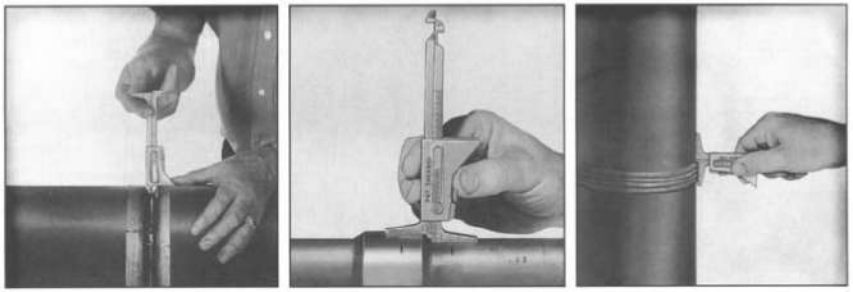
ANSI/AWS B1.11 - 88

# بازرسی چشمی جوش




**ترجمه :**

**محمد رضازاده**

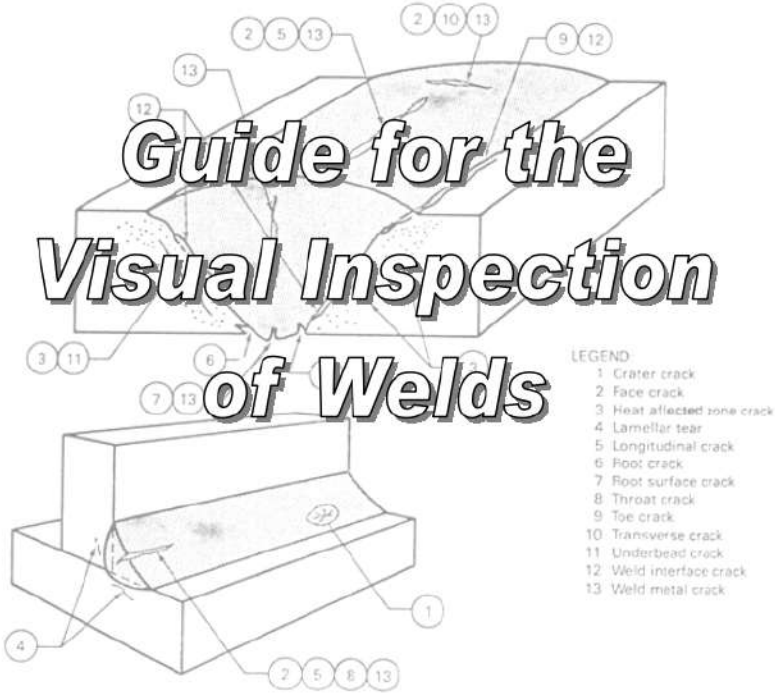
**کارشناس بازرسی فنی**

**بازرس ساخت مبدلها و ظروف تحت فشار فازهای ۶، ۷ و ۸**

**پارس جنوبی(شرکت تی آی جی دی)**


American Welding Society

# Guide for the Visual Inspection of Welds





Translated By:

**M.RezaZadeh**

Technical Inspection Engineer

TIJD Inspector for South Pars Project (sp678)

## ۱. شرایط عمومی

**۱-۱ کاربرد .** اطلاعاتی که در این راهنما آمده است برای مسئولیتها و وظایف عمومی بازرسان چشمی جوش و همچنین کسانی که مسئولیتها و وظایف دقیقی که در کد و استانداردهای خاصی تعریف شده ، قابل اجرا می باشد. اطلاعات مربوط به روشهای آزمون چشمی (VI) قابل اعمال به جوش تدارک دیده شده است.بازرس باید دانش هر یک از اصول و روشهای آزمون موردنیاز جهت یک جوش مشخص را داشته باشد.مدیریت و نظارت بازرسی باید از اصول و روشهای اعمال شده ،درک کافی داشته باشند و این جزئی از مسئولیتهای آنان می باشد. این مسئولیت همچنین شامل شرایط و تاییدیه بازرسان می شود.در این رابطه تاییدیه های موجود در استاندارد موسسه جوشکاری آمریکا (American Welding Society) که تایید شده برنامه بازرسی جوشکاری است ،مورد استفاده قرار می گیرد.

طراحی و ذکر خصوصیات مناسب مربوط به بازرسی چشمی باید به عنوان قسمتی از قرارداد در نظر گرفته شود. در غیاب چنین ملزوماتی از سازنده باید خواسته شود که بصورت کتبی ،جزئیات روشهای مورد استفاده شامل روشهای آزمون را تهیه کند.

استانداردهای پذیرفته شده باید از طریق سازنده و خریدار ، قبل از هر گونه شروع جوشکاری ، دقیقا درک و تفهیم شود.این مساله فقط به خاطر استفاده موثرتر از روشهای آزمون نمی باشد بلکه برای جلوگیری از بوجود آمدن ناسازگاری روی جوشکاری انجام گرفته است که ایا جوشکاری رضایت بخش و بر طبق خصوصیات ذکر شده در قرارداد بوده یا نه.

**۱-۲ هدف .** این راهنما شامل زمینه ای از اصول ضروری برای پرسنلی که بازرسی چشمی جوش را انجام می دهند، همچون توانایی ها و محدودیت های فیزیکی ، مثل دانش فنی ، آموزش، تجربه، قضاوت و تاییدیه می شود.این راهنما اصولا یک معرفی از آزمونهای چشمی مربوط به جوشکاری را در برمی گیرد. این بازرسی ها بر حسب زمانی که انجام می گیرند در سه بخش طبقه بندی می شوند:

(۱) قبل از جوشکاری

(۲) در حین جوشکاری

(۳) بعد از جوشکاری

بازرسی چشمی ممکن است بوسیله افراد یا سازمانهای مختلفی انجام گیرد.افرادی که بازرسی چشمی را در مراحل جوشکاری انجام می دهند شامل جوشکاران ، ناظران جوش ، بازرس جوش کارفرما، بازرس خریدار یا بازرس تنظیم کننده ، می شوند.همچنین در این جزوه در مورد وسایل و تجهیزات بازرسی چشمی که مکررا استفاده می شود همچون وسایل اندازه گیری و دستگاههای نشان دهنده مروری شده است.یک بخش نیز در مورد رکوردهای ثبت شده است وابعادی را که در یک سند رسمی نتایج بازرسی چشمی باید در

نظر گرفته شود را بیان می کند. بالاخره این راهنما مرجع یا مطالب بیشتری را در بر میگیردکه ضرورت هایی با جزئیات بیشتر را برای برنامه های بازرسی چشمی ویژه در اختیار قرار می دهد.

## ۲- پیش نیازها

**۲-۱ اطلاعات عمومی.** همانند روشهای دیگر بازرسی غیر مخرب، پیش نیازهای مختلفی وجود دارد که باید قبل از انجام آزمون چشمی در نظر گرفته شود. بعضی از مشخصات بسیار رایج که باید در نظر گرفته شود در پایین بحث شده است.

**۲-۲ تیزبینی.** یکی از پیش نیازهای بسیار واضح این است که بازرس چشمی تیزبینی و دقت چشم کافی برای انجام بازرسی داشته باشد. در این مورد باید بینایی کافی در دور و نزدیک با استفاده از عینک یا بدون آن در نظر گرفته شود.یک بازرسی چشمی دوره ای مستند از ملزومات بسیاری از کدها و مشخصات می باشد و معمولا بعنوان تمرین خوبی در نظر گرفته می شود. تست چشم (بینایی) بوسیله یک شخص صلاحیت دار،یکی از پیش نیازهای تاییدیه AWS به عنوان بازرس جوش تایید شده (CWI) و یا کمک بازرس جوش تایید شده(CAWI) می باشد.

**۲-۳ تجهیزات .** آزمون های چشمی که به استفاده از ابزار و تجهیزات ویژه ای نیاز دارند، به کاربرد و میزان دقت مورد نیاز برای بازرسی بستگی دارد.بعضی از ابزار ممکن است به خصوصیات خاصی قبل از استفاده نیاز داشته باشند مانند کالیبراسیون. اگر چه در این راهنما بطور اجمالی درباره آزمون چشمی بحث شده است ولی مفاهیم مختلف و تنوع زیادی در تجهیزات وجود دارد.

بعنوان یک قانون عمومی آن ابزاری که با یک کد و مشخصات ویژه ای مطابقت می کند، و برای اندازه گیری با دقتی که قابل پذیرش باشد یا با نیاز بازرسی توافق کند می تواند استفاده شود.

**۲-٤ تجربه و کارآموزی .** از دیگر پیش نیاز ها این است که بازرس چشمی باید دانش و مهارت کافی بر انجام دقیق آزمون داشته باشد. دانش و مهارت از طریق تحصیل و یا کارآموزی بدست می آیند. هر دو روش بصورت (کلاسهای آموزشی) و یا در کار می توانند حاصل شوند. تنوع روشها و پروسه های کسب کردن دانش و مهارت بسیارند ولی هنر خوب قضاوت کردن به راحتی و آسانی بدست نمی آید. باید به افراد مختلف فرصت کافی برای درک نکات کلیدی راجع به آماده سازی اتصالات ، پیش حرارت جوشکاری، دمای بین پاس (Interpass) ، تغییر شکل جوش(Distortion) ، مواد مصرفی جوش و دیگر مواد داده شود. بعلاوه زمان داده شود تا با بسیاری از انواع گوناگون ساخت آشنا شوند.

**۲-۵ پروسیجرها .** پیشرفت روشهای استاندارد که روش شناسی (متدولوژی) آزمون و میزان پذیرش را پوشش می دهد ، یک تعیین کننده ای است که ممکن است بطور قابل توجهی به صحت و سازگاری اضافه

پس نه تنها رکوردهای خوب بازرسانی که آنها را نوشته اند را محافظت می نماید بلکه در توافق با خط مشی استانداردهای یکنواخت یاری می رساند.

هر کاری که با نظارت استاندارد و یا کدبه بازرسی،آزمون و یا تست نیاز دارد نیز ممکن است به ثبت اطلاعات نیازمند باشد.

**محمد رضازاده**
بازرسی فنی- لاوان
۸۳/۰۷/۱۳





کند. چنین روشهایی که بطور معمول بوسیله کارفرما تهیه می شوند و نوعا شامل دستورات جزء به جزئی که به پروسه های مختلف ساخت مربوط می شود، ملزومات جزء به جزء مشتری و میزان بازرسی می شود. مواردی مثل چه کسی بازرسی را انجام می دهد، چه وقت بازرسی انجام می گیرد، چگونه آزمون انجام گیرد، و کجا آزمون انجام گیرد؛ نوعا در روش کار شامل شده است.

فاکتورهای جزء به جزء آزمون شامل مواردی همچون طرز کار، تصاویر، فهرستهای کنترل خواص، نیاز به تجهیزات و دیگر موارد می شود. هنگامی که پروسیجرها نوشته شده در دسترس نمی باشد، ممکن است از بازرس خواسته شود تا مستقیما با کدها و مشخصات کار کند.

**۲-۶ برنامه های تاییدیه .** برای مطمئن شدن از اینکه بازرسان چشمی با صلاحیت می باشند( یعنی پیش نیازهای کافی برقرار می باشد) باید پرسنل بازرسی چشمی بطور رسمی تایید شوند. گواهینامه(Certification) مدرک تایید می باشد.موسسه جوشکاری آمریکا برنامه های CWI (بازرس جوشکاری تایید شده) و (CAWI)کمک بازرس جوشکاری را ارائه داده است.برنامه های دیگری برای بازرسان چشمی جوشکاری ممکن است استفاده شود.

**۲-۷ ایمنی .** بازرسان چشمی باید تعلیمات کافی در تمارین ایمنی جوشکاری را دریافت نمایند.خطرهای ایمنی بالقوه بسیاری وجود دارد (الکتریسیته،گازها،فوم ها،اشعه UV(ماورابنفش)،گرماو..) هر کسی که برای کار یا رفت و آمد به محیط جوشکاری می اید باید در مورد ایمنی جوشکاری یک دوره کارآموزی بگذراند.

## ۳- اصول بازرسی چشمی.

**۳-۱ اطلاعات عمومی .**در بسیاری از برنامه های تدوین شده توسط سازنده یا تولید کننده جهت کنترل کیفیت محصولات،از آزمون چشمی به عنوان اولین تست و یا در بعضی موارد به عنوان تنها متد ارزیابی بازرسی ،استفاده می شود.اگر آزمون چشمی بطور مناسب اعمال شود،ابزار ارزشمندی می تواند واقع گردد.

بعلاوه یافتن محل عیوب سطحی، بازرسی چشمی می تواند بعنوان تکنیک فوق العاده کنترل پروسه برای کمک در شناسایی مسائل و مشکلات مابعد ساخت بکار گرفته شود.

آزمون چشمی روشی برای شناسایی نواقص و معایب سطحی می باشد.نتیجتا هر برنامه کنترل کیفیت که شامل بازرسی چشمی می باشد،باید محتوی یک سری آزمایشات متوالی انجام شده در طول تمام مراحل کاری در ساخت باشد.بدین گونه بازرسی چشمی سطوح معیوب که در مراحل ساخت اتفاق می افتد،میسر میشود.

کشف و تعمیر این عیوب در زمان فوق،کاهش هزینه قابل توجهی را در بر خواهد داشت.بطوری که نشان داده شده است بسیاری از عیوبی که بعدها با روشهای تست پیشرفته تری کشف می شوند،با برنامه بازرسی

چشمی قبل،حین و بعد از جوشکاری به راحتی قابل کشف می باشند.سازندگان فایده یک سیستم کیفیتی که بازرسی چشمی منظمی داشته است را بخوبی درک کرده اند.

میزان تاثیر بازرسی چشمی هنگامی بهتر می شود که یک سیستمی که تمام مراحل پروسه جوشکاری(قبل،حین و بعد از جوشکاری) را بپوشاند،نهادینه شود.هر چه پروسه آزمون زودتر به سیستم وارد شود،پوشش بهتر خواهد بود.

**۲-۳ قبل از جوشکاری.** قبل از جوشکاری ،یک سری موارد نیاز به توجه بازرس چشمی دارد که شامل زیر است:

۱. مرور طراحی ها و مشخصات
۲. چک کردن تاییدیه پروسیجرها و پرسنل مورد استفاده
۳. بنانهادن نقاط تست
۴. نصب نقشه ای برای ثبت نتایج
۵. مرور مواد مورد استفاده
۶. چک کردن ناپیوستگی های فلز پایه
۷. چک کردن فیت آپ و تراز بندی اتصالات جوش
۸. چک کردن پیش گرمایی در صورت نیاز

اگر بازرس توجه بسیار دقیقی به این آیتم های مقدماتی بکند،می تواند از بسیاری مسائل که بعدها ممکن است اتفاق بیافتد،جلوگیری نماید.مساله بسیار مهم این است که بازرس باید بداند چه چیزهایی کاملا مورد نیاز می باشد.این اطلاعات را می توان از مرور مستندات مربوطه بدست آورد.با مرور این اطلاعات،سیستمی باید بنا نهاده شود که تضمین کند رکوردهای کامل و دقیقی را می توان بطور عملی ایجاد کرد.

**۲-۲-۳ نقاط نگهداری(Hold Points).**

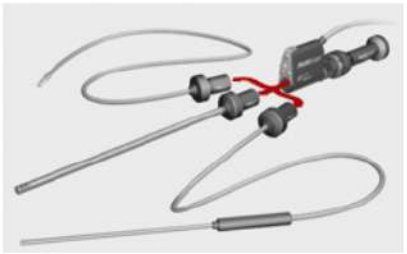
باید بنا نهادن نقاط هلد یا نقاط نگهداری جایی که آزمون باید قبل از تکمیل هر گونه مراحل بعدی ساخت انجام شود، در نظر گرفته شود. این موضوع در پروژه های بزرگ ساخت یا تولیدات جوشکاری انبوه،بیشترین اهمیت را دارد.

**۲-۲-۳ روشهای جوشکاری.** مرحله دیگر مقدماتی این است که اطمینان حاصل کنیم آیا روشهای قابل اعمال جوشکاری ،ملزومات کار را برآورده می سازند یا نه؟مستندات مربوط به تایید یا صلاحیت های جوشکاران هر کدام بطور جداگانه باید مرور شود.طراحی ها و مشخصات معین می کند که چه فلزهای پایه ای باید به یکدیگر متصل شوند و چه فلز پرکننده باید مورد استفاده قرار گیرد.برای جوشکاری سازه و دیگر کاربردهای بحرانی،جوشکاری بطور معمول بر طبق روشهای تایید شده ای که متغیرهای اساسی پروسه را





استفاده می شوند.یک فایبرسکوپ قابل انعطاف(flexible) اساسا یک نوع ابزار نوری می باشند . این ابزار به بازرسان امکان رؤیت داخل حفره های کوچک و گوشه های دایره ای را می دهد.این دستگاهها همچنین با لنزهای بزرگ کننده(ذره بینی) موجود می باشند.امکان نمایش تصویر روی پرده وجود دارد و نتایج قابل ذخیره خواهند بود.شکل ۴۵ استفاده از یک بورسکوپ را توضیح می دهد.



## ٦- ثبت اطلاعات

بعد از اینکه بازرسی به اتمام رسید،ناحیهٔ معیوب باید بگونه ای شناسانده شود که از مکان آن و اینکه بطور مناسب تعمیر گشته ،اطمینان حاصل شود.

روشهای بسیاری برای اینکار وجود دارد که شرایط خاص نشان می دهد که استفاده از کدام سیستم نشانه گذاری (Marking system) مؤثرتر واقع می شود.

یکی از روشهای رایج،ثبت نوع،اندازه و مکان(موقعیت)عیوب می باشدتا بتوان آنها را مکان یابی کرده و شناسایی شود و در نهایت تعمیر شوند.

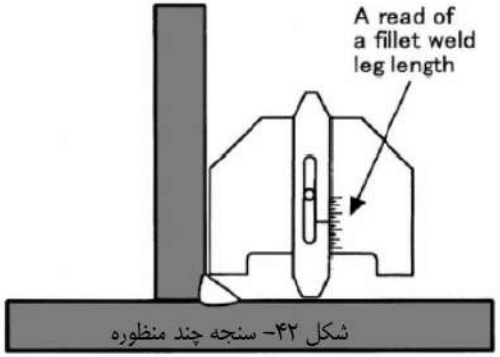
شاید روش مؤثرتر،شناسایی ناحیه معیوب بوسیله نشانه گذاری بطور مستقیم روی قطعه مربوطه باشد.ممکن است بعضی شرایط نیاز به استفاده از هر دو روش را داشته باشد.

یک بازرس باید بتواند یک سری اطلاعات مناسب را ثبت نماید.بازرسان باید بتوانند گزارشات را بصورت واضح و مختصر و کوتاه بنویسند،تا بعدها اگر مسئولین تصمیمات گرفته شده را مرور کردند به راحتی دلایل آن را بفهمند.

گزارشات بازرسی باید مختصر و کوتاه باشد و در همان حال آنقدر کامل باشد که برای کسی که با محصول بازرسی شده آشنایی ندارد واضح باشد.

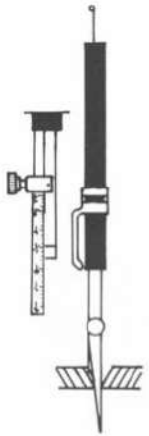
در تهیه رکوردها،تا جایی که می توان باید ابتدایی ترین نتایج در آن آورده شود اگر چه در هنگام نوشتن آنها کاملا قابل فهم باشند زیرا که بعدها امکان دارد بطور بسیار واضح به یاد نیایند.

**۳-۵-۵ سنجه مخروطی (Taper gage).** سنجه مخروطی به دهانه یک درز وارد می شود تا دهانه ریشه یا شکاف (gap) را اندازه گیری کند.اندازه گیری دهانه ریشه از طریق سنجه فوق در نقطه ای گرفته میشود که سنجه در آنجا به راحتی در درز(شکاف) با توجه به شکل ۴۳ قرار بگیرد.



شکل ۴۲- سنجه چند منظوره

**٤-۵-۵ سنجه Hi-Lo .** سنجه Hi-Lo که سنجه ناجفتی (Mismatch gage) نیز نامیده می شود برای اندازه گیری تراز بندی(هم محوری) داخلی درز یک لوله بکار می رود.بعد از اینکه سنجه داخل شده و تنظیم شد، پیچ شستی را محکم کرده و سپس ابزار برای اندازه گیری نامحوری (ناجفتی) برداشته می شود.این موضوع در شکل ۴۴ نشان داده شده است.


شکل ۴۳-سنجه مخروطی

شکل ۴۴- سنجه ناجفتی

**٦-۵ فایبرسکوپ و بورسکوپ(Fiberscopes and Borescopes).** این وسایل اندازه گیری ، ابزار فیبر نوری می باشند که برای آزمون جوش هر جا که دسترسی به سطح جوش محدود باشد





ثبت می کنند و بوسیله جوشکارانی که برای پروسه ،ماده و موقعیتی که قرار است جوشکاری شود،تایید شده اند،انجام می گیرد.در بعضی موارد مراحل اضافی برای آماده سازی مواد مورد نیاز می باشد.بطور مثال در جاهایی که الکترودهای از نوع کم-هیدروژن مورد نیاز باشد،وسایل ذخیره آن باید بوسیله سازنده در نظر گرفته شود.

**۳-۲-۳ موادپایه.** قبل از جوشکاری ، شناسایی نوع ماده و یک تست کامل از فلزات پایه ای مربوطه باید انجام گیرد.اگر یک ناپیوستگی همچون جدالایگی صفحه وجود داشته باشد و کشف نشده باقی بماند روی صحت ساختاری کل جوش احتمال تاثیر دارد.در بسیاری از اوقات جدالایگی در طول لبه ورقه قابل رویت می باشد بخصوص در لبه هایی که با گاز اکسیژن برش داده شده است.

**٤-۲-۳ مونتاژ اتصالات.** برای یک جوش،بحرانی ترین قسمت ماده پایه،ناحیه ای است که برای پذیرش فلز جوشکاری به شکل اتصال،آماده سازی می شود.اهمیت مونتاژ اتصالات قبل از جوشکاری را نمی توان به اندازه کافی تاکید کرد.بنابراین آزمون چشمی مونتاژ اتصالات از تقدم بالایی برخوردار است. مواردی که قبل از جوشکاری باید در نظر گرفته شود شامل زیر است:

۱. زاویهٔ شیار
۲. دهانه ریشه
۳. ترازبندی اتصال
۴. پشت بند
۵. الکترودهای مصرفی
۶. تمیز بودن اتصال
۷. خال جوش ها
۸. پیش گرم کردن

هر کدام از این فاکتورها رفتار مستقیم روی کیفیت جوش بوجود آمده،دارند.اگر مونتاژ ضعیف باشد،کیفیت جوش احتمالا زیر حد استاندارد خواهد بود.دقت زیاد در طول اسمبل کردن یا سوار کردن اتصال می تواند تاثیر زیادی در بهبود جوشکاری داشته باشد.اغلب آزمایش اتصال،قبل از جوشکاری بی نظمی هایی درباره کد آشکار می سازد،البته این بی نظمی ها ،محلهایی می باشند که در طول مراحل بعدی بدقت می توان آنها را بررسی کرد.برای مثال،اگر اتصالی از نوع T (T-joint) برای جوشهای گوشه ای، شکاف وسیعی از ریشه نشان دهد،اندازه جوش گوشه ای مورد نیاز باید به نسبت مقدار شکاف ریشه افزوده شود. بنابراین اگر بازرس بداند چنین وضعیتی وجود دارد،مطابق به آن ،نقشه یا اتصال جوش باید علامت گذاری شود، و آخرین تعیین اندازه جوش به درستی شرح داده شود.

**۳-۳ حین جوشکاری.** در حین جوشکاری،چندین آیتم وجود دارد که نیاز به کنترل دارد تا نتیجتا جوش رضایتبخشی حاصل شود.آزمون چشمی اولین متد برای کنترل این جنبه از ساخت می باشد.این می تواند ابزار ارزشمندی در کنترل پروسه باشد.بعضی از این جنبه های ساخت که باید کنترل شوند شامل موارد زیر می باشد:

(۱) کیفیت پاس ریشه جوش(weld root bead)
(۲) آماده سازی ریشه اتصال قبل از جوشکاری طرف دوم
(۳) پیش گرمی و دماهای میان پاسی
(۴) توالی پاسهای جوش
(۵) لایه های بعدی جهت کیفیت جوش معلوم
(۶) تمیز نمودن بین پاسها
(۷) پیروی از پروسیجر کاری همچون ولتاژ،آمپر،ورود حرارت،سرعت.

هر کدام از این فاکتورها اگر نادیده گرفته شود سبب بوجود آمدن ناپیوستگی هایی می شود که می تواند کاهش جدی کیفیت را در بر داشته باشد.

**۱-۳-۳ پاس ریشه جوش.** شاید بتوان گفت بحرانی ترین قسمت هر جوشی پاس ریشه جوش می باشد.

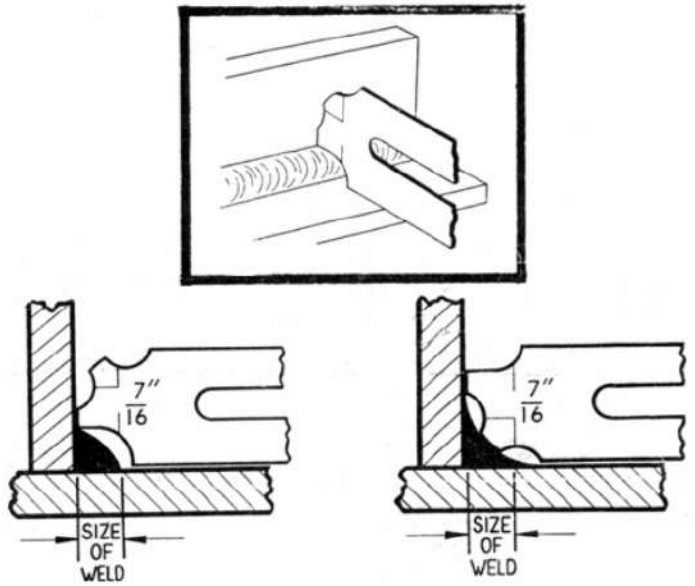
در نتیجه بسیاری از عیوب که بعدها در یک جوش کشف می شوند مربوط به پاس ریشه جوش می باشند.بازرسی چشمی خوب روی پاس ریشه جوش می تواند بسیار موثر باشد.وضعیت بحرانی دیگر ریشه اتصال در درزهای جوش دو طرفه هنگام اعمال جوش طرف دوم بوجود می آید. این مساله معمولا شامل جداسازی سرباره(slag) و دیگر بی نظمی ها توسط تراشه برداری(chipping)رویه برداری حرارتی(thermal gouging) یا سنگ زنی(grinding) می باشد.وقتی که عملیات جداسازی کاملا انجام گرفت آزمایش منطقه گودبرداری شده قبل از جوشکاری طرف دوم لازم است.این کار به خاطر این است که از جداشدن تمام ناپیوستگی ها اطمینان حاصل شود.اندازه یا شکل شیار برای دسترسی راحت تر به تمام سطوح امکان تغییر دارد.

**۲-۳-۳ پیش گرمی و دماهای بین پاس.** پیش گرمی و دماهای بین پاس می توانند بحرانی باشند و اگر تخصیص یابند قابل اندازه گیری می باشند.محدودیت ها اغلب بعنوان می نیمم،ماکزیمم و یا هر دو بیان می شوند.همچنین برای مساعدت در کنترل مقدار گرما در منطقه جوش،توالی و جای تک تک پاسها اهمیت دارد .بازرس باید ازاندازه و محل هر تغییر شکل یا چروکیدگی(shrinkage) سبب شده بوسیله حرارت





برای اندازه گیری یک جوش گوشه ای مقعر،تیغه ای که با اندازه جوش گوشه ای مربوطه مطابقت می کند و دو انحنائ مقعر دارد ،همانگونه که در شکل ۴۱ نمایش داده شده است، انتخاب می شود.پس از قرار دادن لبه پایینی تیغه روی صفحه مبنا و تماس دادن سر آن به اجزای بالایی جوش، تصویری که بوسیله دو انحنائ مقعر تشکیل می شود باید در مرکز سطح جوش واقع شود.بدین گونه می توان اندازه گلویی جوش را بدست آورد.به این ترتیب اگر قسمت مرکزی سنجه با جوش تماس پیدا نکند، جوش فوق اندازه گلویی کمی خواهد داشت.




شکل۴۱- اندازه گیری جوش گوشه ای مقعر  شکل ۴۰- اندازه گیری جوش گوشه ای محدب

**۲-۵-۵ سنجه چند منظوره.** امروزه سنجه های چند منظوره جوشکاری مختلفی در بازار یافت می شود. یک سنجه چند منظوره قادر به انجام بسیاری از اندازه گیری ها از جمله اندازه گیری تحدب و تقعر جوشهای گوشه ای، جوشهای تقویتی(weld reinforcement) و دهانه ریشه (root opening) می باشند. جزئیات استفاده از همه این سنجه های گوناگون خارج از این مقوله است بنابراین باید طرز استفاده هر کدام از سنجه ها را به دقت دنبال کنید. شکل ۴۲ یکی از این سنجه ها راکه برای اندازه گیری جوش گوشه ای استفاده می شود شرح می دهد.

**۵-۳ مدادهای رنگی حساس به دما.** مدادهای رنگی حساس به دما غالبا برای نشان دادن تقریبی دما استفاده می شوند. نشانه مداد رنگی روی ناحیه ای از فلز که باید چک شود ایجاد می گردد؛ بطور مثال،وقتی از یک مداد رنگی ۵۰۰ درجه استفاده می نماییم،دمای قطعه حداقل باید ۵۰۰ درجه باشد تا نشانه مداد رنگی ذوب شود. این اندازه گیری معمولا باید درون یک اینچ(۲۵میلیمتر) از جوش روی فلز مبنا ایجاد گردد.
نشانه گذاری های مداد رنگی هرگز نباید مستقیما روی جوش اعمال شود زیرا باعث آلودگی جوش خواهد شد. این مساله در شکل ۳۷ توضیح داده شده است.

**۵-٤ دماسنج های متصل به سطح.** دماسنج سطحی نشاندهنده مستقیم دمای سطحی لوله یا قسمتهای دیگر اتصال می باشد. آهنربای دائمی دماسنج آنرا به فلز مبنای آهنی متصل می کند اما دماسنج باید به فلز مبنایی که غیر آهنی است متصل شود. دماخوانی ها باید بسیار نزدیک به ناحیه جوش ترجیحا درون ۳ اینچ از جوش، از هر دو طرف انجام گیرد که در شکل ۳۸ نشان داده شده است.
پیرومتر(pyrometer) ابزار الکتریکی است که نشان دهنده مستقیم دما می باشد.پیرومترها اغلب هنگامی استفاده می شوند که دمای اندازه گیری شده ممکن است از حدود دماسنج جیوه ای یا انواع دیگر دماسنج ها بالاتر رود. پروب (probe) روی قطعه کار قرار می گیرد ودما از طریق درجه بندی یا ارقام دیجیتالی خوانده می شود. بعضی از این دستگاهها دکمه ای دارند که در صورت تمایل فشار داده شده و می توانند مقدار دمای خوانده شده را نگهدارند.
این نوع ابزار دقت و صحت بیشتری نسبت به دماسنج سطحی یا مداد رنگی که قبلا شرح داده شد دارند. شکل ۳۹ استفاده از پیرومتر را شرح می دهد.

## ۵-۵ وسایل اندازه گیری جوش(سنجه های جوش).

**۵-۵-۱ سنجه جوش گوشه ای(fillet weld gage)** سنجه جوش گوشه ای وسیله اندازه گیری سریع بسیاری از جوشهای گوشه ای در اندازه $\frac{1}{8}$ in (۳/۲mm) تا ۱ in (۲۵ mm)می باشد.این وسیله هر دو جوش گوشه ای محدب و مقعر را اندازه می گیرد.برای اندازه گیری یک جوش گوشه ای محدب ، تیغه ای که با اندازه جوش گوشه ای مربوطه مطابقت می کند و انحنائ مقعر دارد ،انتخاب می شود.همانطور که در شکل ۴۰ دیده می شود،لبه پایینی تیغه روی صفحه مبنا قرار می گیرد و سر تیغه به اجزای بالایی جوش نزدیک می گردد.





جوشکاری آگاه باشد. بسیاری از اوقات همزمان با پیشرفت گرمای جوشکاری اندازه گیری های تصحیحی گرفته می شود تا مسائل کمتری بوجود آید.

**۳-۳-۳ آزمایش بین لایه ای .** برای ارزیابی کیفیت جوش هنگام پیشروی عملیات جوشکاری،بهتر است که هر لایه بصورت چشمی آزمایش شود تا از صحت آن اطمینان حاصل شود.همچنین با این کار می توان دریافت که آیا بین پاسها بخوبی تمیز شده اند یا نه؟ با این عمل می توان امکان روی دادن ناخالصی سرباره در جوش پایانی را کاهش داد.بسیاری از این گونه موارد احتمالا در دستورالعمل جوشکاری اعمالی،آورده شده اند.
در این گونه موارد،بازرسی چشمی که در طول جوشکاری انجام می گیرد اساسا برای کنترل این است که ملزومات روش جوشکاری رعایت شده باشد.

**۳-٤ بعد از جوشکاری.** بسیاری از افراد فکر می کنند که بازرسی چشمی درست بعد از تکمیل جوشکاری شروع می شود.به هر حال اگر همه مراحلی که قبلا شرح داده شد،قبل و حین جوشکاری رعایت شده باشد،آخرین مرحله بازرسی چشمی به راحتی تکمیل خواهد شد.از طریق این مرحله از بازرسی نسبت به مراحلی که قبلا طی شده و نتیجتا جوش رضایت بخشی را بوجود آورده اطمینان حاصل خواهد شد. بعضی از مواردی که نیاز به توجه خاصی بعد از تکمیل جوشکاری دارند عبارتند از:

(۱) ظاهر جوش بوجود آمده
(۲) اندازه جوش بوجود آمده
(۳) طول جوش
(۴) صحت ابعادی
(۵) میزان تغییر شکل
(۶) عملیات حرارتی بعد از جوشکاری

هدف اساسی از بازرسی جوش بوجود آمده در آخرین مرحله این است که از کیفیت جوش اطمینان حاصل شود. بنابراین آزمون چشمی چندین چیز مورد نیاز می باشد.بسیاری از کدها و استانداردها میزان ناپیوستگی هایی که قابل قبول هستند را شرح می دهد و بسیاری از این ناپیوستگی ها ممکن است در سطح جوش تکمیل شده بوجود آیند.

**۳-٤-۱ ناپیوستگی ها .** بعضی از انواع ناپیوستگی هایی که در جوشها یافت می شوند عبارتند از:

(۱) تخلخل
(۲) ذوب ناقص
(۳) نفوذ ناقص در درز

(۴) بریدگی(سوختگی) کناره جوش
(۵) رویهم افتادگی
(۶) ترکها
(۷) ناخالصی های سرباره
(۸) گرده جوش اضافی(بیش از حد)

در حالی که ملزومات کد امکان دارد مقادیر محدودی از بعضی از این ناپیوستگی ها را تایید نماید ولی عیوب ترک و ذوب ناقص هرگز پذیرفته نمی شود.

برای سازه هایی که تحت بار خستگی و یا سیکلی (Cyclic) می باشند، خطر این ناپیوستگی های سطحی افزایش می یابد. در اینگونه شرایط،بازرسی چشمی سطوح ،پر اهمیت ترین بازرسی است که می توان انجام داد.

وجود سوختگی کناره (Undercut)،رویهم افتادگی(Overlap) و کنتور نامناسب سبب افزایش تنش می شود؛ بار خستگی می تواند سبب شکستهای ناگهانی شود که از این تغییر حالتهایی که بطور طبیعی روی می دهد، زیاد می شود.به همین خاطر است که بسیاری اوقات کنتور مناسب یک جوش می تواند بسیار با اهمیت تر از اندازه واقعی جوش باشد،زیرا جوشی که مقداری از اندازه واقعی کمتر باشد،بدون ناخالصی ها و نامنظمی های درشت،می تواند بسیار رضایت بخش تر از جوشی باشد که اندازه کافی ولی کنتور ضعیفی داشته باشد.

برای تعیین اینکه مطابق استاندارد بوده است ،بازرس باید کنترل کند که آیا همه جوشها طبق ملزومات طراحی از لحاظ اندازه و محل(موقعیت) صحیح می باشند یا نه؟اندازه جوش گوشه ای(Fillet) بوسیله یکی از چندین نوع سنجه های جوش برای تعیین بسیار دقیق و صحیح اندازه تعیین می شود.

در مورد جوشهای شیاری(Groove) باید از لحاظ گرده جوش مناسب دو طرف درز را اندازه گیری کرد.بعضی از شرایط ممکن است نیاز به ساخت سنجه های جوش خاص داشته باشند.

**۲-٤-۳ عملیات حرارتی بعد از جوشکاری.** به لحاظ اندازه،شکل، یا نوع فلز پایه ممکن است عملیات حرارتی بعد از جوش در روش جوشکاری اعمال شود.این کار فقط از طریق اعمال حرارت(گرما) در محدوده دمایی بین پاس یا نزدیک به دمای آن ،صورت می گیرد تا از لحاظ متالورژیکی خواص جوش بوجود آمده را کنترل نمود. حرارت دادن در درجه حرارت دمای بین پاس،ساختار بلوری را به استثناء موارد خاص تحت تاثیر قرار نمی دهد.بعضی از حالات ممکن است نیاز به عملیات تنش زدایی حرارتی داشته باشند.بطوری که قطعات جوش خورده بتدریج در یک سرعت مشخص تا محدوده تنش زدایی تقریبا ۱۱۰۰°F تا ۱۲۰۰° F (۵۹۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد) برای اکثر فولادهای کربنی گرما داده می شود.





انگشت باشند و باید قبل از کنار گذاشتن،آنها را پاک کرد. مواظبت و نگهداری از آنها را باید تمرین کرد تا از خراش ها یا شکستگی و دندانه ای شدن سطوح تماس ،صفحات مدرج و عقربک دار جلوگیری نمود.

وسایل اندازه گیری باید با یک پارچه نرم و غیر پنبه ای که با استفاده از روغن پارافین قبل از انبار آنها پوشانده شوند. وقتی لازم است که یک وسیله اندازه گیری (سنجه) قبل از قرائت یک اندازه گیری برداشته شود، قفل آن باید در ضامن گذاشته شود و با دقت سنجه برداشته شود. سنجه نباید از روی قطعه کار بزور باز شود و یا روی آن چفت شود. صفحه سنجه نباید پشت قطعه کار تکان داده شود زیرا که این تکانها سبب ایجاد سطوح ناهموار روی سنجه می شوند.

**۲-۱-۵ کالیبراسیون تجهیزات آزمون.** بعضی از صنایع نیازمند استفاده از ابزار اندازه گیری کالیبره شده هستند.کالیبراسیون مقایسه ای است بین ابزار اندازه گیری با یک استاندارد مرجع که تولرانس نزدیکتر و دقت مشخصی دارد.

این مقایسه عموما به یک استاندارد اعمال می شود که صحت آن در سازمان ملی استانداردها قابل ردیابی می باشد.کالیبراسیون معمولا روی یک رکورد دائمی مستند می شود و یک برچسب تاییدیه روی ابزار می چسبانند که تاریخی که ابزار دوباره باید کالیبره شود را نشان می دهد.یک سیستم کالیبراسیون مؤثر ،باید فراخوانی و کالیبراسیون تمام وسایل اندازه گیری دقیق را تحت کنترل خود در یک برنامه زمان بندی شده دوره ای از قبل تعیین شده، تضمین نماید.

قبل از استفاده یک وسیله اندازه گیری کنترل شده ،بازرس باید از وجود برچسب تاییدیه کالیبراسیون و اینکه تاریخ کالیبراسیون نگذشته باشد اطمینان حاصل نماید.هر وسیله اندازه گیری که از تاریخ انقضائ آن گذشته باشدباید قبل از استفاده کالیبره شده و تایید شود. بعلاوه برچسبهای کالیبراسیون تمام ابزار اندازه گیری کنترل شده باید شماره سریال یکتایی برای خود داشته باشند.شماره سریال از این جهت مفید خواهد بود که در صورت اینکه برچسب کالیبراسیون بطور غیرعمدی بیافتد،کالیبراسیون آن قابل ردیابی خواهد بود.

شماره سریال هنگامی که وسایل اندازه گیری و سنجه ها آنقدر کوچک باشند که نتوانند برچسب کالیبراسیون را بر روی خود نگهدارند ضروری خواهد بود.

**۲-۵ آمپرسنج ها.** آمپرسنج انبر دار ابزار قابل حمل بی نظیری است که بدون تماس الکتریکی به مدار، جریانی که در مدار وجود دارد را اندازه می گیرد.این ابزار روش کارآمدی برای مشخص کردن آمپراژی که در مدت جوشکاری استفاده شده است می باشد.(دستورالعمل جوشکاری را چک کنید.) با قرار دادن گیره های انبر دور یک هادی حامل جریان همانطور که در شکل ۳۶ نشان داده شده است، در واحد آمپر می توان جریان را بدست آورد.

بعد از نگهداری در این دما به مدت یک ساعت برای هر اینچ از ضخامت فلز پایه،قطعات جوش خورده تا دمای حدود ۶۰۰°F (۳۱۵ درجه سانتی گراد) در یک سرعت کنترل شده سرد می شود. بازرس در تمام این مدت مسئولیت نظارت بر انجام کار را دارد تا از صحت کار انجام شده و تطابق با ملزومات روش کار اطمینان حاصل نماید.

**۳-٤-۳ آزمایش ابعاد پایانی.** اندازه گیری دیگری که کیفیت یک قطعه جوشکاری شده را تحت تاثیر قرار می دهد صحت ابعادی آن می باشد. اگر یک قسمت جوشکاری شده بخوبی جفت و جور نشود،ممکن است غیر قابل استفاده شود اگرچه جوش دارای کیفیت کافی باشد.

حرارت جوشکاری ، فلز پایه را تغییر شکل داده و می تواند ابعاد کلی اجزاء را تغییر دهد.بنابراین، آزمایش ابعادی بعد از جوشکاری ممکن است برای تعیین متناسب بودن قطعات جوشکاری شده برای استفاده موردنظر مورد نیاز واقع شود.

## ٤. شرایط سطح جوش

**۱-٤ کلیات .** در این قسمت ، ناپیوستگی هایی (Discontinuities) بررسی می شوند که طبق ملزومات کدها و استانداردها ، جزء عیوب قابل رد (Rejectable) ، طبقه بندی نمی شوند، و یا احتمال رد شدن آن کم می باشد. در اینجا ، اطلاعات آموزشی جهت شناخت این نوع ناپیوستگی ها ارائه شده است.

ناپیوستگی ها در هر محلی از جوش می توانند بوجود آیند. بازرسی چشمی (Visual Inspection) بعد از تکمیل جوشکاری ، محدود به وضعیت سطح جوش می باشد. برای یافتن عیوب زیر سطحی (Subsurface) نیاز به آزمون چشمی به همراه استفاده از روشهای آزمون غیر مخرب (NDE) است.

گسیختگی ساختار معمول جوش ، همچون یکنواخت نبودن خواص مکانیکی ، متالورژیکی، یا فیزیکی قطعه و یا جوش را ناپیوستگی می گویند.یک ناپیوستگی الزاما عیب (Defect) نمی باشد. ناپیوستگی ها فقط هنگامی که از لحاظ نوع ، اندازه ، پراکندگی یا محل وقوع از ملزومات استاندارد پیروی نکنند ، قابل رد خواهند بود.

به یک ناپیوستگی قابل رد ، عیب گفته می شود. طبق تعریف ، عیب، یک ناپیوستگی می باشد که اندازه ، شکل ، جهت گیری ، یا محل وقوع آن به گونه ای است که کار با آن قطعه که چنین ناپیوستگی در آن وجود دارد ،زیان آور خواهد بود.

ناپیوستگی ها امکان دارد در فلز جوش (Weld Metal) ، منطقه متاثر از جوش (HAZ یا Heat Affected Zone) ، یا فلز مبنا (Base Metal) ی بسیاری از جوشها یافته شوند. چهار نوع از





لکه های قوس مطلوب نیستند و اغلب از آنجایی که ممکن است در طول فرآیند خنک شدن و یا تحت شرایط خستگی(fatigue) منجر به ترکیدگی شوند،قابل قبول نمی باشند.

**۱۵-٤ پاشیدگی فلز مذاب(قطره جوش)(spatter).** قطره جوش شامل ذرات فلز است که در طول جوشکاری ذوبی خارج می شوند که قسمتی از جوش را تشکیل نمی دهند. آن ذراتی که واقعا به فلز مبنای کنار جوش متصل اند، ناجورترین حالت قطره جوش می باشند.

ذراتی که دور از جوش و فلز مبنا انداخته می شوند، طبق تعریف، قطره جوش می باشند. بطور کلی قطره جوش ذراتی از فلز است که تفاوت بین مقدار فلز پر کننده که ذوب می شود و مقدار فلز پر کننده که بطور واقعی در درز جوش می نشیند را در بر می گیرد.

معمولا قطره جوش بعنوان یک عیب جدی در نظر گرفته نمی شود مگر اینکه وجود آن از یک سری عملیات های متعاقب بویژه آزمون غیر مخرب یا قابلیت سرویس قطعه ممانعت بعمل آورد.امکان دارد قطره جوش نشان دهنده این باشد که پروسه جوشکاری تحت کنترل نبوده است، به هر حال شکل ۳۵ را ببینید.

## ٥-تجهیزات آزمون

**۱-٥ معرفی.** تعدادی ابزار جهت آزمون وجود دارد که در حرفه بازرسی جوش از آنها استفاده می شود.در این قسمت بعضی از این ابزار و وسایل اندازه گیری که مکررا از آنها در بازرسی چشمی جوش استفاده می شود بررسی شده است.

ابزاری که در این قسمت شامل شده اند عبارتند از:

(۱) آمپرسنج
(۲) مدادهای رنگی حساس به دما
(۳) دماسنج های متصل به سطح
(۴) وسایل اندازه گیری جوش
(۵) فایبرسکوپ(fiberscopes) و بورسکوپ(borescopes)
(۶) وسایل اندازه گیری فریت

همچنین در این بخش جزئیاتی در مورد اینکه چگونه تعیین کنیم که نور مناسب برای آزمون وجود دارد یا نه، آورده شده است.

**۱-۱-٥ بکارگیری تجهیزات آزمون .** برای اطمینان از دقت پیوسته تجهیزات آزمون، باید از بکارگیری نادرست یا بی دقتی جلوگیری کرد.ابزار باید عاری از هر گونه گرد و خاک ،نم و رطوبت یا اثر

اتصالات اساسی جوش در این راهنما در نظر گرفته شده است : اتصال از نوع لب به لب (Butt Joint) ، اتصال سپری (T) ، اتصال گوشه ای (Corner) ، و اتصال رویهم (Lap) .

انواع خاصی از ناپیوستگی های جوش و فلز مبنا در فرآیندها و اتصالات جوشکاری فوق ، بطور بسیار متداولی روی می دهد. بطور مثال ناخالصی از جنس تنگستن (Tungsten inclusion) که فقط در جوشهایی روی می دهد که از جوشکاری قوس تنگستن با گاز (gas tungsten arc welding) تولید شده اند.

شرایط دیگری همچون دسترسی محدود به قسمتهایی از درز جوش منجر به وقوع عیوب در جوش و ناپیوستگی های فلز مبنا می شوند.در این قسمت ،هر یک از انواع معمول ناپیوستگی ها با جزئیات بیشتر بررسی شده است. بعضی از نوشته ها ممکن است از اصطلاحات متفاوتی برای بعضی از این ناپیوستگی ها استفاده کرده باشند؛ به هر حال تا جایی که امکان دارد برای جلوگیری از تعدد اصطلاحات باید از اصطلاحاتی که توسط AWS تعیین شده است ، که در ANSI/AWS A3.0 با عنوان استاندارد تعاریف و اصطلاحات فنی جوشکاری ، وجود دارد استفاده شود.

در آنجا "ناپیوستگی از نوع ذوبی" یک اصطلاح عمومی است که برای تشریح یک سری ناپیوستگی های مختلف استفاده می شود که عبارتند از:ناخالصی های سرباره،ذوب ناقص،نفوذ ناقص ، و ناپیوستگی های کشیده شده مشابه در جوشهای ذوبی.نوع دیگر ناپیوستگی به خاطر افت گاز محافظ،ایجاد می شود.شکل ۱ را ببینید.اینگونه ناپیوستگی ها از مواردی هستند که برای سازندگان و طراحان مورد توجه قرار می گیرند.

**۴-۲ تخلخل(Porosity).** تخلخل جزء ناپیوستگی های از نوع حفره ای می باشد که در طول انجماد از طریق به تله افتادن گاز تشکیل می شود. ناپیوستگی تشکیل شده عموما کروی می باشند ولی ممکن است استوانه ای نیز باشند. اغلب تخلخل نشان دهنده این است که پروسه جوشکاری بطور مناسب کنترل نشده است؛ و یا فلز مبنا یا فلز پرکننده آلوده شده است،یا اینکه ترکیب فلز مبنا با فلز پرکننده جوشکاری و پروسه آن مطابقت نمی کند.

**۴-۲-۱ تخلخل پراکنده(Scattered Porosity):** تخلخل پراکنده یک نوع تخلخل است که بطور گسترده ای در یک خط(پاس) جوش یا در چندین مهره از یک جوش چند پاسه پخش شده است.تخلخل در یک جوش وقتی بوجود می آید که تکنیک جوشکاری،یا موادی که استفاده شده اند یا شرایط مهیا ساختن درز جوش ، منجر به تشکیل و به تله افتادن گاز شود.اگر قطعات جوشکاری شده،به اندازه کافی آهسته خنک شود تا گاز بتواند قبل از انجماد جوش به سطح جوشکاری برسد،عموما هیچ تخلخل در جوش بوجود نخواهد آمد.

شکل ۲ وجود تخلخل پراکنده را شرح می دهد.

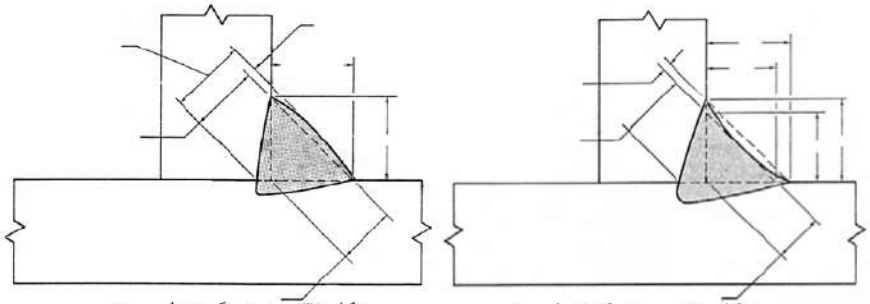




دارند که به عنوان افزاینده تنش عمل می کنند و می توانند باعث ایجاد ترکیدگی در سرویس شوند.

**۴-۱۳ تحدب و تقعر .** تحدب ، ماکزیمم فاصله سطح جوش گوشه ای محدب است که عمود بر خطی است که گوشه های جوش را به هم متصل می کند.تحدب همانطور که در شکل ۳۲ نشان داده شده اصطلاحی است که به جوش گوشه ای نسبت داده می شود. مشابه جوشهای تقویتی ،وقتی میزان این تحدب بیش از حد شود، شکاف ایجاد شده در گوشه جوش باعث ترکیدگی گوشه ای می شود.در طول جوشکاری ،تحدب بیش از حد احتمال داردکه در پاسهای میانی جوشهای چند پاسه بوجود آید، که ممکن است از روند(پروسه) تمیز کاری جلوگیری بعمل آورد و باعث بوجود آمدن ناخالصی های سرباره و یا ذوب ناقص شود. شکل ۳۳ وجود برآمدگی(تحدب) را نشان می دهد.

فرورفتگی (تقعر) ماکزیمم فاصله از رویه یک جوش گوشه ای مقعر عمود بر خطی که گوشه های جوش را متصل می کند می باشد. فرورفتگی هنگامی مضر و زیان آور خواهد بود که در جوش زیر اندازه(undersized weld) بوجود آید. شکل ۳۴ را ببینید.



شکل ۳۲- جوش گوشه ای محدب

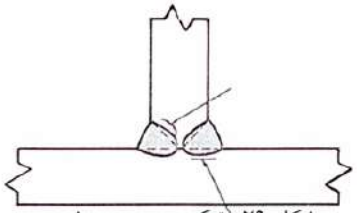
شکل ۳۴- جوش گوشه ای مقعر

**۴-۱۴ لکه های قوس(Arc strikes).** لکه قوس یک ناپیوستگی است که شامل هر نوع فلز ثانوی جایگزیده(localized remelted metal) ، فلز متاثر از حرارت ، یا تغییر در پروفیل سطحی هر قسمتی از یک جوش یا فلز مبنا می شود که از یک قوس نتیجه می شود.لکه های قوس هنگامی بوجود می آیند که قوس در سطح فلز مبنا ،دور از درز جوش چه عمدا و چه تصادفا شروع شود. وقتی این مساله بوجود می آید ناحیه جایگزیده ای از سطح فلز مبنا وجود دارد که ذوب شده و سپس به سرعت به خاطر حرارت فروکشی حجیمی که بوسیله فلز مبنای پیرامون بوجود می آید، خنک می شود.

که تنشهای مانده در بیشترین حد خود وجود دارند، یافت می شوند.ترکهای زیر بستر جوش ممکن است یک مساله جدی ایجاد کنند وقتی که بطور پیوسته سه جزء زیر حضور داشته باشند:

(۱) هیدروژن
(۲) ساختار میکروسکوپی حساس به ترک
(۳) تنش

شکل ۲۹ وجود یک ترکیدگی زیر بستر جوش را نشان می دهد که با ازمون چشمی دیده نمی شود، مگر اینکه جسم مقطع زده شود.


شکل ۲۹- ترک زیر بستر جوش

**۴-۱۱ ناخالصی سرباره(Slag inclusions).** ناخالصی سرباره از جنس جامد نافلزی هستند که در فلز جوش و یا بین فلز جوش و فلز مبنا به دام(entrapped) می افتند.ناخالصی های سرباره نواحی درون سطح مقطع جوش و یا در سطح جوش هستند ،جایی که فلاکس مذاب که برای محافظت از فلز مذاب استفاده گردیده بطور مکانیکی درون فلز منجمد شده به دام افتاده اند.

این سرباره منجمد شده قسمتی از سطح مقطع جوش که فلز در آنجا روی خودش ذوب نشده است را نشان می دهد.این مساله می تواند در شرایط ضعیف شده ای که احتمال معیوب کردن قابلیت تمیر قطعه را دارد، اتفاق بیافتد.

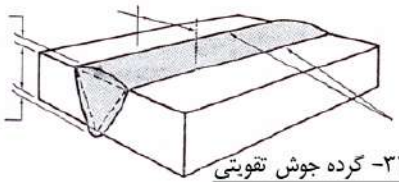
اگر چه معمولا سرباره ها ناپیوستگی های زیر سطح (subsurface) می باشند ، ناخالصی ها احتمال دارد که در سطح جوش نیز بوجود آیند،همانطور که در شکل ۳۰ نیز دیده می شود.

همانند ذوب ناقص ، ناخالصی های سرباره احتمال دارد که بین فلز مبنا و جوش و پایین تک تک پاس های جوش بوجود آیند. در نتیجه آخال سرباره اغلب به خاطر ذوب ناقص بوجود می آیند.

**۴-۱۲ گرده جوش (جوش تقویتی).** جوش تقویتی ،جوشی است که بیش از اندازه ای که برای پر کردن شیار در جوش شیاری (groove weld) لازم است ، فلز جوش استفاده شود.

همانطور که در شکل ۳۱ نشان داده شده است، آن مقداری از فلز جوش که در جوش شیاری بالاتر از سطح فلز مبنا قرار دارد جوش تقویتی نام دارد. تمام پاسهای تقویتی یک اثر شکافی(notch effect) در پاس جوش از خود به جای می گذارند.گرده جوش وقتی بیش از حد خود باشد به استحکام جوش نمی افزاید بلکه بعنوان یک افزاینده تنش جهت تقویت تنش اعمالی عمل می کند. هر چه جوش تقویتی بزرگتر باشد زاویه گوشه جوش کمتری بوجود می آید،که اثر شکافی بزرگتری را بوجود می آورد.

جوشهای تقویتی که بیش از حد باشند تمایل به ایجاد اثر شکافی های قابل توجهی در گوشه جوش


شکل ۳۱- گرده جوش تقویتی

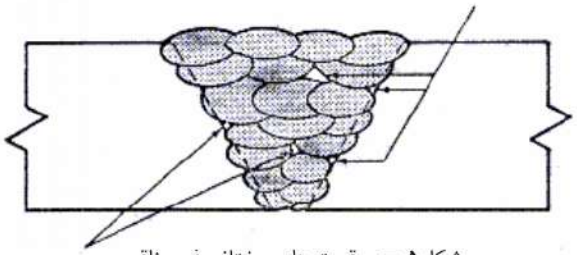


**۴-۲-۲ تخلخل خوشه ای و خطی (Cluster & Linear Porosity) :** تخلخل خوشه ای دسته ای از خلل و فرج های موضعی می باشند. این عیب اغلب به خاطر شروع یا توقف نامناسب پاس جوشکاری ایجاد می شود.شرایطی که باعث وزش قوس می شوند نیز می توانند سبب تخلخل خوشه ای شوند. تخلخل خطی تعدادی خلل و فرج می باشند که در یک محور قرار گرفته اند.این عیب اغلب در طول سطح مشترک جوش،ریشه جوش،یا مرز بین مهره ای ایجاد شده و از طریق آلودگی گسترش می یابد بگونه ای که سبب می شود گاز در آن محلها آزاد گردد.

مثالی از تخلخل خطی،با یک ترک طولی سبب شده در شکل ۳ نمایش داده شده است.

**۴-۲-۳ تخلخل لوله ای(Piping Porosity):** تخلخل لوله ای (که به آن سوراخ کرمی یا تخلخل کشیده شده نیز می گویند) اصطلاحی است که برای ناپیوستگی های کشیده شده گازی در نظر گرفته می شود. تخلخل لوله ای در جوشهای گوشه ای از ریشه جوش به طرف سطح جوش گسترش می یابد. هنگامی که تعداد کمی خلل و فرج در سطح جوش دیده شود،گودبرداری دقیق اغلب نشان خواهد داد که تعداد زیادی خلل و فرج زیر سطحی وجود دارد که به سطح جوش کشیده نشده اند.شکل ۴ تعدادی خلل و فرجهای سطحی را نشان می دهد که وقتی گودبرداری شدند تخلخل لوله ای تشخیص داده شده است.

**۴-۳ ذوب ناقص(Incomplete Fusion)** . ذوب ناقص ذوبی است که در سرتاسر سطح فلز مبنا و بین تمام مهره های جوش مجاور که برای جوشکاری در نظر گرفته شده است روی نمی دهد.شکل ۵ ذوب ناقص را که در محلهای مختلف در جوش روی داده است،نشان می دهد.شکل ۶ ذوب ناقص را نشان می دهد که در طول بازرسی چشمی رویت نشده اما از طریق رادیوگرافی یا تست آلتراسونیک پیدا شده است.


شکل۵ – موقعیت های مختلف ذوب ناقص

ذوب ناقص به خاطر اعمال حرارت ناکافی یا بدست گیری نادرست الکترود جوشکاری ایجاد می شود. از آنجایی که این ناپیوستگی بطور متداول بستگی به تکنیک جوشکاری دارد، از وجود آلودگی در سطحی که قرار است جوشکاری شود نیز سبب می شود.

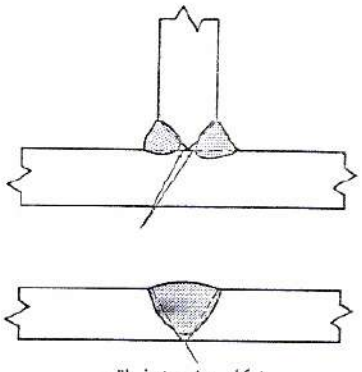
شکل ۷ مثالی از نفوذ ناقص را که در سطح شیار جوشکاری با قوس الکترود مغزه دار در فولاد روی داده است را نشان می دهد.شکل ۸ و ۹ وجود ذوب ناقص(سرد جوشی"Cold lap") را بین تک تک مهره

های جوش و بین فلز مبنا و جوش نشان می دهد.اینگونه وضعیتها در جوش قوس فلزی با گاز(GMAW) در آلومینیوم یافت می شوند.

**٤-٤ نفوذ ناقص(Incomplete joint penetration).** نفوذ ناقص بدین گونه تعریف می شود که نفوذ بوسیله فلز جوش طوری است که ضخامت فلز مبنا بطور کامل در اتصال با جوش شیاری پر نمی شود. شکل ۱۰ چندین حالت را که بعنوان نفوذ ناقص طبقه بندی می شوند را نشان می دهد.

شرایط نشان داده شده برای جوش شیاری از نوع Single V Groove هنگامی از طریق آزمون چشمی آشکار خواهد بود که دسترسی به طرف ریشه جوش داشته باشیم.

شرایط نشان داده شده در اتصال T دوطرفه در جوش تکمیلی آشکار نخواهد بود مگر در نقاط شروع و توقف.نفوذ ناقص ممکن است به خاطر حرارت کم جوشکاری، کنترل نامناسب قوس جوشکاری و یا مونتاژ نامناسب درز بوجود آید.



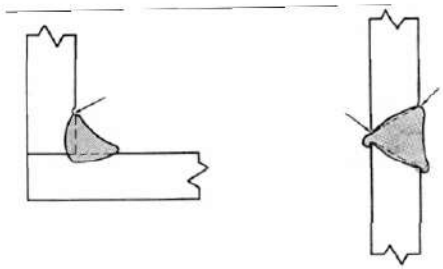
شکل ۱۰- نفوذ ناقص

بعضی از پروسه های جوشکاری توانایی نفوذ بیشتری نسبت به سایر روشها دارند و احتمال کمتری به تشکیل اینگونه عیوب دارند.بعضی از طراحی ها از شیارزنی شعله ای (back gouging) ریشه جوش و متعاقب آن جوشکاری همان طرف استفاده می کنند تا مطمئن شوند که هیچ گونه ناحیه ای برای نفوذ ناقص و یا ذوب ناقص وجود ندارد.

جوشکاری های لوله بطور خاصی به این ناپیوستگی ها آسیب پذیر می باشند،زیرا که درز معمولا برای جوشکاری از طرف ریشه غیر قابل دسترسی می باشد. اغلب یک تسمه پشت بند(Backing ring) در اینگونه موارد استفاده می گردد.(شکل ۱۱)

شکل ۱۲ عکسی است که نفوذ ناقص در ریشه جوش را نشان می دهد.

**٥-٤ بریدگی کنارهٔ جوش (Undercut) .** بریدگی لبه جوش تنیراتی را بوجود می آورد که بایستی آزمونهایی جهت سنجش کاهش سطح مقطع جوش و همچنین در مواردی که خستگی وجود دارد ، نسبت به تمرکز تنش یا تاثیر شیار(Notch effect) انجام گیرد.



سوختگی های لبه جوش که طبق استاندارد کنترل می شوند ، معمولا به عنوان عیوب جوشکاری مطرح نمی شوند. سوختگی های کناره

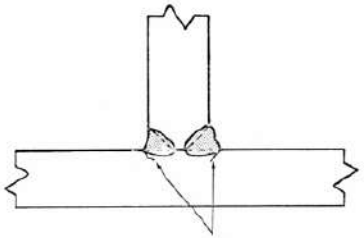


**٤-١٠-٤ ترکهای چاله جوش (Crater Cracks).** ترکهای چاله جوش در دهانه جوش روی می دهند و به خاطر پایان (قطع شدن) نامناسب قوس جوشکاری تشکیل می شوند. اصطلاح ترک ستاره ای (Star cracks) را در مورد ترکهای چاله جوش بکار می برند با وجود اینکه ممکن است اَشکال دیگری داشته باشد.

ترکهای چاله جوش جزء ترکهای گرم سطحی هستند که معمولا یک دسته خطوطی شبیه ستاره را تشکیل می دهند. شکل ۲۵ ترک چاله جوش که در یک خال جوش قوس تنگستن با گاز در آلومینیم روی داده است را نشان می دهد. در شکل ۲۶ عکسی از جوشکاری آلومینیم با قوس تنگستن با گاز نشان داده شده است به طوری که ترک چاله جوش در حال خروج، به طرف یک ترک گلویی طولی که دور محیط جوش گوشه ای دایره ای است منتشر شده است.

**٥-١٠-٤ ترکهای گوشه ای (Toe cracks).** ترکهای گوشه ای معمولا جزء ترکهای سرد می باشند. این ترکها از گوشه جوش که در آنجا تنشهای مهار کننده (restraint stresses) به وفور وجود دارند آغاز شده و منتشر می شوند.شکل ناگهانی در گوشه که به سبب برجستگی بیش از حد یا تقویت جوشکاری(گرده جوش) تغییر می کند، می تواند تنشها را تقویت کند و گوشه جوش را مستعد ترک خوردن کند.

شکل ۲۷ ظاهر ترکهای گوشه ای در یک اتصال T (T-Joint) نشان می دهد، و شکل ۲۸ عکسی از ترک گوشه ای را نمایش داده است.



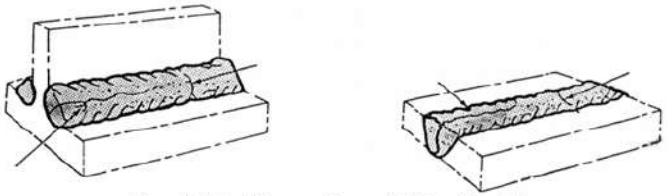
شکل ۲۷ – ترکهای گوشه ای

ترکهای گوشه ای تقریبا عمود به سطح فلز مبنا آغاز می شوند. این ترکها بطور معمول نتیجه تنشهای انقباضی حرارتی هستند که بر روی ناحیه متاثر از جوش عمل می کنند. بوجود آمدن بعضی از ترکهای گوشه ای به خاطر خواص کششی عرضی ناحیه متاثر از جوش است که نمی توانند منطبق با تنشهای انقباضی که بوسیله جوشکاری تحمیل شده است، شوند.

**٦-١٠-٤ ترکهای زیر بستر جوش و ناحیه متاثر از جوش(HAZ).** ترکهای زیر بستر جوش و ناحیه متاثر از جوش (HAZ) عموما جزء ترکهای سرد طبقه بندی می شوند که در ناحیه متاثر از جوش (HAZ) فلز مبنا تشکیل می شوند.ترکهای زیر بستر جوش و ناحیه متاثر از جوش از نوع ترکهای طولی و یا عرضی می باشند. این ترکها در بازه های معینی زیر جوش و همچنین در پیرامون مرزهای جوش ، جایی

ترکهای عرضی عمود بر محور جوش روی می دهند. اینگونه ترکها از نظر اندازه ممکن است محدود و به فلز جوش منحصر شوند و یا ممکن است این ترکها از جوش به ناحیه متاثر از جوش کناری (HAZ) و به فلز مبنا منتشر شوند.

در بعضی از جوشها ، ترکهای عرضی نه در جوش بلکه در ناحیه متاثر از جوش (HAZ) تشکیل می شوند. ترکهای طولی در جوشهایی که بوسیله جوشکاری ماشینی انجام می گیرند به سرعتهای زیاد جوشکاری و اغلب به تخلخل (Porosity) که در رویه جوش دیده نمی شود مربوط می شوند.



شکل ۲۱ – ترکهای عرضی در مقابل ترکهای طولی

همچنین جوشهایی که نسبت عمق به عرض آنان زیاد باشد، احتمال ترکیدگی طولی بدلیل مدل های انجماد خواهند داشت.

ترکهای طولی در جوشهای کوچک بین پروفیلهای سنگین (Heavy Sections) اغلب نتیجه سریع خنک شدن و ممانعت زیاد(High Restraint) می باشند.ترکهای سرد عرضی نیز عموما نتیجه تنشهای طولی انقباضی هستند که روی فلز جوش سخت با انعطاف پذیری(Ductility) کم عمل می کنند.

شکل ۲۱ بطور شماتیک ظاهر ترکهای طولی و عرضی را نشان میدهد. شکل ۲۲ عکسی از یک ترک طولی است که در امتداد جوش بین خلل و فرج تخلخل خطی (linear porosity) منتشر شده است.

شکل ۲۳ دو جوش عرضی را نشان میدهد که در جوشکاری قوسی با پوشش گازی در فولاد با استحکام زیاد روی داده است.

**۴-۱۰-۲ ترکهای گلویی(Throat Cracks) .** ترکهای گلویی جزء ترکهای طولی هستند که در رویه جوش در جهت محور جوش بوجود می آیند. آنها معمولا ولی نه همیشه جزء ترکهای گرم محسوب می شوند. نمونه ای از ترکهای گلویی در جوش گوشه ای در شکل ۲۴ نمایش داده شده است.

**۴-۱۰-۳ ترکهای ریشه جوش(Root Cracks) .** ترکهای ریشه ای جزء ترکهای طولی هستند که در ریشه جوش واقع می شوند. آنها معمولا جزء ترکهای گرم محسوب میشوند.

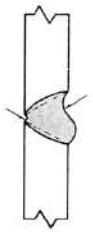




جوش عمدتا به دلیل جوشکاری نامناسب و یا پارامترهای نادرست جوش همچون جریان زیاد از حد برق یا ولتاژ بیش از حد جوشکاری و یا هر دوی آنها ، بوجود می آیند.

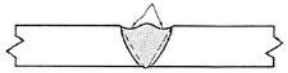
شکل ۱۳ وضعیت های معمول بریدگی لبه جوش را نشان می دهد. شکل ۱۴ عکسی از بریدگی لبه جوش را نمایش می دهد که در پای یک جوش گوشه ای(Fillet weld) در فولاد روی داده است.

**۴-۶ فرورفتگی یا تورفتگی جوش(Underfill) .** تو رفتگی یا گود شدگی در سطح ریشه یا روی جوش که زیر سطح مجاور فلز مبنا بوجود می آید را فرورفتگی جوش می گویند. فرورفتگی جوش معمولا به عنوان حالتی تعریف می شود که ضخامت کلی یک جوش کمتر از ضخامت فلز مبنای مجاور باشد. این وضعیت در نتیجه خطای جوشکار یا اپراتور جوشکاری به خاطر پر نکردن درز جوش بطور کامل، روی می دهد و به ندرت قابل قبول می باشد.



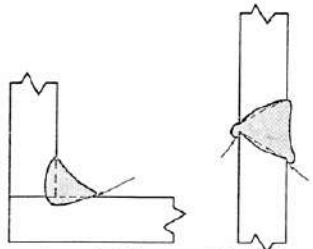
شکل ۱۵– فرورفتگی

شکل ۱۵ عیب فرورفتگی جوش را نشان می دهد. اصطلاح "نقعر داخلی" برای فرورفتگی جوش در سطح ریشه جوش لوله بکار میرود.



شکل ۱۶ وجود عیب فرورفتگی در جوشکاری با الکترود مغزه دار(flux cored arc weld) در فولاد را نشان میدهد .

**۴-۷ رویهم افتادگی جوش(overlap) .** پیش رفتگی فلز جوش به طرف پای جوش (weld toe) یا ریشه جوش را رویهم افتادگی (شره) جوش می گویند. این عیب در نتیجه کنترل ضعیف فرآیند جوشکاری ،انتخاب ناصحیح مواد جوشکاری و یا آماده سازی نادرست مواد قبل از جوشکاری ممکن است بوجود آید.اگر اکسیدهای چسبنده ای ( adhering oxides) که مانع مذاب میشوند روی فلز مبنا وجود داشته باشد، غالبا این عیب یعنی شره جوش روی میدهد.شکل ۱۷ حالتهای عیب شره جوش را نشان میدهد.



شکل ۱۷– رویهم افتادگی جوش

رویهم افتادگی یک ناپیوستگی سطحی است که یک شیار مکانیکی (mechanical notch) تشکیل میدهد و تقریبا همیشه مردود در نظر گرفته میشود.در شکل ۱۸ عیب رویهم افتادگی نشان داده شده است.

**۴-۸ تورق یا جدالایگی(Laminations) .** جدالایگی ها مسطح و عموما کشیده شده (elongated) و جزء ناپیوستگی های فلز مبنا می باشند که در ناحیه ضخامت میانی محصولات نورد شده

یافت میشوند.نمونه ای از آن در شکل ۱۹ شرح داده شده است. از آنجایی که جدالایگی ها ممکن است کاملا داخلی باشند، فقط از طریق آزمایشات غیر مخرب با آزمون آلتراسونیک کشف میشوند.

جدالایگی ها همچنین امکان کشیده شدن به لبه یا انتهای قطعه را دارند بطوری که در سطح قطعه قابل رؤیت میباشند. در این صورت بطور بصری یا از طریق استفاده از نافذ (penetrant) و یا تست ذرات مغناطیسی یافت میشوند.

این عیوب همچنین وقتی با عملیات تراشکاری و یا برشکاری روبرو میشوند، احتمالا ظاهر خواهند شد.جدالایگی ها وقتی تشکیل می شوند که حفره های گازی ،حفره های انقباضی ( shrinkage cavities) و یا آخال نافلزی در شمش اصلی بصورت مسطح نورد شوند. این عیوب معمولا موازی با سطح محصولات نورد شده بوجود می آیند و بیشتر اوقات در صفحات (plates) و میله گردها یافت میشوند. بعضی از جدالایگی ها اندکی در امتداد سطحشان جوشکاری پتکه ای (forge welded) میشوند که این عمل از طریق عملیات نورد کاری در دما و فشار بالایی انجام میشود.

جدالایگی های محکم اغلب اوقات صوت را از میان سطحشان عبور میدهند که در نتیجه بطور کامل نمی توان با آزمون آلتراسونیک آنها راتست کرد.

**۹-٤ درزها و چین ها (Seams and Laps).** درزها و چین ها از ناپیوستگی های طولی فلز مبنا می باشند که اغلب اوقات در محصولات پتک کاری شده (forged) و نورد شده یافت میشوند. این عیوب با جدالایگی ها تفاوت دارند بطوری که آنها به سطح نورد شده منتشر میشوند ولو اینکه قسمتی از طولشان در جهت لایه ای (lamellar) ،موازی با سطوح نورد شده ، احتمال دارد بوجود یابد.

هنگامی که یکی از این ناپیوستگی ها بطور موازی با تنش متوسط (میانگین) واقع میشوند، معمولا به عنوان یک عیب بحرانی (خطرناک) تلقی نمی شوند. به هر حال،هنگامی که درزها وچین ها عمود بر تنشهای مانده باشند،اغلب بصورت ترک منتشر می شوند. درزها و چین ها ناپیوستگی های متصل به سطح میباشند.بنابراین وجود این عیوب را ممکن است بتوان با استفاده از پروسه های ساخت که متعاقبا سطح محصول فرزکاری شده را اصلاح کرده است، پوشش داد. جوشکاری روی درزها و چین ها می تواند سبب ترک شود و باید از این کار جلوگیری شود.

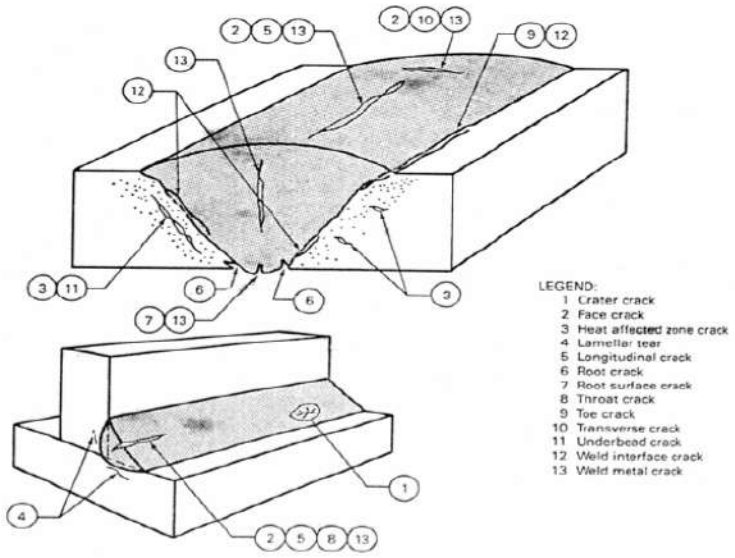
**۱۰-٤ ترکها (Cracks).** ترکها در جوش و فلز مبنا هنگامی تشکیل میشوند که تنشهای موضعی از استحکام نهایی(Ultimate strength) جسم تجاوز کند. ترکیدگی امکان دارد در دماهای بالا در مدت انجماد فلز جوش؛ یا بعد از انجماد ، وقتی که دمای جوش یکسان شود، اتفاق بیافتد.

معمولا ترکیدگی با تقویت تنش کنار ناپیوستگی ها در جوشها و فلز مبنا، یا کنار شیارهای مربوط به طراحی درز جوش ، ارتباط پیدا میکند. تنشهای مانده زیادی که عموما حضور دارند، و هیدروژن





تردی(Hydrogen embrittlement) نیز اغلب به تشکیل ترک کمک میکند. ترکهای مربوط به




جوشکاری معمولا بطور طبیعی ترد هستند و تغییر پلاستیکی کمی در مرزهای ترک از خود نشان میدهند. شکل ۲۰ انواع گوناگون ترکهای ناحیهٔ جوش و محل های مختلف آن را شرح میدهد که بعضی از ترکها را در طول آزمون چشمی سطح جوش نمی توان دید.

ترکها را می توان به ترکهای گرم و ترکهای سرد طبقه بندی کرد. ترکهای گرم در دماهای بالایی تشکیل می شوند. این ترکها هنگام انجماد فلز در دماهای نزدیک به نقطه ذوب تشکیل می شوند. ترکهای سرد بعد از اینکه انجماد کامل شد، بوجود می آیند.ترکهایی که بواسطه هیدروژن تردی تشکیل می شوند را عموما "ترکهای تاخیری" می نامند که یک نوع ترک سرد می باشد. ترکهای گرم در طول مرزهای دانه منتشر می شوند. ترکهای سرد هم در طول مرزهای دانه و هم در بین دانه ها منتشر می شوند.

**۱-۱۰-٤ جهت گیری .** جهت گیری ترک بر اساس جهت ترک نسبت به محور جوش، ممکن است طولی و یا عرضی باشد. هنگامی که ترکی موازی با محور جوش باشد، بدون در نظر گرفتن اینکه ترک در مرکز فلز جوش واقع شده یا یک ترک گوشه ای است که در ناحیه تفتیده(HAZ) فلز مبنا بوجود آمده ، آنرا ترک طولی مینامند.