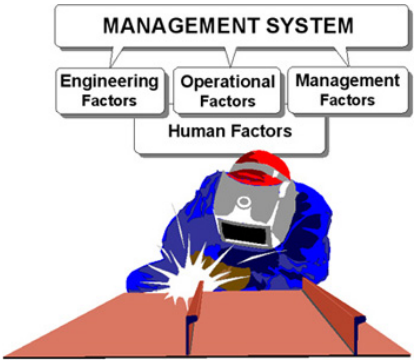
به نام خدا

عیوب و پیچیدگی در جوش

گرد آورنده : محمد جهانگیری راد



www.metaltechnic.blogfa.com

تابستان ۹۱

	نظری	عملی
واحد	۲	
ساعت	۳۲	

نام درس: عیوب و پیچیدگی در جوش

پیش نیاز: متالورژی جوش I

الف: سرفصل آموزشی و رئوس مطالب

ردیف	سرفصل و ریز محتوا	زمان یادگیری (ساعت) نظری	عملی
۱	**معایب متالورژیکی و تکنیکی جوش، حدود پذیرش و نحوه رفع و جلوگیری از آن** تعاریف ناپیوستگی، نقص، عیب - طبقه‌بندی عیوب جوش و حدود پذیرش آن‌ها براساس استانداردهای ISO ۵۸۱۷, ۱۰۰۴۲ ترک‌ها و انواع آن، علل بوجود آمدن، نحوه رفع و جلوگیری از ترک (ترک انجمادی، ترک گرم، ترک سرد، ترک هیدروژنی، ترک جناغی شکل و ترک بازگرمایش) نفوذ ناقص ریشه و نفوذ ناقص دیواره و بریدگی کنار جوش و نحوه رفع و جلوگیری از آنها حفره‌ها - تخلخل- سرباره محبوس شده و ناخالصی تنگستنی و نحوه رفع و جلوگیری از آنها لکه قوس- پاشش قوس- سررفتن جوش و دیگر عیوب جوش تردی، استحاله، معایب ساختاری جوش و مناطق تحت تأثیر حرارت (HAZ)	۱۶	-
۲	**پیچیدگی در جوش و نحوه رفع آن** مقدمه، انواع اعوجاج- پیچش طولی، خمش، تاب برداشتن و پیچش عرضی **تنشهای پسماند و ارتباط آن با پیچیدگی** تعریف تنش پسماند، چگونگی ایجاد تنش پسماند و عوامل مؤثر بر آن، تنش پسماند در قطعات جوشکاری شده، نفوذ تنشهای پسماند در جوش، شکل گیری تنشهای پسماند چندمحوره، پارامترهای مؤثر در توزیع و بزرگی تنشهای پسماند ناشی از جوشکاری، اثرات متالورژیکی تنشهای پسماند، روشهای اندازه‌گیری تنش پسماند (مخرب و غیرمخرب)، تأثیر تنشهای پسماند بر کارایی سازه‌های جوشکاری شده، روش‌های کاهش تنش‌های پسماند و تغییر شکل‌های ناشی از آن، اصلاح و راه‌های جلوگیری از اعوجاج و پیچیدگی ناشی از جوش	۱۶	

ب: منابع درسی:

بخش اول :

معایب متالورژیکی و تکنیکی جوش ، حدود پذیرش و نحوه رفع و جلوگیری از آن

واژه ها

ناپیوستگی (discontinuity):

به مجموعه ای از نا تمامی ها (مثل مرز دانه) گفته میشود که به طور عادی و با روشهای مرسوم و متداول بررسی هـای غیـر مخـرب ، قابـل کشف نیستند

نقص (flaw):

نقص به ناپیوستگیهای قابل کشف از طریق بررسیهای غیر مخرب یا مخرب اطلاق میشوند که در شرایط عمـومی موجـب شکـست سـازه نمیگردد . بنابراین می تواند بدون تغییر در سازه بماند .

عیب (defect):

عیب به نقصی گفته میشود که تحت شرایط عمومی و یا قابل پیش بینی ، بخاطر وجود آن احتمـال شکـست سـازه وجـود دارد . عیـب در حقیقت نقصی است که طبق کد یا مشخصات فنی قابل قبول نمیباشد . بنابراین یک ناپیوستگی ممکن است در یک سازه نقـص و در سـازه دیگری عیب محسوب شود .

نقص ها و عیوب جوش ممکن است دوبعدی (مثل ترک) و یا سه بعدی (مثل منفذ و حفره) باشند . از نظر کلـی نقـص هـای دو بعـدی خطرناک تر و تشخیص و ردیابی آنان نیز دشوارتر است . گرچه بایستی به خاطر داشت که هر نوع نقصهای دو بعدی و سـه بعـدی موجـب تمرکز تنش میشوند که برای بارگزاری دینامیکی حائز اهمیت است .

نقصها را میتوان به دو گروه کلی زیر تقسیم بندی کرد

الف : نقصهای مربوط به فرایند جوشکاری و یا دستورالعمل جوشکاری

عیوب دو بعدی

* عدم ذوب : به علت کم بودن حرارت ورودی (heat input)

عیوب سه بعدی : منفذ – بریدگی کناره جوش – گرده اضافی – نفوذ اضافی – حبس شدن سرباره

نقصهای مربوط به متالورژی جوش :

دو بعدی : انواع ترکها

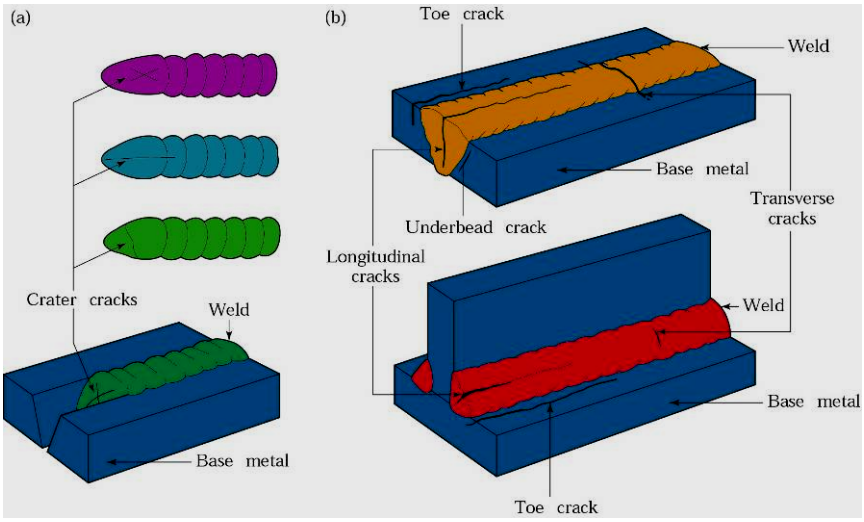
سه بعدی : منفذ (حباب های گازی و واکنشها) –

ترکیدگی یا ترک (Cracking) :

یکی از مهمترین حساس ترین و مضرترین عیب در جوش ها ترک می باشد.

ترک : ترک ناپیوستگیهای صفحه ای (دو بعدی) است که بر اثر پاره شدن فلز جوش و فلز پایه ایجاد می شود. ترک فلز جوش مـی توانـد در شرایط پلاستیک (ترک گرم) پدید آید و هم می تواند توسط شکست هنگامی که فلز سرد شده است (ترک سرد) بوجود آید.

انواع دسته بندی ترک (Crack)



ترکهای ایجاد شده بر اساس دمای تشکیل ترک به دو دسته تقسیم بندی میگردند

* ترک گرم (Hot Crack)

* ترک سرد (Cold Crack)

دسته بندی بر اساس راستای ترک

* ترک طولی (Longitudinal Crack)

* ترک عرضی (Transverse Crack)

دسته بندی بر اساس محل قرارگیری ترک

* ترک گلویی (Throat Crack)

* ترک (Root Crack)

* ترک پنجه جوش (Toe Crack)

* ترک چاله جوش (Crater Crack)

* ترک زیر مهره جوش (Under bead Crack)

انواع ترک که در مناطق مختلف قطعهٔ جوش داده شده بوجود می آید :

ترکیدگی در حوضچهٔ جوش یا دهانهٔ انتهایی(Weld Metal Crater Cracking)

ترک عرضی در جوش (Weld Metal Transverse Cracking)

ترک عرضی در منطقهٔ مجاور جوش (H.A.Z Transverse Cracking)

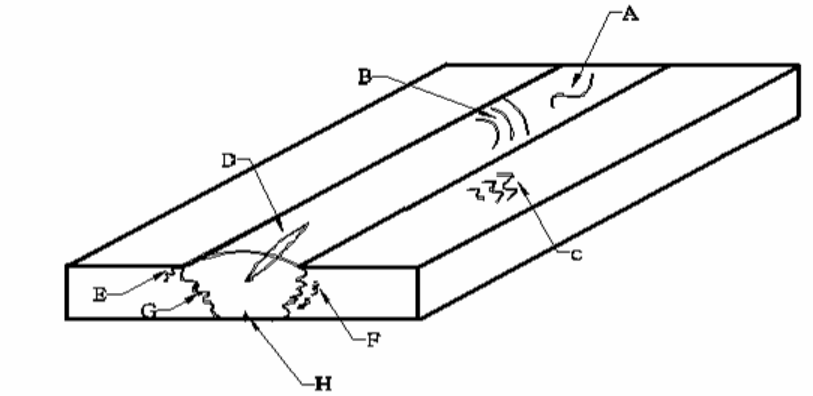
ترک طولی در فلز جوش (Weld Metal Longitudinal Cracking)

ترکیدگی زبانه یا گوشه ای (Toe Cracking)

ترکیدگی زیر فلز جوش (Under Bead Cracking)

ترکیدگی در خط ذوب (Fusion Line Cracking)

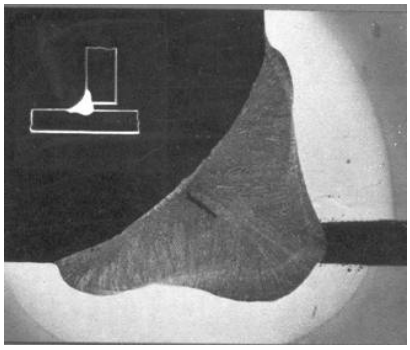
ترک ریشهٔ فلز جوش (Weld Metal Root Cracking)

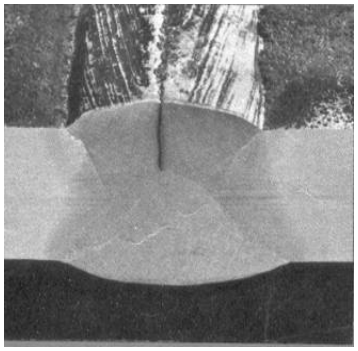


ترک برداشتن ممکن است در ردیف گسترده ای از درجه حرارت در ضمن انجماد تا درجه حرارت محیط و در زمانهای مختلف بوجود آید . درجه حرارت وقوع ترک بسیار مهم است . بطور کلی ترکهایی که بالای خط انجماد به وجود می آیند ترگ گرم یابالای خط انجماد (hot cracking-super solidus cracking) و آنهایی که زیر خط انجماد ایجاد میگردند را ترک سرد (cold cracking- sub- solidus cracking) مینامند .

ترک گرم (Hot Cracking) :

ترک گرم در دماهای بالا و معمولاً در هنگام جوشکاری یا بلافاصله پس از آغاز انجماد فلز جوش رخ می دهد. (ترک گرم معمولاً بالای ۶۵۰ درجهٔ سانتیگراد در حین جوشکاری یا سرد شدن ایجاد می شود.) در اثر نفوذ هوا و اکسیده شدن سطح ترک در درجه حرارت نسبتاً بالا و غالباً مقطع ظاهری شکست در ترکیدگی های گرم قهوه ای می باشد.

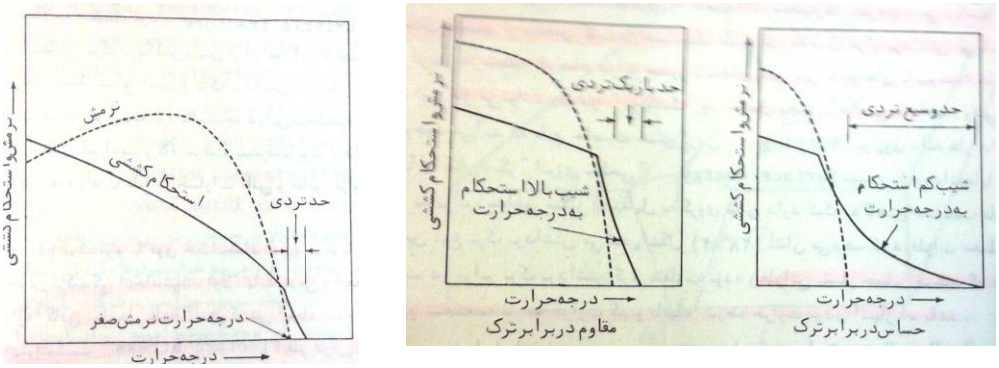




دو شرط لازم است تا در دامنه انجماد در جوش ترک گرم ایجاد شود که عبارتند از : اولاً نرمی و انعطاف پذیری فلز به اندازه کافی نباشد و ثانیاً تنش کششی ایجاد شده بین کریستال های جامد ناشی از انقباض از تنش شکست فلز در آن درجه حرارت تجاوز کند.

برای درک بیشتر این دو شرط لازم است توضیحات بیشتری در این زمینه داد.

در هنگام سرد شدن ، کریستالهای جامد جوانه زده و رشد میکنند . اما در ادامه انجماد در دماهای بالا اتصال کریستالهای جامد به صورت چسبندگی و فاقد نرمی و انعطاف پذیری است . در ادامه سرد شدن خاصیت نرمی در فلز جامد شده به وجود می آید . حال در این بازه دمایی که فلز جامد شده است تا دمای شروع نرمی ، جوش نسبت به ترک گرم حساس میباشد . البته وجود عناصری که با فلز جوش تولید فازهای یوتکتیک ذود ذوب میکنند نیز در این بین دارای نقش میباشند . فاکتور X (فاکتور ممانعت یا مهار) نیز نقش مهمی را در این قضیه ایفا میکند .



ترک برداشتن چاله جوش نیز یکی از انواع ترگیدگی گرم میباشد . چون فلز جوش در حوضچه انتهایی سریعتر جامد شده و تحمل تنش های کششی ناشی از سرد شدن اطراف جوش را ندارد . همچنین وجود عناصری که در فولاد تولید جدایش میکنند (مانند گوگرد – کربن – کلمبیوم) حساسیت به این ترک را افزایش میدهند .

روشهای پیشگیری از ترک گرم عبارتند از :

۱. پیش گرم کردن به منظور کاهش تنشهای انقباضی جوش.

۲. به کار بردن گاز محافظ پاکیزه و غیر آلوده در جوشکاری با گاز.

۳. افزایش مساحت سطح مقطع گردهٔ جوش (افزایش سطح گرده جوش نسبت به عمق).

۴. تغییر طرح و شکل گردهٔ جوش.

۵ استفاده از فلز مبنایی که دارای حداقل عناصر ایجاد ترک گرم هستند.

۶ در جوشکاری فولادها ، استفاده از فلزات پر کربن که دارای مقدار منگنز بالا نیز می باشند

ترک سرد (Cold Cracking) :

هنگامی که ترک در عرض دهانه ها ادامه می یابد و علائمی دال بر تمایل پیشرفت ترک در مرز دانه ها مشاهده نشود به احتمال زیاد ترک از نوع سرد یا زیر خط انجماد است. از دمای ۳۱۶ درجه سانتیگراد به پایین ممکن است بعد از یک ساعت چند روز و حتی چندین هفته پس از جوشکاری ترک هایی ایجاد و رشد یابند که آنها را ترک های سرد می گویند.

شرایط مورد نیاز برای ایجاد ترکهای سرد نیز مانند ترکهای گرم است .یعنی توام شدن تردی فلز جوش و مناطق اطراف آن و تنش کششی ناشی از سرد شدن .

به علت تداخل عوامل متعددی از قبیل : جنس مواد مصرفی ، فرایند جوشکاری ، شیب حرارتی ، توزیع تنش ، نرخ بارگزاری ، محیط خورنده و ... تشخیص دقیق علت یا علل ایجاد ترک بسیار مشکل است .غالبا ترک سرد در اثر یکی از این عوامل شروع و عوامل دیگر پیشرفت آن را تشدید میکنند . حتی ترکهای گرم بسیار ریز حاصل از انجماد بعدا میتوانند عوامل تشدید کننده ترک سرد باشند .به طور کلی هر نوع ساختار میکروسکوپی که باعث پایین آمدن نرمی فلز شود ، حساسیت جوش و مناطق مجاور آن را برای ایجاد ترک سرد تشدید میکند . مثلا تولید فا ز مارتنزیت در فولادها که در هنگام ایجاد در فولاد تنش ایجاد میکند میتواند با تنشهای داخلی جمع شده و از تنش شکست تجاوز کند . به طور کلی عواملی که ترک سرد را تشدید میکنند شامل

ترد و سخت شدن منطقهٔ مجاور جوش مثلاً با سریع سرد کردن.(ساختارها و فازهای شکننده در فولاد ها)

ایجاد و پیشرفت تنش های واکنشی و پسماند.

هیدروژن تردی.

مهار اضافی اتصال.

روشهای پیشگیری از بوجود آمدن ترک سرد :

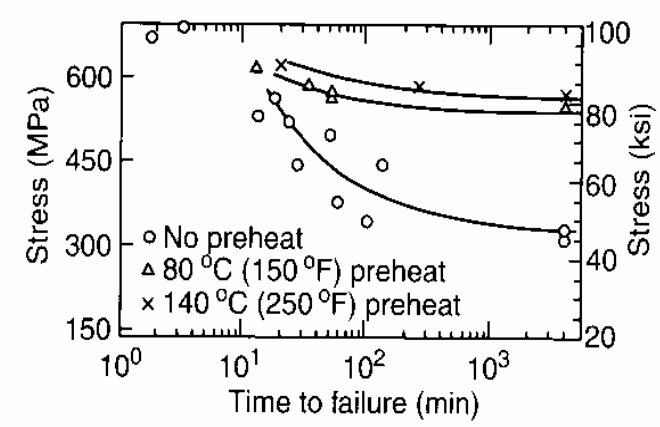
استفاده از پیش گرم کردن که باعث کاهش نرخ سرد شدن می شود.

استفاده از پس گرم که این مورد هم باعث کاهش نرخ سرد شدن می گردد و هم فرصت لازم را برای خروج گاز هیدروژن فراهم می آورد.

انتخاب فولاد مناسب که قابلیت سختی پذیری کمتری داشته باشد.

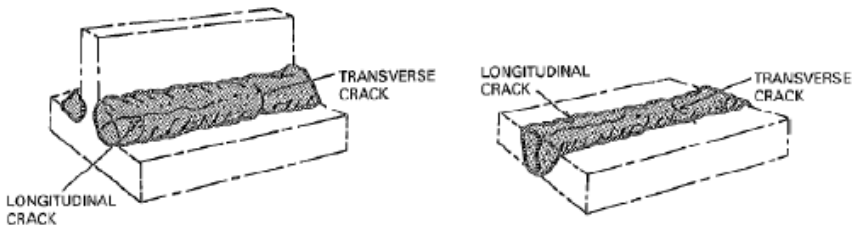
برطرف کردن موارد و عناصری که باعث تولید هیدروژن می شوند مثلاً رطوبت و روغن.

استفاده کردن از الکترودهای کم هیدروژن. و کم کربن



انواع ترک بر اساس راستای ترک

ترک طولی(Longitudinal Crack) : در فرایندهای جوشکاری زیرپودری که معمولا با سرعت زیادی همراه است به چشم میخورد



ترک عرضی (Tranverse Cracking)

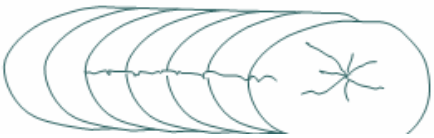
ترک عرضی اساسا عمود بر محور جوش است و بیشتر ناشی از تنشهای فشاری عمود بـر محـور جـوش (تنـشهای کشـشی انقباضـی در راستای جوش) بر جوشی که قابلیت نرمی زیادی ندارد واقع میشوند

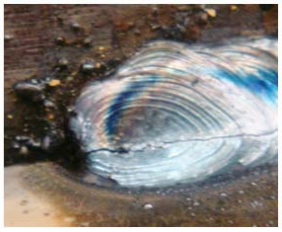
دلایل ایجاد: بالا بودن سختی جوش بهمراه بالا بودن تنشهای انقباضی در راستای جوش

دسته بندی ترکها بر اساس محل قرارگیری ترک

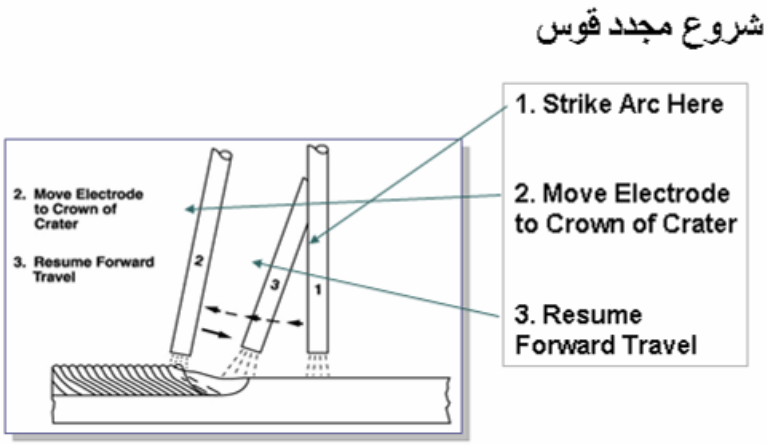
ترک چاله جوش (Crater Cracking)

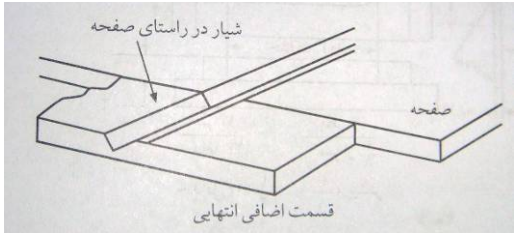
دلایل ایجاد: انجماد مرکز حوضچه جوش قبل از سایر مناطق و کشیده شدن آن به اطراف در خلال سرد شدن



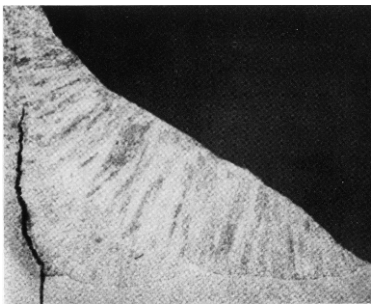


راهکار ها





ترک زیر مهره (فلز) جوش (Underbead Cracking)



ترک های سردی هستند که در منطقه تاثیر حرارتی بوجود آمده و معمولا طول کمی دارند . گاهی ممکن است چند ترک زیر مهره ای بـه هـم متصل شده و ترک متوالی تشکیل شود . ترکهای زیر مهره ای زمانی خطر جدی محسوب میشوند که سه عامل زیر در آنها وجود داشته باشـد

* هیدروژن * ریز ساختار با انعطاف پذیری کم * تنش باقیمانده زیاد در محل مورد نظر

این ترکها اغلب زیر سطحی بوده و ممکن است تا چندین ساعت پس از اجرای جوشکاری ایجاد شوند.به همـین علـت بازرسـی ۴۸ تـا ۷۲ ساعت پس از جوشکاری انجام میگیرد.

دلایل ایجاد:

عامل اصلی حضور هیدروژن در حوضچه جوش است.

گاهی در درجه مهار بالا و تردی ناحیه HAZ این ترکها بدون هیدروژن نیز ایجاد میشوند.

در مجاورت مرز ذوب و در ناحیه HAZ رخ میدهند.

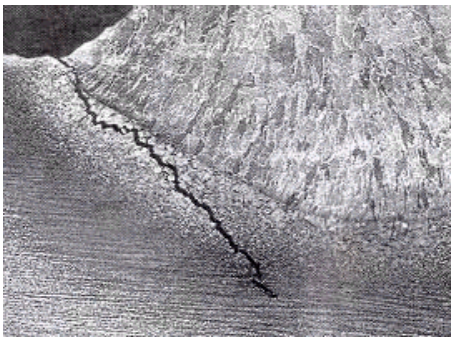
ترک پنجه جوش (Toe Cracking)

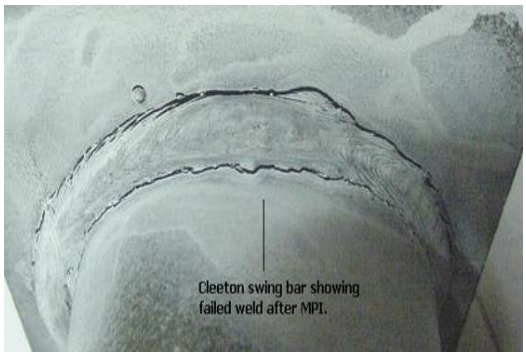
دلایل ایجاد:

گرده اضافی یا تحدب بیش از اندازه جوش (تمرکز تنش) به همراه ساختار ترد HAZ سبب بروز این ترک میشود.

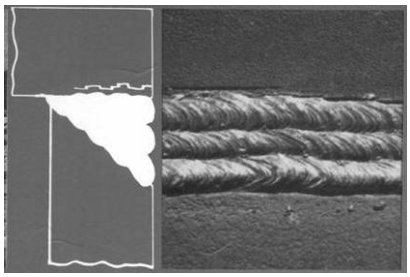
اغلب ترکیب تنشهای انقباضی عرضی جوش و تنشهای حین کار باعث ایجاد این نوع ترکها هستند.

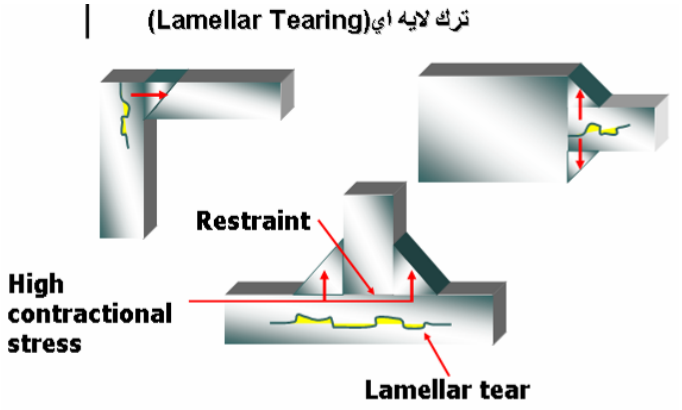
ترکهای پنجه جوشی که حین سرویس ایجاد میشوند اغلب به دلیل بارهای سیکلی (خستگی) تولید میگردند.





ترک لایه ای(Lamellar Tearing): ترکیدگی است که در امتداد طولی قطعه در نزدیکی موضع اتصال مشاهده میشود. کـه ناشـی از بـه هم پیوسته شدن ذرات ناخالصی غیر فلزی در درون فلز در اثر عملیات نورد حبش شده اند میباشـد. در هنگـام جوشـکاری تـنش کشـشی اعمال شده توسط جوشکاری به ترکیدگی در این منطقه منجر میشود.



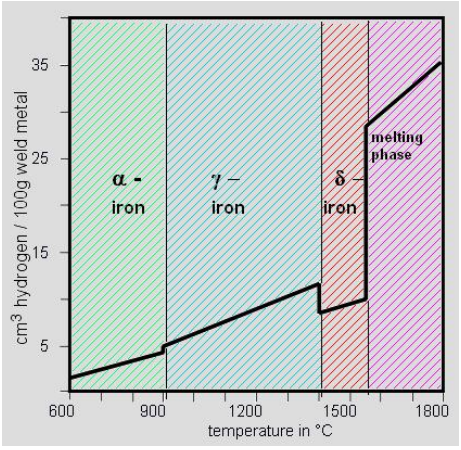


ترک گلویی (Throat Cracking)

ترکهای طولی و همجهت با محور جوش که در روی سطح آن هستند و در جوشهای گوشه ای رخ میدهد را گویند. ایـن ترکهـا اغلـب در دسته ترکهای گرم قرار میگیرند

ترک هیدروژنی (Hydrogen Induced Cracking)

به علت کوچکی اندازه اتمهای هیدروژن، این عنصر میتواند در فولاد به راحتی حل شده و هم در حالت جامد به شبکه اتمی آهن نفـوذ کـرده و از جایی به جای دیگر حرکت کند. حال اگر فلز جوش که به روش الکترود دستی بر روی فولاد رسوب داده شود ممکـن اسـت حـدود 30ml/100gr هیدروژن در مذاب فلز جوش حل شده باشد که همزمان با سرد شدن مذاب حلالیت گاز کم شده و مقـداری از هیـدروژن به صورت حباب های هیدروژن یا در اثر واکنش با عناصر دیگر نظیر اکسیژن – کربن و گوگرد به خارج رها میـشوند .ولـی بـه هلـت سـرد شدن فلز مذاب جوش مقداری از هیدروژن در فلز جوش محبوس میشود و در ادامه سرد شدن به " حد اشباع " میرسد. مقداری از اتمهـای هیدروژن به اطراف نفوذ کرده و حتی به سطح فلز آمده و آزاد میشوند .مقدار دیگر از آن به ساختار کریستالی یا شـبکه اتمـی فـولاد کـه دارای هیدروژن حل شده کمتری است و یا به هر فضای آزاد دیگر شامل حفـره هـای داخلـی (cavity)، حفـره هـای کوچـک اطـراف ذرات ناخالصیها (voids) ، یا مرز ناپیوسته ساختار کریستالی در داخل فلز متقی میشوند. واضح است که این نرخ نفـوذ بـا پـایین آمـدن حـرارت کاهش می یابد.



تغییرات حد حلالیت هیدروژن در فولاد با تغییر دما

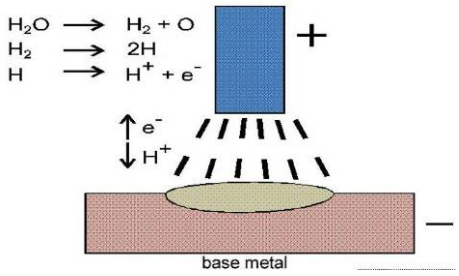
با توجه به توضیحات بالا ، میتوان گفت که میزان هیدروژن باقیمانده در فلز جوش به عوامل زیر بستگی دارد .

– واکنش هیدروژن با عناصر دیگر و ایجادترکیبات گازی

– نفوذ در حفره ها و ملکولی یا حباب شدن آنها

– داخل شدن به فضاهای خالی اطراف ذرات ناخالصی ها و احتمالا به صورت بخار در آمدن (احیاء اکسید)

– نفوذ کردن به سطح و آزاد شدن در هوا



منابع جذب هیدروژن

۱–رطوبت موجود در پوششها در روشهای مختلف

۲– باقی ماندن روانسازهای موجود بر روی الکترودها

۳– ترکیبات حاوی هیدروژن بر روی سطوح

۴– رطوبت در گاز محافظ، نشتی تورچ های دارای آبگرد

۵– رطوبت موجود در اتمسفر و محیط قوس

هیدروژن برای جذب در حوضچه مذاب ابتدا باید بصورت اتمی در آید زیرا هیدروژن ملکولی بزرگتر از آن است که بتواند به راحتی جذب و محلول در مذاب گردد. این عمل به راحتی به کمک انرژی قوس قابل انجام است. پس از این تبدیل، نفوذ و جابجایی هیدروژن در داخل شبکه فولاد به راحتی انجام پذیر خواهد بود. عمل جذب تا آنجا ادامه پیدا می کند که بین هیدروژن جذب شده در مذاب وهیدروژن موجود در قوس تعادل برقرار گردد.

زمانیکه بخارات آب با فولاد مذاب موجود در ستون قوس تماس برقرار می کند، بر اساس واکنش زیر بخار آب احیاء شده و به صورت هیدروژن در می آید:

$$Fe + H2O \quad FeO + 2H$$

– در روشهای با گاز خنثی رطوبت آنقدر کم است (1ml/100gr Fe) که هیدروژن جذب شده کوچکترین خطری را ایجاد نخواهد نمود، بنابراین اغلب در این فرآیندها اگر جذب هیدروژن اتفاق افتد، از آلودگیهای سطحی نشات گرفته است.

پس از جذب هیدروژن بصورت اتمی در داخل حوضچه مذاب در حین سرد شدن تا دمای محیط سه اتفاق می افتد:

۱– در حین سرد شدن مذاب تا قبل از انجماد به دلیل کاهش حد حلالیت، هیدروژن اضافی به سمت سطح آزاد مذاب حرکت کرده و خارج می شود. اگر سرعت انجماد بالاتر از سرعت خروج هیدروژن باشد، حجم قابل توجهی از هیدروژن در لابلای دندریتها و جبهه مذاب حبس شده که منجر به ایجاد تخلخل و حبابهای گازی در جوش می شود.

۲– قسمتی دیگر از هیدروژن پس از انجماد توسط نفوذ در حالت جامد و دمای بالا سعی در رساندن خود به سطح قطعه کار دارند. این عمل بیشتر در ۲۴ ساعت اول اتفاق می افتد اما بعد از گذشت سه هفته تکمیل می شود. حال اگر بعد از جوشکاری انرژی داده شود این مدت ممکن است به چند ساعت تقلیل یابد. به این هیدروژن، هیدروژن نفوذی یا Diffusible Hydroge گویند .

۳- مابقی هیدروژن به صورت محلول جامد بین نشین در کار باقی می ماند، که به آن Residual Hydrogen گویند. این هیدروژن فقط با بازپخت در دمای بین ۱۵۰ تا ۴۸۰ درجه سانتیگراد، از قطعه کار خارج خواهد شد.

مکانیزم تردی هیدروژنی

تئوری های مختلفی برای توجیه ترک سرد ناشی از هیدروژن یا همان تردی هیدروژنی ارائه شده است مهمترین تئوری های آن عبارتند از:

۱- تئوری فشار سطحی

۲- تئوری کاهش انرژی سطحی

۳- تئوری نفوذ تنش زای هیدروژن

تئوری فشار سطحی

بر اساس این نظریه هیدروژن در شبکه کریستالی فولاد حل می گردد ولی با گذشتن از حد حلالیت، هیدروژن با پناه بردن به فضاهای خالی از هر نوع و با هر اندازه سعی در فرار از شبکه دارد. از آنجا که به طور قطع ساختار فولاد دارای نارسایی هایی در مرز دانه ها، ترکهای میکروسکوپی و فضاهای خالی در اطراف ذرات ناخلصی می باشد، مقداری از این هیدروژن، علیرغم کوچک بودن ابعاد این گسستگی ها، جذب آنها می گردد و پس از جذب از حالت اتمی به حالت ملکولی تبدیل می گردد.

تئوری کاهش انرژی سطحی

این نظریه بیان می دارد هیدروژن پس از جدا شدن از شبکه، توسط سطوح نارسایی های داخلی شبکه و ترکهای میکروسکپی جذب می گردند. براساس این مکانیزم هیدروژن جذب شده پس از واکنش با سمانتیت تولید یک فیلم نازک از متان نموده که به شدت سبب کاهش انرژی سطحی می شود. ازاینجا می توان پیش بینی نمود در فولادهای پر کربن تر حجم این واکنش بیشتر خواهد بود.

$$CH4 + 3\,Fe \rightarrow Fe3C + 4H$$

پس از این اتفاق مقدار کم تنش هم قادر خواهد بود ترکهای موئینه میکروسکوپی را تا حد گسست گسترش دهد

تئوری نفوذ تنش زای هیدروژن

دو تئوری قبل، با وجود تشریح قابل قبول پدیده تردی هیدروژنی، اما پدیده ترک خوردگی تاخیری را که در بسیاری از جوشهای جاذب هیدروژن پس از مدت زمان طولانی اتفاق افتاده اند را نمی تواند توجیه نماید. همچنین این پدیده را که ساختار ترد شده توسط هیدروژن را پس از باز پخت می توان با تبدیل هیدروژن ملکولی به هیدروژن اتمی و نفوذ و متصاعد شدن آن به حالت عادی برگرداند را نمی توانند توجیه نمایند.

تئوری جدید که امروزه همه آن را پذیرفته اند با این فرض شروع می شود که هیدروژن در شبکه اتمی فولاد وجود دارد و لزومی هم ندارد که مقدار آن آنقدر بالا باشد که به حد فوق اشباع برسد، در حقیقت همان گونه که در عمل هم اثبات شده است مقدار خیلی کم هیدروژن هم می تواند در فولادهای استحکام بالا سبب شکست شود.

در اثر اعمال تنش فاصله بین اتمها اندکی افزایش یافته که برای جذب هیدروژن اتمی کافی است. اتمهای جذب شده با یکدیگر تشکیل ملکول داده و فشار داخلی در موضع تشکیل ملکول به شدت بالا می رود. مثلا جذب 1cc/100grFe می تواند فشارهای داخلی را تا Ksi

۲۰۰ بالا ببرد و این فشار داخلی به سهولت در ناحیه جذب تنشهای سه بعدی ایجاد نموده که نتیجه آن حساس شدن شدید ناحیه جذب به بروز ترک و شکستهای ترد می باشد.

بر اساس این نظریه شکنندگی وترک ناشی از هیدروژن در سه مرحله ایجاد می گردد:

۱- باروری و پیدایش

۲- رشد آرام

۳- رشد سریع وگسترش ترک در تمامی مناطق

در مرحله باروری و پیدایش ترک، هیدروژن تحت نیروی رانشی که ناشی از گرادیان تنشی است حرکت می کند. هیدروژن میل به حرکت ومتمرکز شدن در مناطقی را داراست که غلظت تنشهای سه بعدی در آن مناطق بالا بوده ودر نتیجه نیروی چسبندگی فلز درآن مناطق کم خواهد بود، از این رو هیدروژن به راحتی می تواند در آن مناطق نفوذ نموده و با اعمال تنش ناچیزی به شبکه در آن مناطق متمرکز شود. این پدیده در فولادهای استحکام بالا که تحت تنشهای شدیدی می باشند. در غلظتهای کمتر هیدروژن نیز قابل انجام می باشد.

با رسیدن مقدار هیدروژن در این مناطق به یک سطح بحرانی، پیدایش ترک آغاز می شود. این ترک بلافاصله شروع به رشد کرده و رشد آن تا خارج منطقه پر تنش ادامه می یابد. در این نقطه استحکام فلز به قدری است که سد راه حرکت ترک شده و رشد آن بصورت موقت متوقف می شود. در اثر توقف هیدروژن این مکان را مناسب برای تجمع می یابد که در نتیجه تمرکز آن بالا رفته سبب افزایش تنش موجود و فائق آمدن بر استحکام جسم و در نهایت ادامه رشد ترک می شود. پس از رسیدن اندازه ترک به ابعاد بحرانی، ترک به سرعت رشد نموده که باعث بروز شکست و گسیختگی ناگهانی در کار می گردد.

تردی هیدروژنی تابع عوامل زیر است:

۱- استحکام فولاد (تنشهای عملی)

مثلا در مورد فلزات با حدود استحکام کششی ۲۱۰۰ مگا پاسکال مقدار 1cc/100grFe هیدروژن هم خطرناک می باشد.

۲- درجه حرارت بین ۱۰۰- تا ۹۰ درجه سانتیگراد

در کمتر از این دما سرعت هیدروژن آنقدر کم است که نفوذ نمی کند تا انباشته شود و در بالاتر از این دما نیز هیدروژن به سطح قطعه کار نفوذ نموده و متصاعد می گردد.

۳- ضخامت جسم (زمان طولانی تر برای خروج هیدروژن)

۴- ناهمگنی در ترکیب شیمیایی(تجمع تنش در فصل مشترک مناطق ناهمگون)

۵- ناهمسانگردی در خواص مکانیکی

راهکار

ناحیه HAZ سخت شده به همراه حضور هیدروژن نفوذ کرده از ناحیه جوش

حساسیت با افزایش ضخامت بخصوص در فولادهای با کربن معادل بالا، ازدیاد میابد

میتواند در فلز جوش هم ایجاد گردد

افزایش حرارت جوش میتواند مفید باشد

گاهی پیشگرم الزامی است

کنترل رطوبت در مواد مصرفی و تمیزکاری ناحیه جوش بسیار موثر است

ترک بازگرمایشی (Reheat Cracking)

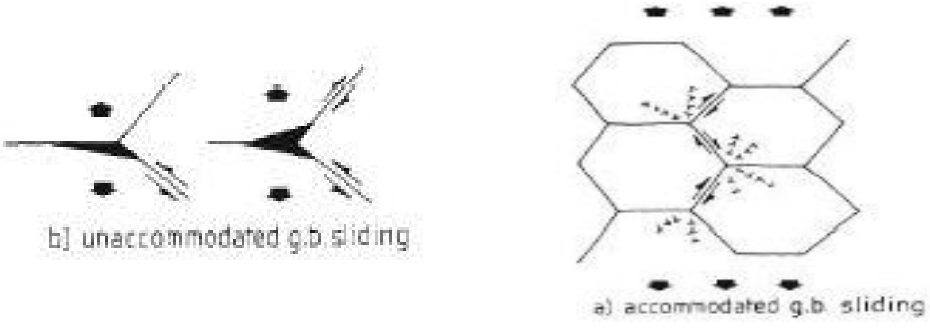
در فولادهای مقاوم به خزش و برخی مقاطع ضخیم فولادهای کم آلیاژ حین عملیات پسگرم ایجاد میشود. این نوع ترک جزء موارد نادر ترک خوردگی می باشد و فقط در منطقه HAZ برخی از فولادهای زنگ نزن آستنیتی و به ویژه فولادهای کم آلیاژ مقاوم به خزش (Cr-Mo) خصوصا آنانکه دارای عنصر وانادیوم، نایوبیوم ونیز ناخالصیهایی نظیر As, S,Cu,Sn, P و... می باشند، در طی عملیات پس گرمایی یا تنش گیری ایجاد می شود. این مشکل خصوصا زمانی که از روشهای جوشکاری با حرارت ورودی بالا استفاده شده باشد، زیاد اتفاق می افتد.

ساختار میکروسکوپی این فولادها معمولا مارتنزیت دانه ریز با مقدار زیادی رسوبات کاربیدی پایدار می باشد که منجر به بهبود خواص خزشی فولاد در درجه حرارتهای بالا می شود. در حین جوشکاری این گونه فولادها، رسوبات کاربیدی در قسمتی از HAZ که درجه حرارتش از $1200^{o}c$ تجاوز می کند، در فلز اصلی حل شده و باعث بالا رفتن غلظت عناصر آلیاژی در آن می شود. در این درجه حرارت رشد دانه نیز اتفاق می افتد.

در حین سرد شدن و به واسطه سرعت نسبتا بالای آن، این گونه کاربیدها فرصت رسوب مجدد را پیدا نکرده و عناصر آلیاژی مربوط همچنان در فلز پایه باقی می مانند. بالا بودن غلظت عناصر آلیاژی و نیز درشت بودن اندازه دانه ها در فلز پایه باعث بالا رفتن سختی پذیری منطقه HAZ می شود که نتیجه آن ایجاد ساختار مارتنزیتی در این منطقه می باشد.

زمانی که HAZ درشت دانه جهت تنش زدایی در دماهای بالا حرارت داده می شود، کاربیدهای ریز در نابجایی های موجود در درون دانه ها رسوب کرده وقبل از آنکه تنش گیری انجام شود در حرکت نابجاییها اختلال ایجاد شده که در نتیجه استحکام دانه ها به شدت بالا می رود.

با بالا رفتن استحکام دانه ها نسبت به مرز در حین آزاد شدن تنشها، به دلیل استحکام کمتر مرز دانه، شرایطی شبیه به شرایط خزشی ایجاد شده و در اثر اعمال تنش مرز دانه ها شروع به لغزش نموده که در نتیجه آن به دلیل ایجاد فاصله در مرز دانه ها حفرات بزرگی ایجاد می گردد که پس از اعمال تنش و رشد، تبدیل به ترکهای ریز شده و در ادامه با به هم پیوستن این ترکهای ریز ترکهای بزرگ ایجاد شده و به سرعت رشد می کنند.



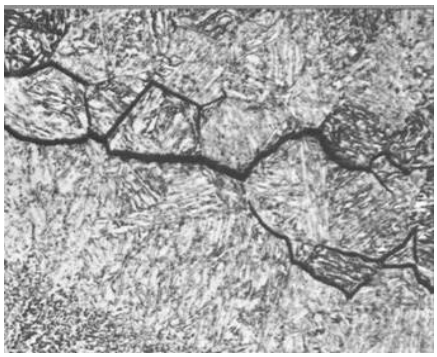
دلایل ایجاد:

داکتیلیتی کم ناشی از مکانیزم مقاومت به خزش در ناحیه HAZ به همراه تنشهای حرارتی

با حضور تنش افزاها مانند ترکها و شیارهای موجود در پنجه جوش و یا عدم ذوب ریشه بخصوص در جوشهای با نفوذ ناقص تشدید میشود

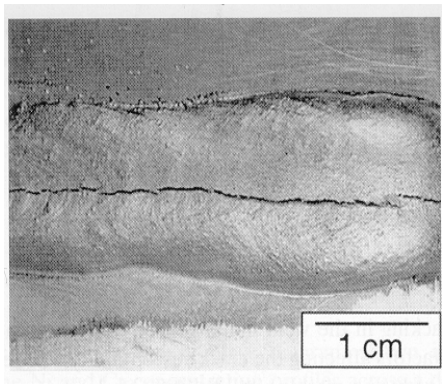
ممکن است نیاز باشد تا عملیات حرارتی شامل نگهداری در دماهای پایین باشد.

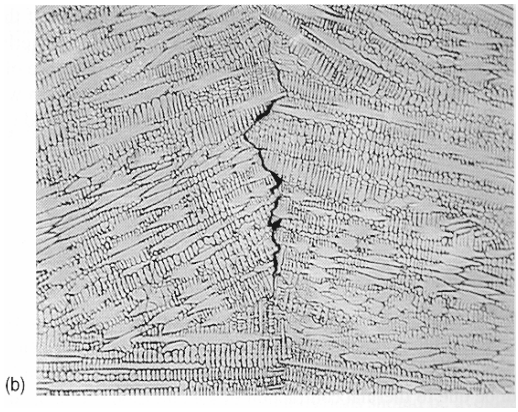
سنگ زنی یا چکش کاری پنجه های جوش پس از جوشکاری میتواند مفید باشد



ترک انجمادی (Solidification cracking)

در حین انجماد در گرده جوش ایجاد می شود. مکان تشکیل آن بیشتر در خط مرکزی جوش و در بین دندریتهای حاصل از انجماد می باشد





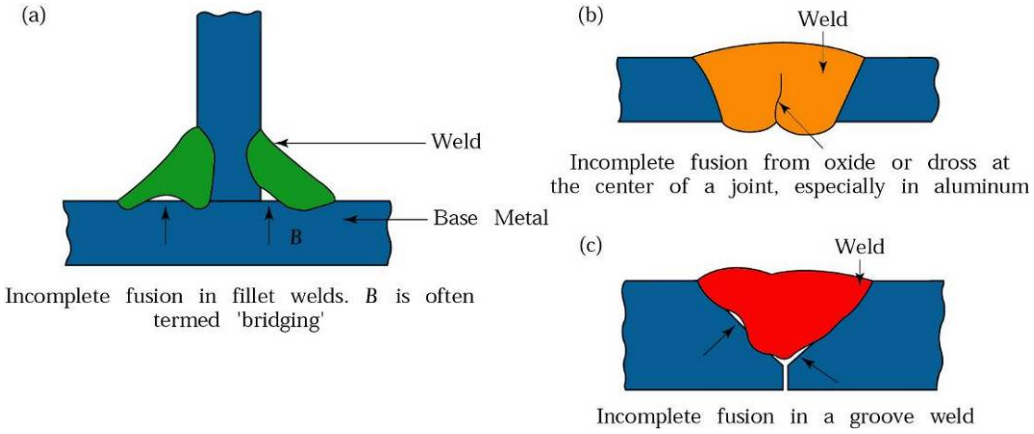
عیوب تکنولوژیکی جوش

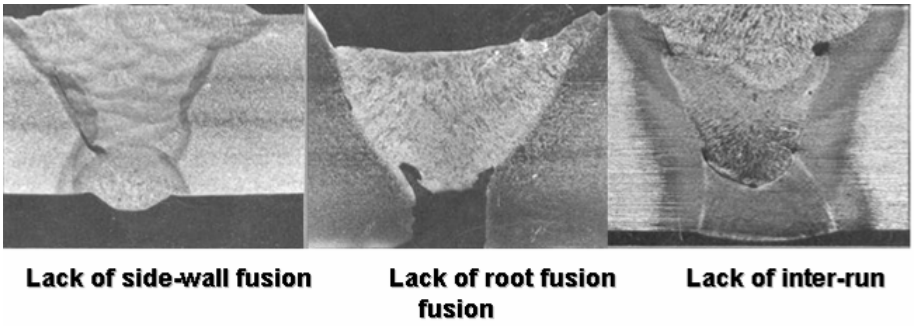
نقص ذوب (Lack of Fusion)

تعریف: ذوب ناقص عبارتست از یک ناپیوستگی که ذوب کامل بین لایه های جوش و یا فلز جوش و سطوح رخ نداده است

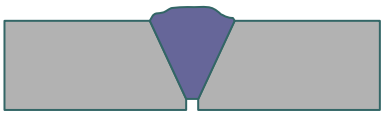
دلایل ایجاد:

حرارت ورودی کم (آمپر کم، سرعت حرکت بالا، قوس کوتاه)، کم بودن پیشگرم، کوچک بودن الکترود * پیشروی حوضچه مذاب جلـوتر از محل قوس * زاویه بد الکترود * تمیز نبودن سطح جوش (وجود لایه ها و پوسته های اکسیدی و سرباره)



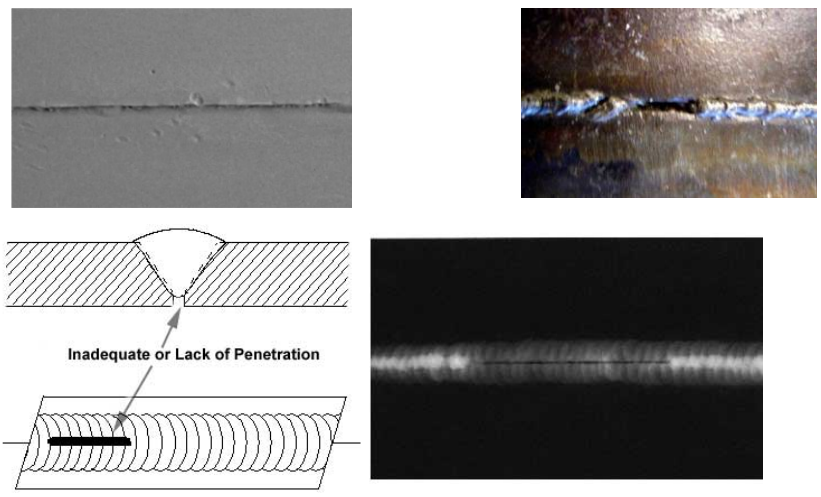


نقص نفوذ (Lack of Penetration): نفوذ ناقص عبارتست از عدم جاری شدن فلز جوش در کل ضخامت اتصال.



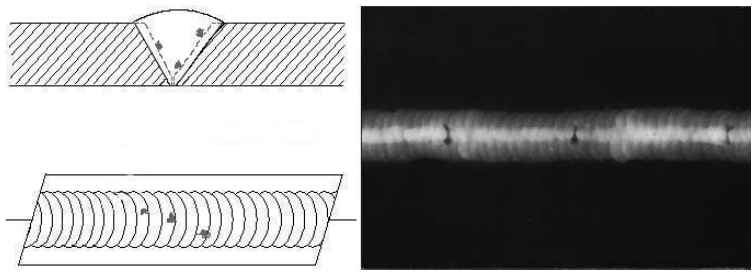
دلایل ایجاد:

حرارت ورودی کم (آمپر کم، سرعت حرکت بالا، قوس کوتاه)، کم بودن پیشگرم * بزرگ بودن قطرالکترود * زاویه بـد الکتـرود * قطییـت اشتباه * جوشکاری در موقعیت سرازیر * لبه سازی نامناسب (سطح ریشه زیاد، فاصله زیاد ریشه و یا سنگ زنی نامناسب پشت ریشه)



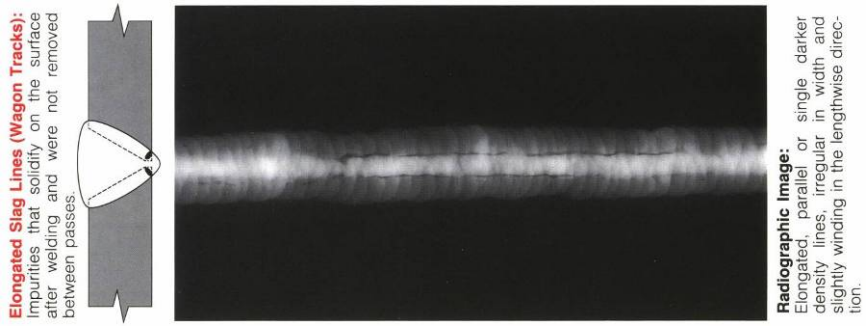
ناخالصی جامد (Solid Inclusions): حبس ذرات جامد خارجی نظیر سرباره، تنگستن، فلاکس و اکسید در فلز جوش میباشد . این عیب معمولا بروش پرتونگاری تشخیص داده میشود.

دلایل ایجاد: آمپر کم * حضور پوسته های اکسیدی در سطح جوش * تمیزکاری نا مناسب سرباره* تکنیک جوشکاری نامناسب* جوشکاری در ناحیه ای تنگ* سرعت کم جوشکاری در موقعیت سرازیر*



ناخالصی سرباره خطی (Linear Slag Inclusions)-wagon truck

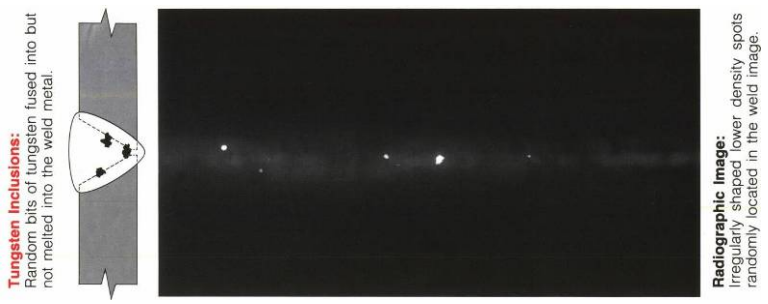
عدم تمیزکاری کامل سرباره در جوشهای چند پاسه که اغلب با حضور سوختگی کنار جوش و سطح نا منظم جوش در پاسهای زیرین همراه است



ناخالصی تنگستن (Tungsten Inclusions): عبارت است از شکسته شدن نوک الکترود تنگستنی در روش جوشکاری tig و حبس شدن آن در فلز جوش

دلایل:

برخورد سیم جوش با نوک داغ الکترود تنگستن * آلوده شدن نوک الکترود بوسیله جرقه یا پاشش * بیرون بودن بیش از حد الکترود از کلت و داغ شدن آن *تماس نا مناسب کلت با الکترود به دلیل گشاد بودن * دبی ناکافی گاز یا وزش باد و اکسید شدن الکترود* استفاده از گاز محافظ نامناسب * نامرغوب بودن (ترک دار بودن) الکترود * استفاده از شدت جریان بیش از اندازه * سنگ زنی نامناسب الکترود * استفاده از الکترود خیلی نازک *



حفرات گازی (Porosity): یک ناپیوستگی حفره ای شکل میباشد که در اثر تجمع گاز در حین انجماد بوجود آمده است.

روش تشخیص:

سطحی: بازرسی چشمی

عمقی: آزمون فراصوتی و پرتونگاری

دلایل ایجاد:

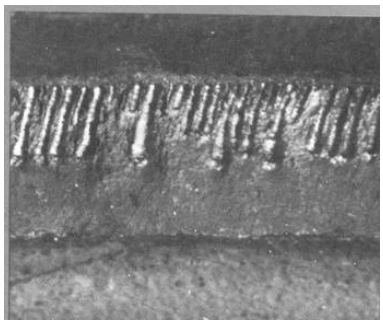
الکترود مرطوب یا اکسید شده * آلودگی سطح جوش به گریس/مواد هیدروکربنی، آب * ورود هوا بـه درون گـاز محـافظ * کـافی نبـودن مقدار اکسید زدا در مواد مصرفی یا فلز پایه * ولتاژ یا طول قوس بیش از حد * تصاعد گاز از لایه های آستری/رنگ و یا مـواد اسـتفاده شـده برای آماده سازی سطحی

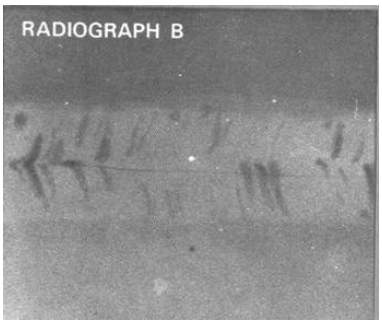
حفرات کرمی شکل (Worm Holes): این حفرات ناشی از حبس شدن گاز بین دانه های(Denderit) در حال انجماد فلز جـوش بـوده و اغلب شبیه استخوان ماهی دیده میشوند.

دلایل ایجاد:

– در اثر ایجاد گاز از آلودگی های سطحی موجود در سطح جوشکاری

– جلوگیری از خروج گازها از جوش توسط شیارهای موجود در لبه سازی





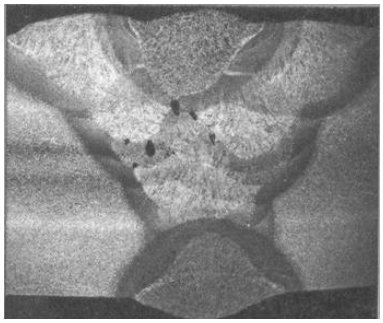
حفرات گازی پراکنده منظم(Uniformly Distributed Porosity)

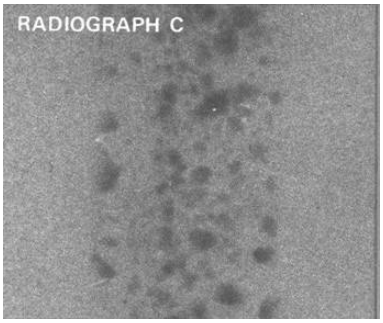
ناشی از حبس گاز در فلز جوش منجمد شده

دلایل ایجاد:

گاز میتواند در اثر رطوبت یا چربی روی مواد مصرفی یا قطعه کار و یا نیتروژن اتمسفر تولید شود.

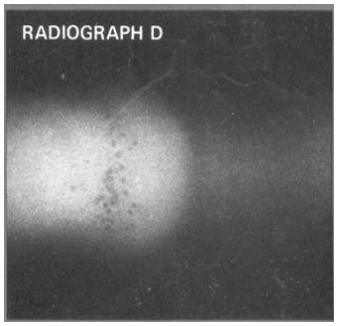
درصورت کافی نبودن اکسیدزدا در مواد مصرفی، مونوکسید کربن نیز میتواند باعث ایجاد حفرات گازی شود.





حفرات شروع مجدد (Restart Porosity)

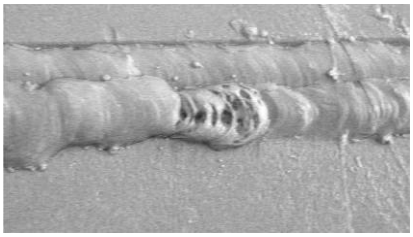
قوس ناپایدار در شروع جوشکاری، جاییکه احتمال کامل نبودن محافظت از حوضچه جوش وجود دارد و گرادیان حرارتی زمان کافی بـرای متعادل شدن ندارد به همراه تکنیک نامناسب

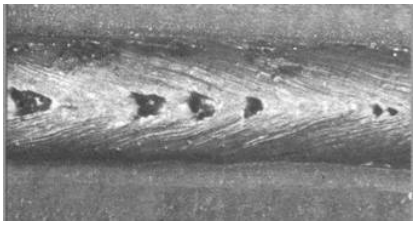


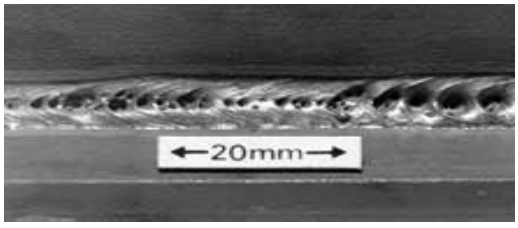
حفرات سطحی (Surface Porosity)

دلایل ایجاد:

آلودگی زیاد به چربی، رطوبت یا ورود هوا * حضور گوگرد زیاد در مواد مصرفی یا فلز پایه

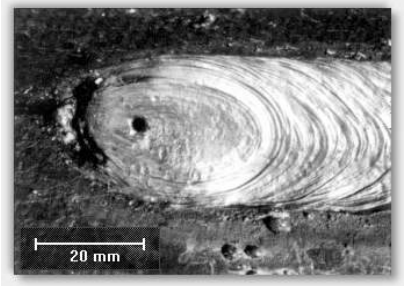




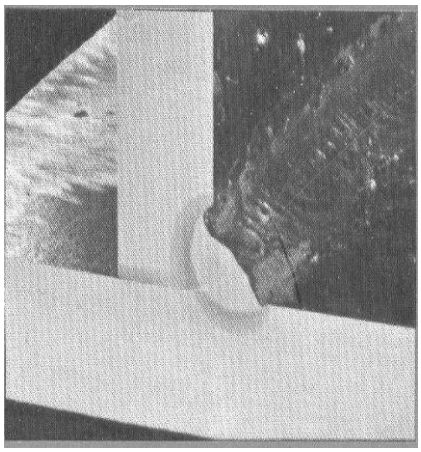


حفره چاله انتهای جوش (Crater Pipes): ناشی از انقباض در چاله انتهای جوش است

دلایل ایجاد: تکنیک جوشکاری نامناسب * آمپر بسیار بالا



سوختگی کنار جوش (Undercut): سوختگی کنار جوش شیاری است روی فلز پایه دقیقا در مجاورت فلز جوش در اثر ذوب و شسته شدن لبه فلز حین جوشکاری

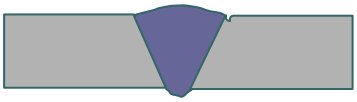


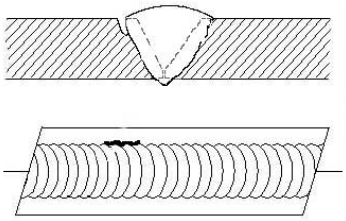
دلایل ایجاد:

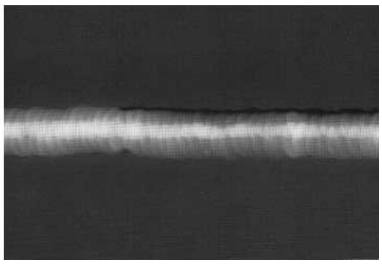
- آمپر بالا یا سرعت حرکت زیاد
- جوش نبشی با ولتاژ بالا و ساق بیش از ۹ میلیمتر
- حرکت موجی بیش از حد الکترود
- زاویه بد الکترود
- گاز محافظ نامناسب

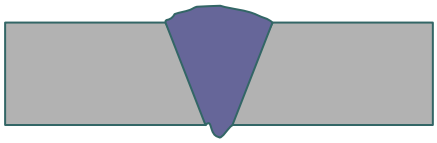
سوختگی کنار گرده جوش (Cap Undercut)

دلایل ایجاد: آمپر بیش از حد * سرعت بالای جوشکاری * زاویه بد الکترود * حرکت موجی بیش از حد الکترود * قطر الکترود بالا



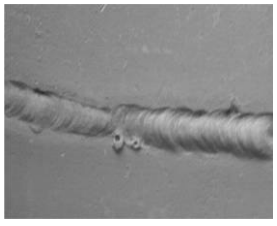


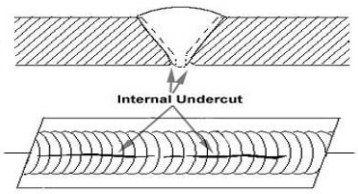


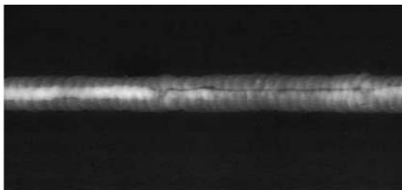


سوختگی کنار ریشه جوش (Root undercut)

دلایل ایجاد: فاصله ریشه زیاد * انرژی قوس زیاد * سطح ریشه کم



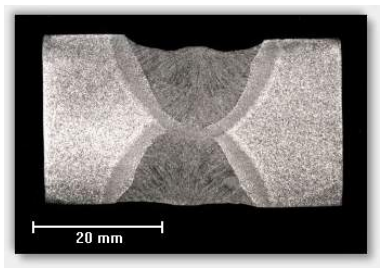


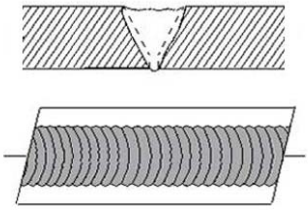


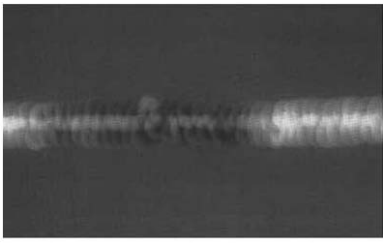
عدم پرشدگی شیار (Underfill): این ناپیوستگی سطحی در اثر کمبود رسوب فلز جوش در مقطع یک جوش شیاری رخ میدهد.

دلایل ایجاد:

کمبود فلز جوش * لبه سازی نامنظم * تکنیک اشتباه *تغییر سرعت جوشکاری



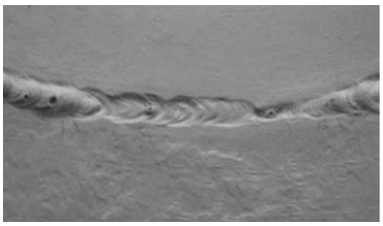


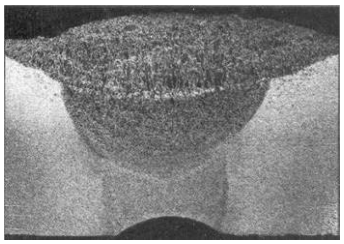


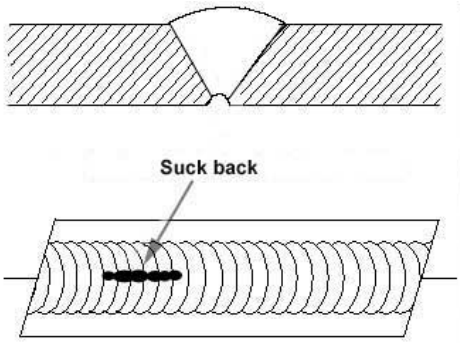
تقعر ریشه (Internal Concavity or Suck-Back)

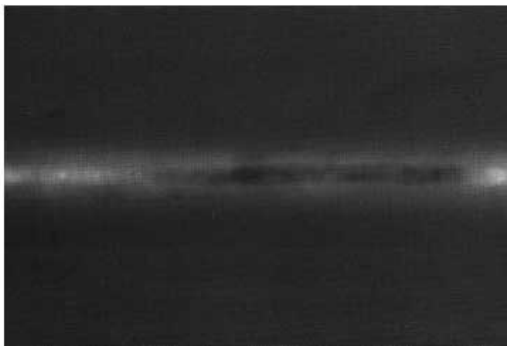
دلایل ایجاد:

کافی نبودن انرژی قوس برای تولید بستر جوش مثبت* بالا بودن فشار گاز پشت ریشه * لبه سازی نامناسب(فاصله ریشه زیاد) * عدم مهارت جوشکار * سیلان سرباره پشت ریشه * اعمال حرارت زیاد و یا ذوب ریشه حین پاس دوم *



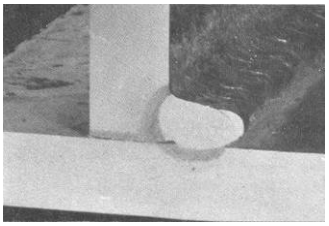






سررفتگی (Overlap): عبارتست از جاری شدن فلز جوش روی فلز پایه، بدون ذوب نمودن کامل آن.

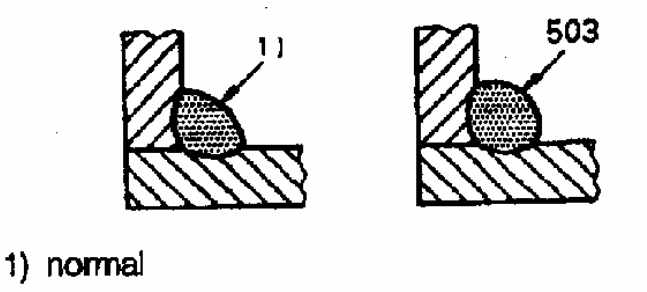
دلایل ایجاد : تکنیک اشتباه (زاویه الکترود و سرعت حرکت) * سرد بودن شرایط جوشکاری (آمپر و ولتاژ کم) * انرژی بالای /سرعت حرکت کم در جوش نبشی * موقعیت نامناسب جوشکاری * سیلان بیش از حد فلز جوش



تحدب جوش (Convexity): عبارتست از مقدار فلز جوش اضافی روی سطح یک جوش نبشی

دلایل ایجاد:

سرعت جوشکاری خیلی کم * حرارت ورودی کم * حرکت نامناسب الکترود



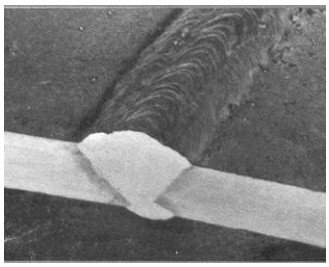
گرده جوش اضافی (Excessive Reinforcement): گرده جوش اضافی عبارتست از فلز جوش رسوب داده شده اضافه بر مقدار مورد نیاز جهت پر کردن اتصال

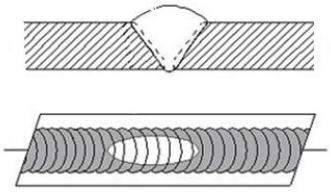
دلایل ایجاد:

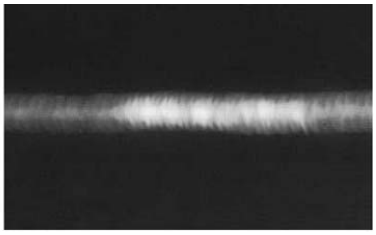
رسوب بیش از حد فلز جوش که اغلب با لبه سازی نامناسب همراه است

نامناسب بودن پارامترهای جوشکاری (آمپر خیلی پایین یا سرعت جوش کم)

بالا بودن قطر الکترود نسبت به شیار جوشکاری



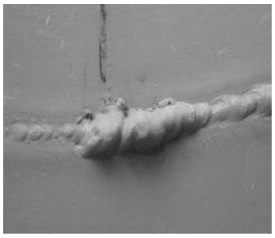




شره کردن (Sagging): عبارتست از سیلان و سرازیر شدن فلز جوش.

دلایل ایجاد:

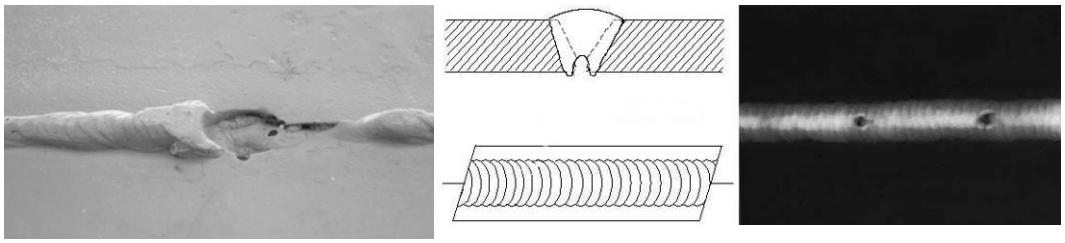
تکنیک اشتباه (سرعت حرکت) * گرم بودن شرایط جوشکاری (آمپر و ولتاژ بالا) * موقعیت نامناسب جوشکاری * سیلان بیش از حد فلز جوش



سوختگی جوش (Burn Through) عبارتست از ذوب شدن فلز پایه و ایجاد یک حفره. این حفره میتواند پر شود یا خالی باقی بماند

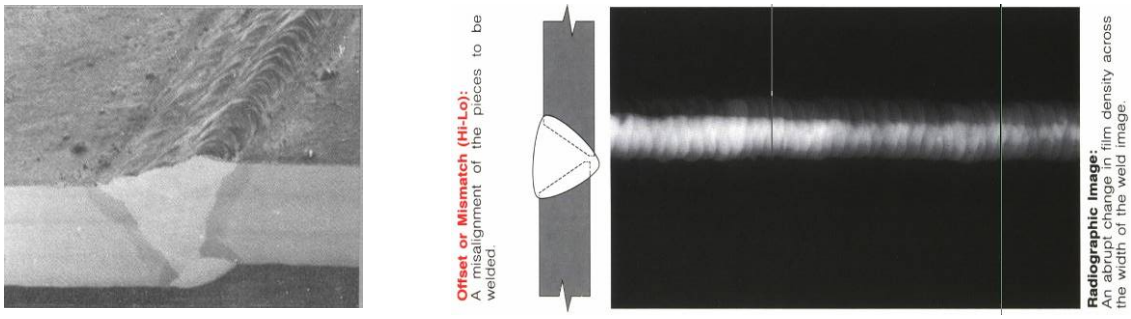
دلایل ایجاد:

حرارت ورودی بیش از حد * نامناسب بودن تکنیک جوشکاری * سنگ زدن بیش از حد ریشه



ناهمترازی (Linear Misalignment)

دلایل ایجاد: سرهم بندی نامناسب * پیچیدگی حین اجرا



لکه قوس (Arc Strike)

لکه قوس در اثر روشن کردن قوس روی سطح فلز پایه، خارج از درز اتصال بوجود می آید.

دلایل ایجاد:

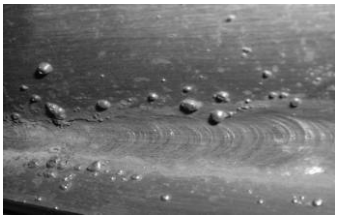
برخورد تصادفی الکترود یا تورچ با فلز پایه * مناسب نبودن عایق گیره الکترود * مناسب نبودن کلمپ کابل برگشت جوشکاری

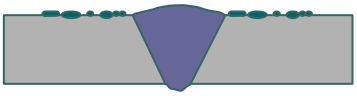
جرقه جوش (Spatter)

جرقه عبارتست از ذرات فلزی که در حین جوشکاری ذوبی به اطراف پرتاب شده و به عنوان بخشی از فلز جوش محسوب نمیشوند.

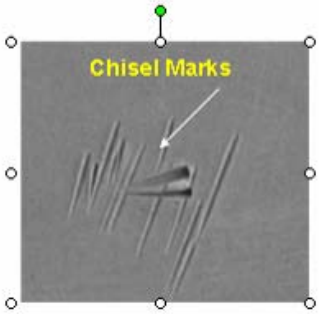
دلایل ایجاد:

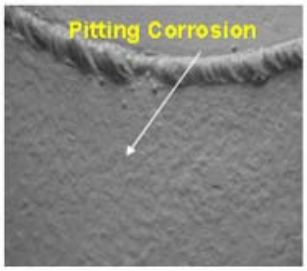
پارامترهای نامناسب جوشکاری (انرژی قوس زیاد) ❊ وزش قوس ❊ آلوده بودن مواد مصرفی یا ناحیه اتصال ❊

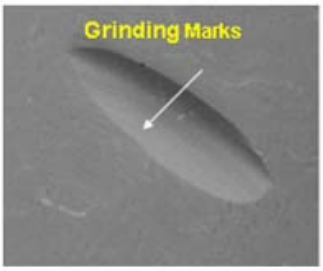




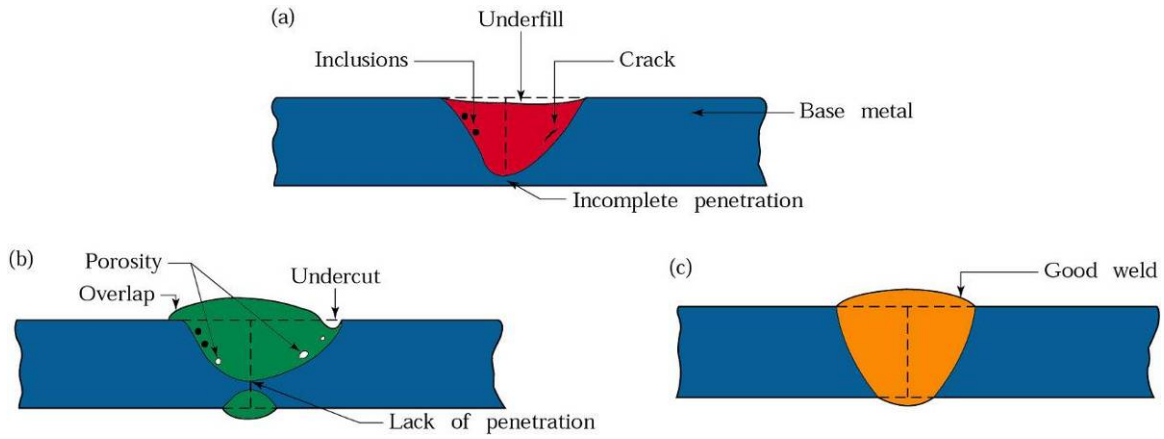
عیوب مکانیکی (Mechanical Damage)



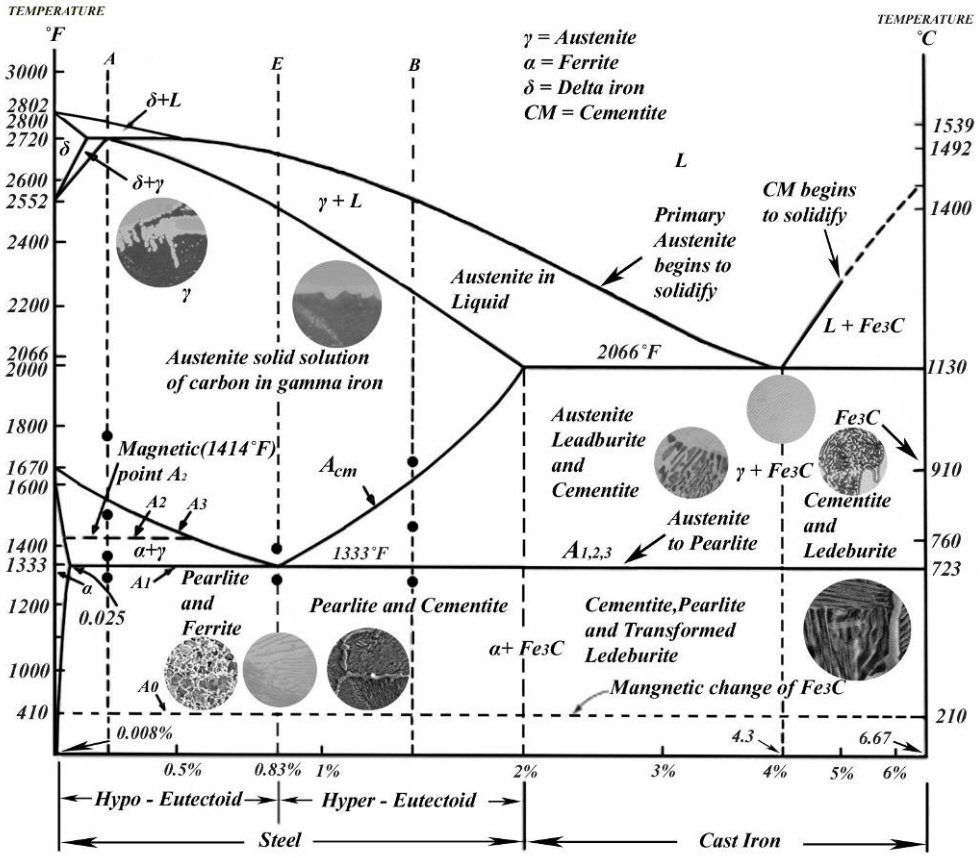




A – Good Weld: Proper Current, Travel Speed and Arc Length
B – Current too low: Ropey, convex bead appearance
C – Current too High: Excess spatter and possible burn-through of base materials
D – Arc Length too short: Poor wet-in at toes, electrode can ‘short’ to base material
E – Arc Length too Long: Excess spatter, undercut and porosity
F – Travel Speed too slow: Wide weld with excess metal deposit
G – Travel Speed too high: Ropey and convex bead



ساختارها و استحاله های موجود در فولادها



فریت: فریت محلول جامد بین نشین کربن در آهن آلفا با شبکه بلوری BCC است . میزان انحلال کربن در فریت بسیار کمتر از آستنیت بوده و بیشترین قابلیت انحلال کربن در آهن آلفا برابر ۰,۰۲۵ درصد وزنی در دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد است . که در درجه حرارت صفر درجه سانتیگراد به ۰,۰۰۲۵ درصد میرسد . فریت دارای استحکام پایینی بوده و خواص آن بطور کلی عبارتند از : چکش خواری و چقرمگی شکست خوب ، مقاوم به سایش کم ، استحکام کم ، ضریب هدایت گرمایی نسبتا خوب و ماشینکاری خوب میباشد .

آستنیت: محلول جامد بین نشینی کربن در آهن fcc میباشد. در نمودار آهن کربن منطقه وسیع آهن گاما نسبت به آهن آلفا نمایانگر حلالیت بیشتر کربن در آهن گاما میباشد . پایداری این فاز در دماهای بالا بوده و در دماهای پایین ناپایدار میگردد و به فریت و پرلیت تجزیه میشود .حضور مقادیر مشخص از عناصر نیکل و منگنز در آلیاژهای آهن و کربن موجب پایداری فاز آستنیت تا دمای محیط میشود . از این آلیاژ ها میتوان در کاربردهای مقاوم در برابر خوردگی و اکسید شوندگی در دماهای بالا استفاده نمود . میزان حداکثر حلالیت کربن در دمای ۱۱۳۰ به مقدار ۲ درصد میباشد .لازم به ذکر است حلالیت زیاد کربن در آهن گاما در عملیات حرارتی بسیار اهمیت دارد و مورد توجه است .

فریت دلتا : محلول جامد کربن درآهن دلتا میباشد.

* تحول پری تکتیک : تحول پریتکتیک تحولی است که در درجه حرارت ثابت یک مذاب و یک جامد به جامد دیگر تبدیل میشوند . در این تحول در دمای ۱۴۹۸ درجه سانتیگراد و غلظت کربن ۰,۱۸ درصد ، مذاب به همراه ذرات جامد شده کریستالهای فریت دلتا تبدیل آستنیت میگردند

$$\delta \longrightarrow L+\gamma$$ تحول پری تکتیک

* تحول یوتکتوئید: تحول یوتکتوئید عبارت است از دگرگونی که در آن یک فاز جامد به دو فاز جامد جدید بصورت همزمان تبدیل شود . در دیاگرام تعادلی آهن کربن در دمای ۷۲۷ درجه سانتیگراد و با درصد کربن ۰,۷۷ تحول یوتکتوئید صورت میگیرد و فاز آستنیت به دو فاز سمانتیت و فریت تبدیل میگردد که به آن ساختار پرلیتی گویند

$$\gamma \longrightarrow \alpha + cem$$

ساختارها :

پرلیت : محصول تحول یوتکتوئید ساختاری است که از لایه های دو فاز فریت و سمنتیت تشکیل شده است . این ساختار به پرلیت موسوم است . علت نامگذاری آن به خاطر شکل صدفی آن است . این شکل حاصل از لایه های متناوب فازهای فریت و سمانتیت میباشد . پرلیت تا حدودی سخت بوده و از چقرمگی کمتری نسبت به فریت برخوردار است . بطور کلی خواص مکانیکی پرلیت متاثر از فاصله لایه های فریت سمانتیت است . که این خود وابسته به سرعت سرد شدن از دمای آستنیت تا دمای محیط است . پرلیت دارای خواص ماشینکاری خوب و خواص هدایت حرارتی کم میباشد .

بینیت: این فاز به یادبود E.C. Bain شیمیدان آمریکایی نامگذاری شده است.

در فولادها این ساختار شکل ساختارهای سوزنی (بشقابی) با ظاهری پر مانند را داراست. تحقیقات X ray نشان داد که بینیت شامل فریت و کاربید فلزی است.

مارتنزیت : اگر آستنیت به قدری سریع سرد شود که هیچ یک از استحاله‌های بر پایهٔ نفوذ در آن اتفاق نیافتد و فوق سرمایش تا حدی ادامه یابد که ساختار fcc پایدار نباشد، این ساختار بصورت برشی (جابجایی همزمان تعداد زیادی از اتمها) به bct تبدیل می‌شود که از کربن فوق اشباع شده است. فاز حاصل را مارتنزیت می‌نامند

منطقه متاثر از حرارت : Heat Affected Zone: بر طبق تعریف ، منطقه مجاور حوضچه جوش را ، که تحت تاثیر مستقیم و غیر مستقیم حرارت ناشی از جوشکاری " حوضچه " قرار دارد ، منطقه حرارت دیده یا منطقه HAZ گویند . در این ناحیه بر اثر گرم و سرد کردن سریع ، فقط ساختار فلز تغییر کرده و ترکیب شیمیایی آن بدون تغییر باقی خواهد ماند .

ساختار ناحیه HAZ:

ناحیه ۱ : مخلوطی از فلز جوش که قبلا مذاب بوده و پس از سرد شدن شامل دانه های دندریتی شده و شامل ساختار فریتی و یا آستنیتی است

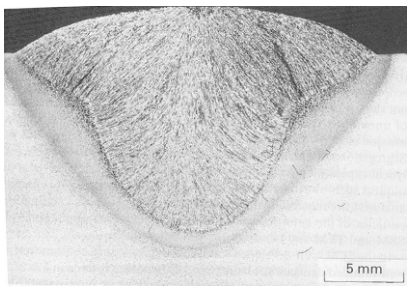
ناحیه ۲ : نوار باریکی از فلز پایه با دانه های ریز شده ناشی از گرم شدن تا بیش از ۹۱۰ درجه سانتیگراد که وارد منطقه آستنیت شده و سرد شدن تا دمای محیط ، که در آن ساختار آستنیتی و یا مارتنزیتی ایجاد نموده است . در این منطقه که در اثر حرارت زیاد فلز درشت دانه شده است ، در صورتی که فلز قابلیت تولید فاز مارتنزیت را داشته باشد ، از آنجایی که با درشت تر شدن دانه ، قابلیت سختی پذیری افزایش می یابد ، در منیجه این منطقه برای تولید فاز مارتنزیت مستعد میشود . در نتیجه ممکن است این منطقه حین سرد شدن در اثر تولید فاز مارتنزیت ترک بردارد .

ناحیه ۳: منطقه بزرگی از فلز پایه که تحت تبلور مجدد قرار گرفته و دانه درشت شده است

ناحیه ۴: منطقه بزرگی از دانه های بسیار ریز و ظریف (به دلیل گرم شدن تا دمای ۷۲۳ به صورت کوتاه مدت و سرد شدن سریع) ریز دانه شده است (عملیات حرارتی نرماله کردن)

ناحیه ۵: مخلوطی از دانه های منطقه ۵ و فلز اصلی میباشد

ناحیه ۶: دانه های فلز پایه بدون تغییر میباشند .



به هر حال ، منطقه HAZ معمولا ضعیف ترین منطقه جوش است . زیرا خواص مطلوبی که به وسیله گرمکاری یا سرد کاری بهبود یافته ، از بین میروند . در نتیجه برای عمق منطقه حرارت دیده باید مراحلی را طی نمود . یک مرحله شامل استفاده از انرژی ورودی (heat input) کم و متمرکزاست . در این حالت ، به دلیل تمرکز حرارتی زیاد ، از توزیع آن جلوگیری و ابعاد منطقه HAZ به حداقل میرسد . انرژی ورودی برای جوشکاری قوس الکتریکی به صورت زیر محاسبه میشود .

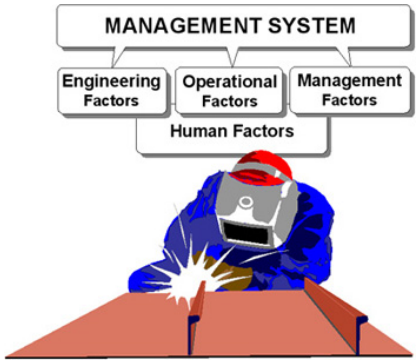
$$\text{Calculate according to } Q = \frac{U*I}{v*1000} * \eta \qquad \text{kJ/mm}$$

U= Arc voltage (volt)
I = Welding current (Ampere)
v = Welding speed (mm/min)
η= Coefficient of welding process

MMA η=0,8
MIG/MAG η= 0,8
SAW η= 1,0
TIG η= 0,6

According to EN 1011-1 1998

پیچیدگی در جوش و نحوه رفع آن :



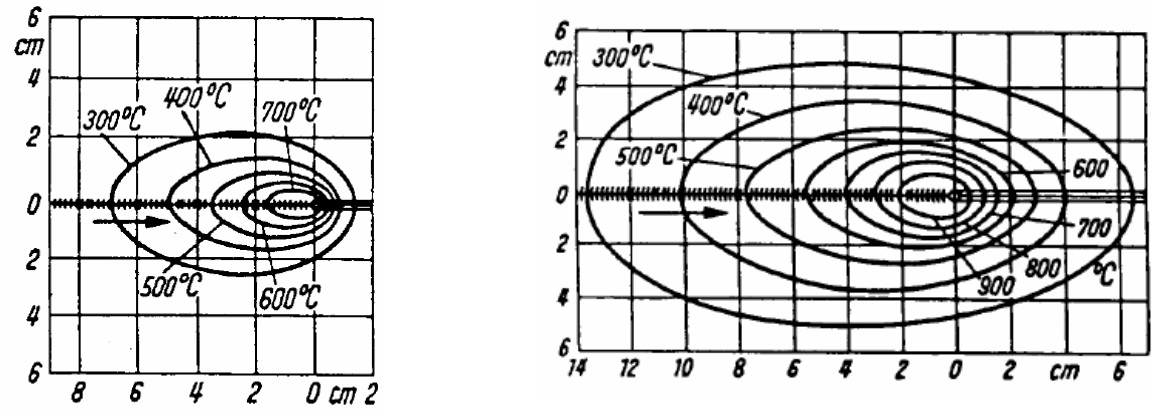
یکی از مسایل مهمی که باید توسط طراح ، مورد توجه قرار گیرد ، پیچیدگی و تغییرات ابعاد اجـزای جـوش داده شـده پس از عملیات جوشکاری میباشد .

اصولا دو روش کلی وجود دارد که میتوان قطعه جوشکاری شده را بدون پیچیدگی و تغییرات ابعاد تولید کرد .

الف : در طراحی و ساخت آنچنان تدابیری اتخاذ شود تا قطعه بدون پیچیدگی و تغییرات ابعاد تولید گردد .

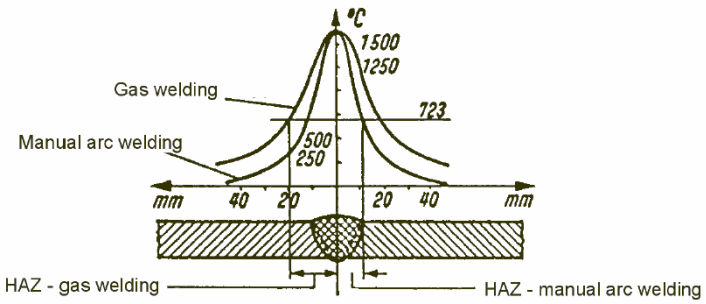
ب : اندازه و ابعاد را کمی بزرگتر انتخاب کرده و اجازه داده شود تا قطعه هرچه که میخواهد در اثر جوشـکاری تغییـرات ابعاد دهد و درآن پیچیدگی ایجاد شود . پس از خاتمه جوشکاری ، عملیاتی خـاص نظیـر ماشـینکاری ، حـرارت دادن موضعی و یا پرسکاری برای برطرف کردن تاب برداشتن و تصحیح ابعاد انجام میگیرد .

کلا در عملیات جوشکاری بعلت اینکه تمامی فلز دارای شرایط یکسان از نظر سرعت سرد و گرم شدن ، دما ، ضخامت و ... یکسان نمیباشد ، در طی سیکل گرم و سرد شدن باعث انقباض در فلز پایه و جوش میشود که این انقباض باعث اعوجاج در قطعه میگردد. در شکل ** قرار گرفتن قسمتهای مختلف قطعه در دماهای گوناگون در حین جوشکاری نشان داده شده است .

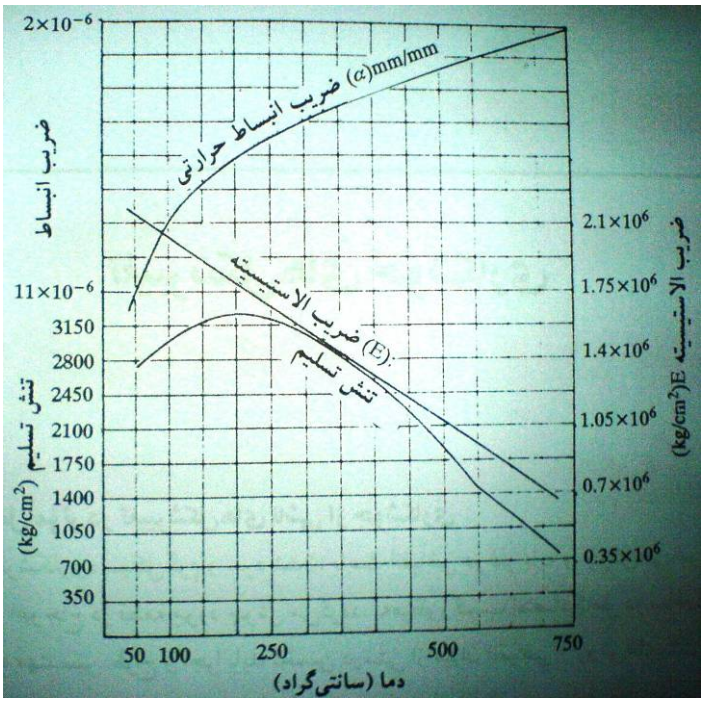


a) Gas welding

b) Manual arc welding



به دلیل اختلافات شدید حرارتی در قطعه ، توزیع خواص غیر یکنواختی در قطعات بوجود می آید



وقتی که یک قطعه فولادی از دمای اتاق تا منطقه آستنیت گرم شده و یا از درجه حرارتی در ناحیه آستنیت تا دمای اتـاق سرد میشود، دو نوع تغییرات ابعاد در آن بوجود می آید:

– انبساط و انقباض حرارتی ناشی از گرم و سرد شدن قطعه

– انقباض و انبساط استحاله ای ناشی از تشکیل و تجزیه آستنیت در قطعه

انقباض حرارتی ناشی از سرد شدن قطعه حین جوشکاری شامل قسمتهای زیر است

– انقباض ناشی از سرد شدن مذاب

– انقباض ناشی از انجماد مذاب

– انقباض ناشی از سرد شدن قطعه جامد

انواع انقباض و انبساط:

– انقباض و انبساط خطی *– انقباض و انبساط سطحی – –انقباض و انبساط حجمی

الف) انبساط طولی جامدها: افزایش دما باعث افزایش طول جامدها می شود. انبساط طولی اجسام مختلف با هم متفاوت است و برای نشان دادن این تفاوت از کمیت ضریب انبساط طولی اسـتفاده مـی شـود. ضـریب انبـساط طولی (آلفا) عبارتست از افزایش طول واحد طول از یک جسم جامد وقتی که دمای آن یـک درجـه کلـوین (یـا سانتی گراد) بالا رود.

یکای ضریب انبساط طولی 1/K یا 1/C می باشد.

اگر جسمی به طول L به اندازه ΔT گرم شود، مقدار افزایش طول آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$l_1 = l_0 (1 - \alpha \Delta \theta) = l_0 - l_0 \alpha \Delta \theta$$

ب) انبساط سطحی جامدها: افزایش دما باعث افزایش سطح جامدها نیز می شود. ضریب انبساط سطحی (α_2) عبارت است از افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد وقتی که دمای آن یک درجه کلوین (یا سانتی گراد) بالا رود و مقدار آن حدود ۲ برابر ضریب انبساط طولی می باشد.)

یکای ضریب انبساط سطحی نیز $1/K$ یا $1/C$ می باشد.

اگر جسمی به مساحت A_1 به اندازه ΔT گرم شود، مقدار افزایش سطح آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta A = 2\ \alpha\ A_1 \Delta\ T$$

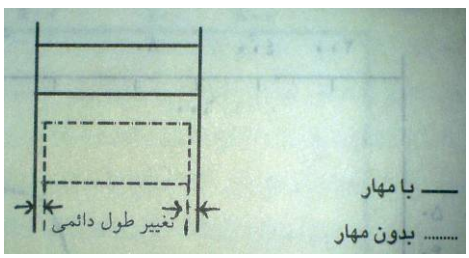
ج) انبساط حجمی جامدها: برای انبساط حجمی هم ضریب انبساط حجمی را تعریف می کنیم. ضریب انبساط حجمی (α_3 آلفا) عبارت است از افزایش حجیم واحد حجیم ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین ضریب انبساط حجمی را معمولاً با بتا نمایش می دهند و مقدار آن حدوداً سه برابر ضریب انبساط طولی است (β بتا= α_3)

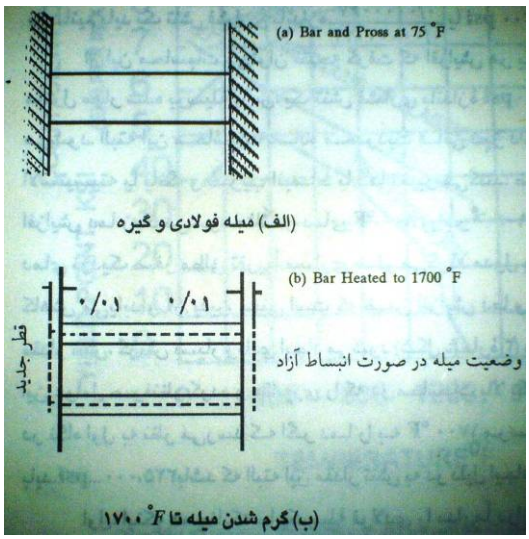
$$\Delta V = \beta V\ \Delta T$$

ضریب انبساط در مواد مختلف متفاوت است . برای درک بهتر قضیه به مثالهای زیر توجه کنید

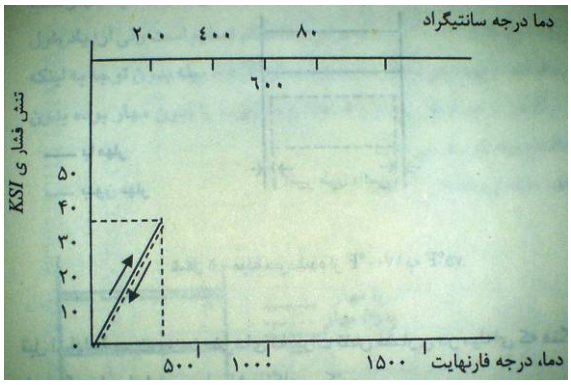
ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$
آلومینیوم	۲۳×۱۰^{-۶}
آجر	۹×۱۰^{-۶}
مس	۱۷×۱۰^{-۶}
الماس	تقریباً صفر
بتون	۱۲×۱۰^{-۶}
آهن	۱۲×۱۰^{-۶}
کوارتز	$۰/۴ \times ۱۰^{-۶}$
روی	۳۱×۱۰^{-۶}
برنج	۱۹×۱۰^{-۶}

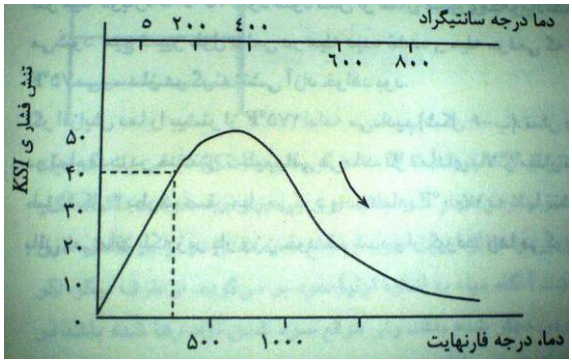
مثال میله فولادی :



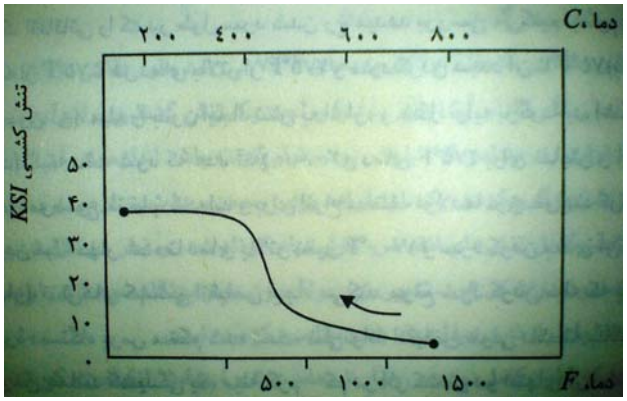


تنش فشاری که در اثر گرم کردن تا دمای 135°C زیر مهار ایجاد شده بود در طول سرد کـردن بعـدی بکلـی از بـین میرود

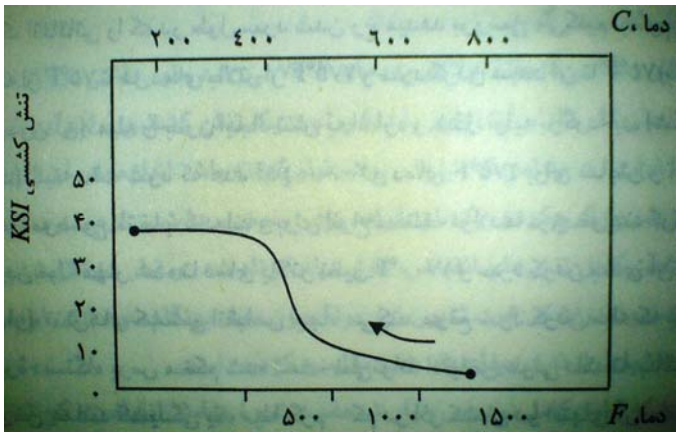




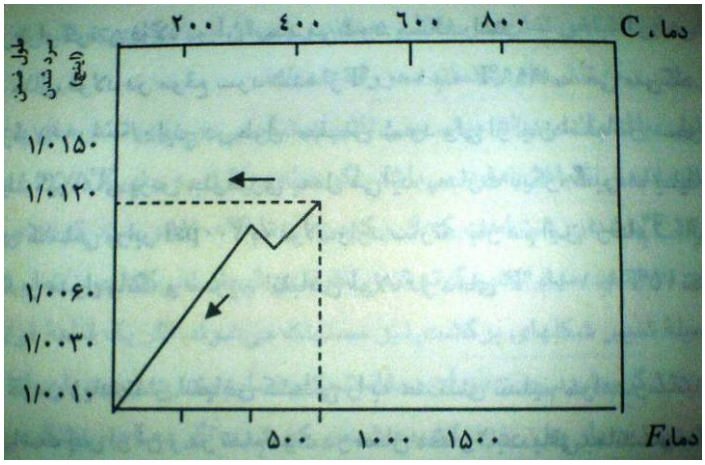
تغییر در تنش فشاری در میله مهار شده موقع گرم شدن تا 927°C



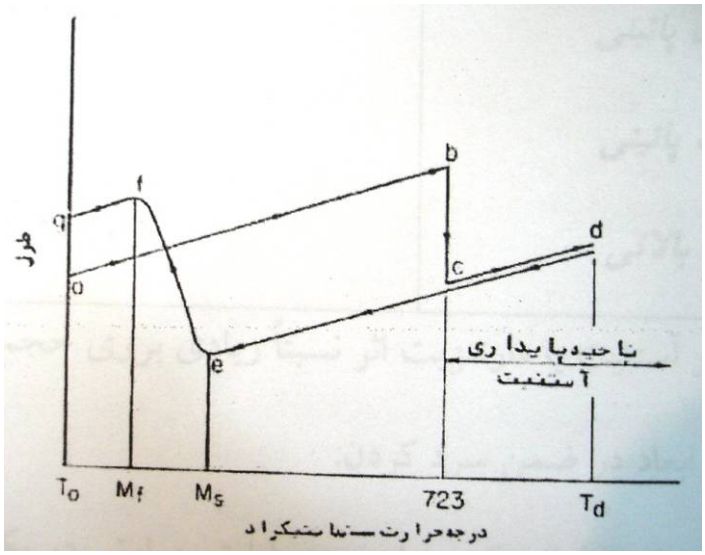
تنش کششی انقباضی در میله مهار شده موقع سرد شدن از 927°C



انقباض طولی میله فولادی ضمن سرد شدن از 927°C

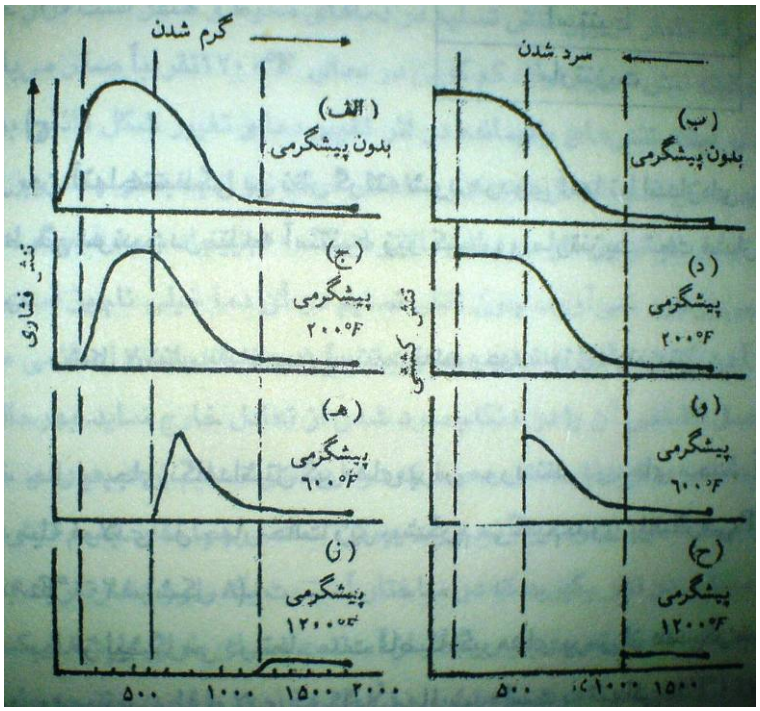


در فولاد ها علاوه بر انبساط و انقباض های معمول گفته شده ، در اثر تغییرات فازی تبدیل فریت به آستنیت و بـالعکس که در اثر تغییر دما رخ میدهد ، فلز دوچار تغییرات ابعاد میشود . به شکل ** توجه کنید



تاثیر پیشگرم کردن در میزان تنش اعمالی بر قطعه

منحنی های تنش–دما برای میله های کاملا مهار شده ضمن سرد و گرم شدن



علل ایجاد پیچیدگی در قطعات جوشکاری شده :

۱– حرارت داده شده یکی از عوامل موثر در تاب برداشتن میباشد . اگر قطعه ای بطور هموژن و یکنواخت حرارت داده و سپس آرام سرد شود ، و هیچگونه مخالفت بر سر راه انبساط و انقباض نباشد ، پس از سیکل حرارتی فوق هیچگونه پیچیدگی در آن مشاهده نخواهد شد . واضح است که گرم و سرد شدن در اجزای جوش به این صورت نبوده و حرارت موضعی باعث انبساط و سپس انقباض شده و تنشهایی را در جوش و مناطق مجاور آن به وجود می آورد . که با تغییر فرم این مناطق تمام و یا قسمتی از این تنشها رها میشود .میزان پیچیدگی و نوع آن به مقدار حرارت داده شده و نرخ آن بستگی دارد .

۲– درجه مهار یا ممانعت : میزان مهار بکار رفته برای جلوگیری از تغییرات انبساطی و انقباضی مواضع مختلف قطعه در حین سیکل گرم و سرد شدن ناشی از جوشکاری فاکتور دیگری برای به وقوع پیوستن یا عدم ایجاد پیچیدگی و تاب برداشتن میباشد . اگر از طرق مختلف میانیکی یا غیره ، از رها شدن تنش ها توسط تغییر فرم مناطق جوش و اطراف آن جلوگیری شود ، این تنشها در این مواضع باقی میماند و در بعضی موارد میتواند موجب ترک برداشتن جوش یا مناطق مجاور آن شود . این مشکل در قطعات ضخیم تر جدی تر خواهد بود .

۳– تنشهای پسماند در قطعات و اجزای مورد جوش نیز عامل دیگری میباشد ، این تنشها که در ضمن ریخته گری ، آهنگری و یا برشکاری در قطعه باقی مانده اند ، میتوانند توسط تنشهای ایجاد شده ناشی از جوشکاری جمع و تشدید و یا در مواردی خنثی شوند . به هر حال تنشهای درون قطعه مجموع این دو تنشها میباشد .

۴- خواص فلز قطعه کار : واضح است که میزان حرارت فروکشی ، انتقال حرارت ، ضریب انبساط حرارتی ، قابلیت شکل پذیری ، مقاومت و بعضی خواص دیگر فلز یا آلیاژ تاثیر مهمی در میزان تابر برداشتن دارد . به عنوان مثال در جوشکاری قطعات مسی و آلیاژهای آن مشکل پیچیدگی و تاب برداشتن به مراتب بیشتر از فولادهای معمولی است .

تنشهای پس ماند در جوش :

اشکال مختلف پیچیدگی در جوش :

انقباض طولی

انحنای طولی وقتی رخ میدهد که شرایط انبساط/انقباض غیر یکنواخت بوجود آید

جوش به همراه قسمتی از فلز اطراف، در هنگام سرد شدن منقبض شده و تولید نیروی انقباضی را مینماید.

نیروی انقباضی حدودا در امتداد مرکز جوش عمل میکند.

ممان اینرسی مقطع (I)، در مقابل این انقباض مقاومت میکند. باید توجه نمود در صورتی که لازم باشد عضو به حالت مستقیم درآید، ممان اینرسی با این عمل نیز مقابله مینماید.

انقباض عرضی:

میزان انقباض در یک ورق به ضخامت مشخص، متناسب است با سطح مقطع جوش

محاسبات نشان میدهد که انقباض عرضی در حدود ۱۰٪ عرض متوسط سطح مقطع جوش است:

$$\Delta = 0.10 \frac{A_w}{t}$$

A_w: سطح مقطع کلی جوش (CM^2)

t: ضخامت ورق (cm)

Δ: انقباض عرضی (cm)

کمانش (شمشیری شدن)

به علت انقباض جوشهای طولی نا متعادل نسبت به تار خنثی، انحنای طولی یا شمشیری شدن رخ میدهد.

مقدار خیز به علت شمشیری شدن را میتوان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$\Delta = 0.005 \frac{A_w d L^2}{I}$$

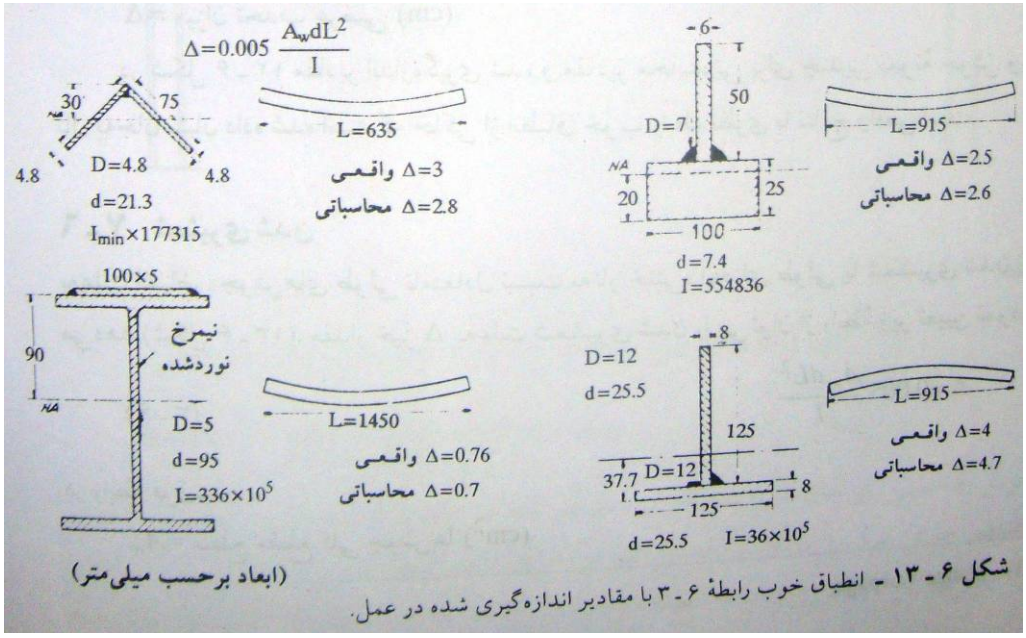
A_w: سطح مقطع کلی جوشها (CM^2)

d: فاصله بین مرکز ثقل گرده جوش تا تار خنثی (cm)

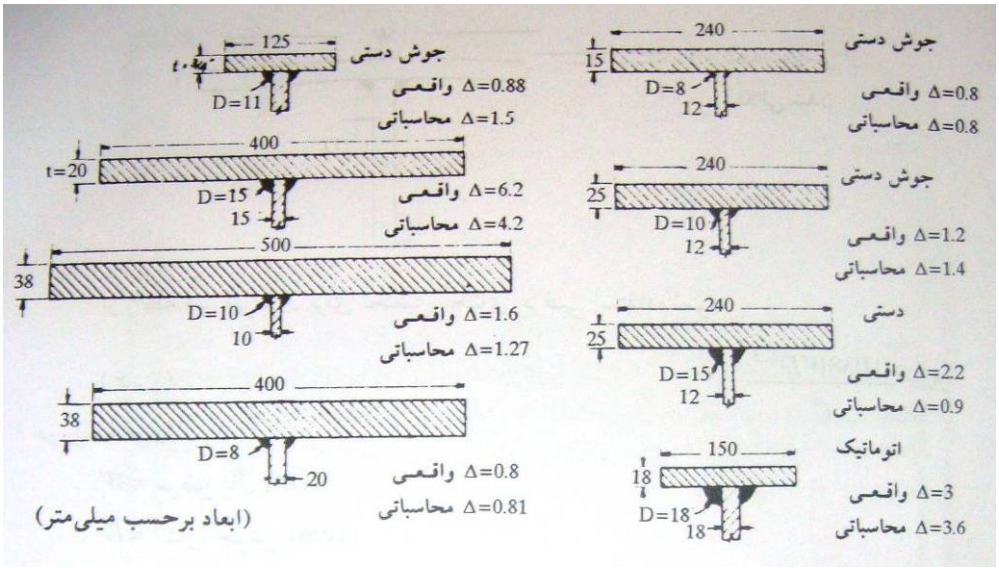
L: طول کلی جوش (به فرض جوش طولی کامل) (cm)

I: ممان اینرسی عضو (cm^4)

Δ: خیز حداکثر (cm)



شکل ۶ ـ ۱۳ ـ انطباق خوب رابطهٔ ۶ ـ ۳ با مقادیر اندازه‌گیری شده در عمل.

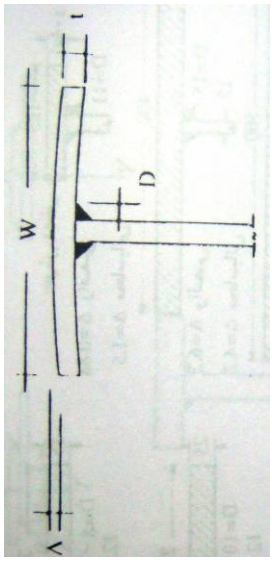


هلالی شدن بال

انحنای عرضی بال را هلالی شدن و یا پرانتزی شدن گویند.

از رابطه زیر میتوان برای تخمین انحنای عرضی استفاده نمود:

$$\Delta=\frac{0.038WD^{1.3}}{t^2}$$

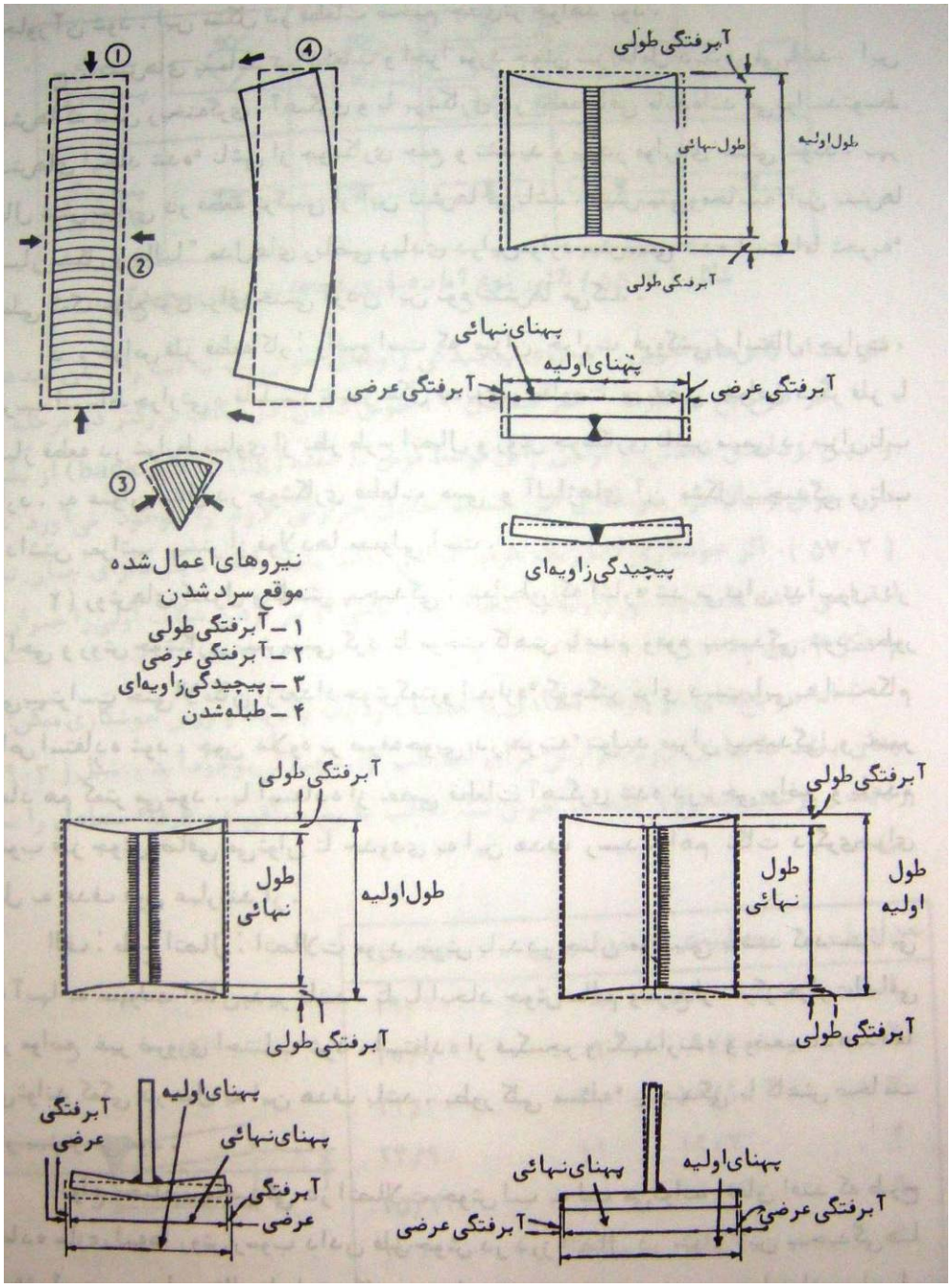


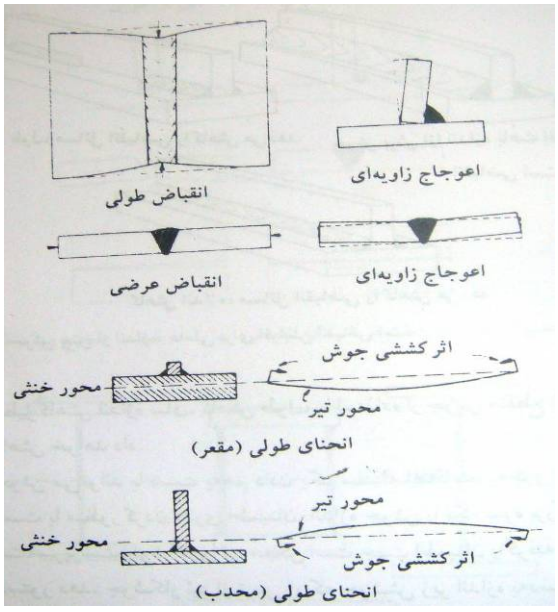
D: ساق جوش (cm)

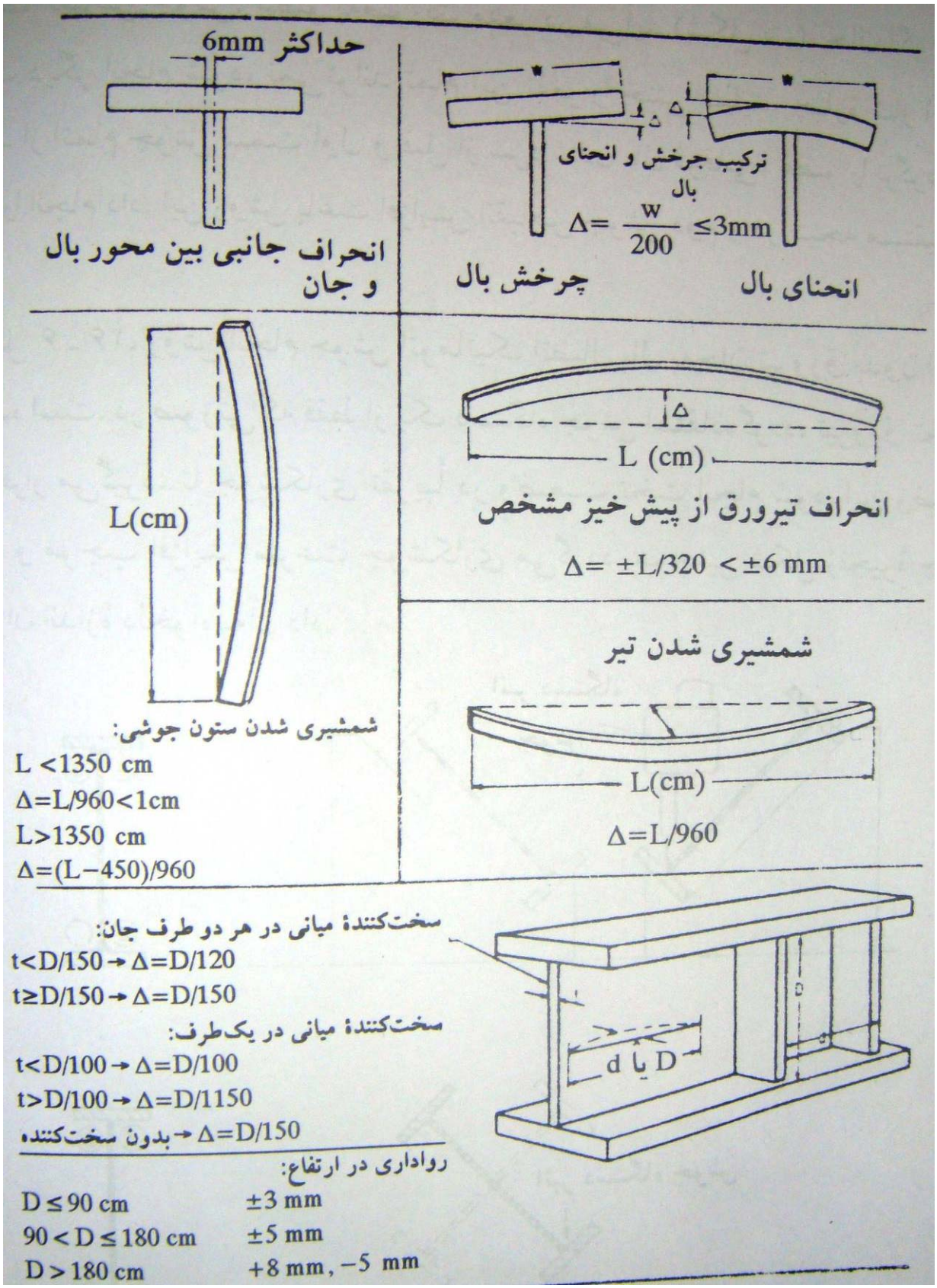
W: عرض بال (cm)

t: ضخامت بال (cm)

Δ: میزان تحدب عرضی (cm)


آبرفتگی طولی
طول نهائی
طول اولیه
آبرفتگی طولی
پهنای نهائی
پهنای اولیه
آبرفتگی عرضی
آبرفتگی عرضی
پیچیدگی زاویه‌ای
نیروهای اعمال شده
موقع سرد شدن
۱ ـ آبرفتگی طولی
۲ ـ آبرفتگی عرضی
۳ ـ پیچیدگی زاویه‌ای
۴ ـ طبله شدن
آبرفتگی طولی
طول نهائی
طول اولیه
آبرفتگی طولی
آبرفتگی طولی
طول نهائی
طول اولیه
آبرفتگی طولی
پهنای اولیه
آبرفتگی عرضی
پهنای نهائی
آبرفتگی عرضی
پهنای نهائی
پهنای اولیه
آبرفتگی عرضی
آبرفتگی عرضی


انقباض طولی
اعوجاج زاویه‌ای
انقباض عرضی
اعوجاج زاویه‌ای
اثر کششی جوش
محور خنثی
محور تیر
انحنای طولی (مقعر)
محور تیر
محور خنثی
اثر کششی جوش
انحنای طولی (محدب)


حداکثر 6mm
انحراف جانبی بین محور بال و جان
ترکیب جرخش و انحنای بال
$\Delta = \frac{w}{200} \leq 3mm$
چرخش بال
انحنای بال
L(cm)
شمشیری شدن ستون جوشی:
L <1350 cm
Δ=L/960<1cm
L>1350 cm
Δ=(L−450)/960
L (cm)
انحراف تیرورق از پیش‌خیز مشخص
Δ= ±L/320 <±6 mm
شمشیری شدن تیر
L(cm)
Δ=L/960
سخت‌کنندهٔ میانی در هر دو طرف جان:
t<D/150 → Δ=D/120
t≥D/150 → Δ=D/150
سخت‌کنندهٔ میانی در یک‌طرف:
t<D/100 → Δ=D/100
t>D/100 → Δ=D/1150
بدون سخت‌کننده → Δ=D/150
d یا D
رواداری در ارتفاع:
D ≤ 90 cm ±3 mm
90 < D ≤ 180 cm ±5 mm
D > 180 cm +8 mm, −5 mm

نحوه تشکیل تنش پسماند کششی در جوش

تنش پسماند تنشی است که بر اثر انجام عملیات خاصی در جسم باقی می‌مانند و در حالی که جسم تحت هیچ بارگذاری خارجی نیست نیز وجود دارد. طبیعت تنش پسماند به گونه ای است که در مقابل هر تنش کششی تنش فشاری نیز باید وجود داشته باشد ، به گونه‌ای که جسم در حالت تعادل باقی بماند که به این حالت، حالت خود تعادلی می گویند.

علت اینکه شناسایی چنین تنشهایی برای ما مهم است این است که وقتی جسم تحت تنش خارجی قرار می‌گیرد، این تنش خارجی به تنش پسماند موجود افزوده می‌شود. پس اگر در منطقه‌ای تنش پسماند کششی داشته باشیم و بارگذاری ما نیز تنش کششی باشد سطح تنش در آن منطقه بالاتر از آنچه که تنها با لحاظ تنش کششی خارجی بدست می‌آید خواهد بود. لذا در صورتی که تنش کششی پسماند داخلی را در نظر نگیریم و قطعه را تنها براساس تنش اعمالی خارجی طراحی می‌کنیم ممکن است در اثر تنش‌های پسماند خارجی تنش در قطعه از حد تسلیم آن بالاتر رفته و باعث شکست آن گردد.

یکی از فرایندهایی که باعث ایجاد تنش پسماند در سازه‌ها می‌گردد جوشکاری است که به علت گرم و سرد شدنهای متوالی جوش و مناطق نزدیک جوش و عدم امکان جابجایی در بعضی جهات، تنشهای پسماند داخلی در جوش و مناطق مجاور آن بوجود می آید.

مقدار انبساط و تغییر شکل جسم در مقابل گرما متناسب با درجه حرارت می‌باشد . اصولاً با افزایش درجه حرارت تا نقطه ذوب فلز شاهد انبساط در آنها خواهیم بود. حال هنگامی که در نقطه‌ای از جسم درجه حرارت به طور موضعی افزایش یابد دراطراف آن یک شیب حرارتی بوجود می‌آید که می‌خواهد باعث تغییر شکل و انبساط نقطه‌ای که دمای آن افزایش پیدا کرده است بشود ، ولی از اطراف توسط فلزی که این نقطه را احاطه کرده‌اند و میل به تغییر شکل ندارند با تغییر شکل این نقطه مقابله می‌شود ، لذا مناطق نزدیک این نقطه تحت تنش فشاری قرار می‌گیرند و در صورتی که تنش فشاری موجود از حد تسلیم بیشتر شود باعث تغییر شکل پلاستیک این منطقه می‌شود. در حین سرد شدن منطقه‌ای که گرم شده بود شاهد انقباض موضعی خواهیم بود که باعث ایجاد تنش کششی در مجاورت این نقطه در حد تنش تسلیم فلز خواهد بود.

برای درک بهتر مسله، سه میله نشان داده شده در شکل زیر را نگاه کنید . این سه میله توسط دو ورق محکم به هم اتصال داده شده اند . به طوری که هیچگونه اجازه تغییرات ابعاد ناشی از انقباض و انبساط به آنها داده نشود .

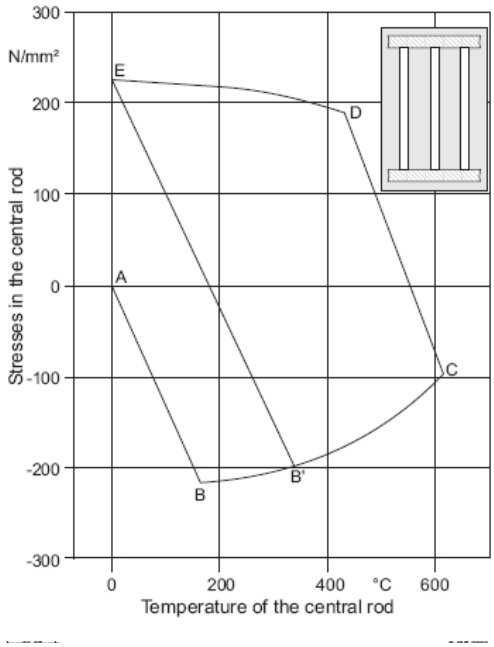
۱:با گرم کردن میله وسط ، تا دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتیگراد با توجه به اینکه اجازه انبساط به میله داده نمیشود . لذا به صورت تنش فشاری که در زیر حد تنش تسلیم است در میله به صورت کرنش الاستیک ذخیره میشود . (خط A-B)

۲: با افزایش دما تا حدود کمی بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد ، بر شدت افزایش طول مهار شده افزوده میشود و این قضیه خود را مجددا به صورت تنش فشاری در میله ذخیره میکند . اما از آنجا که سطح تنش از میزان تنش تسلیم فراتر رفته است ، نمونه با تغییر فرم پلاستیک (افزایش قطر) روبرو میشود ونرخ تنش فشاری درونی کاهشمی یابد . خط(B-C)

۳: از نقطه C تا D ، سرد کردن میله را خواهیم داشت . با سرد شدن میله تحت تنش کششی قرار میگیرد و از آنجایی که این میزان تنش در زیر حد تنش تسلیم است ، در میله کرنش الاستیک صورت میگیرد.

۴: از مرحله D تا E (دمای اولیه میله) ، میزان انقباض به حدی است که تنش کششی بیش از حد تسلیم در میله ایجاد میکند . لذا نمونه با تغییر فرم پلاستیک در خود ، نرخ تنش کششی را در خود کاهش میدهد

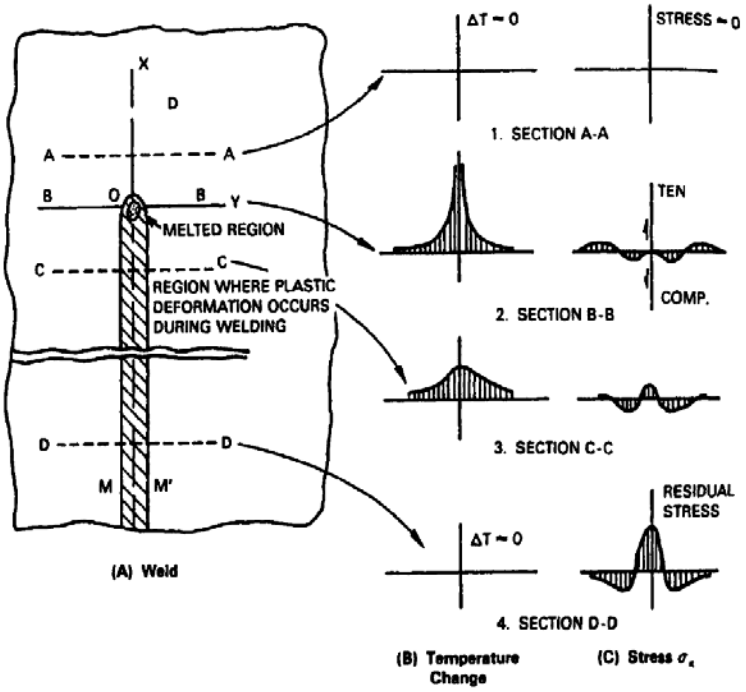
حال در طی این سیکل گرم و سرد شدن مقدار حدود ۲۲۰ مگا پاسکال تنش کششی در میله وسط ذخیره شده است



از بررسی فوق‌الـذکر نتیجـه مـی‌شـود کـه تنـشهای پـسماند جوشـی در جهـت مـوازی بـا جهـت جـوش (Longitudinal) در فلز جوش و نواحی نزدیک به آن از نوع کششی و در حـد تـنش تـسلیم فلـز بـوده و بـا افزایش فاصله از مرکز جوش سطح این تنش‌ها کاهش می‌یابد . به جهت اصل خود تعادلی برای اینگونه تنـشها ، لزوماً باید تنشهای فشاری نیز جهت بالانس کردن آنها در مناطق مجاور بوجود آینـد. شـکل ۷ تـشکیل تنـشهای جوشی طولی را در مقاطع مختلف یک اتصال جوشی در حین جوشکاری نشان می‌دهـد. در شـکل ۷ حوضـچه مذاب جوش با سرعت v به سمت جلو حرکت کرده و در نقطه O بسر می‌برد . در مقطع A-A ، که در جلـوی حوضچه جوش قرار دارد، هنوز تغییرات عمده درجه حرارت صورت نگرفته و بنابراین تنشهای جوشی مربوطـه صفر می‌باشند. در مقطع B-B (از میان حوضچه) ، قطعه کـار دارای شـدیدترین شـیب حرارتـی بـوده و درجـه حرارت در مرکز حوضچه جوش ماکزیمم می‌باشد. در مقطع C-C در پشت حوضچه مذاب جوش، بـه واسـطه سرد شدن و کاهش نسبی درجه حرارت ، از شیب حرارتی کاسته شده و بالاخره در مقطع D-D که به حد کافی از محل حوضچه جوش دور می‌باشد، سرد شدن کامل بوقوع پیوسته و درجه حرارت آن برابر با درجـه حـرارت عمومی قطعه کار شده است.

تنشهای جوشی در مقطع B-B و در محل حوضچه جوش ، به دلیل اینکه مذاب نمی‌تواند نیروی کششی را تحمل کند، برابر صفر می‌باشد. در این مقطع و در نزدیکی حوضچه جوش ، تنشهای جوشی از نوع فشاری بوده که با فاصله گرفتن از محل جوش کاهش یافته و به تدریج تنشهای کششی به جهت بالانس کـردن آنهـا توسـعه

می‌یابند درجه حرارت و در نتیجه تغییر شکلهای حرارتی در مقطع بالا بوده ولی به علت پایین بودن تنش تسلیم جسم، سطح تنشهای جوشی نیز پایین می‌باشد. در مقطع C-C ، که حوضچه مذاب منجمد شده و فلز اطراف نیز تا حدی سرد شده است، فلز جوش و اطراف آن تا حدی منقبض شده که با توجه به ممانعت فلز اطراف آن، تنشهای کششی در این منطقه توسعه یافته‌اند. در مرکز جوش این تنشها در سطح تنش تسلیم جسم در درجه حرارت مربوطه بوده و در فواصل دورتر ، تنشهای فشاری جهت بالانس کردن تنشهای کششی توسعه یافته‌اند. در مقطع D-D تنشهای جوشی در منطقه جوش و اطراف نزدیک به آن از نوع کششی و در حد تنش تسلیم فلز در درجه حرارت محیط بوده و سطح این تنشها با افزایش فاصله از مرکز جوش به سرعت کاهش یافته و به سمت تشکیل تنشهای فشاری جهت بالانس کردن تنشهای کششی میل می‌کند.

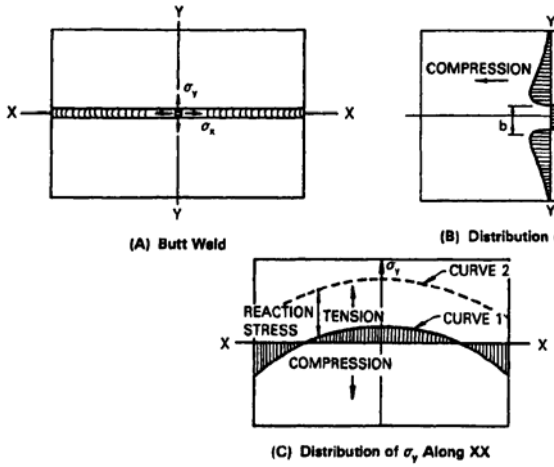


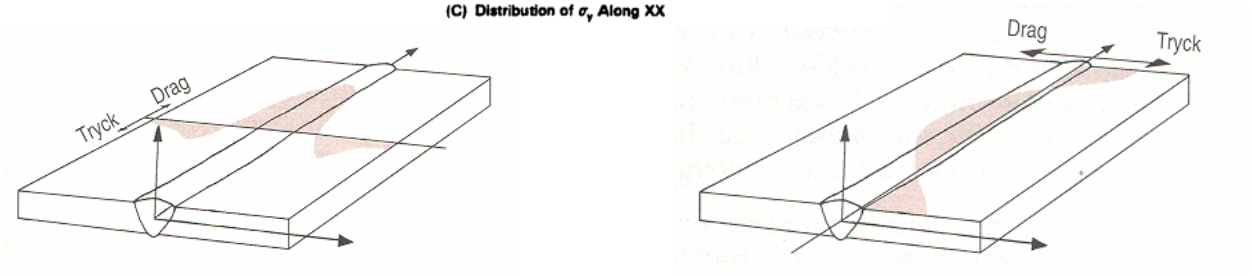
تغییرات درجه حرارت وتنشهای پسماند جوشی در حین جوشکاری

همانگونه که ملاحظه می‌شود ، تشکیل تنشهای جوشی ناشی از کرنش‌های حرارتی بوده که بواسطه گرم و سرد شدن موضعی و غیریکنواخت در محل حوضچه جوش و اطراف آن و ممانعت محیط (فلز) اطراف ایجاد می‌شوند . این کرنشها در منطقه جوش و مجاور نزدیک آن ، کرنش پلاستیکی بوده که هم در حین گرم شدن و هم در حین سرد شدن بوجود می‌آیند. منطقه‌ای که در آن کرنشهای حرارتی ایجاد می‌شود کم یا بیش توسط محیط (فلز) اطراف خود مهار یا ممانعت (Restraint) می‌شود. چنانچه قطعه کار آزاد بوده و به قطعات دیگر متصل نباشد ، این نوع مهار از نوع مهار اولیه (Primary restraint) بوده چنانچه قطعه کار بنوبه خود به قطعات دیگر متصل باشد ، درجه مهار بالاتر بوده و مهار ثانویه (Secondary restraint) نیز در شکل‌گیری

تنشهای پسماند دخیل خواهد بود . بنابراین سطح و توزیع تنشهای پسماند جوشی بستگی به مهار اولیه (ناشی از نوع اتصال جوشی) و مهار ثانویه (ناشی از ابعاد کلی قطعه و نحوه درگیری آن) دارد . برای تنشهای پسماند طولی (Longitudinal residual stresses) مهار اولیه قویاً تعیین کننده بوده و مهار ثانویه اثر کمی دارد .

لازم به توضیح است که در قسمتهای ابتدایی وانتهایی یک جوش طولی تنشهای پسماند طولی به سرعت کاهش یافته و به صفر می‌رسند. به عنوان یک قاعده سرانگشتی می‌توان اظهار نمود که تنشهای طولی در یک جوش از فاصله 150mm دو سر جوش شروع به کاهش نموده و در دو انتها به صفر می‌رسند . چنانچه طول جوشی بیش از 300mm باشد در وسط آن سطح تنشهای پسماند جوشی در حد تنش تسلیم فلز خواهد بود. یک اتصال جوشی در جهت عرضی (عمود بر جهت جوشکاری) نیز منقبض شده (Transverse shrinkage) که منجر به ایجاد تنشهای پسماند عرضی (Transverse residual shrinkage) می‌شود . اصول ایجاد این تنشها نظیر تنشهای طولی بوده با این تفاوت که مهار اولیه در شکل‌گیری آنها کمتر مؤثر بوده و مهار ثانویه مهم می‌باشد . در شکل ۸ سطح و توزیع تنشهای عرضی بطور شماتیک نشان داده شده است . در قسمت میانی جوش ، تنشها از نوع کششی بوده و در قسمتهای انتهایی تنشهای فشاری به جهت بالانس کردن تنشهای کششی ایجاد شده‌اند . حداکثر سطح تنشهای عرضی به واسطه مهار اولیه در حدود 25% میزان تنش تسلیم فلز می‌باشد . چنانچه قطعه کار در جهت عرضی مهار شده باشد ، ممانعت ثانویه ایجاد شده که بسته به درجه مهار منجر به افزایش سطح این تنشها می‌شود .





تنشهای پسماند جوشی همچنین می‌توانند در جهت ضخامت نیز به وجود آیند . در مقاطع نازک (کمتر از

30mm) سطح این تنشها در جهت ضخامت ناچیز و قابل صرفنظر کردن می‌باشد ، لیکن برای مقاطع ضخیم‌تر سطح این تنشها می‌تواند در سطح تنش تسلیم فلز بوده و توزیع پیچیده‌ای همراه داشته باشد . بنابراین ، بطور کلی تنشهای پسماند جوشی ، کم یا بیش سه بعدی بوده ، به ویژه اینکه اتصال جوشی در سه جهت عمود به هم مهار شده باشد .

اندازه‌گیری تنشهای پسماند در قطعات با روشهای غیر مخرب

۱: استفاده از تکنیک تفرق و شکست : تئوری کلی این روش آن است که هنگامیکه فلزات تحت تأثیر تنش قرار میگیرند، کرنش الاستیکی ایجاد شده باعث تغییر فاصله بین صفحات اتمی فلز میشود و در روشهای تفرق با استفاده از پرتوی X یا پرتوی نوترونی این تغییر فاصله حس میشود و از این طریق به وجود تنش در قطعه پی برده می شود. امروزه روش تفرق (خصوصاً) تفرق پرتوی X تنها روشی است که به خوبی در بین روشهای غیرمخرب قابل دسترس است و به طور گسترده جهت اندازه گیری تنش مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش از صفحات بین اتمی در ساختار کریستالی فلزی به عنوان استرین گیج استفاده می شود. فضای بین صفحات بر اثر تنشهای قطعه (چه تنشهای وارده و چه تنشهای پسماند) تغییر می کند. این روش با اندازه گیری این تغییرات فاصله ای میزان کرنش شبکه ای به وجود آمده در ساختار ماده را احساس کرده ، از آن طریق به میزان تنش در قطعه پی می‌برد تفرق زاویه ای پرتوی X

در موارد چند کریستالی صفحات مشابه اتمی در فاصله d از یکدیگر قرار می گیرند که این فاصله با توجه به تنش وارده تغییر می کند که به جهت و مقدار تنش بستگی دارد. طبق قانون برگ[۳] اگر اشعه با طول موج l به یک نمونه پلی کریستال با فاصله شبکه ای d برخورد کند فقط در یک زاویه خاصی از q (زاویه برخورد) منعکس خواهد شد، (رابطهٔ ۱) چرا که این اشعه در برخورد با صفحات اتمی دچار تفرق می‌شود.

$$l=2d\sin q$$

تغییر فاصله بین اتمی Dd باعث ایجاد تغییر زاویه Dq می شود، بطوریکه می توان از تغییرات زاویه تفرق مقدار کرنش یا Dd/d را نتیجه گرفت و تنش طبق تئوری الاستیسیته مواد ایزوتروپیک خطی می تواند از کرنش بدست آید.

۲) استفاده از امواج آلتراسونیک : اساس روش آلتراسونیک بر مبنای تغییر سرعت صوت و امواج آلتراسونیک در قطعه می باشد، که این تغییرات ناشی از تغییرفاصله بین اتمی و مدول الاستیسیته بر اثر اعمال تنش میباشد. نکتهٔ قابل توجه و جالب در این روش امکان اندازه گیری تنشهای سه‌بعدی بصورت عمقی در قطعه می‌باشد.

عوامل پیچیدگی در جوش :

خواص فلز پایه

مقدار محدودیتها

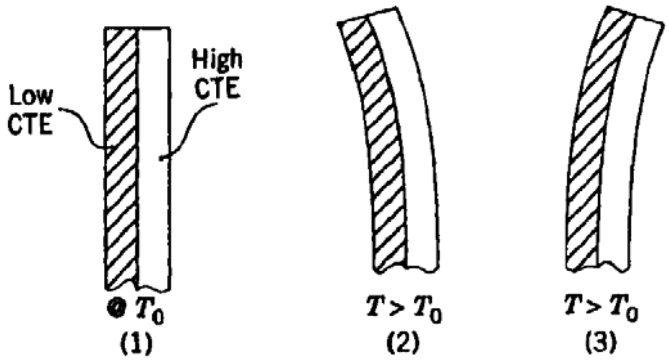
طرح اتصال

سرهم بندی

خواص فلز پایه:

انقباض فلز جوش بتنهایی، اغلب نمیتواند مقادیر انقباضهای واقعی را توجیه نماید. به این حقیقت باید توجه داشت که فلز پایه مجاور نوار جوش نیز سهمی در انقباض دارد. حرارت جوشکاری باعث میشود که فلز پایه مجاور منبسط شود. این ناحیه از فلز پایه توسط قسمتهای خنک تر احاطه و مقید شده است. در نتیجه تمام انبساط حجمی باید در ضخامت ورق رخ دهد. در هنگام سرد شدن این ناحیه گرم شده، تحت انقباض حجمی قرار گرفته و تنشهای انقباضی در امتداد طولی و عرضی بوجود می آید. در نتیجه، این ناحیه از فلز پایه به همراه فلز جوش منقبض میشود.

واضح است که میزان حرارت فروکشی، انتقال حرارت، ضریب انبساط حرارتی، قابلیت تغییر شکل پذیری، مقاومت و بعضی خواص دیگر فلز یا آلیاژ قطعه در شرایط مساوی از نظر طرح اتصال و روش جوشکاری تاثیر مهمی در میزان پیچیدگی دارد.



مقدار محدودیتها:

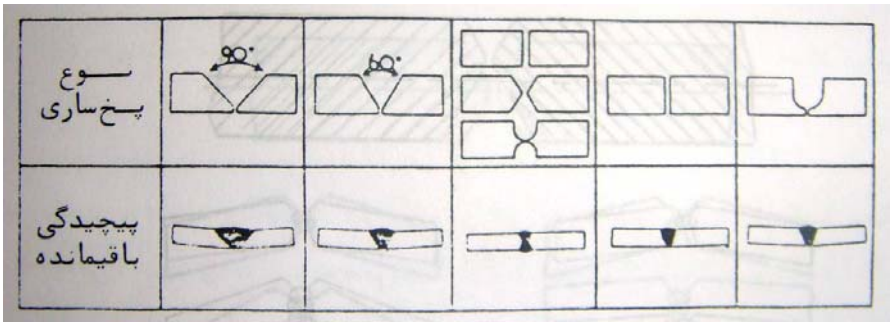
میزان مهار بکار رفته برای جلوگیری از تغییرات انبساطی و انقباضی مواضع مختلف قطعه در حین سیکل گرم و سرد شدن ناشی از جوشکاری فاکتور دیگری برای بوقوع پیوستن یا عدم ایجاد پیچیدگی و تاب برداشتن میباشد.

اگر از طرق مختلف مکانیکی یا غیره از رها شدن تنشها توسط تغییر فرم مناطق جوش و اطراف ان جلوگیری شود.

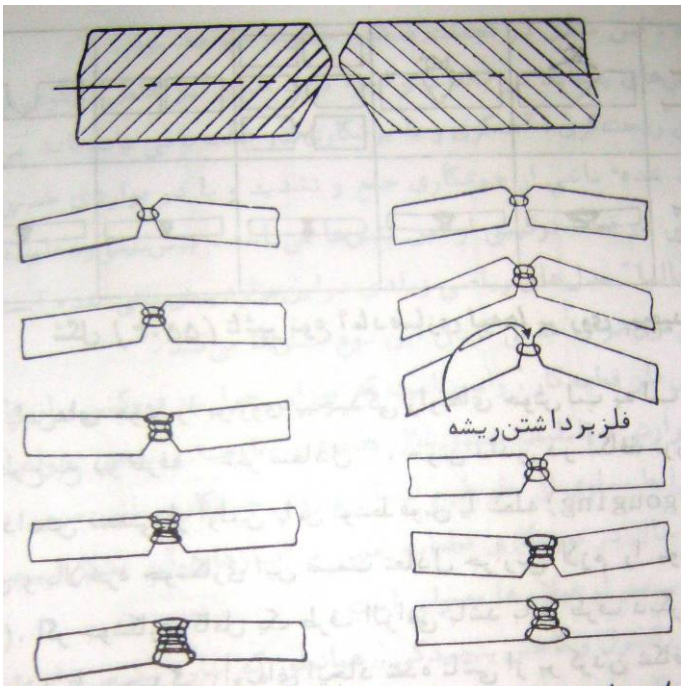
این تنشها در این مواضع باقی میماند و در بعضی شرایط میتواند موجب ترک برداشتن جوش یا مناطق مجاور ان شود. این مشکل در قطعات ضخیم جدی تر است.

طرح اتصال:

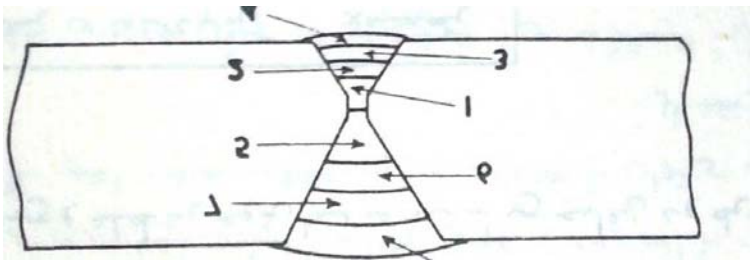
انواع مختلف پیچیدگی در اتصالات جوش لب به لب میتواند اتفاق افتد که طرح آماده سازی لبه ها و روش رسوب جوش در درز اتصال بر میزان پیچیدگی مؤثر است. بهنوان مثال ، فاصله root gap بر روی انقباض عرضی ، طرح پخ سازی بر روی پیچیدگی زاویه ای تاثیر مستقیم دارد . پخ سازی دوطرفه میتواند موجب بالانس حرارتی در ضمن جوشکاری بر روی قطعه شده و پیچیدگی زاویه ای را کمتر کند . البته در قطعات تا ضخامت ۱۶ میلیمتر ، پخ سازی یکطرفه ساده تر است



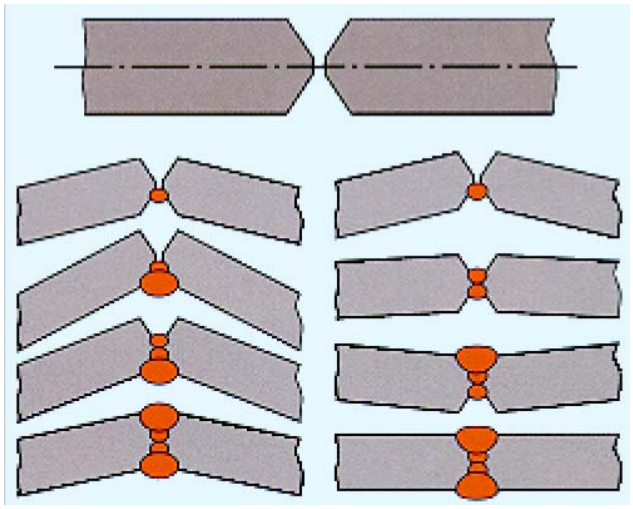
. در پخ دوطرفه غیر متعادل ، جوش دادن در شکاف بزرگتر در مرحله اول درز جوش و سپس برداشتن قسمتی از اولین پاس بـه روش back gouging از پشت درز جوش و سپس جوشکاری این قسمت تعادل لازم حرارتی را به وجود می آورد

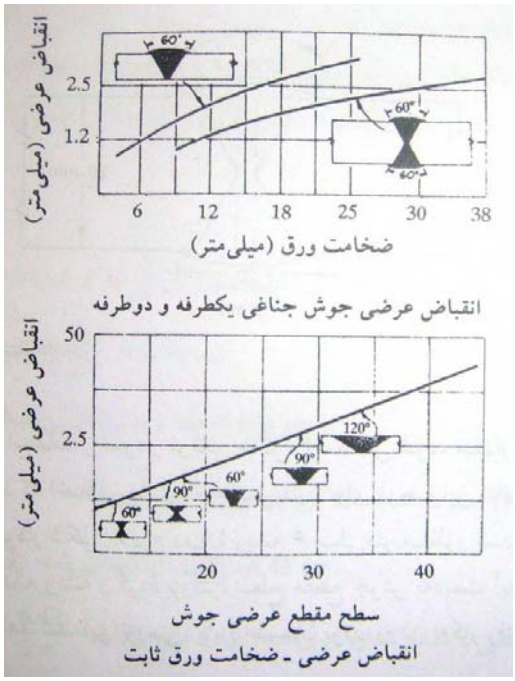


اگر جوشکاری کامل یکطرفه الزامی باشد ، باید طرف دیگر دارای آنچنان تنش انقباضی باشد تا پیچیدگی زاویه ای ایجاد شـده ناشـی از پر کردن شکاف اولی را جبران کند .



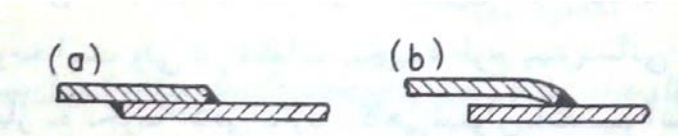
اما در پخ های متعادل دوطرفه متعادل یا مشابه ، ردیف پاس ها و روش جوشکاری باید مطابق شکل زیر باشد





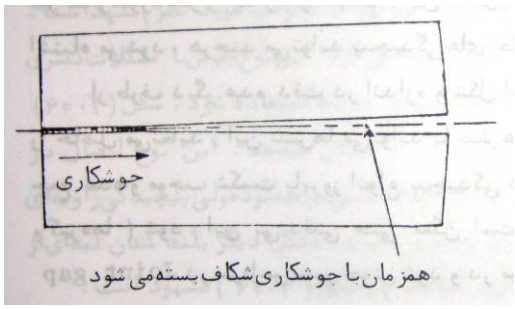
جوشکاری قائم و همزمان در دو طرف بکمک دو جوشکار یکی از روشهای موفق برای دستیابی به نفوذ کامل و غلبه بر پیچیدگی زاویه ای است .

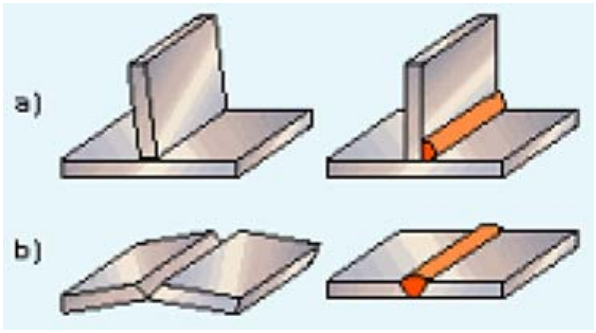
جوش لب روی لب در بسیاری موارد بکار گرفته میشود . این نوع جوش با مشکلات پیچیدگی کمتری رو به رو است این نوع اتصال در جوشکاریهای مسیر طولانی با انقباض طولی رو به رو است . اما دارای پیچیدگی زاویه ای ناچیز میباشد . مشکل دیگر بلند شدن لبه دیگر در اتصال لب رویهم نبشی تکی است.

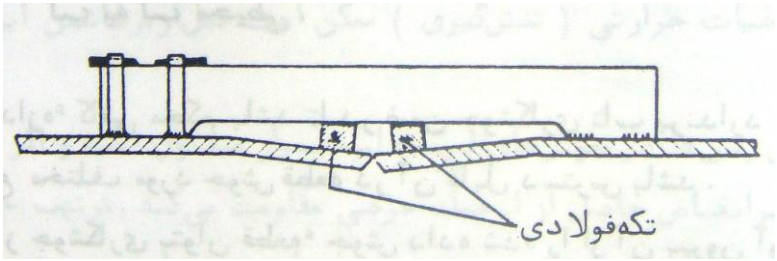


جلوگیری از پیچیدگی جوش در هنگام سرهم بندی قطعات

تنظیم اولیه موقعیت قطعات (به روش پیش نشاندن): روش پیش نشاندن به دلیل آزادی اجزا در ضمن جوشکاری و کاهش تنشها بیشتر از روش مهار کردن مورد توجه است . ولی این روش نیاز به تجربه کافی دارد .



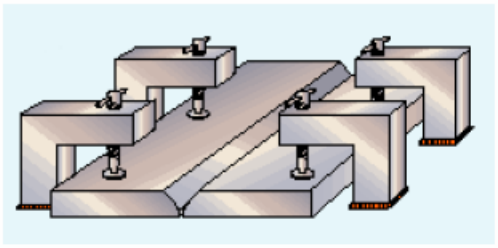




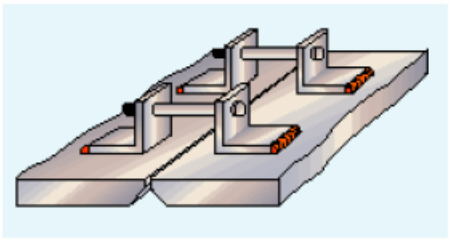
استفاده از پشت بند و زائده های کوچک برای کنترل پیچیدگی زاویه ای (در مورد صفحات نازک)

تنظیم اولیه موقعیت قطعات (روش مهار کردن) : روش مهار کردن همانطور که از نام آن استنباط شود ، برای کنترل پیچیدگی اجزاء تحت نیروهای اعمال شده بوسیله گیره ها ، نگهدارنده ها و یا خال جوش زدن در ضمن جوشکاری مهار میشوند . این روش بیشتر از روش پیش نشاندن مرسوم است . میزان مهار کردن اجزا در زمان جوشکاریتاثیر مستقیم بر روی کنترل پیچیدگی دارد . بالاترین پیچیدگی هنگامی اتفاق می افتد که فلز اصلی برای تغییر شکل ناشی از انقباض ناشی از انجماد آزاد باشد و کمترین پیچیدگی وقتی است که امکان حرکت کم برای اجزا وجود داشته باشد . البته در این حالت میزان تنش پسماند در قطعه زیاد بوده و در بعضی موارد ممکن است موجب ایجاد ترک در جوش گردد .پیشگرم قطعه در کاهش این عیب و در صورت لزوم انجام عملیات تنش گیری پس از جوشکاری و قبل از باز کردن مهار ها میتواند مفید باشد .

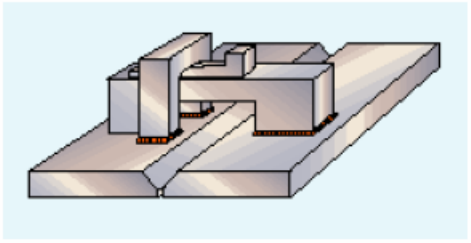
مهار کردن اجزا در تمامی جهات میتواند خطرناک باشد و معمولا سعی میشود حرکت در یک جهت آزاد و در جهت دیگـر مهار گردد .



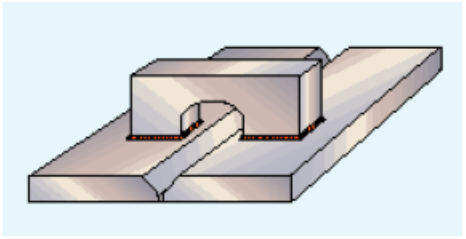
a) Welding jig



b) Flexible clamps



c) Strongbacks with wedges



d) Fully welded strongbacks

خصوصیات قید و بست ها:

اجزا سازه را دقیق در کنار یکدیگر نگهدارد.

کار کردن با آنها ساده و سریع باشد.

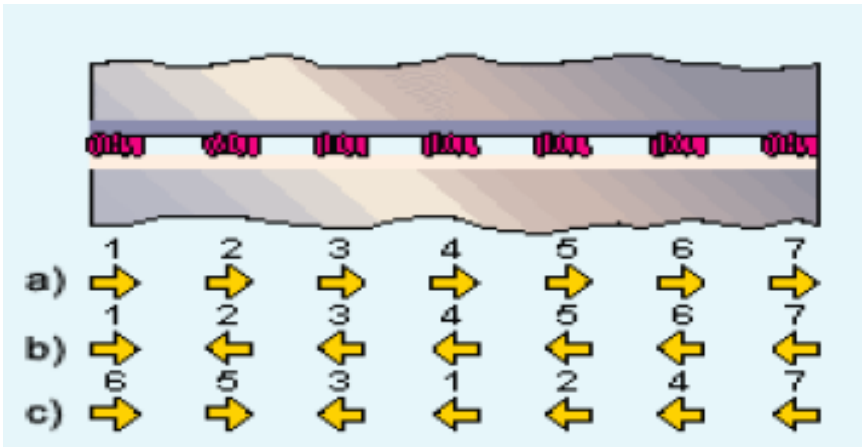
به اندازه کافی محکم باشد تا در حین جوشکاری تاب برندارد.

مواضع مختلف مورد جوش قطعه در آن قابل دسترس باشد.

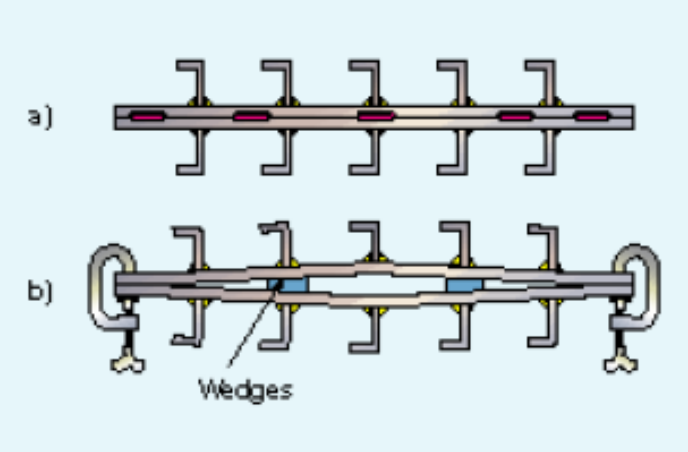
بعد از جوشکاری بتوان قطعه جوش داده شده را از آن بیرون آورد.

خال جوش :

خال جوش زدنها در جوش لب به لب بسیار متداول است و اگر به تعداد کافی باشد ، فقط در برابر انقباض عرضی حاصل از انجماد مقاومت میکند . ترتیب خال جوش زدن ، طول و فاصله آنها نسبت به یکدیگر و جهت رسوب دادن نیز باید مورد توجه قرار گیرد .

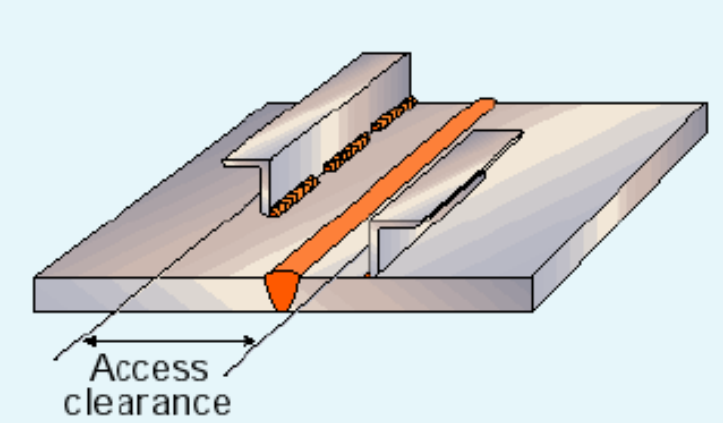


سرهم بندی پشت به پشت back to back assembly :

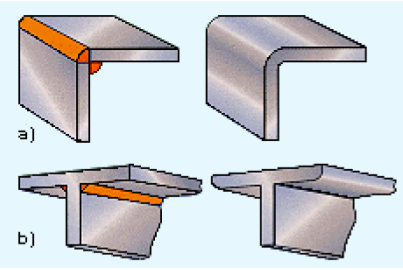


مستحکم سازی

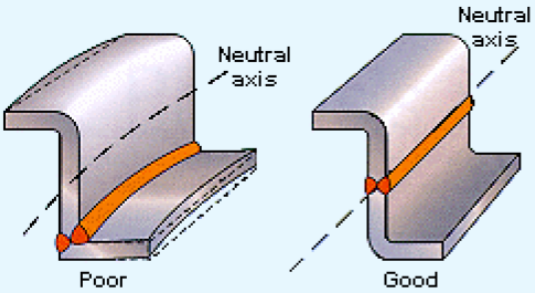
گاهی از تقویت کننده های نبشی و سپری برای کنترل انقباض طولی استفاده میشود

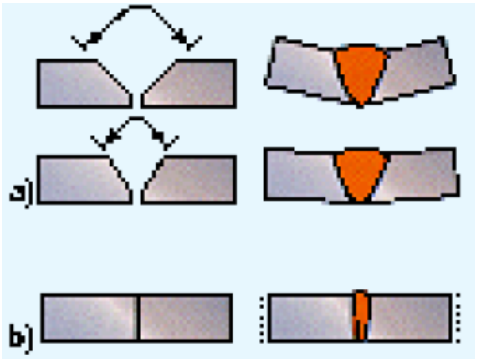


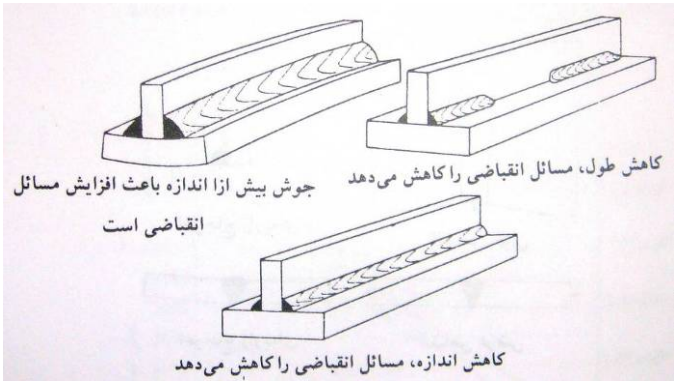
خذف جوش

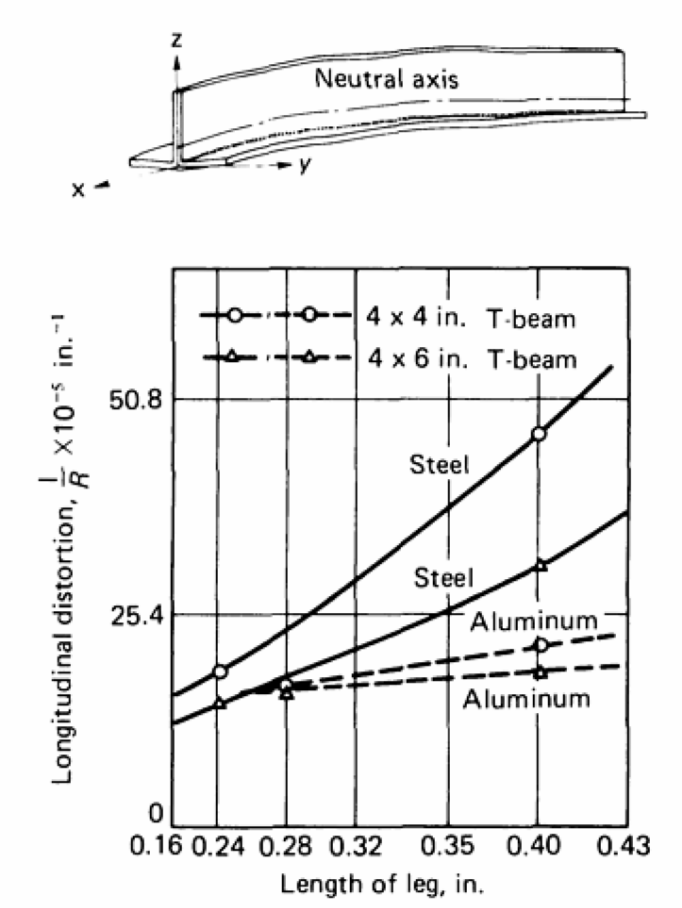


تغییر محل جوش



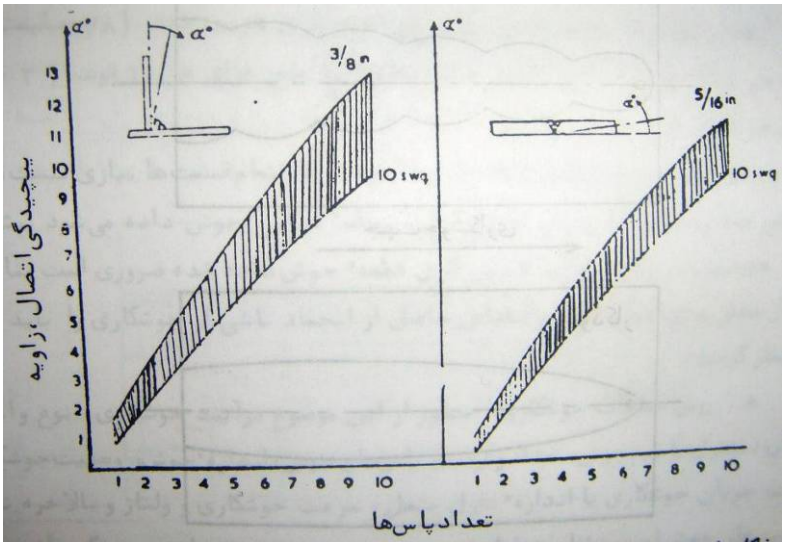




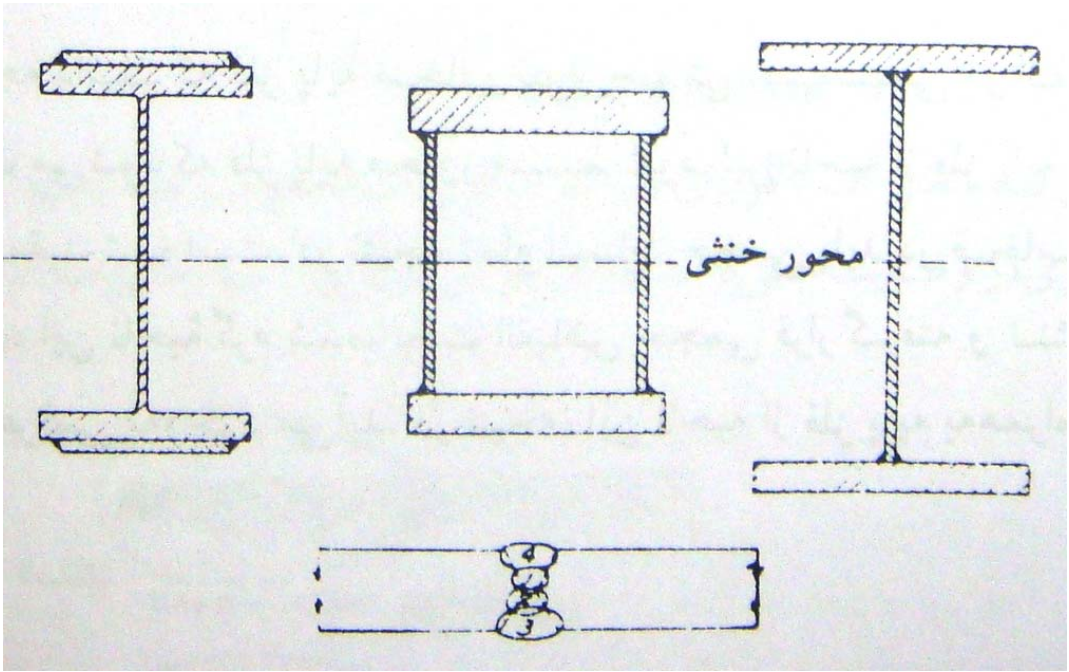


دیاگرام ارتباط پیچیدگی در جوش با ساق جوش

کاهش تعداد پاسها



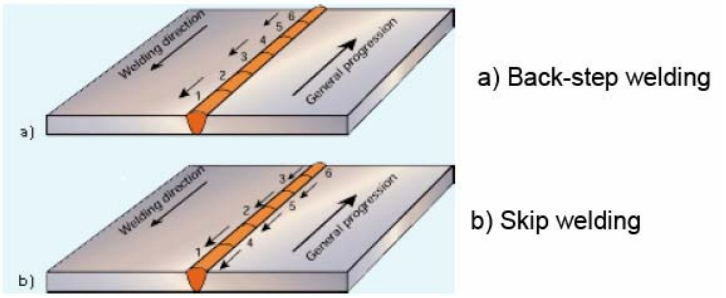
توازن در و تقارن در جوش



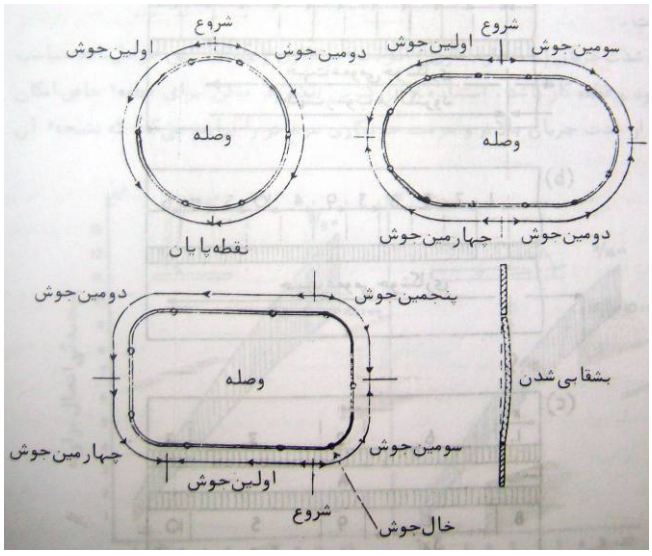
تکنیک و نحوه اجرای جوشکاری

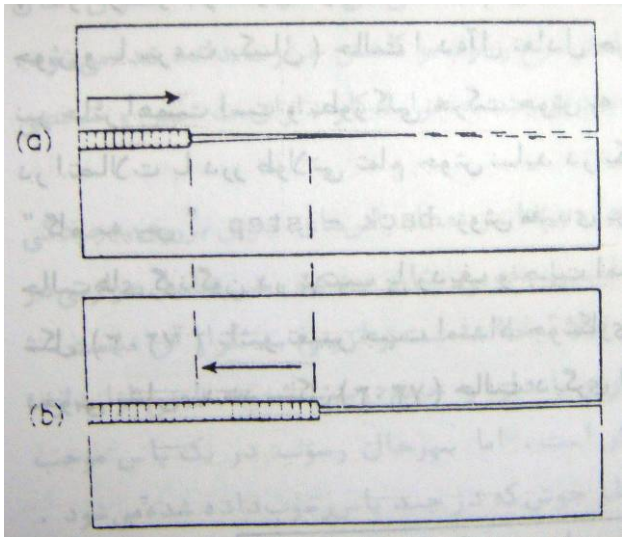
باید سعی گردد تا تعادل حرارتی حول محور خنثی در قطعه کار به وجود آید .بعنوان مثال جوشکاری پخ جناقی در وضعیت قاءم و استفاده از دو جوشکار در دو طرف درز جوش و با سرعت یکسان حالت ایده آلی را از تعادل حرارتی به وجود

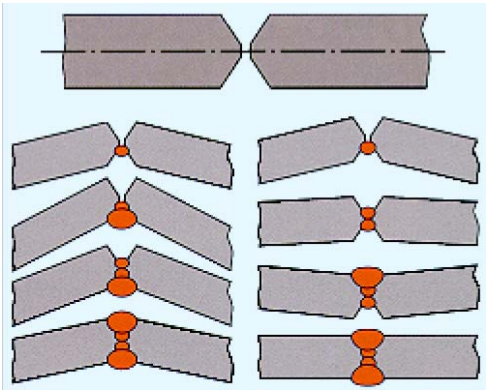
میآورد . سمت جوشکاری نیز بسیار مهم میباشد . و حرکت جوش به سمت انتهای آزاد اتصال ترجیح دارد در اتصالات با درز طولانی تمام جوش نباید در یک جهت و مداوم انجام شود . تکنیک " یک گام به عقب back step" روش مفیدی برای کاهش پیچیدگی است .

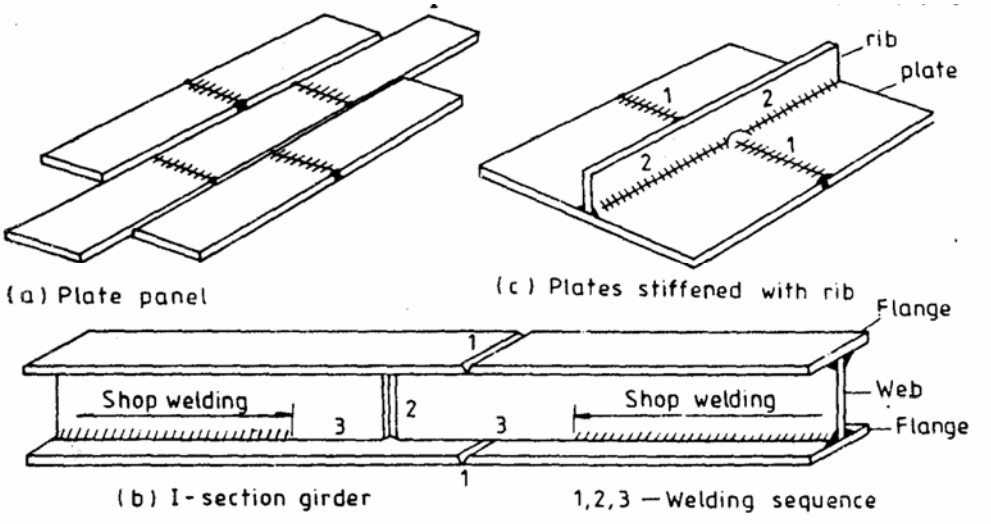


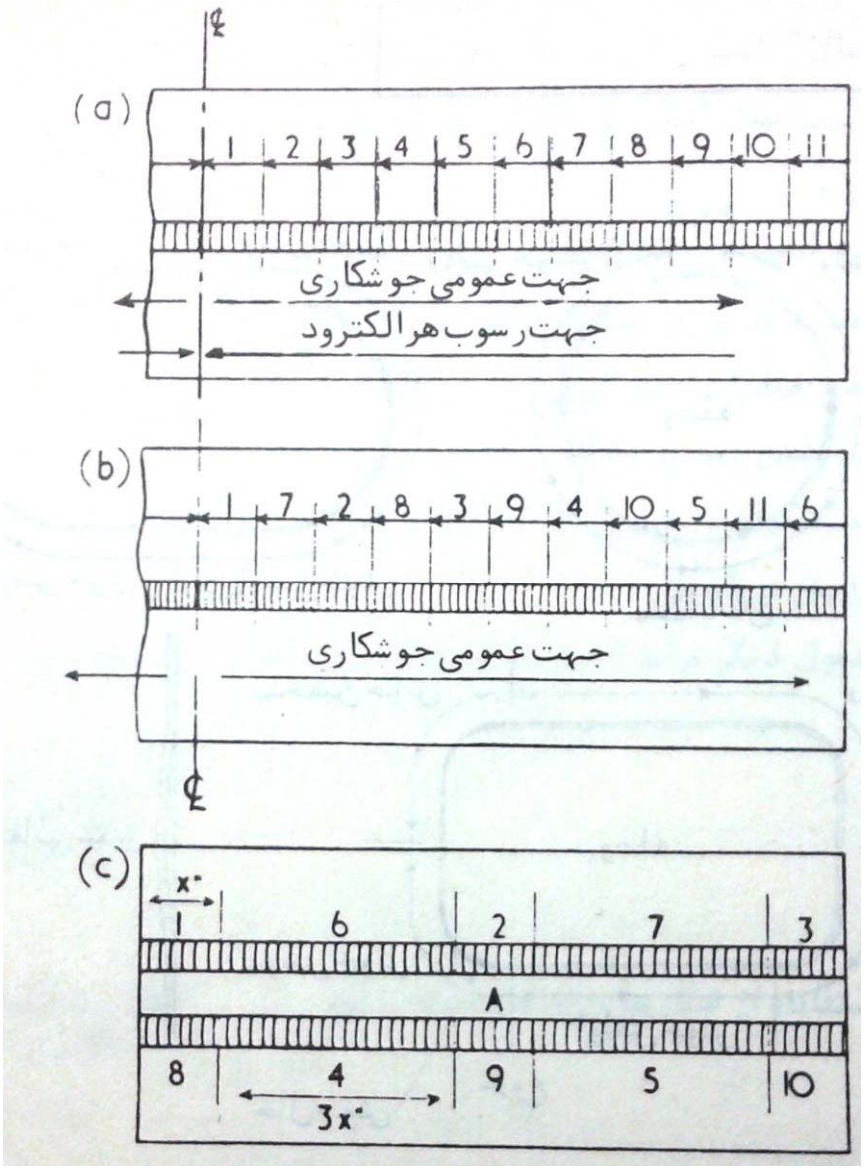
حالت های گوناگون در ترتیب یا ردیف و جهت امتداد جوشکاری بر روی سوار شدن لبه درز جوش در شکل زیر نشان داده شده است





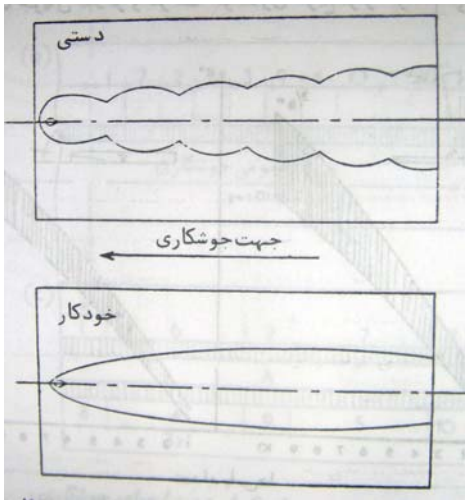


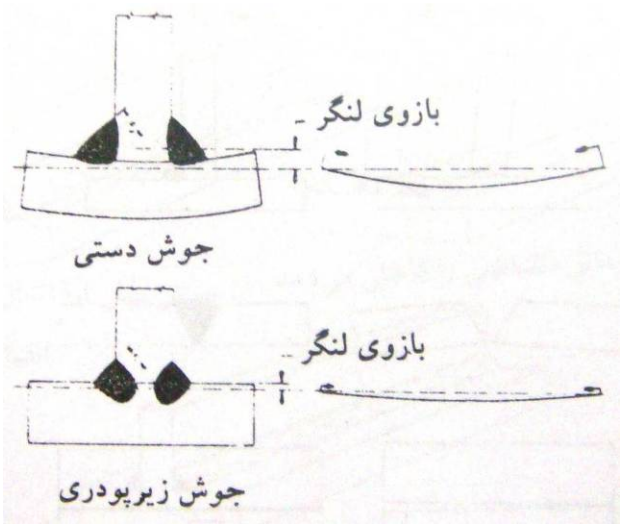

rib
plate
1
2
2
1
(a) Plate panel
(c) Plates stiffened with rib
Flange
1
Shop welding
3
2
3
Shop welding
Web
Flange
1
(b) I-section girder
1,2,3 — Welding sequence


(a)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
جهت عمومی جوشکاری
جهت رسوب هر الکترود
(b)
1 7 2 8 3 9 4 10 5 11 6
جهت عمومی جوشکاری
(c)
x
1
6
2
7
3
A
8
4
3x
9
5
10

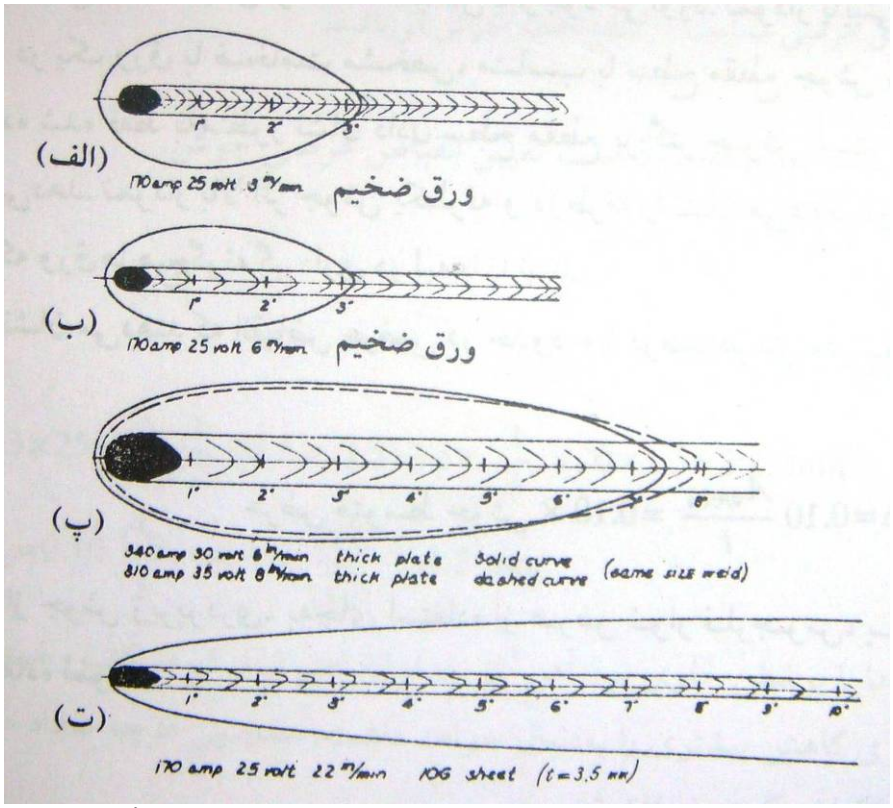
نوع فرآیند جوشکاری :

بندرت انتخاب روش جوشکاری بر اساس میزان پیچیدگی جوش انجام میشود . اما به هر حال تاثیر زیاد دستی یا خودکار بودن فرایند جوشکاری بر روی میزان پیچیدگی اثبات شده است . در فرایند های خودکار غالبا سرعت جوشکاری بیشتر و نرخ رسوب بالاتر (با تعداد پاسهای کمتر)بوده که موجب کاهش پیچیدگی نسبت به حالت دستی و یا نیمه خودکار میشود . از طرف دیگر روش خودکار چون مداوم است سیکل حرارتی نیز یکنواخت تر و تنشهای ایجاد شده نیز یکنواخت تر و ساده تر خواهند بود . از طرف دیگر شدت منبا حرارتی در شیب و مقدار حرارت تاثیر قابل ملاحظه ای دارد . روشهای شعله ای منطقه وسیع تری را تحت تاثیر حرارت و پیچیدگی ناشی از آن نسبت به روشهای قوس الکتریکی و قوس الکتریکی بیشتر از قوس پلاسما قرار میدهند . چون حرارت دادن آرامتر زمینه نفوذ حرارت به اطراف را بیشتر میسازد .





حرارت ورودی :



نوع و اندازه الکترود

استفاده از بزرگترین الکترود مجازمیتواند در پایین نگه داشتن تعداد پاسها و مقدار حرارت و در نتیجه کاهش پیچیدگی مثبت باشد. حضور پودر آهن در الکترود موجب افزایش نرخ رسوب و کاهش حرارت ورودی میشود

اندازه رسوب

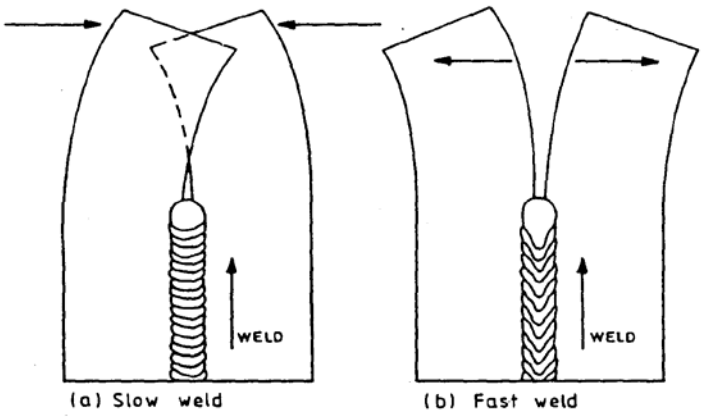
اندازه و حجم رسوب خود تابعی از اندازه الکترود ، سرعت جوشکاری و عوامل دیگر است . اما به هر حال رسوب در یک پاس موجب پیچیدگی کمتری نسبت به همان حجم جوش که در چند پاس رسوب داده شده میشود. در جوش رسوب داده شده در حالت قائم میزان پیچیدگی کمتر از شرایط مشابه اما در وضعیت افقی است .

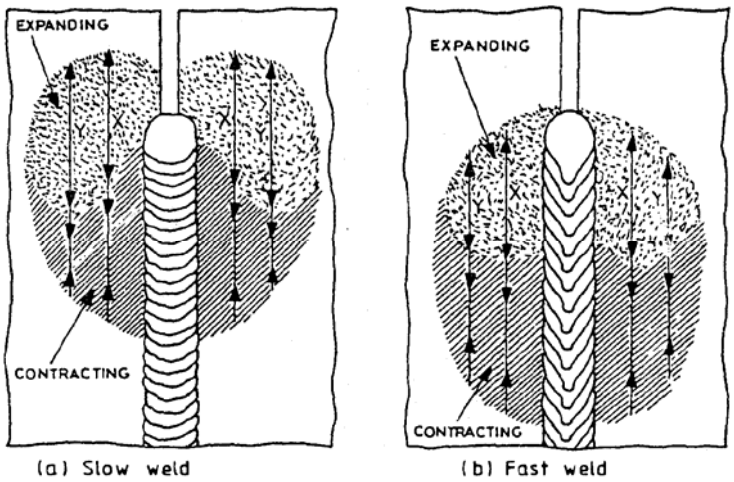
وضعیت جوشکاری

در جوش رسوب داده شده در حالت قائم میزان پیچیدگی کمتر از شرایط مشابه در وضعیت افقی است.

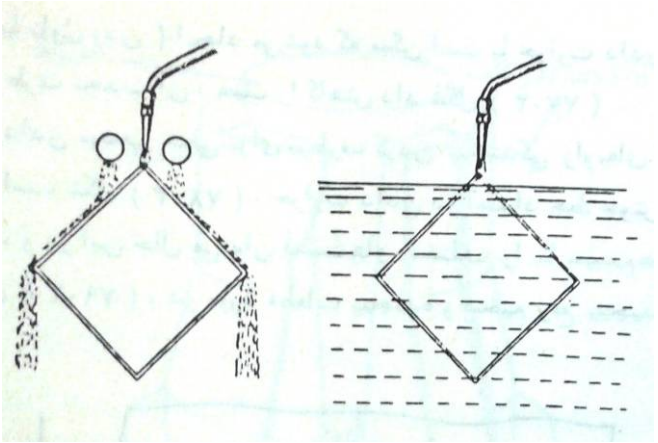
پیشگرم : در ابتدای فصل توضیح داده شده است

پرکردن جوش در اسرع وقت





جلوگیری از تاب برداشتن قطعه به کمک سرد نگه داشتن قطعه کار



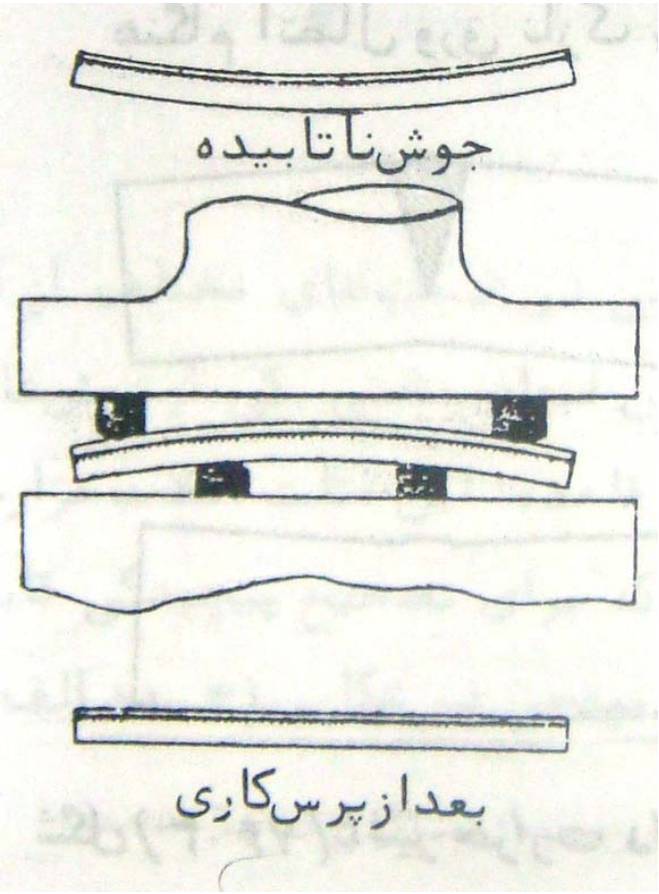
روشهای رفع پیچیدگی در قطعات جوشکاری شده

روش مکانیکی:

اعمال فشار

اعمال فشار +حرارت

در بعضی موارد میتوان پیچیدگی قطعات را به کمک روشهای مکانیکی و اعمال فشار برطرف کرد .گاهی هم با گرم کردن قطعه و گذاردن در قالب های از پیش طرح شده این کار انجام میشود .

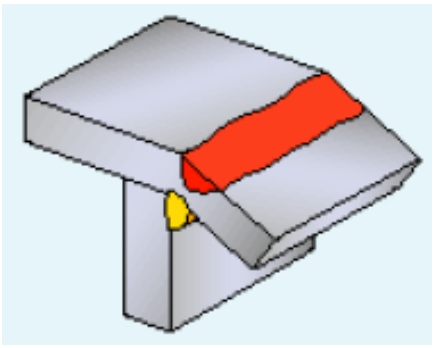


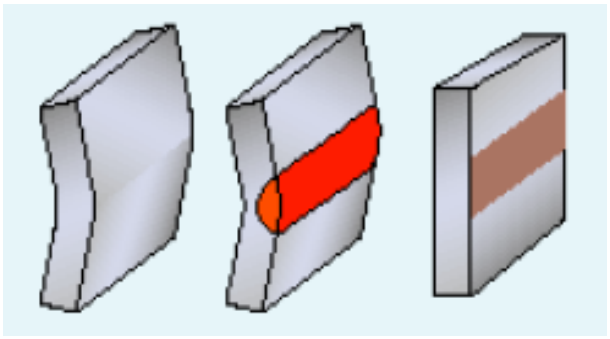
روش حرارتی:

اعمال حرارت موضعی – اعمال حرارت نقطه ای – اعمال حرارت خطی – اعمال حرارت مثلثی

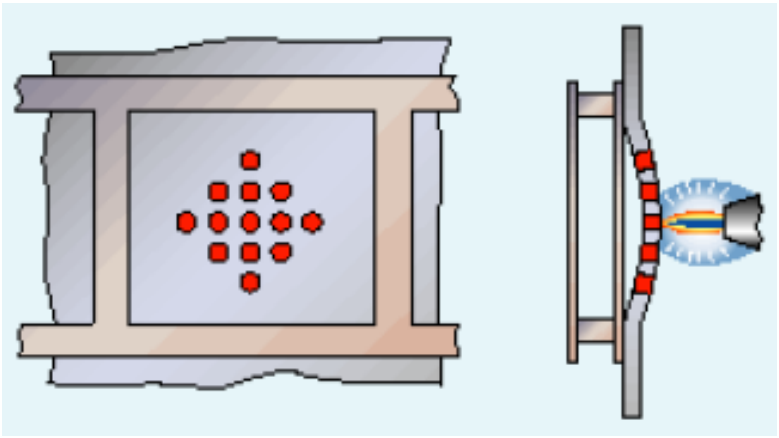
اعمال حرارت موضعی :

حرارت دادن موضعی خطی برای برطرف کردن پیچیدگی زاویه ای در جوش نبشی بسیار متداول است . حرارت دادن در امتداد جوش و در پشت آن انجام میشود



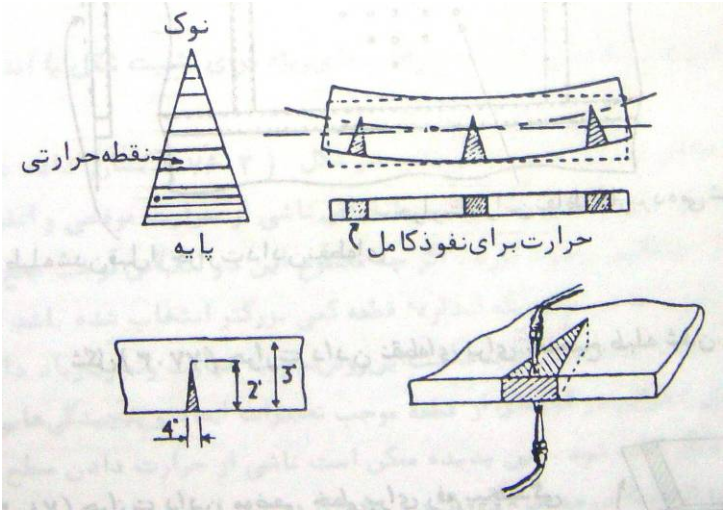


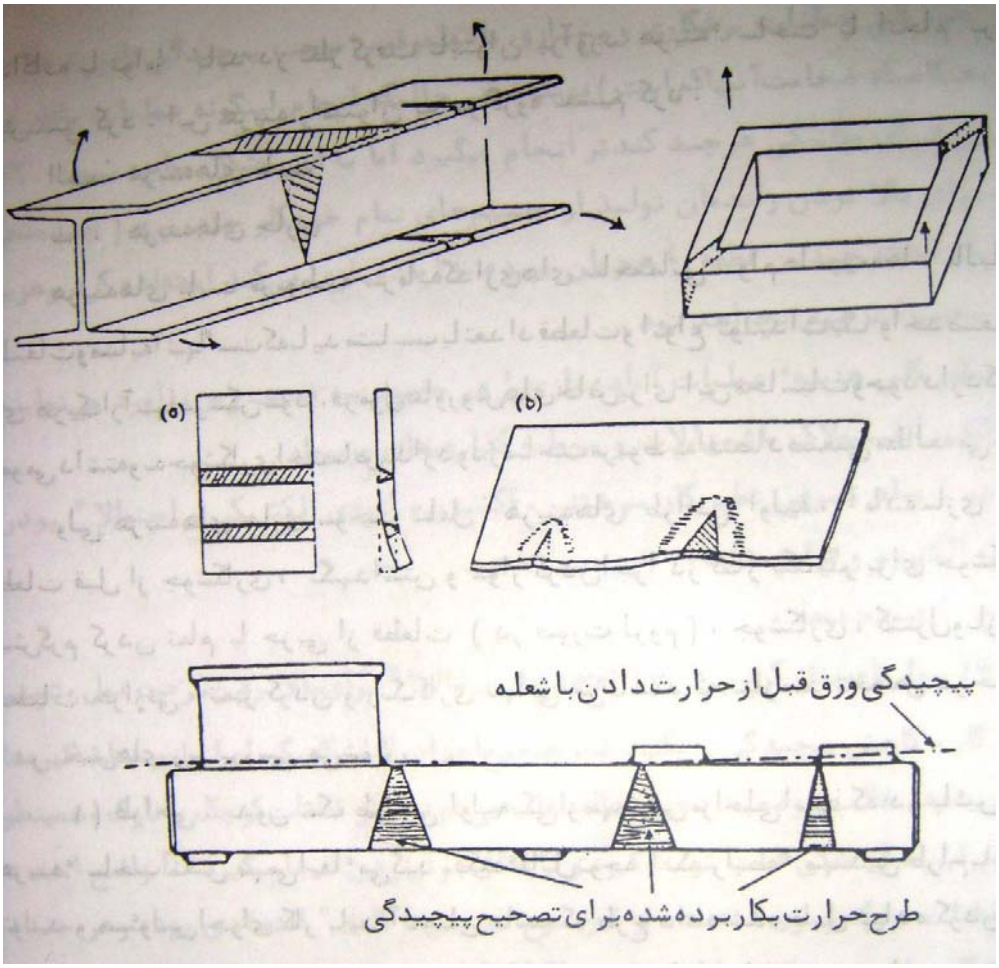
اعمال حرارت نقطه ای



المال حرارت مثلثی

در مورد قطعات پیچیده و ضخیم رفع پیچیدگی بکمک حرارت دادن مکی مشکل تر بوده و طرح های حرارت موضعی متفاوتی در قسمتهای مختلفی از آن باید اجرا شود که نیاز به تجربه دارد . حرارت دادن لبه ای مثلثی یکی از روشهای متداول در این زمینه است . ارتفاع و قاعده این مثلث ، شدت حرارت و فاصله این مواضع حرارت داده شده فاکتورهایی است که برای تصحیح پیچیدگی قابل کنترل و تنظیم میباشد .


نوک
نقطه حرارتی
پایه
حرارت برای نفوذ کامل
2"
3"
4"


(ه)
(ز)
پیچیدگی ورق قبل از حرارت دادن با شعله
طرح حرارت بکار برده شده برای تصحیح پیچیدگی

منابع :

۱: تکنولوژی جوشکاری – امیر حسین کوکبی – انتشارات جامعه ریخته گران ایران

۲: دوره آموزشی پیچیدگی در جوش – مهندس امیر حسینی کلورزی

ISIRI

11851

1st. edition

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران

۱۱۸۵۱

چاپ اول

جوشکاری- اتصالات جوش ذوبی فولاد، نیکل، تیتانیم و آلیاژهای آنها(جوشکاری پرتوئی مستثنی شده است)-سطوح کیفیت برای نواقص

Welding- Fusion – Welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys(beam welding excluded)-Quality levels for imperfections

ICS:25.160.40

به نام خدا

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه*، صاحبنظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان ،مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی برای نظرخواهی از مراجع ذینفع واعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بـررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد(ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی برق و الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه شناسی قانونی(OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ضمن تـوجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهـای بین‌المـللی بهره‌گیری می‌شود.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و واسنجهای (کالیبره‌کنندگان) وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج سیستم بین المللی یکاها ، واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

---

* موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

[1] International Organization for Standardization
[2] International Electro technical Commission
[3] International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legal)
[4] Contact Point
[5] Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

" جوشکاری- اتصالات جوش ذوبی فولاد،نیکل ، تیتانیم و آلیاژهای آنها (جوشکاری پرتوئی مستثنی شده است)-سطوح کیفیت برای نواقص "

(چاپ اول)

رئیس:	**سمت و/یا نمایندگی**
ادب آوازه ،عبدالوهاب (کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)	انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیر مخرب ایران
دبیران:	
ایمانیان نجف آبادی،رضا (کارشناس مهندسی متالورژی)	انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیر مخرب ایران
احمدی،نرگس خاتون (کارشناس مهندسی متالورژی)	شرکت سنجش کیفیت پارس
اعضاء:(اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
پوری رحیم،حسین (کارشناس ارشد مهندسی متالورزی)	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
تازیکه،حمید (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)	شرکت فرایند کنترل
حشمت دهکردی،ابراهیم (دکتری مهندسی متالورژی)	سازمان انرژی اتمی ایران
حاتمی منفرد،علیرضا (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)	شرکت سنجش کیفیت پارس
سلیمی زاده ،ناصر (کارشناس مهندسی مکانیک)	مهندسین مشاور ناظران یکتا
شمعانیان،مرتضی (دکترای مهندسی متالورژی)	دانشگاه صنعتی اصفهان
عابدی،محترم (کارشناس مهندسی مکانیک)	شرکت ایران اسپیرال

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش گفتار	و
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۲
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ گناره ها	۴
۵ ارزیابی نواقص	۵
پیوست الف(اطلاعاتی)نمونه هائی از تعیین درصد(٪) تخلخل	۲۳
پیوست ب(اطلاعاتی) اطلاعات بیشتر و راهنمائی هایی برای استفاده کنندگان از این استاندارد ملی	۲۵

پیش گفتار

استاندارد "جوشکاری- اتصالات جوش ذوبی فولاد،نیکل ، تیتانیم و آلیاژهای آنها-سطوح کیفیت برای نواقص" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران / انجمن جوشکاری و آزمایش های غیر مخرب ایران) تهیه و تدوین شده و در چهارصد و بیست و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلزشناسی مورخ ۸۸/۲/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است:

ISO5817:2005 welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections

جوشکاری- اتصالات جوش ذوبی فولاد،نیکل ،تیتانیم و آلیاژهای آنها (جوشکاری پرتوئی مستثنی شده است) -سطوح کیفیت برای نواقص

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف این استاندارد تعیین سطوح کیفیت برای نواقص در اتصالات جوش ذوبی داده شده (جوشکاری پرتوئی مستثنی شده است) در تمام انواع فولاد،نیکل،تیتانیم و آلیاژهای آنها می باشد.این استاندارد برای ماده با ضخامت بیش از ۰/۵ میلی متر بکار گرفته می شود.این استاندارد تمام جوشهای لب به لب نفوذ کامل و تمام جوشهای گوشه ای را در بر می گیرد. اصول این استاندارد ممکن است در مورد جوشهای لب به لب با نفوذ نسبی نیز به کار برده شود.

سطوح کیفیت برای اتصالات جوش داده شده با پرتو در استاندارد ISO 13919-1 ارائه شده است.

سه سطح کیفیت برای کاربرد محدوده گسترده ای از سازه های جوشکاری شده ارائه گردیده است.این سطوح با گناره های B،C و D مشخص شده اند.کیفیت سطح B بیانگر بالاترین الزام در جوش تمام شده می باشد.سطوح کیفیت به کیفیت تولید مربوط می گردد و نه به تناسب برای کاربرد محصول ساخته شده.(به زیر بند ۳-۲ مرا جعه شود)

این استاندارد برای موارد زیر کاربرد دارد:

- فولاد های غیر آلیاژی و آلیاژی،
- نیکل و آلیاژهای نیکل،
- تیتانیم و آلیاژهای تیتانیم،
- جوشکاری دستی،مکانیزه و خودکار،
- تمام حالات جوشکاری،
- همه انواع جوشها،به عنوان مثال جوشهای لب به لب،جوشهای گوشه ای و اتصالات انشعابی.
- فرایندهای جوشکاری زیر و زیر فرایندهای آنها همانطور که در استاندارد ISO 4036 تعریف شده است
  - ۱۱ جوشکاری قوسی فلزی بدون محافظت گاز ،
  - ۱۲ جوشکاری قوسی زیر پودری،
  - ۱۳ جوشکاری قوسی فلزی با محافظت گاز،
  - ۱۴ جوشکاری با محافظت گاز با الکترودهای مصرف نشدنی،
  - ۱۵ جوشکاری قوسی پلاسمائی،
  - ۳۱ جوشکاری گاز اکسی سوخت(فقط برای فولاد).

جنبه های متالورژیکی مانند اندازه دانه و سختی در این استاندارد آورده نشده است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب آن مقررات جزئی از استاندارد ملی ایران محسوب می شود.
در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست.در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است،همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آنها مورد نظر است.

2-1 ISO2553, Welded, brazed and soldered joints-Symbolic representation on drawings

2-2 ISO 4063, Welding and allied processes- Nomenclature of processes and reference number

2-3 ISO 6520-1:1998, Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials- Part 1: Fusion welding.

2-4 ISO 13919-1, Welding– Electron and laser-beam welded joints–Guidance on quality levels for imperfections– part 1:Steel

۳ اصطلاحات و تعاریف

در خصوص این استاندارد ، تعاریف ارائه شده زیر کاربرد دارند:

۳-۱
سطح کیفیت
توضیح کیفیت جوش بر پایه نوع،اندازه و مقدار نواقص انتخابی .

۳-۲
تناسب برای کارکرد
قابلیت یک محصول،فرایند یا خدمت برای استفاده در هدف تعریف شده و تحت شرایط مشخص.

۳-۳

نواقص کوتاه

در شرایطی که جوش ۱۰۰ میلی متر و یا بیشتر طول داشته باشد ،نواقص ،نواقص کوتاه قلمداد می گردند اگر، در ۱۰۰ میلی متر که بیشترین تعداد نواقص را دارد مجموع طول آنها کمتر از ۲۵ میلی متر باشد.
در شرایطی که طول جوش کمتر از ۱۰۰ میلی متر باشد ،نواقص،نواقص کوتاه قلمداد می گردند اگر مجموع طول آنها کمتر از ۲۵٪ طول جوش باشد.

۴-۳

نواقص سیستمی

نواقصی که به طور تکراری در طول جوش مورد آزمایش توزیع شده و اندازه هر عیب تکی در محدوده مشخص باشد.

۵-۳

ناحیه تصویر شده

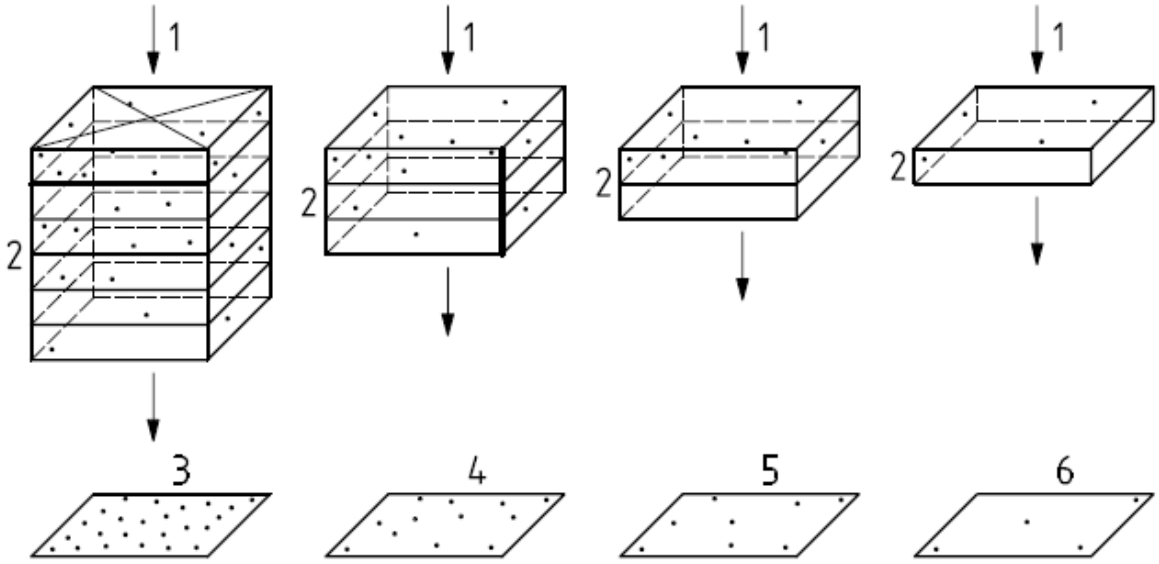
ناحیه ای که نواقص توزیع شده در راستای حجم جوش مورد بررسی،به صورت دو بعدی نمایش داده شده اند.

یادآوری:بر خلاف مساحت مقطع عرضی،هنگام پرتو دهی بمنظور پرتونگاری ،مشاهده نواقص به ضخامت جوش بستگی دارد . (شکل ۱ را ببینید)

۶-۳

مساحت مقطع عرضی

ناحیه مورد ملاحظه بعد از شکست یا مقطع زنی است.



راهنما

1	**جهت اشعه X**	**3**	**ضخامت ۶ لایه**	**5**	**ضخامت ۲ لایه**
2	**۴حفره در واحد حجم**	**4**	**ضخامت ۳ لایه**	**6**	**ضخامت ۱ لایه**

شکل ۱- فیلم های پرتونگاری نمونه ها با فراوانی حفرات یکسان در واحد حجم

۴ گناره ها

گناره های زیر در جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفته است:

a ضخامت گلوئی اسمی یک جوش گوشه ای(به استاندارد ISO 2553مراجعه نمائید.)

A ناحیه احاطه کننده یک حفره گازی

b پهنای گرده جوش

d قطر یک حفره گازی

d_A قطر ناحیه احاطه کننده یک حفره گازی

h ارتفاع یا پهنای یک نقص

l طول نقص در جهت طولی جوش

l_p طول سطح تصویر یا سطح مقطع عرضی

s ضخامت اسمی جوش لب به لب(به استاندارد ISO 2553 مراجعه نمائید.)

t ضخامت دیواره یا ورق (اندازه اسمی)

w_p پهنای جوش یا پهنا یا ارتفاع ناحیه مقطع عرضی

z طول ساق یک جوش گوشه ای(به استاندارد ISO 2553 مراجعه نمائید.

α زاویه پنجه جوش

β زاویه عدم هم ترازی زاویه ای

۵ ارزیابی نواقص

محدوده نواقص در جدول ۱ ارائه شده است.

اگر برای تشخیص نواقص آزمایش میکرو مورد استفاده قرار گرفته است،فقط آن نواقصی که با بیشینه ده برابر بزرگنمائی تشخیص داده می شوند باید بررسی گردند. ریز ترکها در این منطقه مستثنا هستند.(به جدول ۱ زیر بند ۲-۲ مراجعه کنید.)

نواقص سیستمی تنها در سطح کیفیت D مجاز هستند مشروط بر اینکه سایر الزامات جدول یک را برآورد نموده باشند.

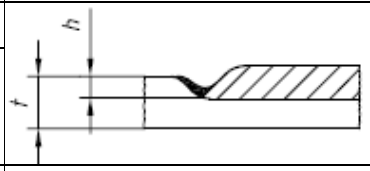
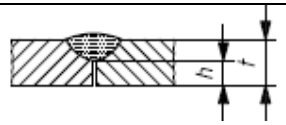
یک اتصال جوشی معمولا باید برای هر عیب تکی به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد.(به جدول ۱ زیربند ۱-۱ تا ۳-۲ مراجعه نمائید.)

انواع نواقص گوناگونی که در هر سطح مقطع اتصال به وقوع می پیوندد ملاحظات خاصی لازم دارد.(برای نواقص چندگانه به جدول ۱ زیر بند ۴-۱ مراجعه نمائید.)

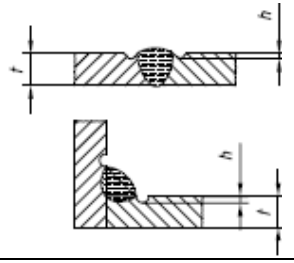
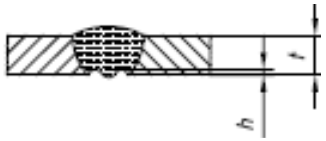
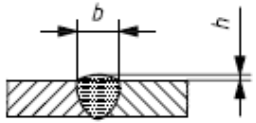
حدود نواقص چند گانه(به جدول ۱ مراجعه نمائید.) تنها در مواردی قابل اجرا می باشد که از الزامات برای نقص تکی تجاوز نشده باشد.

هر دو نقص مجاور که کمتر از اندازه عمده نقص کوچکتر فاصله داشته باشند،باید به عنوان یک نقص تکی محسوب شوند.

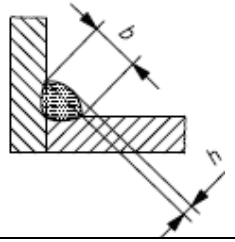
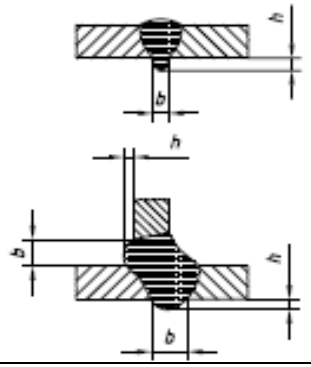
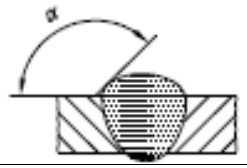
جدول ۱- محدوده برای نواقص

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱	نواقص سطحی						
۱-۱	۱۰۰	ترک	---	≤ ۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
۱-۲	۱۰۴	ترک چاله	h= طول یا عرض	≤ ۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
۱-۳	۲۰۱۷	حفره سطحی	بیشینه ابعاد یک حفره گازی تکی برای: - جوشهای لب به لب - جوشهای گوشه ای	۰/۵ تا ۳	d ≤۰/۳s d ≤۰/۳a	مجاز نیست	مجاز نیست
			بیشینه ابعاد یک حفره تکی برای: - جوشهای لب به لب - جوشهای گوشه ای	۳ <	d ≤۰/۳s ولی بیشینه mm۳ d ≤۰/۳a ولی بیشینه mm۳	d ≤۰/۲s ولی بیشینه mm۲ d ≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲	مجاز نیست
۱-۴	۲۰۲۵	حفره لوله ای چاله انتهایی		۰/۵ تا ۳	h ≤۰/۲t	مجاز نیست	مجاز نیست
				۳ <	h ≤۰/۲t ولی بیشینه mm۲	h ≤۰/۱t ولی بیشینه ۱ mm	مجاز نیست
۱-۵	۴۰۱	ذوب ناقص (ذوب ناکافی)	---	≤ ۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
		ذوب ناقص میکرو	تنها بوسیله آزمایش میکرو قابل تشخیص است		مجاز است	مجاز است	مجاز نیست
۱-۶	۴۰۲۱	نفوذ ناقص ریشه	 فقط برای جوشهای لب به لب یکطرفه	≤ ۰/۵	نواقص کوتاه: h ≤۰/۲t ولی بیشینه mm۲	مجاز نیست	مجاز نیست

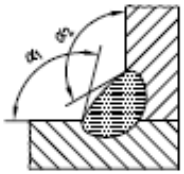
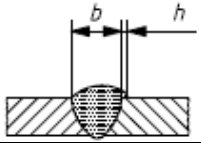
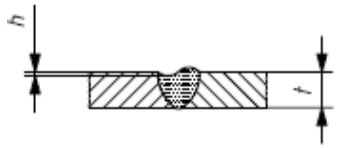
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۷-۱	۵۰۱۱ ۵۰۱۲	بریدگی ممتد کنار جوش بریدگی منقطع کنار جوش	انتقال سطح هموار نیاز است. این مورد به عنوان نقص سیستمی تلقی نمی گردد. 	۰/۵ تا ۳	نواقص کوتاه: $h \leq ۰/۲t$	نواقص کوچک: $h \leq ۰/۱t$	مجاز نیست
				۳ <	$h \leq ۰/۲t$ ولی بیشینه ۱ mm	$h \leq ۰/۱t$ ولی بیشینه ۰/۵mm	$h \leq ۰/۰۵t$ ولی بیشینه ۰/۵mm
۸-۱	۵۰۱۳	شیار انقباضی	انتقال سطح هموار نیاز است. 	۰/۵ تا ۳	$h \leq ۰/۲mm + ۰/۱t$	نواقص کوتاه: $h \leq ۰/۱ t$	مجاز نیست
				۳ <	نواقص کوتاه : $h \leq ۰/۲ t$ ولی بیشینه ۲mm	نواقص کوتاه: $h \leq ۰/۱ t$ ولی بیشینه ۱mm	نواقص کوتاه: $h \leq ۰/۰۵ t$ ولی بیشینه ۰/۵mm
۹-۱	۵۰۲	فلز جوش اضافه (جوش لب به لب)	انتقال سطح هموار نیاز است. 	≥۰/۵	$h \leq$ mm۱ $+ ۰/۲۵b$ ولی بیشینه ۱۰mm	$h \leq$ mm ۱ $+ ۰/۱۵b$ ولی بیشینه ۷mm	$h \leq$ mm ۱ $+ ۰/۱b$ ولی بیشینه mm ۵

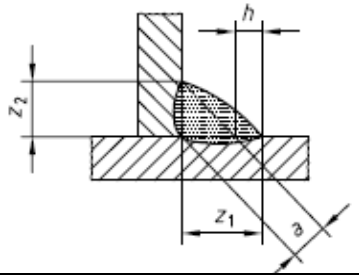
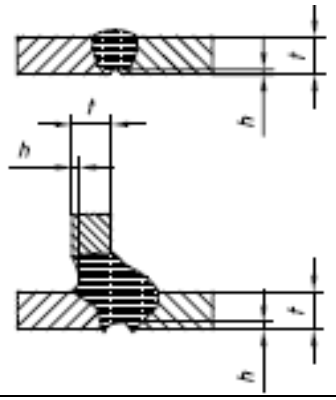
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱۰-۱	۵۰۳	تحدب اضافه (جوش گوشه ای)		≤ ۰/۵	h≤ ۱mm + ۰/۲۵b ولی بیشینه mm۵	h≤ ۱mm + ۰/۱۵b ولی بیشینه mm۴	h≤ ۱mm + ۰/۱b ولی بیشینه mm۳
۱۱-۱	۵۰۴	نفوذ اضافه		۰/۵ تا ۳	h≤ ۱mm + ۰/۶b	h≤ ۱mm + ۰/۳b	h≤ ۱mm + ۰/۱b
				۳ <	h≤ ۱mm + ۱/۰b ولی بیشینه mm۵	h≤ ۱mm + ۰/۶b ولی بیشینه mm۴	h≤ ۱mm + ۰/۲b ولی بیشینه mm۳
۱۲-۱	۵۰۵	پنجه جوش نا صحیح	- جوش های لب به لب 	≤ ۰/۵	α ≥ ۹۰°	α ≥ ۱۰۰°	α ≥ ۱۵۰°

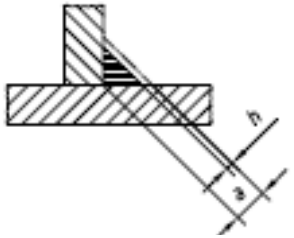
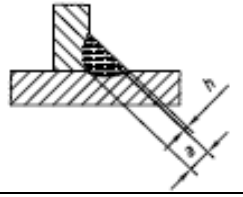
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱۲-۱	۵۰۵	پنجه جوش ناصحیح	- جوش های گوشه ای  $\alpha_1 \geq \alpha$ $\alpha_2 \geq \alpha$	≤ ۰/۵	$\alpha \geq ۹۰^{o}$	$\alpha \geq ۱۱۰^{o}$	$\alpha \geq ۱۱۰^{o}$
۱۳-۱	۵۰۶	روی هم افتادگی		≤ ۰/۵	h≤ ۰/۲b	مجاز نیست	مجاز نیست
۱۴-۱	۵۰۹ ۵۱۱	گود افتادگی شیار کاملا پر نشده	انتقال سطح هموار نیاز است. 	۰/۵ تا ۳	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۲۵ t	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۱ t	مجاز نیست
				۳ <	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۲۵ t ولی بیشینه mm۲	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۱ t ولی بیشینه mm۱	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۰۵ t ولی بیشینه mm۰/۵
۱۵-۱	۵۱۰	سوختگی داخلی	---	≥۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست

جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱-۱۶	۵۱۲	نامتقارنی اضافه جوش گوشه ای (نامساوی بودن بیش از حد طول ساق)	در مواردی که یک جوش گوشه ای نامتقارن مشخص نشده است 	≥۰/۵	h≤ ۲ mm + ۰/۲ a	h≤ ۲ mm + ۰/۱۵ a	h≤ ۱/۵mm + ۰/۱۵ a
۱-۱۷	۵۱۵ ۵۰۱۳	تقعر ریشه	انتقال سطح هموار نیاز است. 	۰/۵ تا ۳	t۰/۱ mm +۰/۲h≤	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۱ t	مجاز نیست
				>۳	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۲ t ولی بیشینه mm۲	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۱ t ولی بیشینه mm۱	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۰۵ t ولی بیشینه mm۰/۵
۱-۱۸	۵۱۶	تخلخل ریشه	شکل گیری متخلخل در ریشه جوش بعلت جوشش فلز جوش در لحظه انجماد(مثلا به دلیل گاز پشتی ناکافی)	≥۰/۵	بصورت موضعی مجاز است	مجاز نیست	مجاز نیست

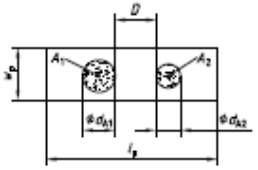
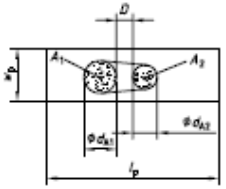
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱-۱۹	۵۱۷	شروع مجدد ضعیف	---	≥۰/۵	مجاز است. حدود به نوع نقص بوجود آمده در اثر شروع مجدد بستگی دارد	مجاز نیست	مجاز نیست
۱-۲۰	۵۲۱۳	ضخامت گلوی ناکافی	برای فرآیندهایی که عمق نفوذ بیشتری از آنها انتظار می رود ،کاربرد ندارد. 	۰/۵ تا ۳	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۲ mm +۰/۱a	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۲ mm	مجاز نیست
				>۳	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۳ mm +۰/۱a ولی بیشینه ۲ mm	نواقص کوتاه: h≤ ۰/۳ mm +۰/۱a ولی بیشینه ۱mm	مجاز نیست
۱-۲۱	۵۲۱۴	ضخامت گلوی اضافی	ضخامت گلوی واقعی جوش گوشه ای بسیار زیاد است. 	≥۰/۵	بدون محدودیت	h≤ ۱ mm +۰/۲a ولی بیشینه ۴mm	h≤ ۱ mm +۰/۱۵a ولی بیشینه ۳mm
۱-۲۲	۶۰۱	قوس هرز	---	≥۰/۵	مجاز است اگر خواص فلز پایه متاثر نگردد.	مجاز نیست	مجاز نیست
۱-۲۳	۶۰۲	پاشش	---	≥۰/۵	پذیرش به کاربری وابسته است مثلا ماده،حفاظت خوردگی.		

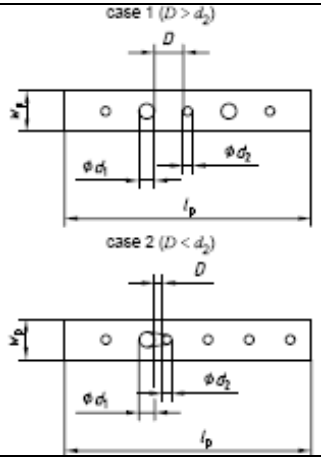
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۲	نواقص داخلی						
۲-۱	۱۰۰	ترک ها	تمام انواع ترکها بجز ریز ترکها و ترکهای چاله	≤ ۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
۲-۲	۱۰۰۱	ریز ترک ها	ترکی که معمولا تنها زیر میکروسکوپ قابل رویت است (بزرگنمائی ۵۰).	≤ ۰/۵	مجاز است	پذیرش به نوع فلز پایه و توجه خاص به حساسیت به ترک خوردن، بستگی دارد.	
۲-۳	۲۰۱۱ ۲۰۱۲	حفره گازی تخلخل با پراکندگی یکنواخت	شرایط و محدودیت های زیر برای نواقص باید اعمال شود.جهت اطلاع به پیوست الف مراجعه شود.				
			a1)بیشینه ابعاد مساحت نواقص(شامل نواقص سیستمی)مربوط به ناحیه تصویر شده یادآوری:تخلخل در ناحیه تصویرشده به تعداد لایه ها وابسته است.(حجم جوش)	≤ ۰/۵	برای تک لایه: ≥ ٪۲/۵ برای چند لایه: ≥ ٪۵	برای تک لایه: ≥ ٪۱/۵ برای چند لایه: ≥ ٪۳	برای تک لایه: ≥ ٪۱ برای چند لایه: ≥ ٪۲
			a2)بیشینه ابعاد مساحت سطح مقطع نواقص(شامل نواقص سیستمی)مربوط به ناحیه شکست .فقط برای آزمونهای تولید،جوشکار یا دستورالعمل کاربرد دارد	≤ ۰/۵	≥٪۲/۵	≥ ٪۱/۵	≥ ۱٪
			b)بیشینه ابعاد حفره تکی برای: - جوش های لب به لب - جوش های گوشه ای	≤ ۰/۵	d≤ ۰/۴ s ولی بیشینه mm۵ d≤ ۰/۴ a ولی بیشینه mm۵	d≤ ۰/۳ s ولی بیشینه mm۴ d≤ ۰/۳ a ولی بیشینه mm۴	d≤ ۰/۲ s ولی بیشینه mm۳ d≤ ۰/۲ a ولی بیشینه mm ۳

جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۴-۲	۲۰۱۳	تخلخل خوشه ای (موضعی)	case 1 ($D > d_{A2}$)  case 2 ($D < d_{A2}$)  مجموع مساحت حفرات مختلف $(A_1+A_2+\ldots)$ مربوط به مساحت ارزیابی $l_p \times W_p$ طول مرجع برای l_p ۱۰۰mm است. اگر Dکوچکتر از d_{A1} یاd_{A2} ،هر کدام کوچکتر اند ،باشد، در آنصورت یک مساحت در بر گیرنده کل حفرات A1+A2 به عنوان یک نقص در نظر گرفت شوند(حالت ۲)			

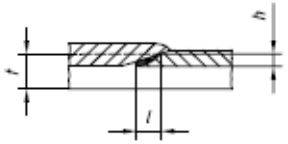
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۲-۴	۲۰۱۳	تخلخل خوشه ای (موضعی)	شرایط ابعادی و محدوده های زیر برای نواقص باید برآورده شوند.جهت اطلاع بیشتر به پیوست الف مراجعه شود.				
			a)بیشینه ابعاد مجموع نواحی تصویر شده نواقص(شامل نواقص سیستمی)	≤ ۰/۵	≤%۱۶	≤%۸	≤%۴
			b) بیشینه ابعاد برای یک حفره تکی - جوشهای لب به لب - جوشهای گوشه ای	≤ ۰/۵	d≤ ۰/۴ s ولی بیشینه mm۴ d≤ ۰/۴ a ولی بیشینه mm۴	d≤ ۰/۳ s ولی بیشینه mm۳ d≤ ۰/۳ a ولی بیشینه mm۳	d≤ ۰/۲ s ولی بیشینه mm۲ d≤ ۰/۲ a ولی بیشینه mm ۲
۲-۵	۲۰۱۴	تخلخل خطی					

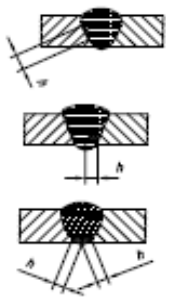
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۵-۲	۲۰۱۴	تخلخل خطی	مجموع مساحتهای حفرات مختلف $\left\{\frac{d1^2\pi}{4}+\frac{d2^2\pi}{4}+\ldots\right\}$ مربوط به مساحت ارزیابی ناحیه $l_p \times W_p$ (حالت ۱) اگر D از قطر کوچکتر حفرات مجاور کوچکتر باشد،کل منطقه در تماس دو حفره باید بعنوان جمع نواقص در نظر گرفته شود (حالت ۲). شرایط و محدوده های نواقص زیر باید برآورده شود.جهت اطلاع به پیوست الف مراجعه شود. a1) بیشینه بعد مساحت نواقص(شامل نواقص سیستمی) مرتبط با ناحیه برجسته شده. یادآوری:تخلخل در ناحیه تصویر به تعداد لایه ها بستگی دارد(حجم جوش). a2) بیشینه بعد نواقص ناحیه سطح مقطع نواقص(شامل نواقص سیستمی) مربوط به ناحیه شکست(تنها برای آزمایش های تولید، جوشکار یا دستورالعمل کاربری دارد.) b) بیشینه ابعاد برای یک حفره تکی -جوشهای لب به لب -جوشهای گوشه				
				≤ ۰/۵	برای تک لایه.≥ ٪۸ برای چند لایه ٪۱۶≥	برای تک لایه.≥ ٪۴ برای چند لایه ٪۸≥	برای تک لایه ٪۲≥ برای چند لایه ٪۴≥
				≤ ۰/۵	٪۸≥	٪۴≥	٪۲≥
				≤ ۰/۵	d≤ ۰/۴ s ولی بیشینه mm۴ d≤ ۰/۴ a ولی بیشینه mm۴	d≤ ۰/۳ s ولی بیشینه mm۳ d≤ ۰/۳ a ولی بیشینه mm۳	d≤ ۰/۲ s ولی بیشینه mm۲ d≤ ۰/۲ a ولی بیشینه mm۲

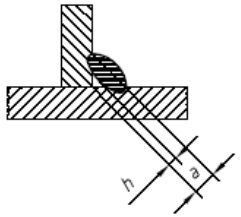
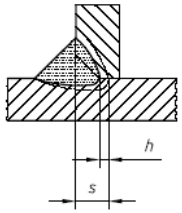
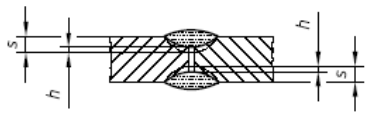
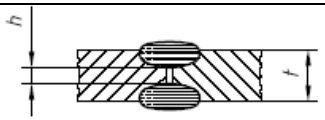
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۶-۲	۲۰۱۵ ۲۰۱۶	حفره کرمی شکل کشیده شده	-جوش های لب به لب	≤ ۰/۵	h≤۰/۴s ولی بیشینه mm۴ l≤s ولی بیشینه mm۷۵	h≤۰/۳s ولی بیشینه mm۳ l ≤ s ولی بیشینه mm۵۰	h≤۰/۲s ولی بیشینه mm۲ l ≤ s ولی بیشینه mm۲۵
			-جوش های گوشه ای	≤ ۰/۵	h≤۰/۴a ولی بیشینه mm۴ l ≤ a ولی بیشینه mm۷۵	h≤۰/۳a ولی بیشینه mm۳ l ≤ a ولی بیشینه mm۵۰	h≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲ l ≤a ولی بیشینه mm۲۵
۷-۲	۲۰۲	حفره انقباضی	---	≤ ۰/۵	نواقص کوتاه مجاز است،ولی نه نواقصی که سطح را شکسته اند. -جوشهای لب به لب: h≤۰/۴s ولی بیشینه mm۴ -جوشهای گوشه ای: h≤۰/۴a ولی بیشینه mm۴	مجاز نیست	مجاز نیست
۸-۲	۲۰۲۴	حفره لوله ای چاله	 بزرگترین اندازه h یا l اندازه گیری می شود	۰/۵ تا ۳ ۳ <	l≤۰/۲t یا h بیشینه mm ۲	مجاز نیست	مجاز نیست

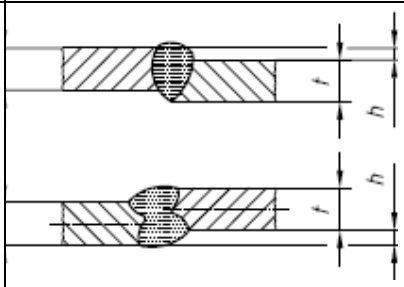
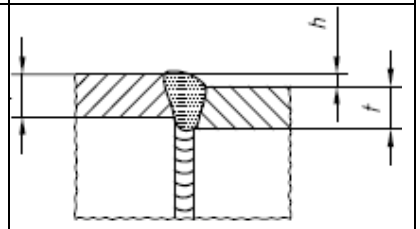
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۹-۲	۳۰۰ ۳۰۱ ۳۰۲ ۳۰۳	آخالهای جامد آخالهای سرباره آخالهای فلاکس آخالهای اکسیدی	-جوشهای لب به لب	≤ ۰/۵	h≤۰/۴s ولی بیشینه mm۴ s ≤ l ولی بیشینه mm۷۵	h≤۰/۳s ولی بیشینه mm۳ s ≤ l ولی بیشینه mm۵۰	h≤۰/۲s ولی بیشینه mm۲ s≤ l ولی بیشینه mm۲۵
			جوشهای گوشه ای	≤ ۰/۵	h≤۰/۴a ولی بیشینه mm۴ a ≤ l ولی بیشینه mm۷۵	h≤۰/۳a ولی بیشینه mm۳ a≤ l ولی بیشینه mm۵۰	h≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲ a≤ l ولی بیشینه mm۲۵
۱۰-۲	۳۰۴	آخالهای فلزی به غیر از مس	- جوشهای لب به لب	≤ ۰/۵	h≤۰/۴s ولی بیشینه ۴ mm	h≤۰/۳s ولی بیشینه mm۳	h≤۰/۲s ولی بیشینه mm۲
			-جوشهای گوشه ای	≤ ۰/۵	h≤۰/۴a ولی بیشینه mm۴	h≤۰/۳a ولی بیشینه mm۳	h≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲
۱۱-۲	۳۰۴۲	آخالهای مس	---	≤ ۰/۵	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
۱۲-۲	۴۰۱ ۴۰۱۱ ۴۰۱۲ ۴۰۱۳	ذوب ناقص(ذوب ناکافی) ذوب ناقص دیواره ذوب ناقص بین پاس ذوب ناقص ریشه		≤ ۰/۵	نواقص کوتاه مجاز است -جوشهای لب به لب h≤۰/۴ ولی بیشینه mm۴ --جوشهای گوشه ای h≤۰/۴a ولی بیشینه mm۴	مجاز نیست	مجاز نیست

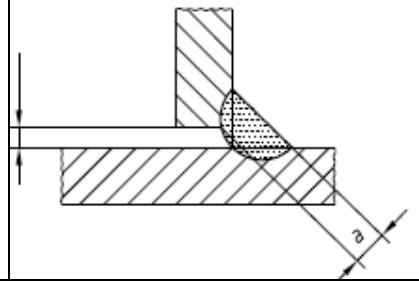
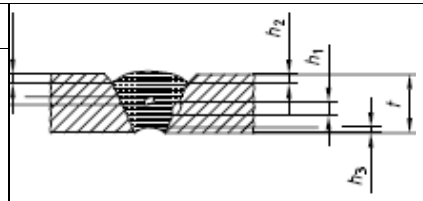
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۲-۱۳	۴۰۲	نفوذ ناقص	 اتصال T شکل (جوش گوشه ای)	≤ ۰/۵	نواقص کوتاه: h≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲	مجاز نیست	مجاز نیست
			 اتصال T شکل(نفوذ نسبی)  اتصال لب به لب(نفوذ نسبی)	≤ ۰/۵	نواقص کوتاه: -اتصال لب به لب: h≤۰/۲s ولی بیشینه mm۲ -اتصال Tشکل: h≤۰/۲a ولی بیشینه mm۲	نواقص کوتاه: -اتصال لب به لب: h≤۰/۱s ولی بیشینه mm۱/۵ -اتصال گوشه ای: h≤۰/۱a ولی بیشینه mm۱/۵	مجاز نیست
			 اتصال لب به لب(نفوذ کامل)	≤ ۰/۵	نواقص کوتاه: h≤۰/۲t ولی بیشینه mm۲	مجاز نیست	مجاز نیست

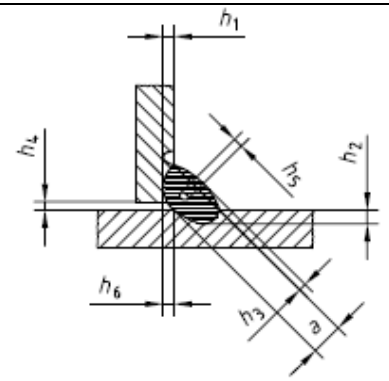
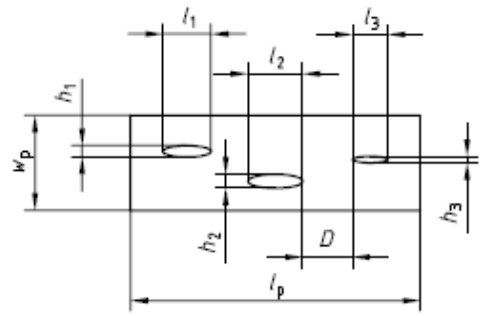
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۳ نواقص موجود در هندسه اتصال							
۱-۳	۵۰۷	عدم همترازی خطی	حدود مربوط به انحراف از حالت صحیح است.مگر اینکه طور دیگری مشخص شده باشد،حالت صحیح آن است که خطوط مرکزی بر هم منطبق باشند(بند ۱ را مجددا ملاحظه کنید)t به ضخامت کوچکتر اشاره دارد.	۰/۵ تا ۳	h≤ ۰/۲ mm +۰/۲۵t	h≤ ۰/۲ mm +۰/۱۵t	h≤ ۰/۲ mm +۰/۱t
			 شکل الف)ورقها و جوشهای طولی	۳ <	h≤۰/۲۵t ولی بیشینه mm۵	h≤۰/۱۵t ولی بیشینه mm۴	h≤۰/۱t ولی بیشینه mm۳
			 شکل ب) جوشهای محیطی	۰/۵ ≤	h≤۰/۵t ولی بیشینه mm۴	h≤۰/۵t ولی بیشینه۳ mm	h≤۰/۵t ولی بیشینه mm۲

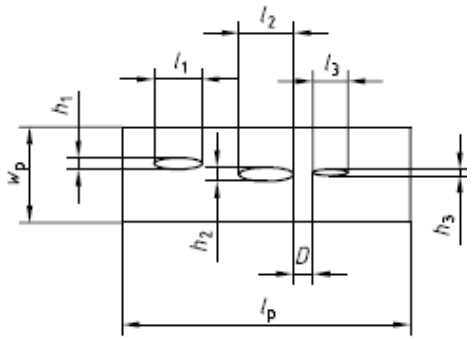
جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت (t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۲-۳	۶۱۷	درز ریشه ناصحیح برای جوشهای گوشه ای	درز بین قطعاتی که باید متصل شوند. درزهای بزرگتر از محدوده مناسب ممکن است،در موارد خاص،با افزایش متناظر گلویی جبران گردد. 	۰/۵ تا ۳	h≤ ۰/۵ mm +۰/۱a	h≤ ۰/۳ mm +۰/۱a	h≤ ۰/۲ mm +۰/۱a
				۳ <	h≤ ۱ mm +۰/۳a ولی بیشینه ۴ mm	h≤ ۰/۵ mm +۰/۲a ولی بیشینه mm۳	h≤ ۰/۵ mm +۰/۱a ولی بیشینه mm۲
۴ نواقص چند گانه							
۱-۴	ندارد	نواقص چندگانه در هر سطح مقطع	 $h_1+h_2+h_3+h_4+h_5=\Sigma h$	۰/۵ تا ۳	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
				۳ <	بیشینه مجموع ارتفاع نواقص ∑h ≤۰/۴t یا ≤۰/۲۵a	بیشینه مجموع ارتفاع نواقص ∑h ≤۰/۳t یا ≤۰/۲a	بیشینه محموع ارتفاع نواقص ∑h ≤۰/۲t یا ≤۰/۱۵a

جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۱-۴			 $h_1+h_2+h_3+h_4+h_5=\Sigma h$				
۲-۴	ندارد	ناحیه تصویرشده یا سطح مقطع عرضی در جهت طولی	case 1 ($D > l_3$)  $h_1\times l_1+h_2\times l_2+h_3\times l_3=\Sigma h\times l$				

جدول۱-(ادامه)

شماره	شماره مرجع در ISO 6520 - 1:1998	شناسه نقص	ملاحظات	ضخامت(t) mm	حدود نواقص برای سطوح کیفیت		
					D	C	B
۲-۴			case 2 ($D < l_3$)  $h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + \left(\frac{h_2 + h_3}{2}\right) \times D + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$ مجموع مساحت ها $\sum h \times l$ باید بعنوان درصد برای ارزیابی مساحت $lp \times wp$ محاسبه شود(حالت ۱). اگر D کوچکتر از کوتاهترین طول یکی از نواقص مجاور باشد،کل محل اتصال دو نقص باید به عنوان مجموع نواقص در نظر گرفته می شود(حالت ۲). یادآوری:جهت اطلاع به پیوست الف مراجعه شود	≤ ۰/۵	$\sum h \times l \leq$ ٪۱۶	$\sum h \times l \leq$ ٪۸	$\sum h \times l \leq$ ٪۴

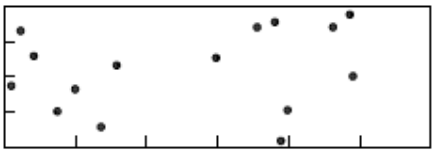
پیوست الف

(اطلاعاتی)

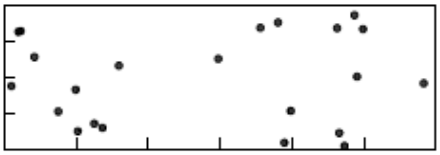
نمونه هائی از تعیین درصد(٪) تخلخل

شکلهای الف.۱ تا الف.۹ در صدهای (٪)گوناگون تخلخل را تشریح می کنند.این تصاویر به منظور کمک در ارزیابی تخلخل در سطوح تصویر(پرتونگاشتها) یا در مسا حتهای سطح مقطع تهیه شده اند

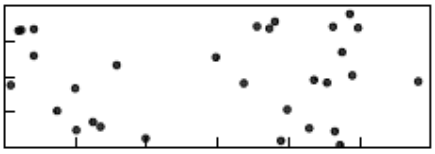
.



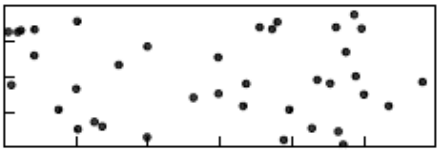
شکل الف.۱ - ۱ درصد سطح،۱۵ حفره ، d = ۱mm



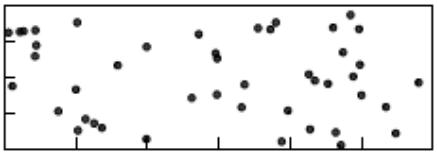
شکل الف.۲ - ۱/۵ درصد سطح،۲۳ حفره ، d = ۱mm



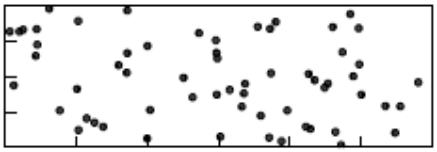
شکل الف. ۳ - ۲ درصد سطح،۳۰ حفره ، d = ۱mm



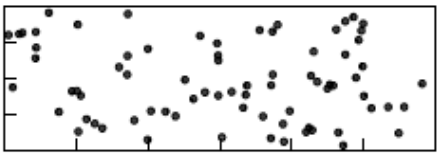
شکل الف. ۴ – ۲/۵ درصد سطح،۳۸ حفره ، d = ۱mm



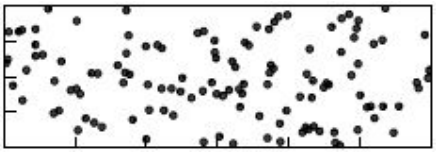
شکل الف. ۵ –۳درصد سطح،۴۵ حفره ، d = ۱mm



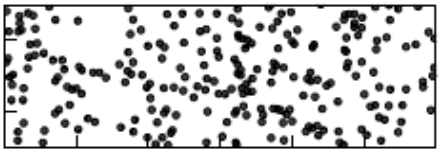
شکل الف. ۶ –۴درصد سطح،۶۱ حفره ، d = ۱mm



شکل الف. ۷ –۵درصد سطح،۷۶ حفره ، d = ۱mm



شکل الف. ۸ –۸درصد سطح،۱۲۲ حفره ، d = ۱mm



شکل الف. ۹ –۱۶درصد سطح،۲۴۴ حفره ، d = ۱mm

پیوست ب

(اطلاعاتی)

اطلاعات بیشتر و راهنمایی هایی برای استفاده کنندگان از این استاندارد ملی

این استاندارد الزامات برای سه سطح کیفیت برای نواقص در اتصالات جوشکاری شده فولاد،نیکل،تیتانیم و آلیاژهای آنها که توسط فرایندهای جوشکاری قوسی (جوشکاری پرتوئی مستثنی شده است)تولید شده اند و برای جوش با ضخامتهای ≤ ۰/۵ میلی متر می باشد ،همانطور که در هدف و دامنه کاربرد مشخص گردیده است.این استاندارد، هر جا قابل اجرا باشد،برای سایر فرایندهای جوشکاری و ضخامتهای جوش ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

تجهیزات گاها برای کاربری های مختلف ولی بر طبق الزامات مشابه تهیه می گردند.به هر حال الزامات یکسان باید در مورد قطعات یکسان تولید شده در کارگاههای گوناگون به جهت حصول اطمینان از اینکه کار با معیارهای یکسان به پیش می رود،به کار برده شود.کاربرد سازگار این استاندارد از سنگ بناهای یک سیستم تضمین کیفیت برای استفاده در تولید سازه ها به روش جوشکاری می باشد.

هنگامی که نواقص متعدد را جمع می کنیم،از نظر تئوری امکان هم پوشانی نواقص تکی وجود دارد.در این حالت مجموع تمام انحرافات مجاز باید توسط مقادیر مشخص شده برای نواقص گوناگون محدود گردد،برای مثال،از حد یک نقص تکی مانند،یک حفره تکی،نباید بیشتر شود.

این استاندارد ممکن است همراه با یک کتابچه راهنما از تصاویر واقعی که اندازه و نواقص مجاز برای سطوح گوناگون کیفیت را ،توسط عکسهایی که سمت رویه و ریشه را نشان می دهند و یا تولید مجدد پرتونگاشتها و ریز تصویرهایی که سطح مقطع جوش را نشان می دهند، به کار برده شوند.

مثالی از این قبیل کتابچه های راهنما پرتونگاشتهای مرجع برای ارزیابی نواقص جوش مطابق استاندارد بین المللی ISO 5817 می باشد.این کتابچه راهنما ممکن است همراه با کارتهای مرجع جهت ارزیابی نواقص گوناگون به کار برده شود و ممکن است هنگامی که نظرها با اندازه مجاز نواقص متفاوت باشد به کار گرفته شود.

کتابنامه

1- ISO 17635, Non-destructive testing of welds-General rules for fusion welds in metallic materials