهت نرمال شناخته می شود)

۲- پروب باکریستال دوبل یا پروب T/R

در پروب باکریستال دوبل، دورترانسدیوسر T و R در یک پروب تعبیه می شوند. یک پرده اکوستیک نیز بین دو ترانسدیوسر در نظر گرفته می شود تا بهنگامی که یک تراندیوسر به عنوان فرستنده و دیگری بعنوان گیرنده عمل می کند تداخلی در عملکرد آنها صورت نگیرد . بین کریستالها و سطح قطعه کار یک بلوک تأخیری (Delay Block) وجود دارد که وظیفه آن جلوگیری از تطبیق پالس ورودی صورت با نقطه صفر صفحه CRT (که در واقع مطابقت با سطح کار دارد) می باشد . بنابراین پالس ورودی در سمت چپ نقطه صفر قرار می گیرد و زمانیکه تنظیم دستگاه بطور دقیق صورت می گیرد از دید خارج می شود .

پروب باکریستال دوبل به اندازه غیر قابل مقایسه‌ای قدرت تفکیک پذیری آن در فواصل کوتاه بهتر است بطوریکه پالس ورودی در یک دستگاه کاملاً تنظیم شده روی صفحه ظاهر نمی شود . بدین ترتیب کشف عیوبی که فقط چند میلی متر زیر سطح باشند امکانپذیر می شود . یعنی برای شناسایی عیوب نزدیک به سطح این نوع پروب‌ها از دقت بیشتری برخوردار است . کاربرد دیگر این پروبها در ضخامت سنجی می باشد .

۳- پروب نرمال امواج برشی

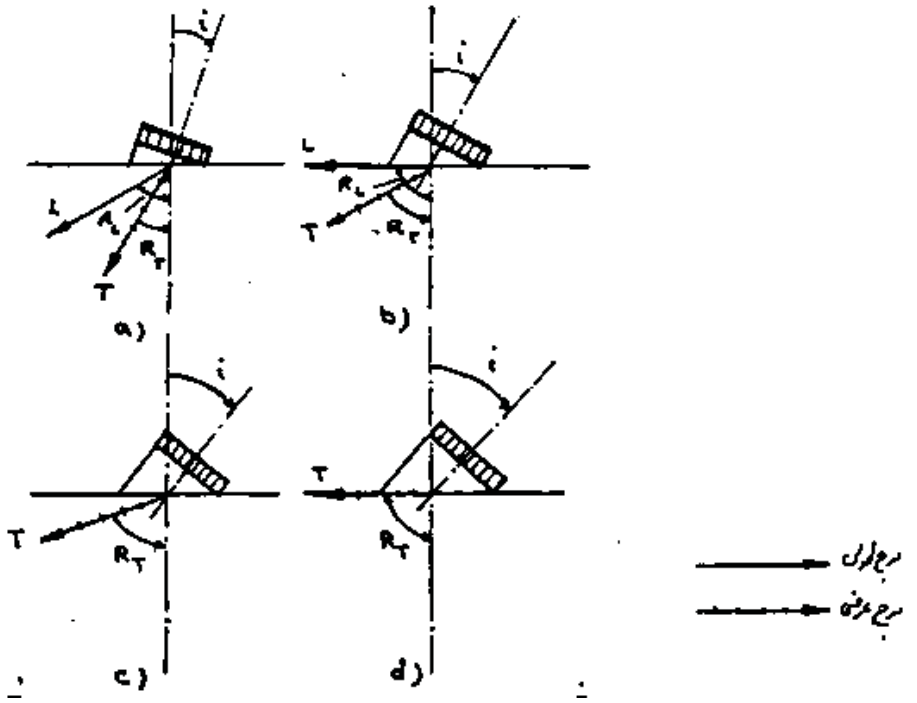
ساختمان این نوع پروب‌ها با پروبهای نرمال برای امواج طولی یکسان است و فقط خود ترانسدویوسر دارای نظم کریستالوگرافیک متفاوتی است که بدین جهت ارتعاشات برشی و در نتیجه امواج برشی تولید می کند .

برخورد مایل امواج صوتی

همانطور که توضیح داده شده است ، امواج صوتی در برخورد مایل به مرز دو محیط می توانند ٤ نوع موج جدید در جهات و سرعتهای مختلف ایجاد کنند که بر طبق رابطه اسنل می توان آنها را محاسبه نمود .

پروب مایل (Angle Probe)

پروب مایل یا پروب زاویه دار از کریستالی که به یک گوه از جنس پروسپکس چسبانده شده تشکیل شده است . بدین ترتیب برخورد مایل امواج صوتی به سطح کار صورت می گیرد و و سبب تولید امواج طولی و عرضی در قطعه کار می شود . از آنجائیکه امواج طولی بعلت سرعت زیادشان همواره دارای زاویه شکست بزرگتری در مقایسه با امواج عرضی می باشند با افزایش زاویه تابش صوت به نقطه‌ای خواهیم رسید که دیگر موج طولی در قطعه کار نفوذ نخواهد کرد در حالیکه موج برشی هنوز به انتشار خود در داخل جسم ادامه می دهد .

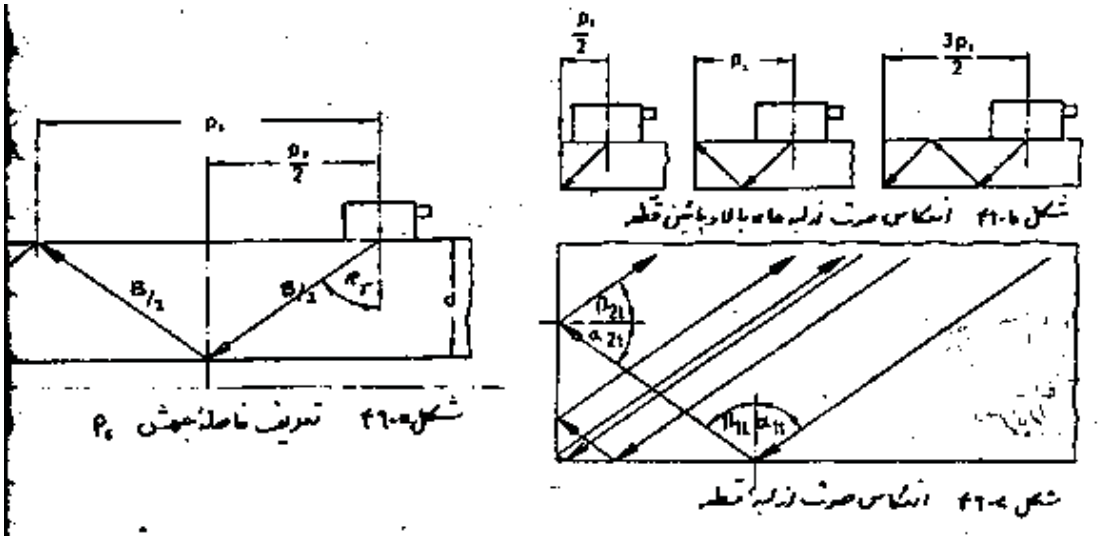


پروب‌های مایل تجاری در محدوده‌ای عمل می نمایند که منحصراً امواج عرضی در قطعه کار ایجاد می کند . روابط مشابه با پروبهای نرمال در مورد میدان نزدیک ، میدان دور و زاویه پرتو صوتی در مورد پروب‌های مایل نیز صدق می کند . در استفاده از پروب‌های مایل (Angle Probe
همواره باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد :

الف) زاویه مشخص شده روی پروب
ب) نقطه صفر پروب (Probe Index)
ج) علائم دریافتی روی صفحه CRT فقط با وجود یک نوع موج بخوبی مفهوم خواهد بود که همواره موج عرضی خواهد بود .
د) پروبهای مایل امواج طولی را انتقال می دهند و امواج عرضی بعد از شکست موج طولی در مرز بین گوه پروسپکس پروب و سطح قطعه کار ایجاد می شود .

فاصله جهش Skip Distance

یک فاکتور مهم در استفاده از پروبهای مایل"فاصله جهش" می باشد . زمانی که پروب مایل با یک ورق فلزی به ضخامت d تماس پیدا می کند امواج آلتراسونیک بعد از برخورد به سطح پائینی ورق کاملاً انعکاس یافته و بعد از طی فاصله معینی مجدداً در نقطه مشخصی به سطح بالایی ورق می رسند و فاصله بین نقطه ایندکس پروب و نقطه اخیرالذکر را فاصله جهش می نامند. در شکل a-٤٩ نشان داده شده است .



فاصله جهش از رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$Ps=2tg\ Rt.\ D$$

Ps= فاصله جهش

Rt= زاویه پرتو صوتی

D= ضخامت ورق

برای ساده‌تر نمودن محاسبات معمولاً اندازه ضریب 2tgRTبر روی پروب مایل حک می شود . هرگاه فاصله نقطه انتشار در پروب از لبه قطعه کار ضریبی از ps/2 باشد در اینحالت لبه قطعه کار انعکاس‌هایی با حداکثر ارتفاع ایجاد خواهد نمود .

این پدیده مرتباً برای لبه‌های پائین و بالای ورق فلزی تکرار می شود (شکل b-٤٩) .

اصولاً انعکاسات در لبه‌ها در شکل c-٤٩ نشان داده شده است .

هر گاه هیچ انعکاسی از سطح مقابل قطعه کار ایجاد نشود و عیب مستقیماً تحت تأثیر امواج آلتراسونیک قرار گیرد تصویر فاصله مزبور از رابطه محاسبه می شود :

$$P=S.Sin\ Rt$$

که در این رابطه S فاصله سطح قطعه کار تا عیب مزبور در جهت مسیر حرکت صوت می باشد.

روابط مزبور جهت تعیین محل عیب در داخل قطعه کار خیلی اهمیت دارد . در بعضی موارد برای اپراتور نسبت راحت‌تر خواهد بود که به جای اندازه گیری از نقطه انتشار پروب فاصله را از لبه جلوئی پروب اندازه گیری می نماید . واضح است که در این حالت فاصله جهش و همچنین فاصله تصویر کاهش می یابد .

٤- دستگاههای تست آلتراسونیک

کنترلهای اصلی یک دستگاه آلتراسونیک بطور خلاصه تشریح می گردد :

١- قدرت پالس ورودی (Transmitter Power)

بوسیله این کنترل می توان قدرت پالس الکتریکی جهت تحریک ترانسدیوسررا تغییر داد . همواره باید سعی نمود از قدرت کمتری استفاده نمود تا بهترین کیفیت تفکیک پذیری ایجاد شود.

۲- حساسیت Sensitivity

با این کنترل می توان ارتفاع پژواک ها را طوری تغییر دارد که نسبت دامنه‌ها ثابت بماند .

۳-حذف غیر خطی

بوسیله این کنترل نیز می توان دامنه پژواک ها را تغییر داد اما در این حالت اختلاف دامنه ها (و نه نسبت دامنه ها) ثابت می ماند .

٤- حذف خطی

حذف علائم زیر بدون تغییر در ارتفاع پژواکهای مورد نظر تنها بطریق تنظیم خطی آستانه ظهور علائم امکانپذیر است .

٥- عمق اندازه گیری (Measuring Depth)

بوسیله این کنترل توان عمق اندازه گیری مورد نظر را روی محور افقی صفحه تصویر تغییر داد .

٦- تغییر مکان افقی علائم یا تنظیم صفر

به کمک این کنترل می توان علائم روی صفحه را بدون تغییر در مقیاس و یا هر گونه به سمت چپ جابجا نمود . ترتیب قسمتهای غیر قابل توجه را می توان به سمت چپ و به خارج از صفحه انتقال داد و سپس محدوده مورد نظر را در عرض صفحه بسط داد .

۷- تنظیم سرعت صوت Sound Velocity Regulation

سرعت صوت برای هر جسم خاصی دارای مقدار ثابتی است ولی این کنترل بما امکان می دهد که بتوانیم ضخامت بدست آمده از روی صفحه تصویر و کنترل عمق اندازه گیری را با ضخامت واقعی قطعه کار که دارای سرعت صوت متفاوت است هماهنگ نمائیم .

۸- مانیتور

۵- استانداردهای کالیبراسیون

درجه بندی روی محورهای افقی و عمودی صفحه CRT هیچ مفهوم مطلقی ندارد . محور افقی را می توان برای فواصل زمانی متفاوتی تنظیم نمود که به مفهوم تغییر عمق قطعه کار در یک جسم با سرعت صوت مشخص می باشد . محور عمودی دامنه سیگنال های دریافتی را مشخص می کند که بستگی به میزان حساسیت مورد استفاده دارد ولی لزوماً اندازه عیب را مشخص نمی سازد . مناسب ترین روش برای کسب اطلاعات در مورد یک قطعه از روی صفحه تصویر عبارت از مقایسه سیگنال های دریافتی از قطعه کار با سیگنال های

دریافتی از بلوک های مخصوص ماشینکاری شده می باشد . این نوع بلوک ها را متناسب با کاربرد آنها به دو گروه اصلی طبقه بندی می کنند :

بلوک‌های کالیبراسیون و بلوک‌های رفرنس

بلوک‌های کالیبراسیون

بر اساس تعریف استاندارد BS 2704 بلوک کالیبراسیون عبارتست از "قطعه ای با جنس ، عملیات حرارتی ، شکل هندسی و صافی سطح مشخص که بوسیله آن می توان دستگاه آلتراسونیک را مورد ارزیابی قرار داده و آنرا برای تست قطعات با همان جنس کالیبره نمود" . بنابراین یک بلوک کالیبراسیون می تواند یک بلوک پله‌ای با ضخامت های مشخص و از جنس معین باشد که به منظور ضخامت سنجی می توان به کمک این بلوک پایه زمانی دستگاه را کالیبره نمود یا ممکن است یک بلوک با شکل پیچیده‌تر مثل بلوک V1 که به وسیله آن می توان کالیبراسیون های متعددی را انجام داد .

بلوک های رفرنس

بر اساس تعریف استاندارد BS 2704 بلوک رفرنس عبارتست از "وسیله‌ای کمکی برای تفسیر نتایج بشکل یک قطعه کار که جنس ، ابعاد مهم و شکل آن مشابه با قطعه مورد آزمایش می باشد ولی لزوماً دارای عیوب طبیعی یا مصنوعی نیست" مثلاً مقطعی از بال یک هواپیما را می توان به عنوان بلوک رفرنس برای تست بال‌های هواپیما مورد استفاده قرار داد بطوریکه اپراتورتست با کلیه سیگنالهای ناشی از تغییرات در مقطع بال آشنا شده و در حین تست بال هواپیما بسرعت می تواند سیگنال ناشی از یک عیب را تشخیص دهد . البته در اغلب موارد بلوک رفرنس دارای عیوب مصنوعی نیز می باشد که به کمک آن حساسیت تست را می توان تنظیم نمود .

انواع بلوکها بشرح زیر می باشد :

۱- بلوک کالیبراسیون V1 (بلوک IIW)

از این بلوک برای موارد زیر می توان استفاده نمود :

۱- کالیبراسیون پایه زمانی بر حسب ضخامت

۲- بر رسی ناحیه مرده

۳- کنترل خطی بودن پایه زمانی

٤- کنترل خطی بودن آمپلی فایر

۵- بررسی حساسیت کل پروب و آمپلی فایر

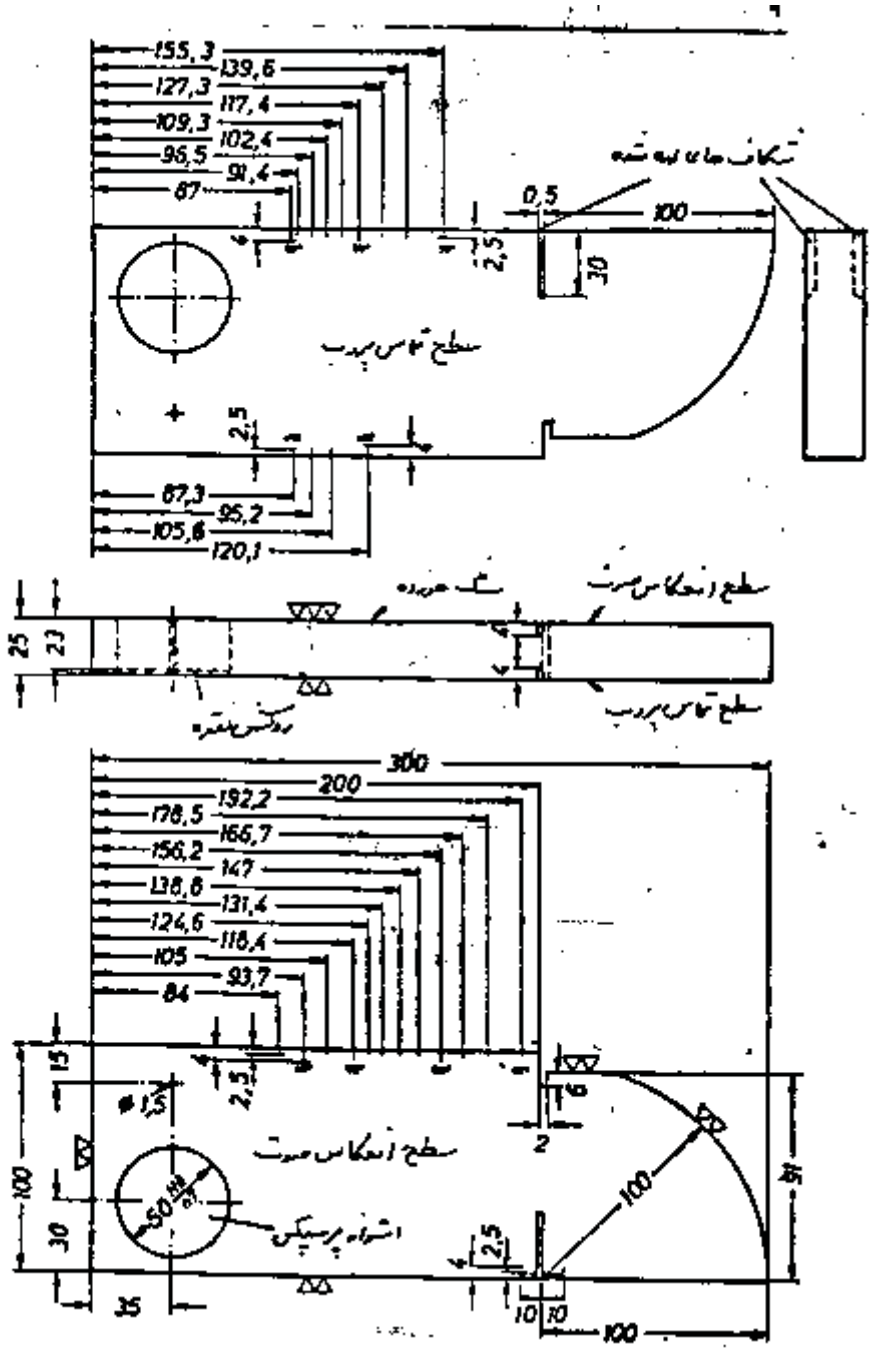
٦- کنترل تفکیک پذیری

۷- تعیین ایندکس پروب مایل

۸- تعیین زاویه شکست صوت

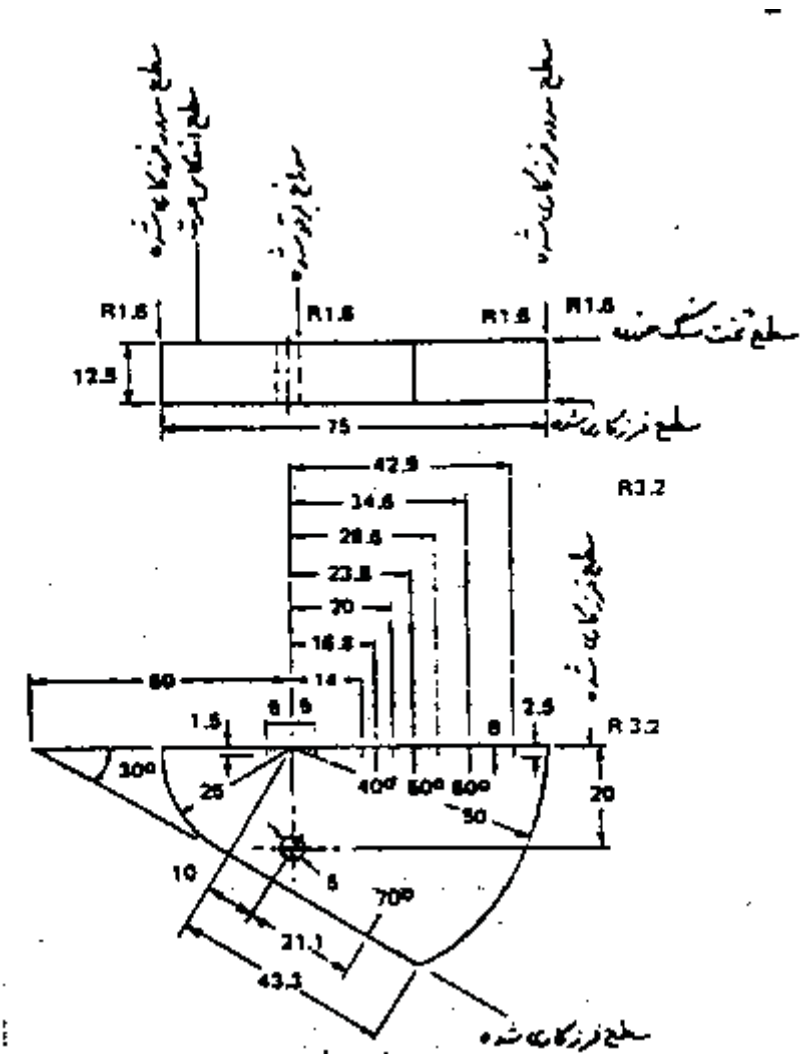
۹- پیدا کردن نقطه صفر بطور دقیق

۱۰-تعیین مشخصات پرتو صوتی


155,3
139,6
127,3
117,4
109,3
102,4
96,5
91,4
87
0,5
100
2,5
30
سطح تماس پرده
2,5
67,3
95,2
105,6
120,1
سطح انعکاس صوت
25
23
سطح تماس پرده
300
200
192,2
178,5
166,7
156,2
147
138,6
131,4
124,6
118,4
105
93,7
84
15
2,5
6
2
100
30
50
100
2,5
10
10
100

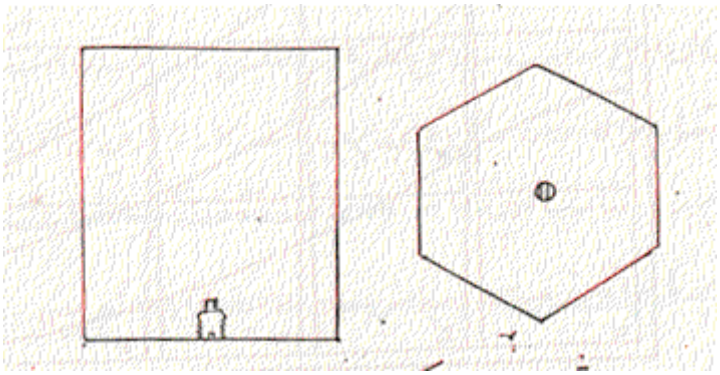
بلوک کالیبراسیون V2

این بلوک در واقع نوع خلاصه شده بلوک V1 می باشد که اگرچه از کارآئی نسبتاً کمتری در مقایسه با بلوک V1 برخوردار است ولی به علت کوچکی و سبک بودن آن کاربرد زیادی در تست‌های آلتراسونیک دارد (شکل) نحوه استفاده از این بلوک در فصل ۳-۱۵ تشریح می شود .



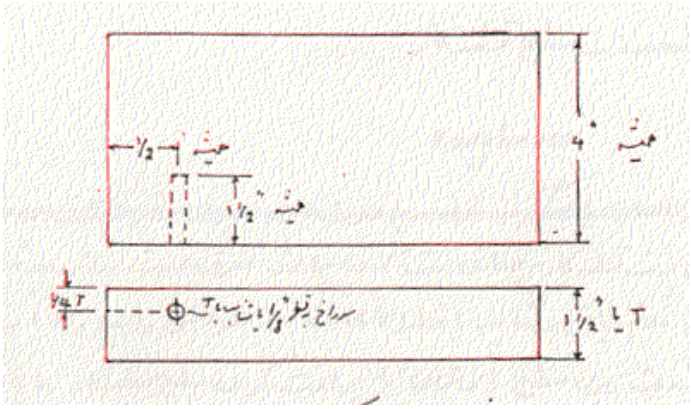
۳- بلوکهای رفرنس A.I.C (شورای صنایع آلومینیم Aluminium Industies Concil)

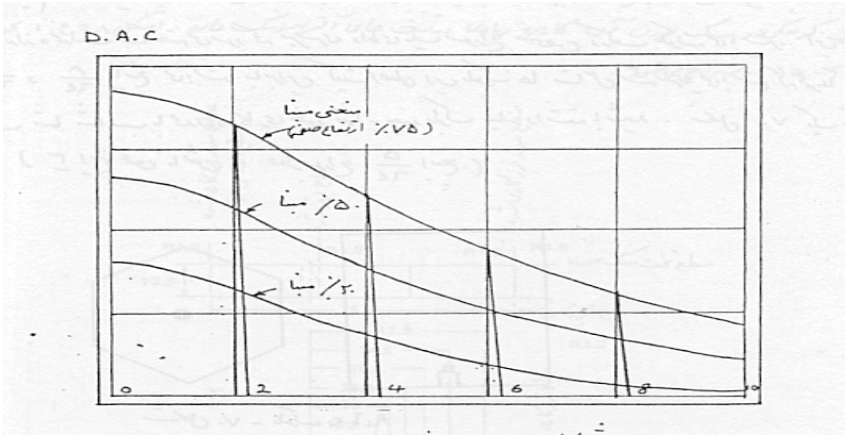
این بلوکا عمدتاً برای تنظیم حساسیت و مشخص نمودن حد رد یا قبول عیوب با توجه به ارتفاع پژواکها مورد استفاده قرار می گیرد .



٤- بلوک رفرنس ASME

این بلوک با ضخامت و جنس مشابه با قطعه کار اصلی تهیه می شود و دارای یک عیب مصنوعی (سوراخ) می باشد که جهت تهیه منحنی DAC بکار می رود .





اصول اساسی کار با دستگاه آلتراسونیک

۱- پیوند پروب با قطعه کار (Coupling)

انتقال امواج از پروب به داخل قطعه کار و بالعکس بوسیله ماده واسط Couplant صورت می گیرد.

۲- مشخصات سطح قطعه کار

- زبری Roughness

اگر زبری سطح قطعه کار مساوی یا بزرگتر از طول موج صوت باشد صوت در اثر شکست در سطح قطعه کار متفرق خواهد شد .

- انحنای سطح Curvature

در تست سطوح خمیده با امواج آلتراسونیک معمولاً پهن شدن و بتاعد پرتو صوتی صورت می گیرد که بعلت شکست امواج می باشد . بنابراین در اثر دو عامل فوق یعنی بتاعد پرتو صوتی و کاهش سطح تماس حساسیت تست به مقدار زیادی در مقایسه با سطوح مسطح کاهش می یابد .

- روکش سطوح Coating

قاعده کلی این است که روکشهای با چسبندگی زیاد مثل زنگ ، پوسته‌های نورد و یا لایه‌های رنگ زدگی که کاملاً به قطعه کار چسبیده باشند مزاحمتی برای تست ایجاد نخواهد کرد و یا اثر آنها خیلی کم است ولی روکش هایی که سطح اتصال کامل ندارند و باعث هوا شده اند و از عبور صوت جلوگیری می کنند می باید بوسیله برس ، سوهان یا سنگ سنباده تمیز شوند .

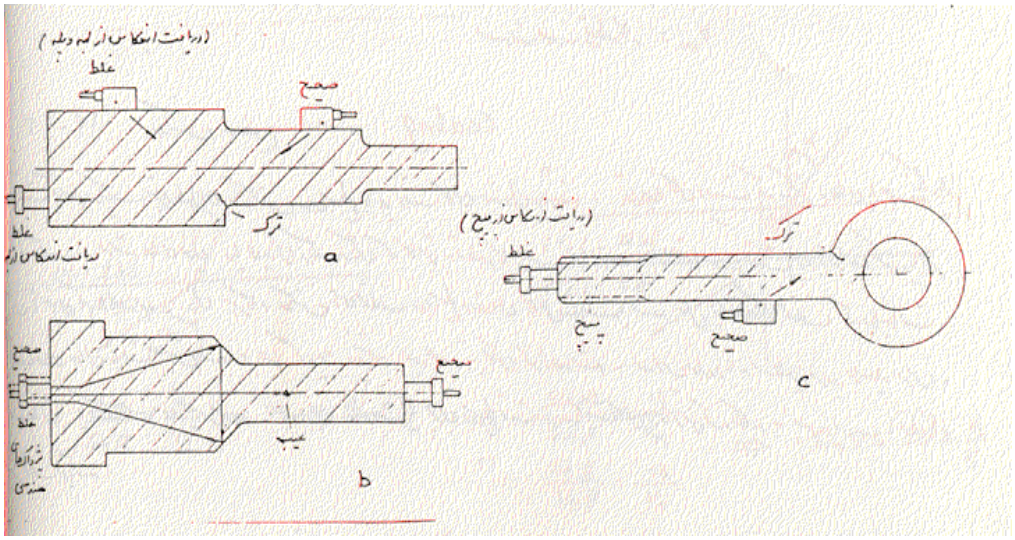
۳- انتخاب پروب

انتخاب پروب با توجه به پارامترهای ذیل فراهم می شود :

a. انتخاب روش تست (روش انتقالی یا انعکاسی)

b. انتخاب جهت تابش صوت

بطور کلی جهت صوت باید طوری انتخاب شود که عیوب مورد نظر حداکثر مقدار انعکاس را ایجاد کند یعنی امواج آلتراسونیک بحالت عمود بر سطح عیب برخورد نماید .



c . انتخاب فرکانس

برای کشف ریزترین عیوب ، حتی الامکان باید از فرکانس های بالاتر استفاده کرد . علاوه بر این پروب‌های فرکانس بالا ، پالس ها را باریکتر نشان می دهند و در نتیجه تفکیک پذیری خیلی بهتری ایجاد خواهد شد . در موارد مشکوک با چند تست ساده اولیه با فرکانس های مختلف می توان مشکل را حل نمود .

d. انتخاب اندازه توانسدیوسر

اندازه تراندیوسیر بر روی اندازه طول میدان نزدیک و شدت صوت از محور ترانسدیوسر موثر است که باید در برآورد اندازه عیب مورد توجه قرار گیرد . بطور کلی برای تست قطعات کوچک از پروبهای کم قطر و برای تست قطعات بزرگتر از پروبهای بزرگ باید استفاده نمود .

٤- تنظیم دستگاه آلتراسونیک

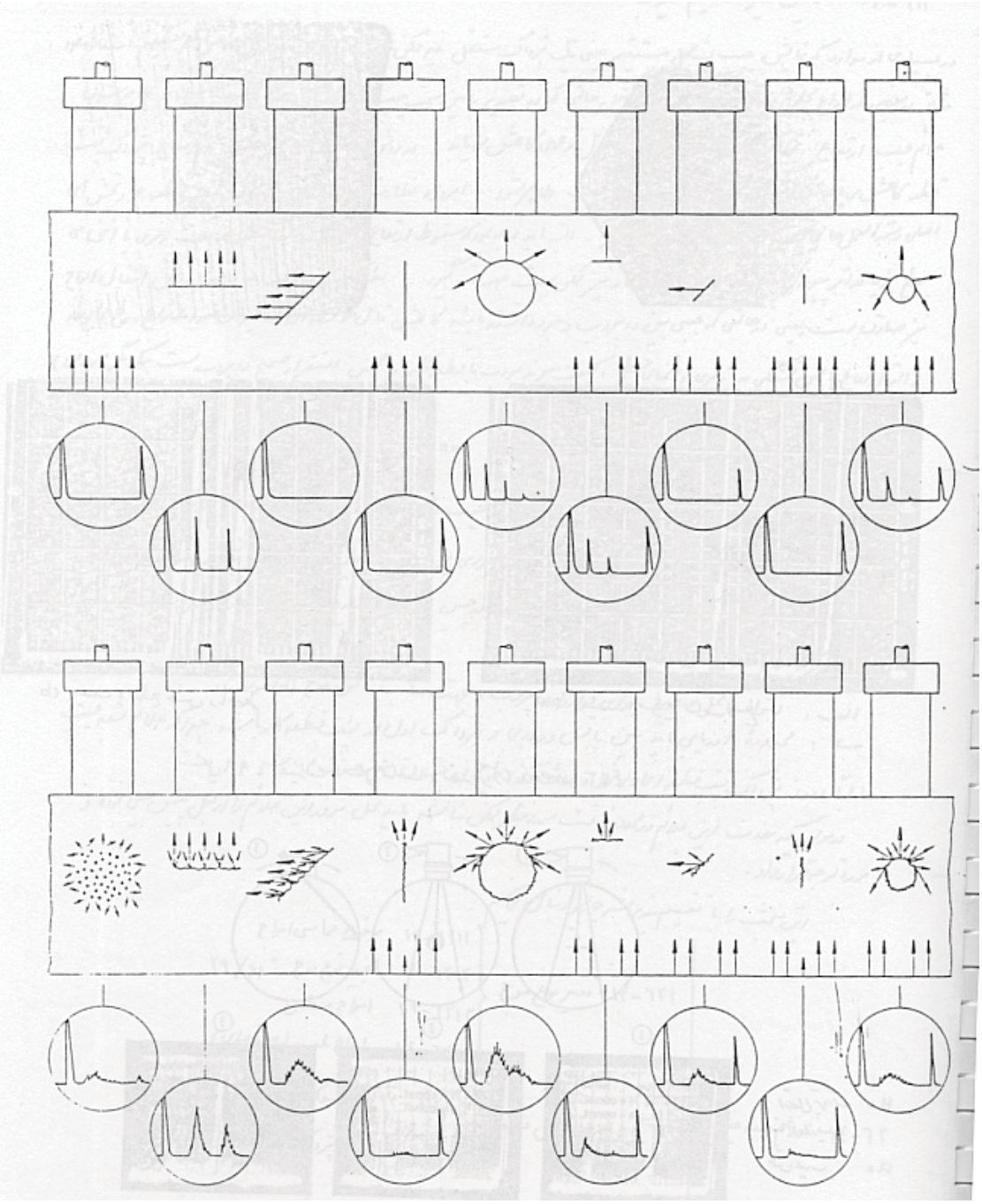
a. تنظیم عمق

b. تنظیم حساسیت

۵- تفسیر علائم دریافتی روی صفحه CRT

٦- تست از جهات مختلف

هر گاه بعد از کشف یک عیب آنرا از جهات مختلف تحت تابش امواج آلتراسونیک قرار داده و تغییرات پژواک ها را مورد بررسی قرار دهیم اطلاعات بیشتری از شکل و اندازه عیب مزبور بدست خواهیم آورد . البته عیوب کروی تقریباً پاسخ یکسانی از جهات مختلف می دهند یعنی امواج آلتراسونیک از هر جهتی که بتابد ارتفاع پژواک های دریافتی یکسان خواهد بود . ولی عیوب سطح در حالت تابش عمود امواج حداکثرمقدار ارتفاع و در حالت تابش موازی با سطح عیب حداقل مقدار ارتفاع پژواک را نشان می دهند .



۷- ارزیابی مشخصات فنی دستگاه آلتراسونیک

کلیه اجزاء هر دستگاه عیب یاب آلتراسونیک دارای مشخصات فنی خاصی است که لازم است آنها را کنترل نموده و از صحت آن عملاً کسب اطمینان کرد . بعلاوه با گذشت زمان و کارکرد دستگاه ممکن است این مشخصات دستخوش تغییر شود و از این نظر لازم است که همواره کنترل های ضروری روی دستگاه صورت گیرد تا از هرگونه تغییری بموقع کسب اطلاع گردد .

لازم به یادآوری است که بعضی از مشخصات عملکرد یک سیستم تست آلتراسونیک بستگی به عملکرد مجموعه دستگاه عیب یاب و پروب مورد استفاده دارد . مثلاً کنترل تفکیک پذیری ، حساسیت و یا قدرت نفوذ باید بر روی مجموعه دستگاه و پروب صورت گیرد . اگر نتیجه کنترل های انجام شده حاکی از عدم کفایت مجموعه مزبور باشد باید تصمیم بگیرید که پروب یا دستگاه عیب یاب را عوض نمائید . این تصمیم را می توان با انجام همان تست با ترکیبات مختلفی از پروب ها و دستگاههای مختلف اتخاذ نمود . استاندارد BS 4331 در بخش ۱ چند کنترل ساده برای ارزیابی مشخصات فنی دستگاه آلترسونیک را توصیه می کند که با استفاده از بلوک I×IW V1 انجام می شود . این کنترل ها عبارتند از :

۱- خطی بودن محور زمانی

۲- خطی بودن آمپلی فایر

۳- تفکیک پذیری

٤- قدرت نفوذ

۸- مراحل تست جوش

در بازرسی جوش لازم است که مراحل زیر را بترتیب و با دقت رعایت نمود :

الف) مطمئن باشد که کلیه اطلاعات لازم بشرح زیر را گردآوری نموده‌اید :

۱- جنس مواد

۲- روش جوشکاری و عیوب مربوطه

۳- طرح آماده سازی قطعات برای جوشکاری

٤- ضخامت فلز پایه در مجاورت درز جوش

٥- هر نوع مشکلی که جوشکار به علت موقعیت جوش با آن مواجه بوده است

٦- استانداردهای قابل قبول

ب) موقعیت و اندازه‌های دقیق و بخصوص محور جوش را مشخص می سازید . اصولاً قبل از شروع جوشکاری باید هر دو فلز پایه در طرفین خط جوش را علامت گذاری نمود تا بعد از اتمام جوشکاری محور دقیق درز جوش را بتوان مشخص نمود . در بعضی موارد که سطح جوش را سنگ زده و با فلز اصلی هم سطح می کنیم ممکن است لازم باشد که ناحیه جوشکاری شده را با داده و عیوب مزبور را پیدا کنید اسید اچ نمائیم تا پهنای جوش کاملاً مشخص گردد . خط محور جوش های لب لب V شکل را می توان بوسیله پروب نرمال بطور تقریبی کنترل نمود . خط محور درز جوش را در سطح قطعه علام گذاری کنید .

ج) درز جوش را دقیقا بازرسی چشمی کنید تا مطمئن شوید که سطح قطعه کاملا فاقد ترشحات جوشکاری بوده و برای انجام تست آلتراسونیک به اندازه کافی صاف باشد . بعضی عیوب ممکن است سطحی بوده و در حین بازرسی چشمی شناسائی شود . (مثل شیار جوشی، ترک ، حفره، سوختگی و غیره) هر گاه با چنین عیوبی مواجه شدید و مطمئن بودید که خارج از حد استاندارد می باشد قبل از انجام تست آلتراسونیک عیوب مزبور را بازسازی نمائید . در واقع این یک اصل کلی در کلیه مراحل بازرسی می باشد که به محض مشاهده یک یا چند عیب که باعث مردود شدن جوش می شود تست را متوقف نمائید چرا که نیازی به انجام تست‌های دیگر نیست .

د) دو قطعه جوشکاری شده را در طرفین محور جوش در پهنایی برابر با جهش کامل برای پروب با حداکثر زاویه (معمولاً ۷۰ درجه باضافه نصف پهنای دهانه جوش ، تست آلتراسونیک نمائید . در این تست شما می توانید از پروب نرمال استفاده نموده و ضمن برآورد ضخامت قطعه . عیب تورق را که ممکن است در حین تست با امواج برشی تداخل پیدا کنند شناسائی نمائید .

ه) با استفاده از پروب مایل مناسب ریشه جوش را از هر دو طرف تست نمائید و این تست از اهمیت زیادی برخوردار است چرا که اغلب عیوب در ناحیه ریشه جوش ایجاد می شود و مضرترین نوع عیوب نیز محسوب می شوند . البته اینجا ناحیه‌ای است که پژواک معمول از بستر نفوذ جوش نیز مشاهده خواهد شد و بدین جهت باید تست را با دقت و کنترل کامل انجام داده و قسمت‌هایی از ریشه جوش را که علائم مشکوک به عیب نشان می دهند مشخص نمود .

و) تنه جوش را از هر دو طرف با استفاده از پروب های مایل مناسب تست نمائید تابش امواج باید طوری باشد که حجم کامل جوش تست شود . قسمت های معیوب تنه جوش را نیز مشخص سازید

ز) اگر طراحی جوش و یا روش جوشکاری بگونه ایست که احتمال بروز ترکهای عرضی وجود دارد تست آلتراسونیک یابد با تابش امواج بحالت موازی با محور جوش نیز صورت گیرد . با انجام این تست نیز قسمت های مشکوک به وجود ترک جوش را نیز مشخص سازید .

ح) در این مرحله چنانچه هیچ نوع عیبی مشاهده نشد می توانید جوش را قابل قبول قلمداد نمائید . ولی اگر عیوبی مشاهده شده باید مجدداً به نواحی معیوب مراجعه نموده و هر عیب را بطور کامل مورد بررسی قرار داده و اطلاعات زیر را بدست آورید :

I – محل دقیق عیب در جوش

II – طول عیب در راستای محور جوش

III – اندازه عیب در جهت ضخامت جوش

IIV – نوع عیب (سربازه ، تخلخل، ترک و غیره)

ط) گزارش کاملی از تست جوش تهیه نمائید . گزارش باید بصورتی باشد که هر فرد دیگری بتواند جوش مزبور را پیدا نموده و با تکنیک مشابه با تکنیک مورد استفاده شما و با همان حساسیت تست را انجام و به همان نتیجه گیری برسد .

۹- تهیه گزارش تست

تهیه گزارش تست به اندازه خود تست اهمیت دارد و تا زمانی که نتایج یک تست ثبت نشود مثل آنست که چنین تستی هرگز صورت نگرفته است . اغلب موسسات بازرسی فنی فرمهای چاپی مخصوص جهت تهیه گزارش در اختیار بازرسین خود قرارمی دهند . بعلت اینکه این فرمها در اشکال و جزئیات متنوع و متفاوتی تهیه می شود . لزومی به ارائه نمونه در اینجا نیست . با اینحال از هر نوع فرمی که استفاده می کنید مطمئن شود که مطالب و اطلاعات زیر بطور کامل و روشن قید شده باشد :

الف) مشخصات کلی

۱- تاریخ و ساعت بازرسی
۲- محل بازرسی
۳- نام مشتری
٤- نام بازرس
٥- قطعه تحت بازرسی ، شماره سریال ، جنس و مشخصات قطعه
٦- کد، مشخصات و یا استاندارد مورد استفاده

ب) دستگاه تست

۱- عیب یاب
۲- پروب‌ها ، اندازه ، فرکانس و زاویه آنها
۳- بلوک‌های کالیبراسیون و بلوک رفرنس های مورد استفاده
٤- مایع تست

ج) کالیبراسیون

۱- حساسیت مورد استفاده برای کلیه پروبها
۲- محدوده محور زمانی مورد استفاده برای کلیه پروب‌ها
۳- تصحیحات مربوط به استهلاک و انتقال در صورت لزوم

د) تکنیک های تست

۱- تابش های انجام شده (محدوده و مناطق تحت پوشش هر پروب)

۲- تکنیک مورد استفاده برای اندازه گیری عیوب

۳- معیار ثبت و گزارش عیوب

٤- محدودیت هایی که به خاطر شکل و موقعیت قطعه کار ، زمان و یا سایر عوامل دیگر روی کیفیت بازرسی انجام شده تأثیر گذاشته است .

ه) نتایج

۱- علائم و سیگنال های بدست آمده

۲- نقشه مقیاس دار که محل و اندازه عیوب را نشان می دهد

۳- رابطه بین عیوب کشف شده و استاندارد مورد نظر

فصل نهم

ضمائم

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.	P-No.	S-No.		
SA-36	...	K02600	58	1	1	...	...	101	...	C–Mn–Si	Plate, bar, & shapes
SA-53	Type F	...	48	1	1	...	...	101	...	C	Furnace welded pipe
SA-53	Type S, Gr. A	K02504	48	1	1	...	...	101	...	C	Smls. pipe
SA-53	Type E, Gr. A	K02504	48	1	1	...	...	101	...	C	Resistance welded pipe
SA-53	Type E, Gr. B	K03005	60	1	1	...	...	101	...	C–Mn	Resistance welded pipe
SA-53	Type S, Gr. B	K03005	60	1	1	...	...	101	...	C–Mn	Smls. pipe
SA-105	...	K03504	70	1	2	...	...	101	...	C–Si	Flanges & fittings
SA-106	A	K02501	48	1	1	...	...	101	...	C–Si	Smls. pipe
SA-106	B	K03006	60	1	1	...	...	101	...	C–Si	Smls. pipe
SA-106	C	K03501	70	1	2	...	...	101	...	C–Si	Smls. pipe
A 108	1015 CW	G10150	60	...	...	1	1	...	101	C	Bar
A 108	1018 CW	G10180	60	...	...	1	1	...	101	C	Bar
A 108	1020 CW	G10200	60	...	...	1	1	...	101	C	Bar
SA-134	...	...	—	1	1	...	...	101	...	C	Welded pipe
A 134	A283A	...	45	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A285A	K01700	45	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A283B	...	50	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A285B	K02200	50	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A283C	...	55	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A285C	K02801	55	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 134	A283D	...	60	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
SA-135	A	...	48	1	1	...	...	101	...	C	E.R.W. pipe
SA-135	B	...	60	1	1	...	...	101	...	C	E.R.W. pipe
A 139	A	...	48	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 139	B	K03003	60	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 139	C	K03004	60	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 139	D	K03010	60	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 139	E	K03012	66	...	...	1	1	...	101	C	Welded pipe
A 148	90–60	...	90	...	...	4	3	...	103	...	Castings
A 167	Type 302	S30200	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Plate, sheet, & strip

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.	P-No.	S-No.		
A 167	Type 302B	S30215	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni–2Si	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 304	S30400	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 304L	S30403	70	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 301	S30451	75	...	...	8	1	...	102	17Cr–7Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 305	S30500	70	...	...	8	1	...	102	18Cr–11Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 308	S30800	75	...	...	8	2	...	102	20Cr–10Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 309	S30900	75	...	...	8	2	...	102	23Cr–12Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 309S	S30908	75	...	...	8	2	...	102	23Cr–12Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 310	S31000	75	...	...	8	2	...	102	25Cr–20Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 310S	S31008	75	...	...	8	2	...	102	25Cr–20Ni	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 316L	S31603	70	...	...	8	1	...	102	16Cr–12Ni–2Mo	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 317	S31700	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–13Ni–3Mo	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 317L	S31703	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–13Ni–3Mo	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 321	S32100	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–10Ni–Ti	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 347	S34700	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–10Ni–Cb	Plate, sheet, & strip
A 167	Type 348	S34800	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–10Ni–Cb	Plate, sheet, & strip
SA-178	A	K01200	47	1	1	...	...	101	...	C	E.R.W. tube
SA-178	C	K03503	60	1	1	...	...	101	...	C	E.R.W. tube
SA-178	D	...	70	1	2	...	...	101	...	C–Mn–Si	E.R.W. tube
SA-179	...	K01200	47	1	1	...	...	101	...	C	Smls. tube
SA-181	Cl. 60	K03502	60	1	1	...	...	101	...	C–Si	Pipe flange & fittings
SA-181	Cl. 70	K03502	70	1	2	...	...	101	...	C–Si	Pipe flange & fittings
SA-182	F12, Cl. 1	K11562	60	4	1	...	...	102	...	1Cr–0.5Mo	Forgings
SA-182	F12, Cl. 2	K11564	70	4	1	...	...	102	...	1Cr–0.5Mo	Forgings
SA-182	F11, Cl. 2	K11572	70	4	1	...	...	102	...	1.25Cr–0.5Mo–Si	Forgings
SA-182	F11, Cl. 3	K11572	75	4	1	...	...	102	...	1.25Cr–0.5Mo–Si	Forgings
SA-182	F11, Cl. 1	K11597	60	4	1	...	...	102	...	1.25Cr–0.5Mo–Si	Forgings
SA-182	F2	K12122	70	3	2	...	...	101	...	0.5Cr–0.5Mo	Forgings
SA-182	F1	K12822	70	3	2	...	...	101	...	C–0.5Mo	Forgings
SA-182	F22, Cl. 1	K21590	60	5A	1	...	...	102	...	2.25Cr–1Mo	Forgings
SA-182	F22, Cl. 3	K21590	75	5A	1	...	...	102	...	2.25Cr–1Mo	Forgings
SA-182	FR	K22035	63	9A	1	...	...	...	...	2Ni–1Cu	Forgings

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.	P-No.	S-No.		
SA-182	F21	K31545	75	5A	1	...	...	102	...	3Cr–1Mo	Forgings
SA-182	F3V	K31830	85	5C	1	...	...	...	...	3Cr–1Mo–V–Ti–B	Forgings
SA-182	F5	K41545	70	5B	1	...	...	102	...	5Cr–0.5Mo	Forgings
SA-182	F5a	K42544	90	5B	1	...	...	102	...	5Cr–0.5Mo	Forgings
SA-182	F9	K90941	85	5B	1	...	...	102	...	9Cr–1Mo	Forgings
SA-182	F91	...	85	5B	2	...	...	...	...	9Cr–1Mo–V	Forgings
SA-182	F6a, Cl. 1	K91151	70	6	1	...	...	102	...	13Cr	Forgings
SA-182	F6a, Cl. 2	K91151	85	6	3	...	...	102	...	13Cr	Forgings
SA-182	FXM-19	S20910	100	8	3	...	...	...	...	22Cr–13Ni–5Mn	Forgings
SA-182	FXM-11	S21904	90	8	3	...	...	...	...	21Cr–6Ni–9Mn	Forgings
SA-182	F304	S30400	70	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings > 5 in.
SA-182	F304	S30400	75	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings
SA-182	F304L	S30403	65	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings > 5 in.
SA-182	F304L	S30403	70	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings
SA-182	F304H	S30409	70	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings > 5 in.
SA-182	F304H	S30409	75	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Forgings
SA-182	F304N	S30451	80	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni–N	Forgings
SA-182	F304LN	S30453	70	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni–N	Forgings > 5 in.
SA-182	F304LN	S30453	75	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni–N	Forgings
SA-182	F46	S30600	78	8	1	...	...	...	...	17Cr–14Ni–4Si	Forgings
SA-182	F45	S30815	87	8	2	...	...	...	...	21Cr–11Ni–N	Forgings
SA-182	F310	S31000	70	8	2	...	...	...	...	25Cr–20Ni	Forgings > 5 in.
SA-182	F310	S31000	75	8	2	...	...	...	...	25Cr–20Ni	Forgings
SA-182	F50	S31200	100	10H	1	...	...	...	...	25Cr–6Ni–Mo–N	Forgings
SA-182	F44	S31254	94	8	4	...	...	...	...	20Cr–18Ni–6Mo	Forgings
SA-182	F316	S31600	70	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings > 5 in.
SA-182	F316	S31600	75	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings
SA-182	F316L	S31603	65	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings > 5 in.
SA-182	F316L	S31603	70	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings
SA-182	F316H	S31609	70	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings > 5 in.
SA-182	F316H	S31609	75	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo	Forgings
SA-182	F316N	S31651	80	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo–N	Forgings
SA-182	F316LN	S31653	70	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo–N	Forgings > 5 in.
SA-182	F316LN	S31653	75	8	1	...	...	102	...	16Cr–12Ni–2Mo–N	Forgings
SA-182	F317	S31700	70	8	1	...	...	...	...	18Cr–13Ni–3Mo	Forgings > 5 in.

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.	P-No.	S-No.		
A 269	TP316	S31600	75	...	...	8	1	...	102	16Cr–12Ni–2Mo	Smls. & welded tube
A 269	TP316L	S31603	70	...	...	8	1	...	102	16Cr–12Ni–2Mo	Smls. & welded tube
A 269	TP304	S30400	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Smls. & welded tube
A 269	TP304L	S30403	70	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Smls. & welded tube
A 271	TP304	S30400	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Smls. tube
A 271	TP304L	S30403	70	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Smls. tube
A 276	TP304	S30400	75	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Bar
A 276	TP304L	S30403	70	...	...	8	1	...	102	18Cr–8Ni	Bar
A 276	TP316	S31600	75	...	...	8	1	...	102	16Cr–12Ni–2Mo	Bar
A 276	TP316L	S31603	70	...	...	8	1	...	102	16Cr–12Ni–2Mo	Bar
A 276	TP410	S41000	65	...	...	6	1	...	...	13Cr	Bar
SA-283	A	...	45	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-283	B	...	50	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-283	C	...	55	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-283	D	...	60	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-285	A	K01700	45	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-285	B	K02200	50	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-285	C	K02801	55	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-299	...	K02803	75	1	2	...	...	101	...	C–Mn–Si	Plate
SA-302	A	K12021	75	3	2	...	...	101	...	Mn–0.5Mo	Plate
SA-302	B	K12022	80	3	3	...	...	101	...	Mn–0.5Mo	Plate
SA-302	C	K12039	80	3	3	...	...	101	...	Mn–0.5Mo–0.5Ni	Plate
SA-302	D	K12054	80	3	3	...	...	101	...	Mn–0.5Mo–0.75Ni	Plate
SA-312	TPXM–19	S20910	100	8	3	...	...	...	...	22Cr–13Ni–5Mn	Smls. & welded pipe
SA-312	TPXM–11	S21904	90	8	3	...	...	...	...	21Cr–6Ni–9Mn	Smls. & welded pipe
SA-312	TPXM–29	S24000	100	8	3	...	...	...	...	18Cr–3Ni–12Mn	Smls. & welded pipe
SA-312	TP304	S30400	75	8	1	...	...	...	...	18Cr–8Ni	Smls. & welded pipe
SA-312	TP304L	S30403	70	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni	Smls. & welded pipe
SA-312	TP304H	S30409	75	8	1	...	...	...	...	18Cr–8Ni	Smls. & welded pipe
SA-312	TP304N	S30451	80	8	1	...	...	102	...	18Cr–8Ni–N	Smls. & welded pipe
SA-312	TP304LN	S30453	75	8	1	...	...	...	...	18Cr–8Ni–N	Smls. & welded pipe
SA-312	S30600	S30600	78	8	1	...	...	...	...	17Cr–14Ni–4Si	Smls. & welded pipe

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.	P-No.	S-No.		
A 514	E	K21604	100	...	...	11B	2	...	...	1.75Cr–0.5Mo–Cu	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
A 514	E	K21604	110	...	...	11B	2	...	...	1.75Cr–0.5Mo–Cu	Plate, 2 1/2 in. max.
A 514	P	K21650	100	...	...	11B	8	...	...	1.25Ni–1Cr–0.5Mo	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
A 514	P	K21650	110	...	...	11B	8	...	...	1.25Ni–1Cr–0.5Mo	Plate, 2 1/2 in. max.
A 514	Q	...	100	...	...	11B	9	...	...	1.3Ni–1.3Cr–0.5Mo–V	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
A 514	Q	...	110	...	...	11B	9	...	...	1.3Ni–1.3Cr–0.5Mo–V	Plate, 2 1/2 in. max.
SA-515	60	K02401	60	1	1	...	...	101	...	C–Si	Plate
SA-515	65	K02800	65	1	1	...	...	101	...	C–Si	Plate
SA-515	70	K03101	70	1	2	...	...	101	...	C–Si	Plate
SA-516	55	K01800	55	1	1	...	...	101	...	C–Si	Plate
SA-516	60	K02100	60	1	1	...	...	101	...	C–Mn–Si	Plate
SA-516	65	K02403	65	1	1	...	...	101	...	C–Mn–Si	Plate
SA-516	70	K02700	70	1	2	...	...	101	...	C–Mn–Si	Plate
SA-517	F	K11576	105	11B	3	...	...	...	...	0.75Ni–0.5Cr–0.5Mo–V	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	F	K11576	115	11B	3	...	...	...	...	0.75Ni–0.5Cr–0.5Mo–V	Plate ≤ 2 1/2 in.
SA-517	J	K11625	105	11B	6	...	...	...	...	C–0.5Mo	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	J	K11625	115	11B	6	...	...	...	...	C–0.5Mo	Plate ≤ 2 1/2 in.
SA-517	B	K11630	105	11B	4	...	...	...	...	0.5Cr–0.2Mo–V	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	B	K11630	115	11B	4	...	...	...	...	0.5Cr–0.2Mo–V	Plate ≤ 2 1/2 in.
SA-517	A	K11856	105	11B	1	...	...	...	...	0.5Cr–0.25Mo–Si	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	A	K11856	115	11B	1	...	...	...	...	0.5Cr–0.25Mo–Si	Plate ≤ 2 1/2 in.
SA-517	E	K21604	105	11B	2	...	...	...	...	1.75Cr–0.5Mo–Cu	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	E	K21604	115	11B	2	...	...	...	...	1.75Cr–0.5Mo–Cu	Plate ≤ 2 1/2 in.
SA-517	P	K21650	105	11B	8	...	...	...	...	1.25Ni–1Cr–0.5Mo	Plate > 2 1/2 in.–6 in., incl.
SA-517	P	K21650	115	11B	8	...	...	...	...	1.25Ni–1Cr–0.5Mo	Plate ≤ 2 1/2 in.
A 519	1018 HR	G10180	50	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1018 CW	G10180	70	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1020 HR	G10200	50	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1020 CW	G10200	70	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1022 HR	G10220	50	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1022 CW	G10220	70	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1025 HR	G10250	55	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1025 CW	G10250	75	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1026 HR	G10260	55	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1026 CW	G10260	75	...	...	1	2	...	101	C	Tube

QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Company Name _____ By: _____

Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Supporting PQR No.(s) _____

Revision No. _____ Date _____

Welding Process(es) _____ Type(s) _____ (Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto.)

JOINTS (QW-402) — Details

Joint Design _____

Backing (Yes) _____ (No) _____

Backing Material (Type) _____ (Refer to both backing and retainers.)

☐ Metal ☐ Nonfusing Metal

☐ Nonmetallic ☐ Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.

(At the option of the Mfgr., sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence, e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

*BASE METALS (QW-403)

P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____

OR

Specification type and grade _____

to Specification type and grade _____

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

Thickness Range:

Base Metal: Groove _____ Fillet _____

Pipe Dia. Range: Groove _____ Fillet _____

Other _____

SAMPLE

*FILLER METALS (QW-404)		
Spec. No. (SFA)		
AWS No. (Class)		
F-No.		
A-No.		
Size of Filler Metals		
Weld Metal		
Thickness Range:		
Groove		
Fillet		
Electrode-Flux (Class)		
Flux Trade Name		
Consumable Insert		
Other		

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

This form (E00006) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300

QW-482 (Back)

WPS No. _____ Rev. _____

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove _____

Welding Progression: Up _____ Down _____

Position(s) of Fillet _____

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range _____

Time Range _____

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp. Min. _____

Interpass Temp. Max. _____

Preheat Maintenance _____

(Continuous or special heating where applicable should be recorded)

GAS (QW-408)

	Gas(es)	Percent Composition (Mixture)	Flow Rate
Shielding			
Trailing			
Backing			

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC _____ Polarity _____

Amps (Range) _____ Volts (Range) _____

(Amps and volts range should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below.)

Tungsten Electrode Size and Type _____

(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW _____

(Spray arc, short circuiting arc, etc.)

Electrode Wire feed speed range _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____

Orifice or Gas Cup Size _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____

Method of Back Gouging _____

Oscillation _____

Contact Tube to Work Distance _____

Multiple or Single Pass (per side) _____

Multiple or Single Electrodes _____

Travel Speed (Range) _____

Peening _____

Other _____

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal Class	Filler Metal Dia.	Current Type Polar.	Current Amp. Range	Volt Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, Etc.)

SAMPLE

QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Company Name _____ By: _____

Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Supporting PQR No.(s) _____

Revision No. _____ Date _____

Welding Process(es) _____ Type(s) _____ (Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto.)

JOINTS (QW-402) — Details

Joint Design _____

Backing (Yes) _____ (No) _____

Backing Material (Type) _____ (Refer to both backing and retainers.)

☐ Metal ☐ Nonfusing Metal

☐ Nonmetallic ☐ Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.

(At the option of the Mfgr., sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence, e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

*BASE METALS (QW-403)

P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____

OR

Specification type and grade _____

to Specification type and grade _____

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

Thickness Range:

Base Metal: Groove _____ Fillet _____

Pipe Dia. Range: Groove _____ Fillet _____

Other _____

SAMPLE

*FILLER METALS (QW-404)		
Spec. No. (SFA)		
AWS No. (Class)		
F-No.		
A-No.		
Size of Filler Metals		
Weld Metal		
Thickness Range:		
Groove		
Fillet		
Electrode-Flux (Class)		
Flux Trade Name		
Consumable Insert		
Other		

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

This form (E00006) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300

QW-482 (Back)

WPS No. _____ Rev. _____

POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove _____

Welding Progression: Up _____ Down _____

Position(s) of Fillet _____

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range _____

Time Range _____

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp. Min. _____

Interpass Temp. Max. _____

Preheat Maintenance _____

(Continuous or special heating where applicable should be recorded)

GAS (QW-408)

	Gas(es)	Percent Composition (Mixture)	Flow Rate
Shielding			
Trailing			
Backing			

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC _____ Polarity _____

Amps (Range) _____ Volts (Range) _____

(Amps and volts range should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below.)

Tungsten Electrode Size and Type _____

(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW _____

(Spray arc, short circuiting arc, etc.)

Electrode Wire feed speed range _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead _____

Orifice or Gas Cup Size _____

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____

Method of Back Gouging _____

Oscillation _____

Contact Tube to Work Distance _____

Multiple or Single Pass (per side) _____

Multiple or Single Electrodes _____

Travel Speed (Range) _____

Peening _____

Other _____

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal Class	Filler Metal Dia.	Current Type Polar.	Current Amp. Range	Volt Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, Etc.)

SAMPLE

QW-253
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Shielded Metal-Arc (SMAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ Groove design			X
	.4	− Backing			X
	.10	ϕ Root spacing			X
	.11	± Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ Group Number		X	
	.6	*T* Limits impact		X	
	.7	*T*/*t* Limits > 8 in.	X		
	.8	ϕ *T* Qualified	X		
	.9	*t* Pass > ½ in.	X		
	.11	ϕ P-No. qualified	X		
	.13	ϕ P-No. 5/9/10	X		
QW-404 Filler Metals	.4	ϕ F-Number	X		
	.5	ϕ A-Number	X		
	.6	ϕ Diameter			X
	.7	ϕ Diam. > ¼ in.		X	
	.12	ϕ AWS class.		X	
	.30	ϕ *t*	X		
	.33	ϕ AWS class.			X
QW-405 Positions	.1	+ Position			X
	.2	ϕ Position		X	
	.3	ϕ ↑↓ Vertical welding			X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F	X		
	.2	ϕ Preheat maint.			X
	.3	Increase > 100°F (IP)		X	
QW-407 PWHT	.1	ϕ PWHT	X		
	.2	ϕ PWHT (T & T range)		X	
	.4	*T* Limits	X		
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat Input		X	
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
	.8	ϕ I & E range			X
QW-410 Technique	.1	ϕ String/weave			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
	.26	± Peening			

Legend:
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
− Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

QW-254
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Submerged-Arc Welding (SAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ Groove design			X
	.4	– Backing			X
	.10	ϕ Root spacing			X
	.11	± Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ Group Number		X	
	.6	*T* Limits		X	
	.7	*T*/*t* Limits > 8 in.	X		
	.8	ϕ *T* Qualified	X		
	.9	*t* Pass > ½ in.	X		
	.11	ϕ P-No. qualified	X		
	.13	ϕ P-No. 5/9/10	X		
QW-404 Filler Metals	.4	ϕ F-Number	X		
	.5	ϕ A-Number	X		
	.6	ϕ Diameter			X
	.9	ϕ Flux/wire class.	X		
	.10	ϕ Alloy flux	X		
	.24	± Supplemental ϕ	X		
	.27	ϕ Alloy elements	X		
	.29	ϕ Flux designation			X
	.30	ϕ *t*	X		
	.33	ϕ AWS class.			X
	.34	ϕ Flux type	X		
	.35	ϕ Flux/wire class.		X	X
	.36	Recrushed slag	X		
QW-405 Positions	.1	+ Position			X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F	X		
	.2	ϕ Preheat maint.			X
	.3	Increase > 100°F (IP)		X	
QW-407 PWHT	.1	ϕ PWHT	X		
	.2	ϕ PWHT (T & T range)		X	
	.4	*T* Limits	X		
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat input		X	
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
	.8	ϕ I & E range			X

QW-254 (CONT'D)
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Submerged-Arc Welding (SAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-410 Technique	.1	ϕ String/weave			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.7	ϕ Oscillation			X
	.8	ϕ Tube-work distance			X
	.9	ϕ Multi to single pass/side		X	X
	.10	ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.15	ϕ Electrode spacing			X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
	.26	$\pm$ Peening			X

Legend:
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
− Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

QW-255
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)

Paragraph			Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ	Groove design			X
	.4	–	Backing			X
	.10	ϕ	Root spacing			X
	.11	±	Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ	Group Number		X	
	.6		*T* Limits		X	
	.7		*T*/*t* Limits > 8 in.	X		
	.8	ϕ	*T* Qualified	X		
	.9		*t* Pass > ½ in.	X		
	.10		*T* Limits (S. Cir. Arc)	X		
	.11	ϕ	P-No. qualified	X		
	.13	ϕ	P-No. 5/9/10	X		
QW-404 Filler Metals	.4	ϕ	F-Number	X		
	.5	ϕ	A-Number	X		
	.6	ϕ	Diameter			X
	.12	ϕ	AWS class.		X	
	.23	ϕ	Filler metal product form	X		
	.24	± ϕ	Supplemental	X		
	.27	ϕ	Alloy elements	X		
	.30	ϕ	*t*	X		
	.32		*t* Limit (S. Cir. Arc)	X		
	.33	ϕ	AWS Class.			X
QW-405 Positions	.1	+	Position			X
	.2	ϕ	Position		X	
	.3	ϕ	↑↓ Vertical welding			X
QW-406 Preheat	.1		Decrease > 100°F	X		
	.2	ϕ	Preheat maint.			X
	.3		Increase > 100°F (IP)		X	
QW-407 PWHT	.1	ϕ	PWHT	X		
	.2	ϕ	PWHT (T & T range)		X	
	.4		*T* Limits	X		

QW-255 (CONT'D)
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-408 Gas	.1	± Trail or ϕ comp.			X
	.2	ϕ Single, mixture, or %	X		
	.3	ϕ Flow rate			X
	.5	± or ϕ Backing flow			X
	.9	– Backing or ϕ comp.	X		
	.10	ϕ Shielding or trailing	X		
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat input		X	
	.2	ϕ Transfer mode	X		
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
	.8	ϕ I & E range			X
QW-410 Technique	.1	ϕ String/weave			X
	.3	ϕ Orifice, cup, or nozzle size			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.7	ϕ Oscillation			X
	.8	ϕ Tube-work distance			X
	.9	ϕ Multi to single pass/side		X	X
	.10	ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.15	ϕ Electrode spacing			X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
	.26	– Peening			X

Legend:
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
– Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

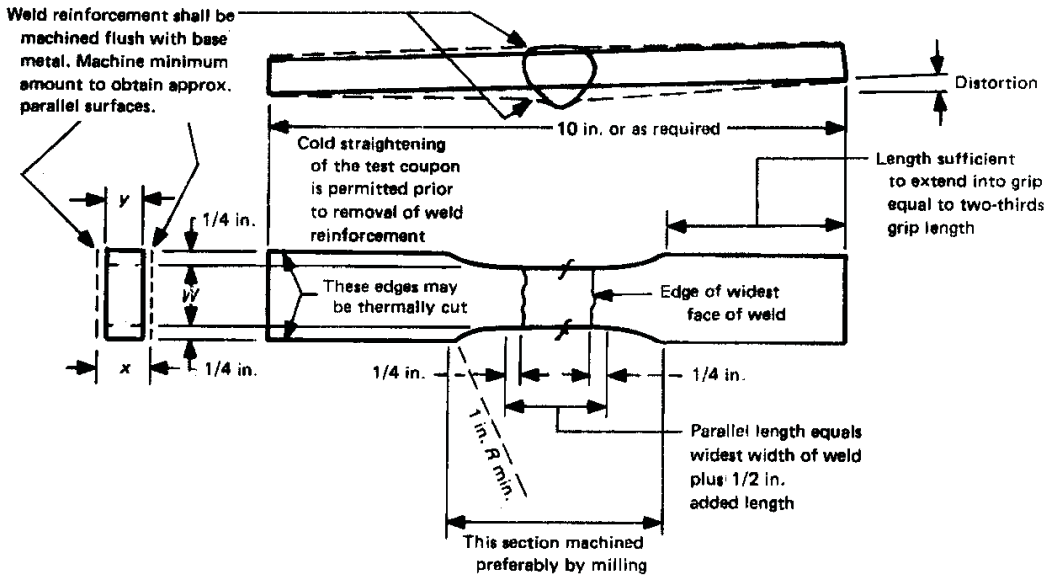
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ Groove design			X
	.5	+ Backing			X
	.10	ϕ Root spacing			X
	.11	± Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ Group Number		X	
	.6	*T* Limits		X	
	.7	*T*/*t* Limits > 8 in.	X		
	.8	ϕ *T* Qualified	X		
	.11	ϕ P-No. qualified	X		
	.13	ϕ P-No. 5/9/10	X		
QW-404 Filler Metals	.3	ϕ Size			X
	.4	ϕ F-Number	X		
	.5	ϕ A-Number	X		
	.12	ϕ AWS class.		X	
	.14	± Filler	X		
	.22	± Consum. insert			X
	.23	ϕ Filler metal product form	X		
	.30	ϕ *t*	X		
	.33	ϕ AWS class.			X
QW-405 Positions	.1	+ Position			X
	.2	ϕ Position		X	
	.3	ϕ ↑↓ Vertical welding			X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F	X		
	.3	Increase > 100°F (IP)		X	
QW-407 PWHT	.1	ϕ PWHT	X		
	.2	ϕ PWHT (T & T range)		X	
	.4	*T* Limits	X		
QW-408 Gas	.1	± Trail or ϕ comp.			X
	.2	ϕ Single, mixture, or %	X		
	.3	ϕ Flow rate			X
	.5	± or ϕ Backing flow			X
	.9	− Backing or ϕ comp.	X		
	.10	ϕ Shielding or trailing	X		

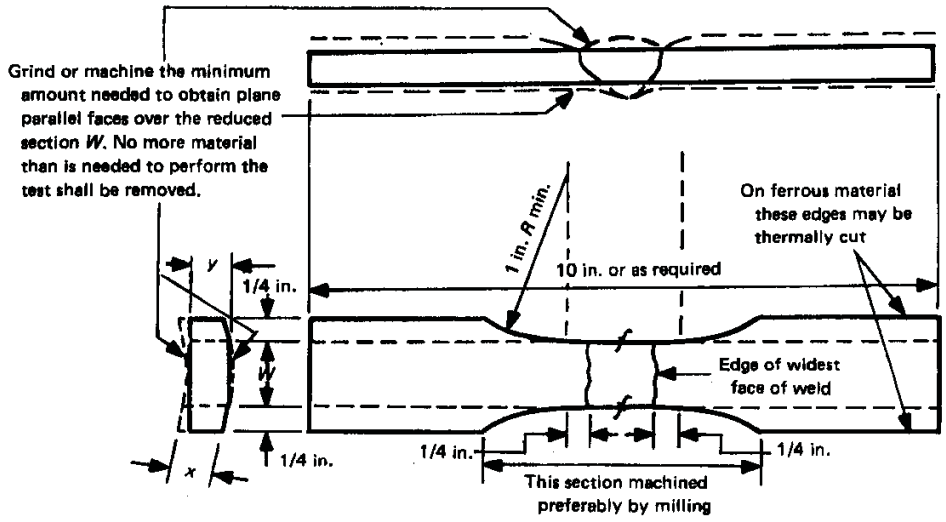
QW-256 (CONT'D)
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat input		X	
	.3	± Pulsing I			X
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
	.8	ϕ I & E range			X
	.12	ϕ Tungsten electrode			X
QW-410 Technique	.1	ϕ String/weave			X
	.3	ϕ Orifice, cup, or nozzle size			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.7	ϕ Oscillation			X
	.9	ϕ Multi to single pass/ side		X	X
	.10	ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.11	ϕ Closed to out chamber	X		
	.15	ϕ Electrode spacing			X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
	.26	± Peening			X

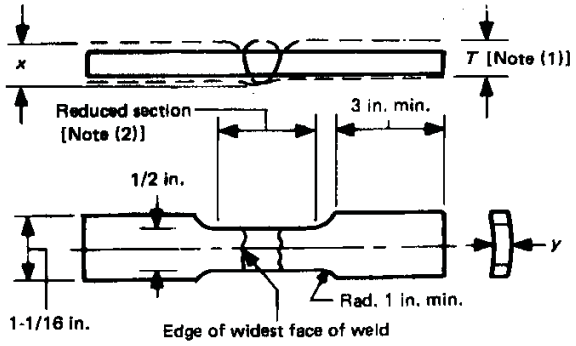
Legend:
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
− Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand



QW-462.1(a) TENSION — REDUCED SECTION — PLATE



QW-462.1(b) TENSION — REDUCED SECTION — PIPE

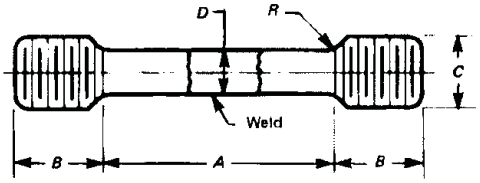


NOTES:

(1) The weld reinforcement shall be ground or machined so that the weld thickness does not exceed the base metal thickness *T*. Machine minimum amount to obtain approximately parallel surfaces.

(2) The reduced section shall not be less than the width of the weld plus 2*y*.

QW-462.1(c) TENSION — REDUCED SECTION
ALTERNATE FOR PIPE

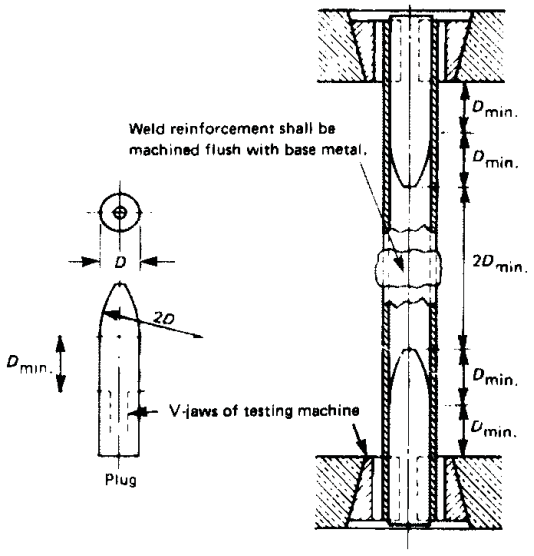


	Standard Dimensions, In.			
	(a) 0.505 Specimen	(b) 0.353 Specimen	(c) 0.252 Specimen	(d) 0.188 specimen
A — Length of reduced section	[Note (1)]	[Note (1)]	[Note (1)]	[Note (1)
D — Diameter	0.500 ±0.010	0.350 ±0.007	0.250 ±0.005	0.188 ±0.003
R — Radius of fillet	3/8, min.	1/4, min.	3/16, min.	1/8, min
B — Length of end section	1-3/8, approx.	1-1/8, approx.	7/8, approx.	1/2, approx.
C — Diameter of end section	3/4	1/2	3/8	1/4

GENERAL NOTES:
(a) Use maximum diameter specimen (a), (b), (c), or (d) that can be cut from the section.
(b) Weld should be in center of reduced section.
(c) Where only a single coupon is required the center of the specimen should be midway between the surfaces.
(d) The ends may be of any shape to fit the holders of the testing machine in such a way that the load is applied axially.

NOTE:
(1) Reduced section *A* should not be less than width of weld plus 2*D*.

QW-462.1(d) TENSION — REDUCED SECTION — TURNED SPECIMENS

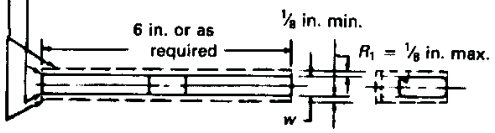


QW-462.1(e) TENSION — FULL SECTION — SMALL DIAMETER PIPE

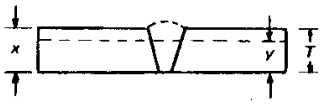
(1a) For procedure qualification of materials other than P-No. 1 in QW-422, if the surfaces of the side bend test specimens are gas cut, removal by machining or grinding of not less than $\frac{1}{8}$ in. from the surface shall be required.

(1b) Such removal is not required for P-No. 1 materials, but any resulting roughness shall be dressed by machining or grinding.

(2) For performance qualification of all materials in QW-422, if the surfaces of side bend tests are gas cut, any resulting roughness shall be dressed by machining or grinding.



T, in.	y, in.	w, in.	
		P-No. 23, F-No. 23, or P-No. 35	All other metals
3/8 to 1 1/2, incl.	T	1/8	3/8
>1 1/2	[Note (1)]	1/8	3/8



GENERAL NOTE: Weld reinforcement and backing strip or backing ring, if any, may be removed flush with the surface of the specimen. Thermal cutting, machining, or grinding may be employed. Cold straightening is permitted prior to removal of the reinforcement.

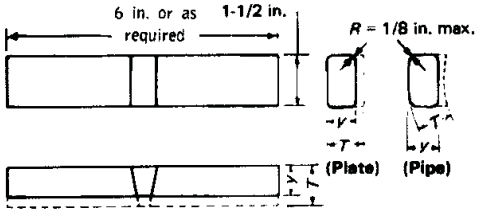
NOTE:

(1) When specimen thickness T exceeds $1\frac{1}{2}$ in., use one of the following.

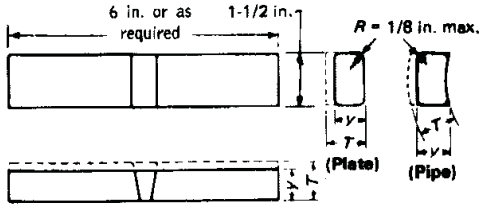
(a) Cut specimen into multiple test specimens y of approximately equal dimensions ($\frac{3}{4}$ in. to $1\frac{1}{2}$ in.).
y = tested specimen thickness when multiple specimens are taken from one coupon

(b) The specimen may be bent at full width. See requirements on jig width in QW-466.1.

QW-462.2 SIDE BEND



Face-bend specimen — Plate and Pipe



Root-bend specimens — Plate and pipe

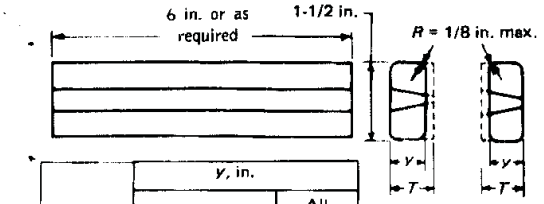
T, in.	Y, in.	
	P-No.23, F-No.23, or P-No. 35	All other metals
1/16 < 1/8	T	T
1/8-3/8	1/8	T
>3/8	1/8	3/8

NOTES:

(1) Weld reinforcement and backing strip or backing ring, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen. If a recessed ring is used, this surface of the specimen may be machined to a depth not exceeding the depth of the recess to remove the ring, except that in such cases the thickness of the finished specimen shall be that specified above. Do not flame-cut nonferrous material.

(2) If the pipe being tested is 4 in. nominal diameter or less, the width of the bend specimen may be 3/4 in. for pipe diameters 2 in. to and including 4 in. The bend specimen width may be 3/8 in. for pipe diameters less than 2 in. down to and including 3/8 in. and as an alternative, if the pipe being tested is equal to or less than 1 in. nominal pipe size (1.315 in. O. D.), the width of the bend specimens may be that obtained by cutting the pipe into quarter sections, less an allowance for saw cuts or machine cutting. These specimens cut into quarter sections are not required to have one surface machined flat as shown in QW-462.3(a). Bend specimens taken from tubing of comparable sizes may be handled in a similar manner.

QW-462.3(a) FACE AND ROOT BENDS — TRANSVERSE[1,2]



T, in.	Y, in.	
	P-No.23, F-No.23, or P-No. 35	All other metals
1/16 < 1/8	T	T
1/8-3/8	1/8	T
>3/8	1/8	3/8

NOTE:

(1) Weld reinforcements and backing strip or backing ring, if any, shall be removed essentially flush with the undisturbed surface of the base material. If a recessed strip is used, this surface of the specimen may be machined to a depth not exceeding the depth of the recess to remove the strip, except that in such cases the thickness of the finished specimen shall be that specified above.

QW-462.3(b) FACE AND ROOT BENDS — LONGITUDINAL[1]