

A full-page photograph of a male worker in an orange high-visibility safety suit with reflective silver stripes, a red hard hat, and blue gloves. He is suspended by ropes and safety harnesses, working on a large, dark, cylindrical metal component of a high-voltage power line tower. The background shows a vast industrial landscape with various structures, pipes, and a body of water under a clear sky. A semi-transparent white banner with Persian text is overlaid on the bottom right of the image.

ازمون های غیر مخرب

مقدمه

ضرورت بازرسی

- در ماده یا قطعه در حین ساخت، انواع نقصها با اندازه های متفاوت ممکن است به وجود آید که ماهیت و اندازه دقیق این نقص، کارکرد آتی قطعه را تحت تاثیر قرار می دهد. نقصهای دیگری مانند ترکهای ناشی از خستگی یا خوردگی، در حین کار با ماده نیز ممکن است به وجود آید. بنابراین برای آشکارسازی نقصها در مرحله ساخت و همچنین برای آشکارسازی و مشاهده آهنگ رشد آنها در حین عمر کاری هر قطعه یا مجموعه باید وسایل قابل اعتمادی در اختیار داشت.

انواع سیستمهای بازرسی

● تستهای مخرب (DT)

در این نوع تست آزمایشهای مختلف بر روی نمونه های استاندارد تهیه شده از قطعات مورد آزمون انجام می شود و پس از انجام تست نمونه از بین می رود.

معایب روش: سرعت پایین

پر هزینه بودن

ارائه اطلاعات فقط مربوط به نمونه ها

انواع سیستمهای بازرسی

● تستهای غیر مخرب (NDT)

تست یا بازرسی غیر مخرب به روش هایی از بازرسی اطلاق می شود که در آنها کارایی یک قطعه بدون تغییر یا از بین رفتن آن قطعه، مورد بررسی قرار می گیرد.



تفاوت‌های DT و NDT:

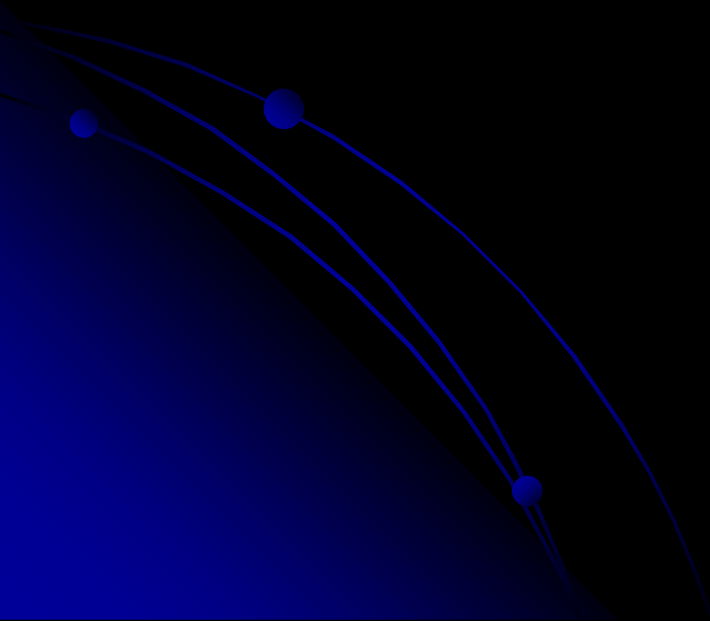
۱. در روش های DT پس از اعمال آزمایش، قطعه کارایی خود را از دست می دهد

۲. در روش های DT نمی توان تمام محصولات را تحت آزمایش قرار داد و باید به صورت random تعدادی از نمونه ها را تحت آزمایش قرار داد.

۳. در روش های DT نیاز به تهیه نمونه استاندارد وجود دارد که برای آزمایش های مختلف متفاوت است.

تفاوت‌های DT و NDT:

- آزمایش‌های DT و NDT در عرض یکدیگر قرار ندارند و انجام یک تست باعث بی‌نیازی از تست دیگر نمی‌شود.



عیوب قابل تشخیص با NDT

عیوب ناشی از مواد اولیه

- جدایش
- ناخالصی
- آخالهای سرباره
- تخلخل های گازی
- تخلخل های انقباضی

عیوب قابل تشخیص با NDT

عیوب ناشی از مواد اولیه

عیوب ناشی از روش ساخت

- شکل دادن
- متالورژی پودر
- جوشکاری
- عملیات حرارتی
- ماشینکاری

عیوب قابل تشخیص با NDT

عیوب ناشی از مواد اولیه

عیوب ناشی از روش ساخت

عیوب ناشی از مونتاژ قطعات

- ترک ناشی از تنش اضافی
- عیوب ناشی از جوشکاری اضافی
- مونتاژ نادرست
- قطعات جا افتاده

عیوب قابل تشخیص با NDT

عیوب ناشی از مواد اولیه

عیوب ناشی از روش ساخت

عیوب ناشی از مونتاژ قطعات

عیوب ناشی از کارکرد

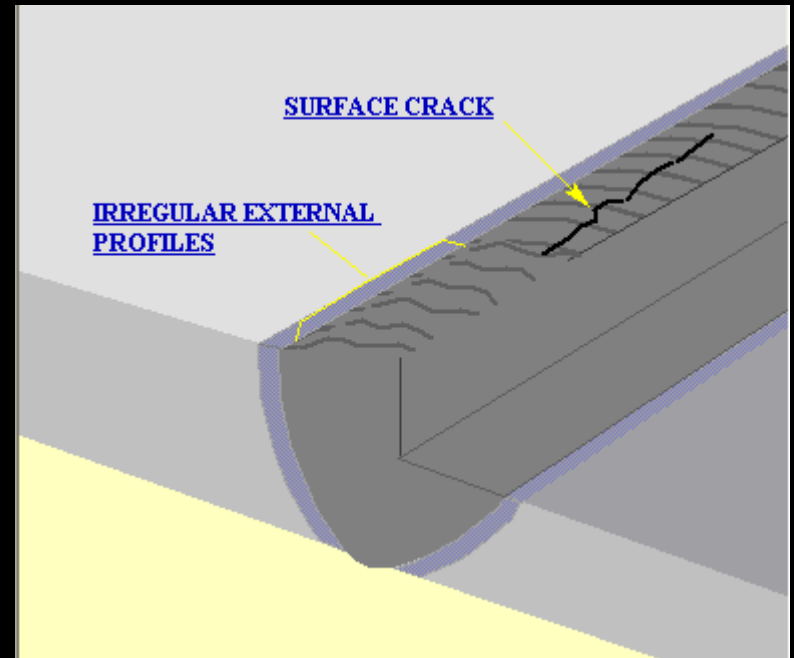
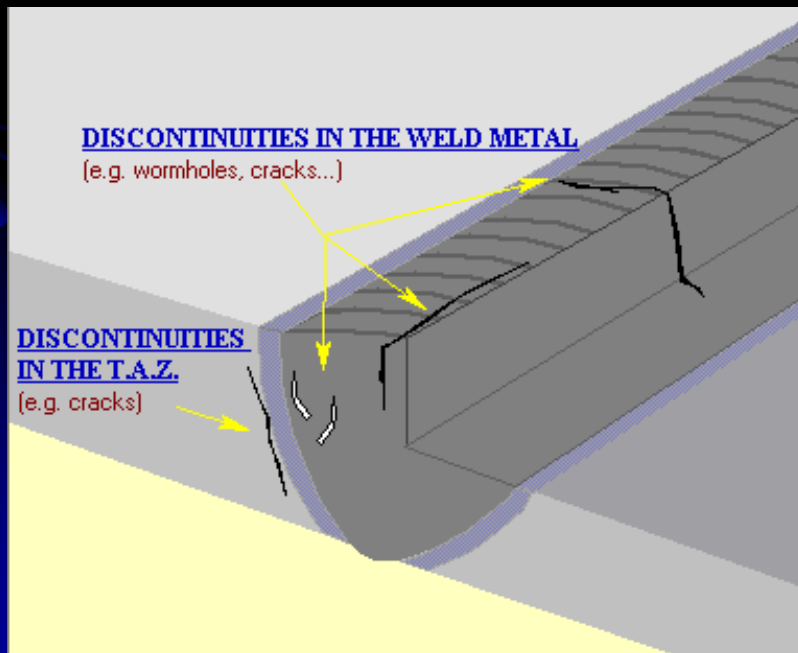
- ناپایداری حرارتی
- خزش
- سایش
- خوردگی تنش
- خوردگی
- خستگی

طبقه بندی عیوب موجود در جوش

بر اساس مکان عیب

عیوب موجود در جوش

• سطحی Surface
• داخلی Volumetric



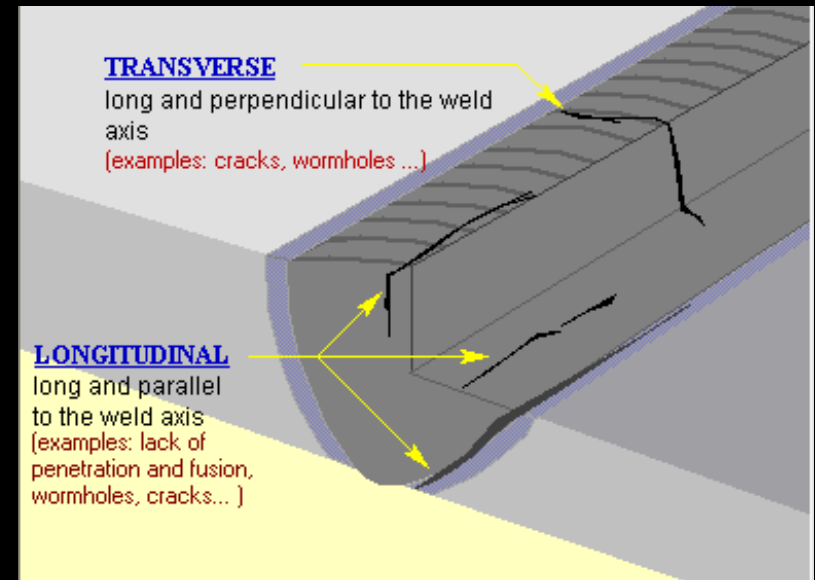
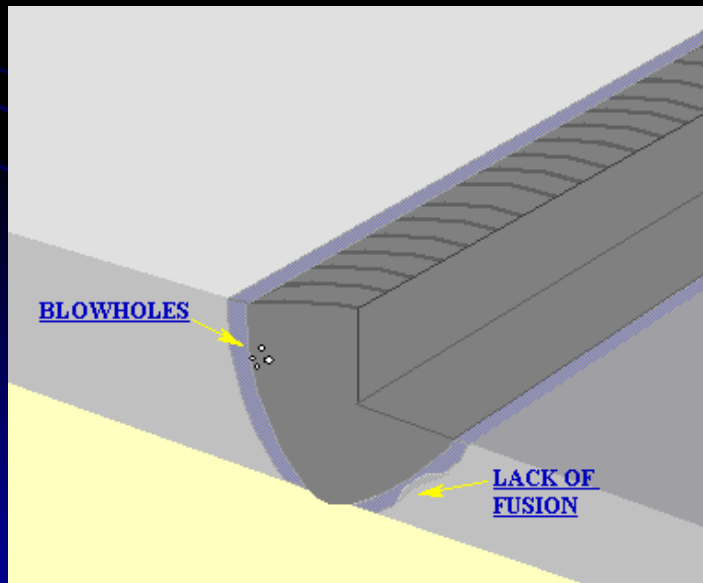
طبقه بندی عیوب موجود در جوش

عیوب موجود در جوش

بر اساس مکان عیب

بر اساس شکل عیب

• دو بعدی Bidimensional
• سه بعدی Tridimensional



طبقه بندی عیوب موجود در جوش

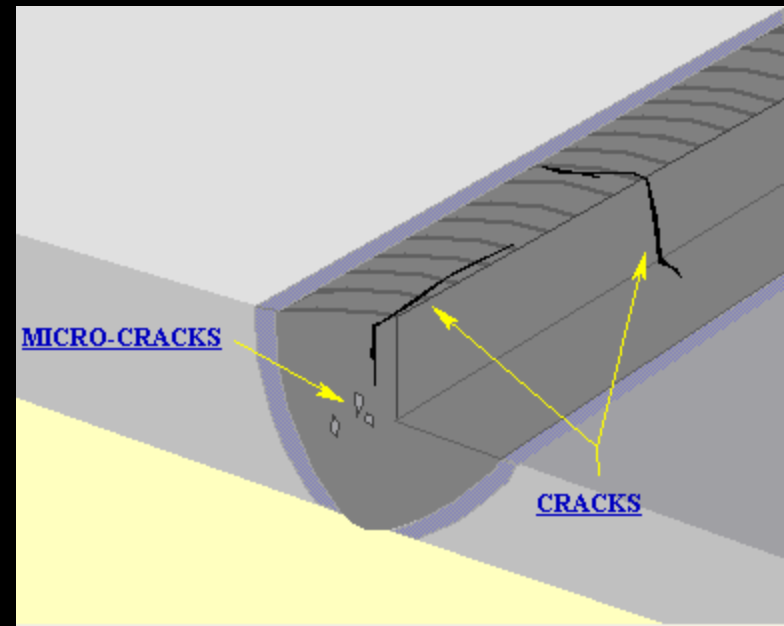
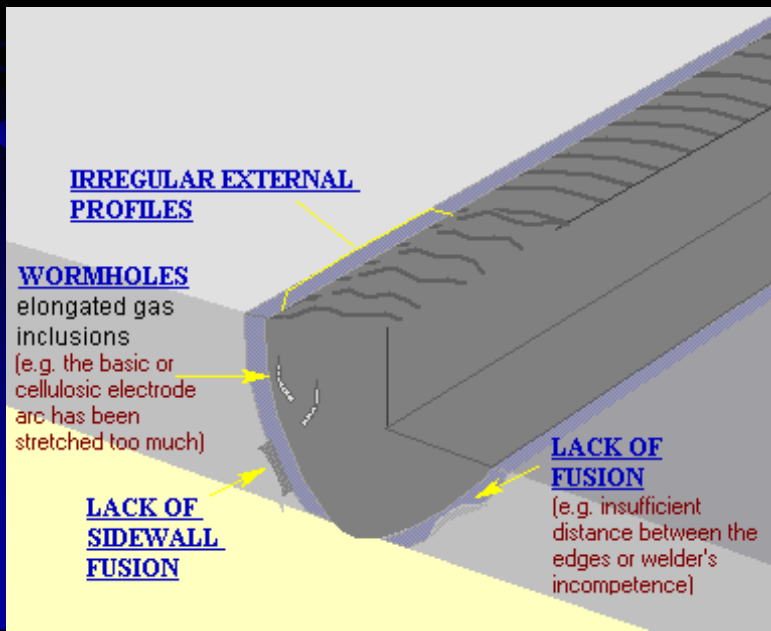
عیوب موجود در جوش

بر اساس مکان عیب

بر اساس شکل عیب

بر اساس منشا عیب

• متالورژیکی
• تکنولوژیکی



المان های بازرسی غیر مخرب

۱. منبع انرژی
۲. یک قطعه کار متناسب با منبع انرژی
۳. قطعه آزمون برای اندازه گیری تفاوت ها
۴. وسیله ای برای نشان دادن و ثبت نتایج آزمون
۵. اپراتور آموزش دیده
۶. دستور العمل برای انجام تست
۷. سیستم گزارش نتایج

روش های متداول NDT

- | | |
|------------------------|--------------------------------------|
| Visual Test | ۱. بررسی چشمی (VT) |
| Liquid Penetrant Test | ۲. بازرسی با مایعات نافذ (PT) |
| Magnetic Particle Test | ۳. بازرسی با ذرات مغناطیسی (MT) |
| Radiographic Test | ۴. رادیوگرافی (RT) |
| Eddy Current Test | ۵. بازرسی با جریان گردابی (ET) |
| Ultrasonic Test | ۶. بازرسی با امواج اولتراسونیک (UT) |
| Acoustic Emission Test | ۷. بازرسی با انتشار امواج صوتی (AET) |

مراحل NDT

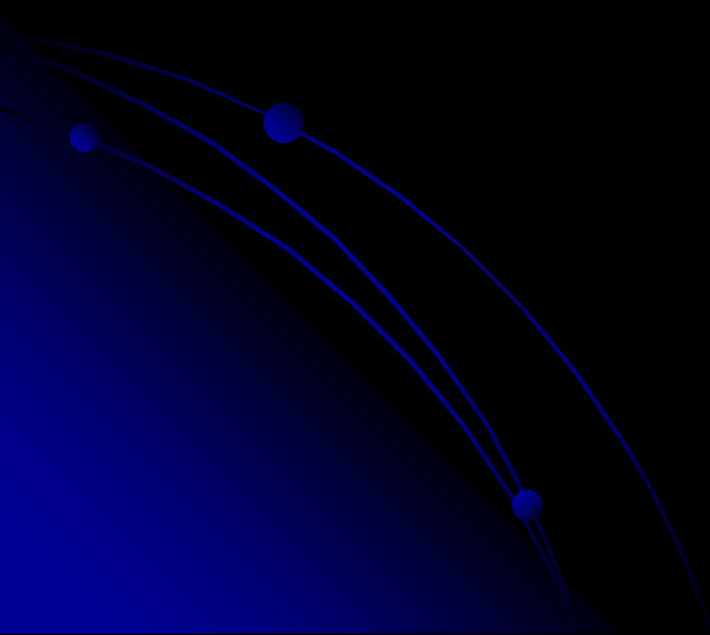
مرحله اول: استفاده از یک خاصیت فیزیکی جسم و محیط تست

مرحله دوم: تغییر در خاصیت فوق به دلیل وجود عیب

مرحله سوم: آشکار سازی تغییر ایجاد شده به کمک یک آشکارساز مناسب

مرحله چهارم: تبدیل تغییر آشکار شده به نحوی که قابل تفسیر باشد

مرحله پنجم: تفسیر نتایج



تعاریف اولیه

ناپیوستگی (Discontinuity): هر گونه اغتشاش در خواص متالورژیکی یا مکانیکی یا فیزیکی جسم ناپیوستگی نامیده می شود.

عیب (Defect): ناپیوستگی هایی که باعث شود خواص استاندارد قطعه از بین رود، عیب نامیده می شود.

یک ناپیوستگی لزوماً عیب نیست.

عیوب در اتصالات جوشکاری شده

یک **ناپیوستگی** در حقیقت یک انقطاع در ساختار فلز جوش می باشد مثل وجود ناهمگنی در خواص مکانیکی و متالورژیکی ماده یا فلز جوش.

عیب نیز یک ناپیوستگی است که به واسطه ویژگی خاصش و یا در اثر تجمع آن درقطعه یا محصول، نمی تواند حداقل استانداردهای کاری مورد نیاز را برآورده کند.

عیوب جوش به طور کلی به گروههای زیر تقسیم می شود:
ترکها

حفره های گازی

ناخالصیهای سرباره جوش

عدم نفوذ یا ذوب

شکل ناقص یا طرح ظاهری غیر قابل قبول جوش

و سایر عیوب(مثل اثر پاشش قوس الکتریکی بر روی سطح قطعه

ترک‌ها (Cracks)

زمانی که تنش‌های موضعی از حد استحکام ماده فراتر روند در جوش و یا فلز پایه ترک ایجاد می شود.
انواع ترک بر اساس شکل:

طولی: ترک‌های طولی در جوش‌های کوچک بین مقاطع سنگین، معمولاً بر اثر سرعت بالای سرد شدن و تنش بالا رخ می دهند.

عرضی: معمولاً بر اثر تنش‌های طولی انقباضی، روی فلز جوش با چکش‌خواری کم بوجود می آیند.

ستاره ای: در اثر قطع نامناسب جوشکاری قوسی در چاله انتهایی جوش بوجود می آیند.

ترک‌ها (Cracks)

انواع ترک بر حسب دمایی که در آن ایجاد می شود:

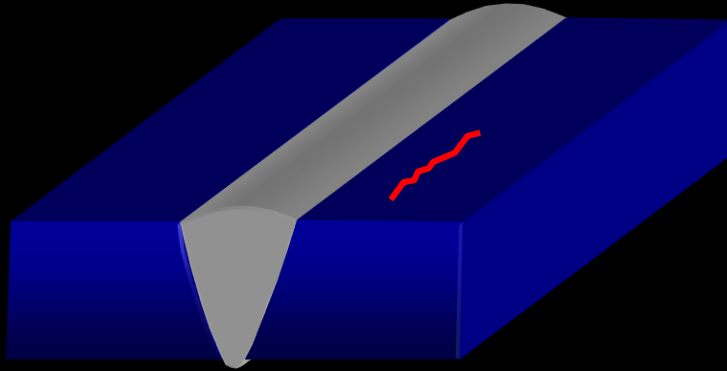
- ترک گرم

ترک‌های گرم در حین انجماد و یا قبل از اینکه حرارت جوش به طور کامل برطرف شود، بوجود می آیند.

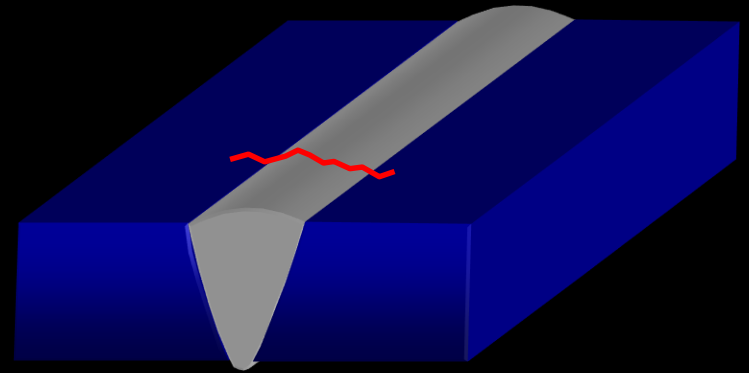
- ترک سرد

ترک‌های سرد بعد از تکمیل انجماد بوجود می آیند.
به آنها ترک‌های تأخیری نیز گفته می شود.

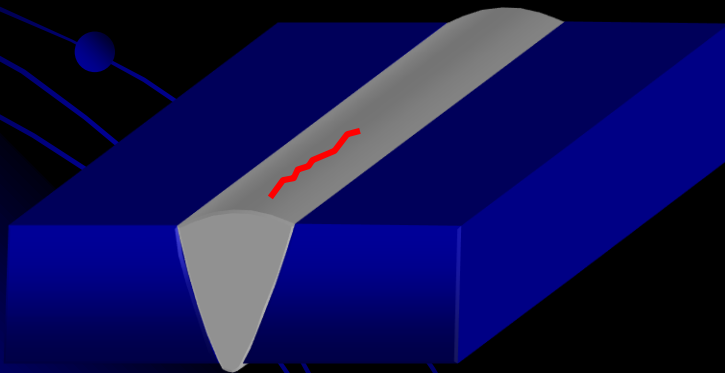
ترکھہا (Cracks)



Longitudinal parent metal crack

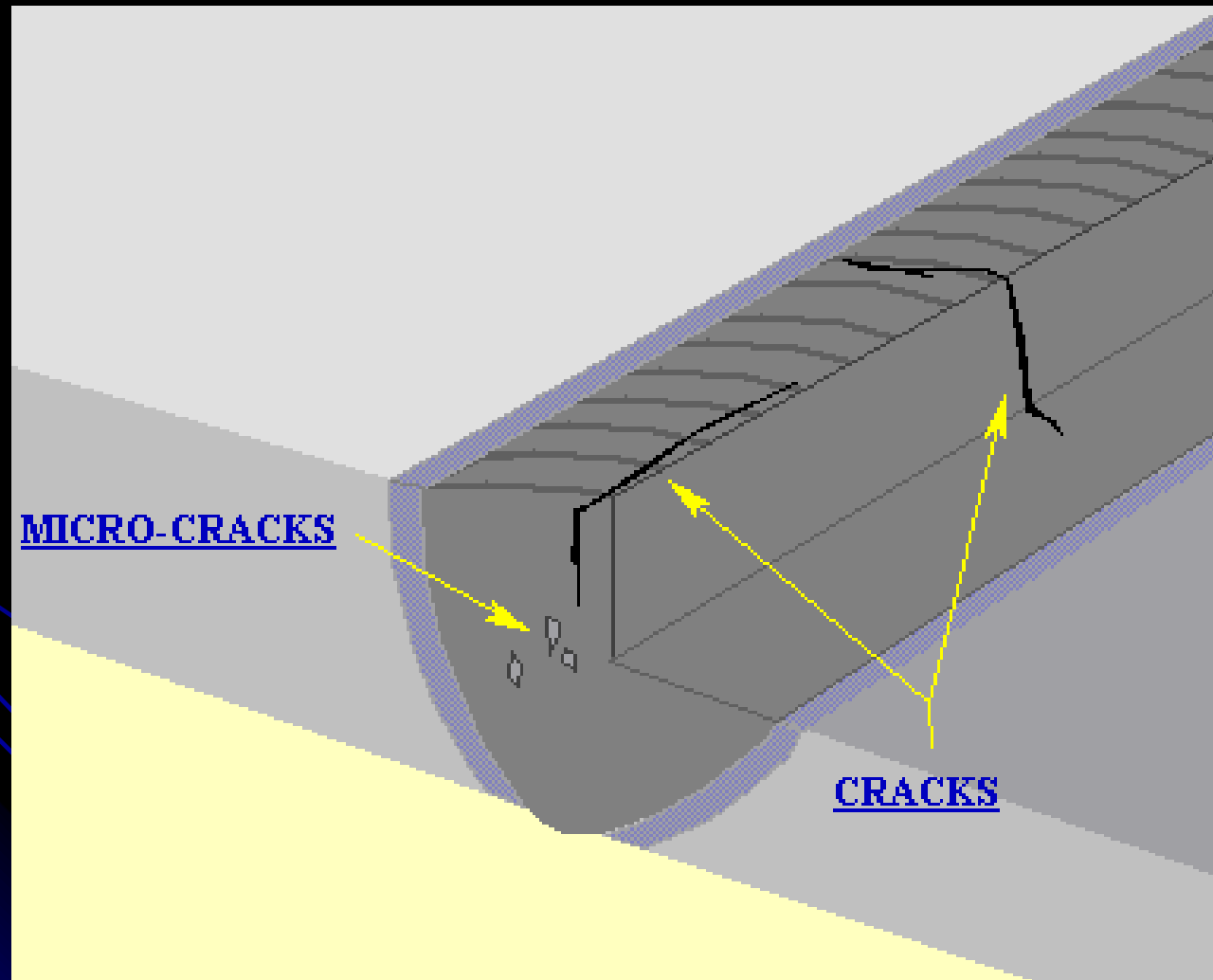


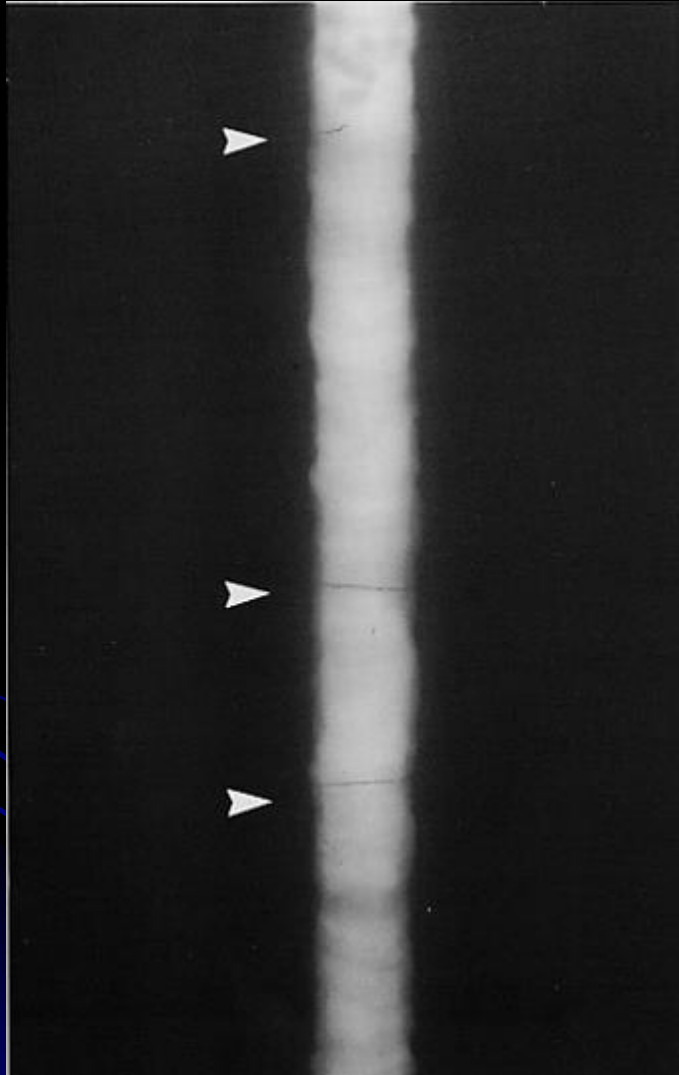
Transverse weld metal crack



Longitudinal weld metal crack

ترکها (Cracks)





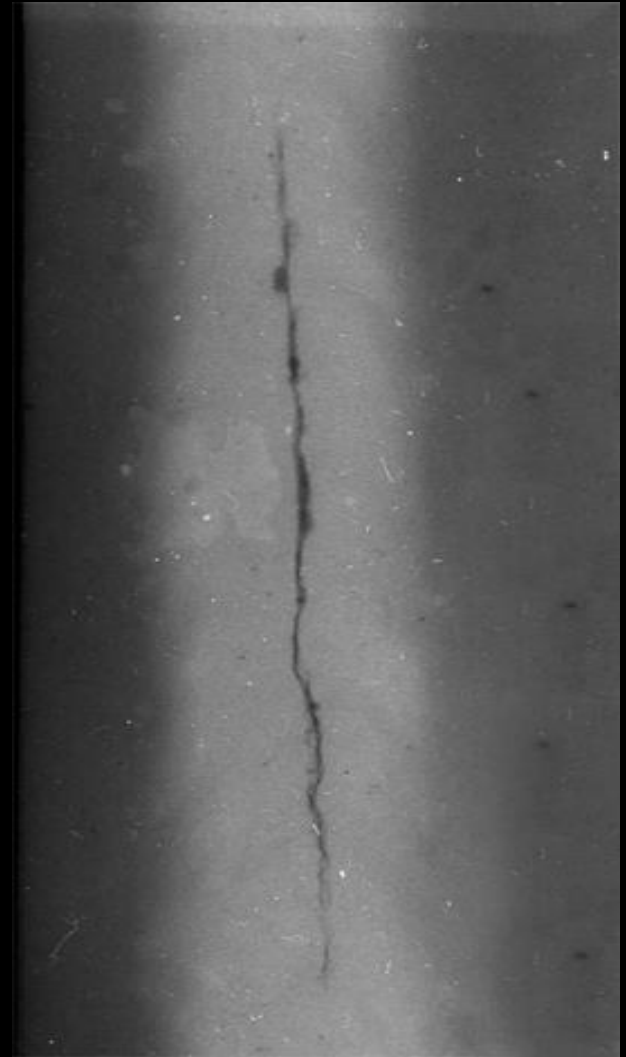
Transverse crack



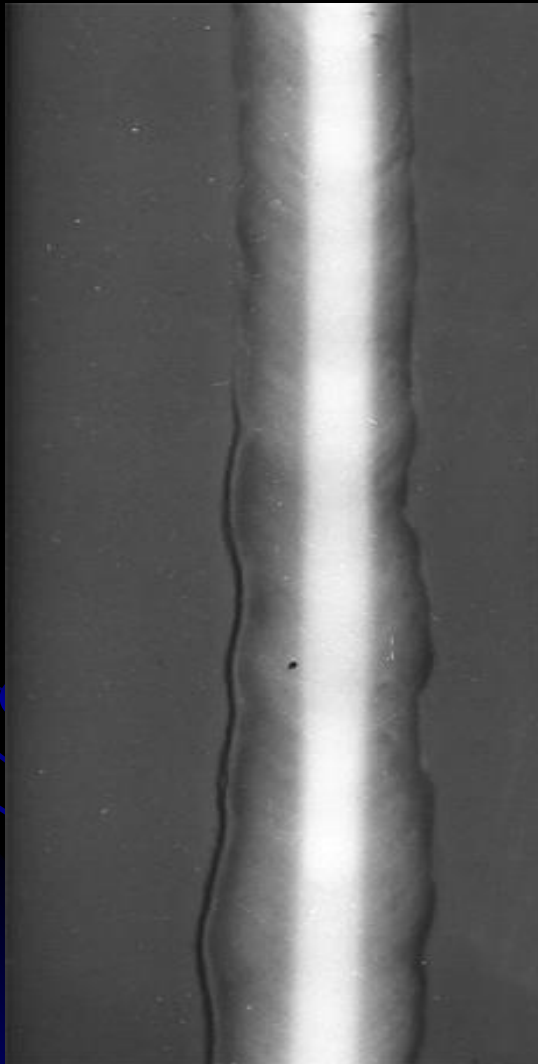
Longitudinal crack



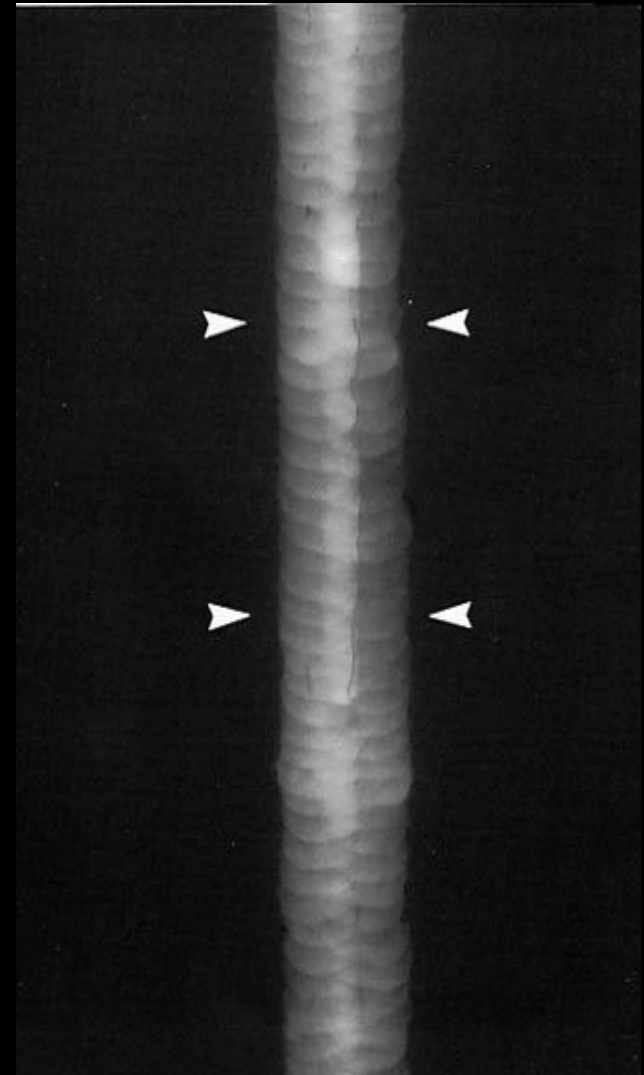
Longitudinal crack



Longitudinal crack



HAZ crack

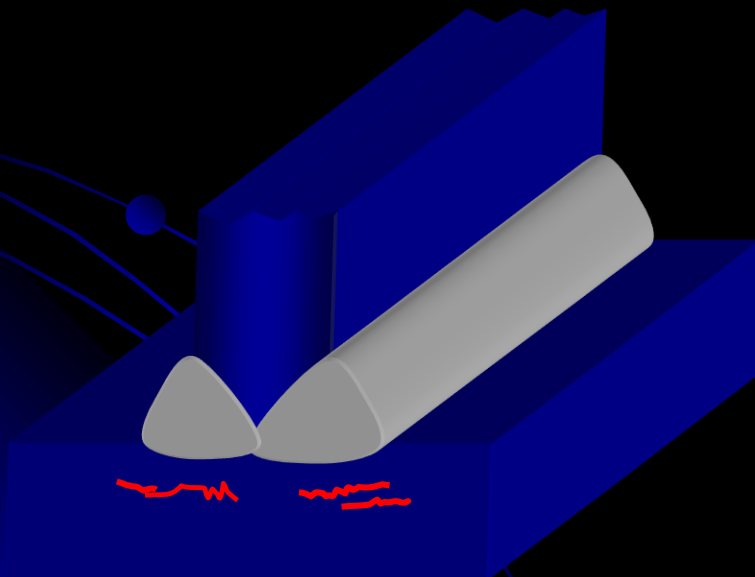


Root crack

پارگی لایه ای (Lamellar Tearing)

به شکست صفحه ای گفته می شود که در فلز پایه ایجاد شده و جهتگیری اصلی آن به موازات سطح است. علت آن تنش بالا در جهت ضخامت است که بر اثر جوشکاری ایجاد می شود.

پارگی لایه ای می تواند تا مسافت زیادی گسترش یابد و معمولاً در محلی که فلز پایه دارای ناخالصی های غیرفلزی باشد و یا در محل هایی از فلز پایه که تحت تنش های بالایی جوشکاری است، یا ترکیبی از هر دو، آغاز می شوند.



Lamellar tearing

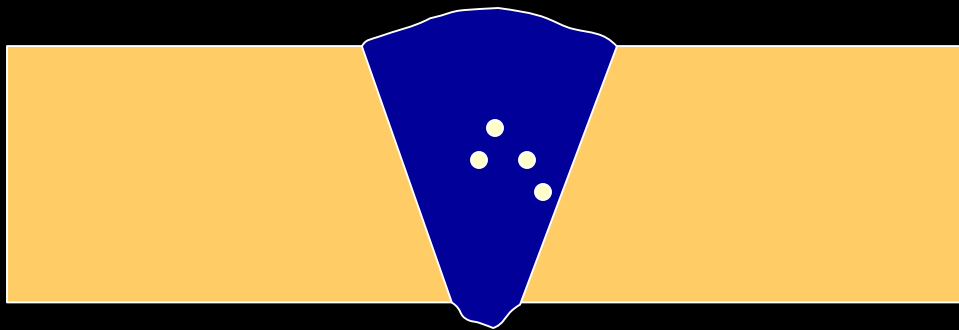
Material Inspection



Plate Lamination

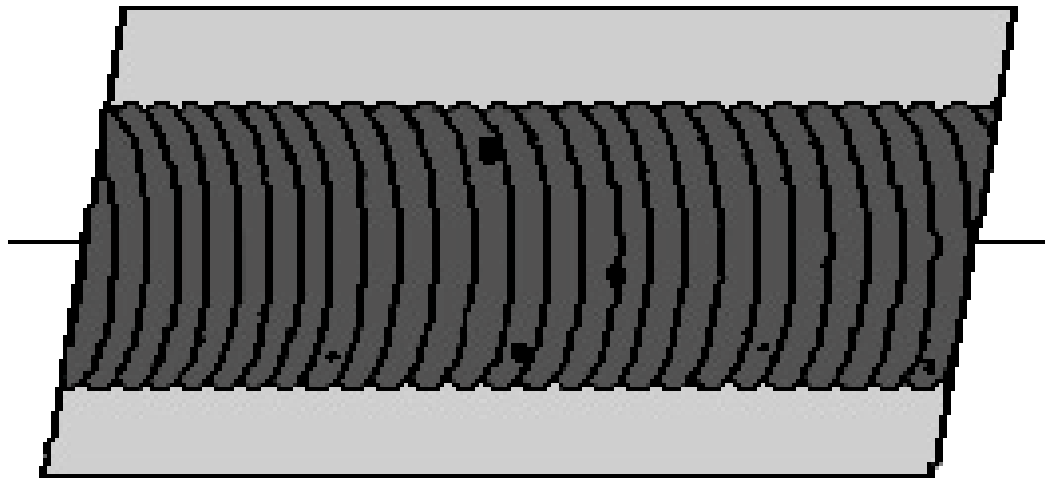
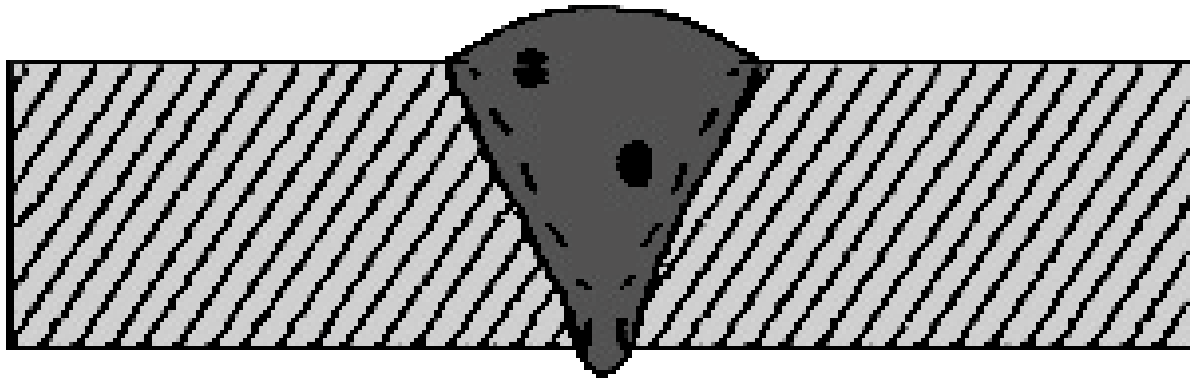
تخلخل (Porosity)

تخلخل ها نتیجه حبس گازها در فلز در حال انجماد می باشند. این ناپیوستگی معمولا بصورت کروی است اما می تواند گسترش نیز پیدا کند.



- این نوع ناپیوستگی بحرانی نبوده و ایجاد تمرکز تنش نمی کنند، مگر اینکه مقدار آن بیش از حد معینی باشد. تخلخل بیش از حد، ناشی از عدم کنترل صحیح پارامترهای جوش، مواد مصرفی جوشکاری، طراحی اتصال، آلودگی فلز پایه و یا ترکیب نامناسب فلز پر کننده مورد استفاده است.

تخلخل (Porosity)



تخلخل با توزیع یکنواخت

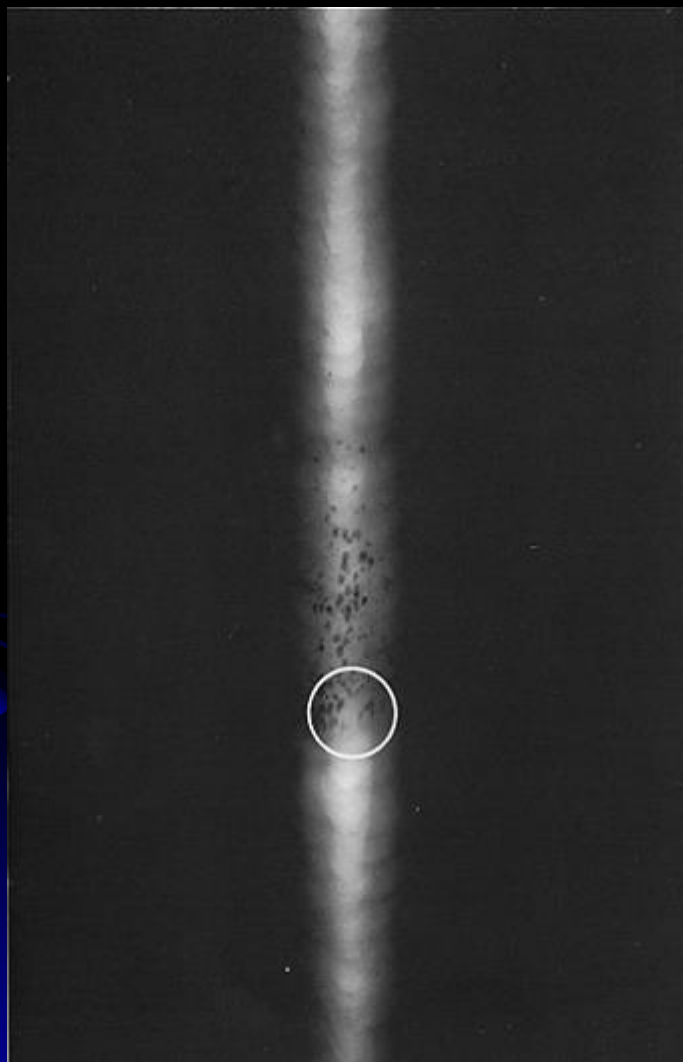
تخلخلی است که بصورت یکنواخت در فلز جوش توزیع شده باشد. مقدار زیاد تخلخل معمولاً به علت روش نامناسب جوشکاری یا مواد نامناسب است. تکنیک نامناسب آماده سازی اتصال یا مواد نامناسب مورد استفاده می توانند موجب به وجود آمدن تخلخل گردند.

- اگر جوش به اندازه کافی آرام سرد شود تا بیشتر گاز قبل از انجماد، از سطح خارج شود، تخلخل کمی در جوش باقی می ماند.



تخلخل خوشه ای

به گروهی موضعی از تخلخل ها گفته می شود که معمولا علت آن شروع یا اتمام نامناسب قوس جوشکاری است.



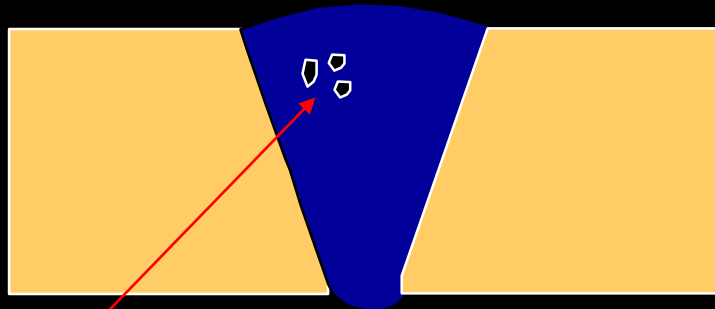
Cluster porosity

تخلخل خوشه ای

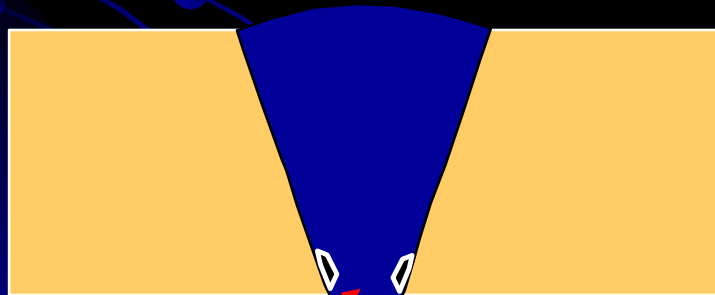


ناخالصی های سرباره

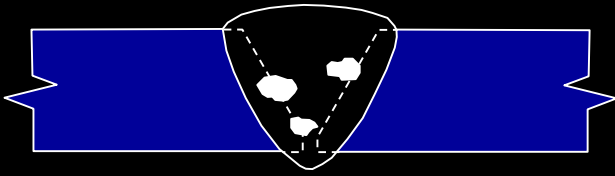
مواد جامد غیرفلزی هستند که در فلز جوش یا بین فلز جوش و فلز پایه محبوس شده اند. این ناخالصی ها می توانند در بیشتر روشهای جوشکاری مشاهده شوند. بطور کلی ناخالصی های سرباره بر اثر روش نامناسب جوشکاری، طراحی نامناسب اتصالات یا تمیزکاری نامناسب جوش بین پاسها بوجود می آیند. معمولا سرباره مذاب به سمت بالای جوش جریان پیدا می کند. شکافهای تیز در مرز جوش یا بین پاسها معمولا باعث حبس سرباره داخل فلز جوش مذاب می شود.



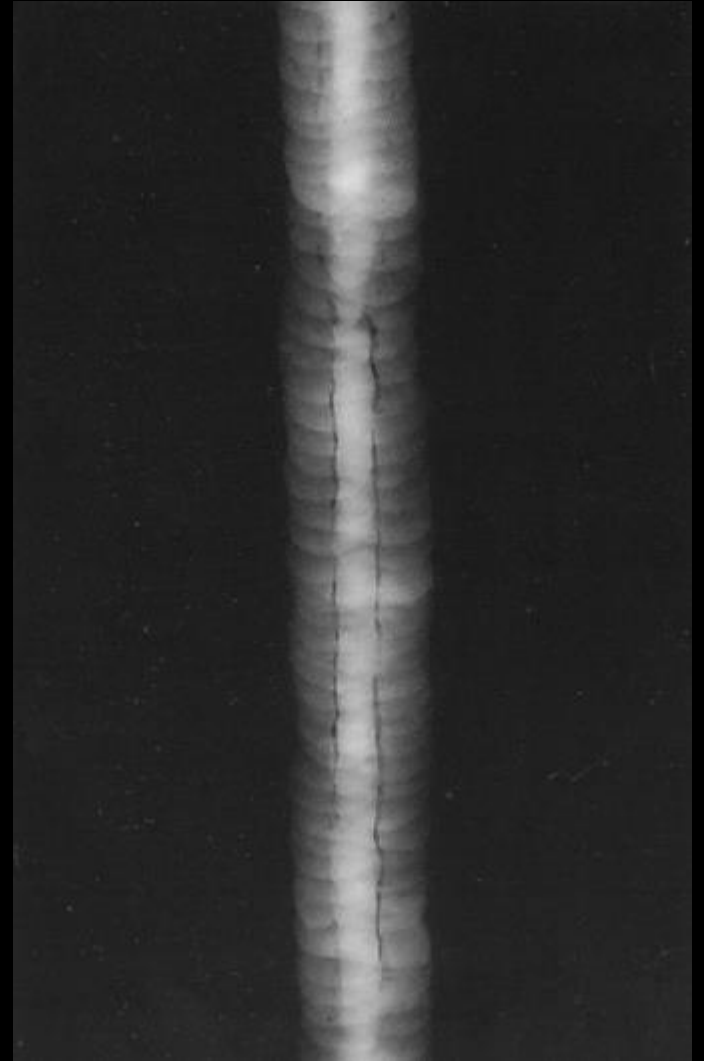
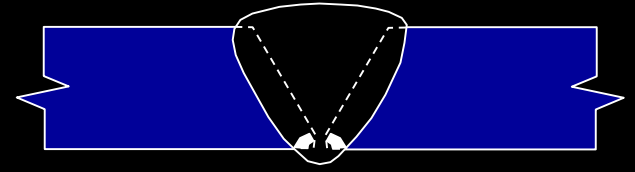
Slag inclusions



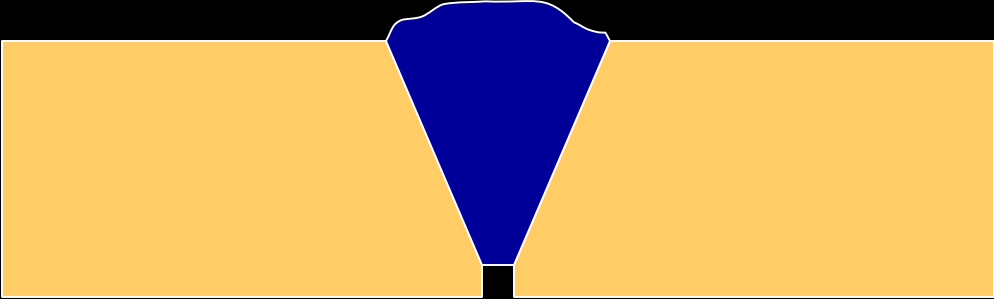
Parallel slag lines



Interpass slag inclusions



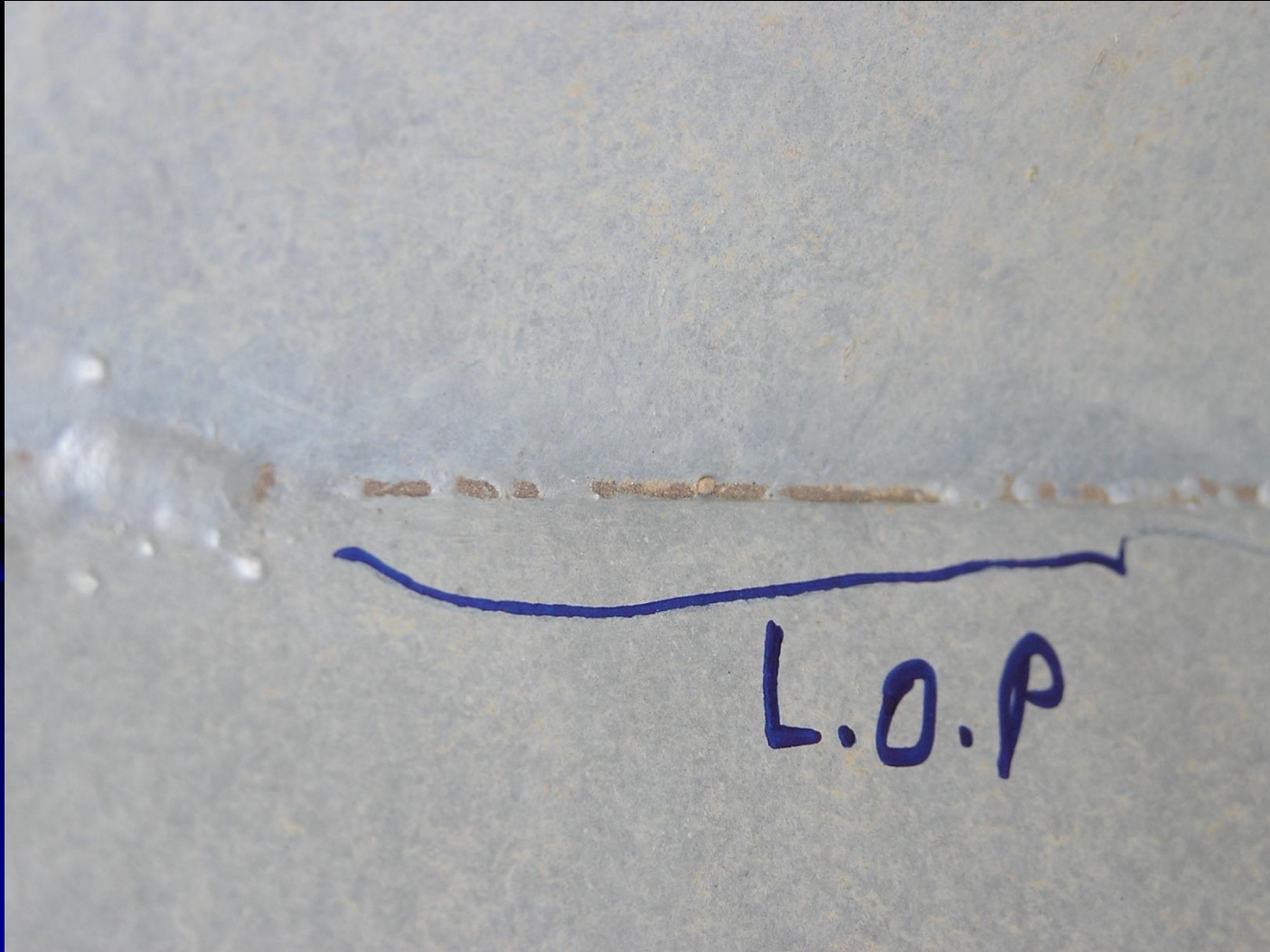
Elongated slag lines



نفوذ ناقص اتصال

- در صورت عدم نفوذ فلز جوش به اتصال ایجاد می شود. منطقه نفوذ نکرده، یک ناپیوستگی محسوب می شود که به آن نفوذ ناقص گفته می شود. نفوذ ناقص می تواند بر اثر حرارت ناکافی جوش، طراحی نامناسب اتصال (مثلا ضخامت زیاد و عدم توانایی نفوذ قوس جوشکاری)، یا کنترل نامناسب قوس جوش بوجود آید. جوشهایی که نیازمند نفوذ کامل هستند، معمولاً توسط روشهای غیرمخرب مورد بازرسی قرار می گیرند. این موضوع به خصوص در پلها، خطوط لوله، محفظه های تحت فشار و کاربردهای هسته ای صدق می کند.

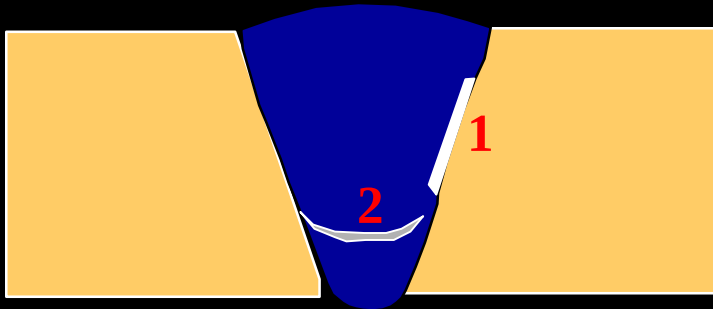
نفوذ ناقص اتصال



ذوب ناقص

در نتیجه روش نامناسب جوشکاری، آماده سازی نامناسب فلز پایه، یا طراحی نامناسب اتصال به وجود می آید. دلایل بوجود آورنده ذوب ناقص عبارتند از حرارت ناکافی جوشکاری یا عدم دسترسی کافی به تمام وجوه همجوشی، یا هر دو. همچنین اکسیدهای به شدت چسبنده نیز جلوی ذوب کامل را می گیرند.

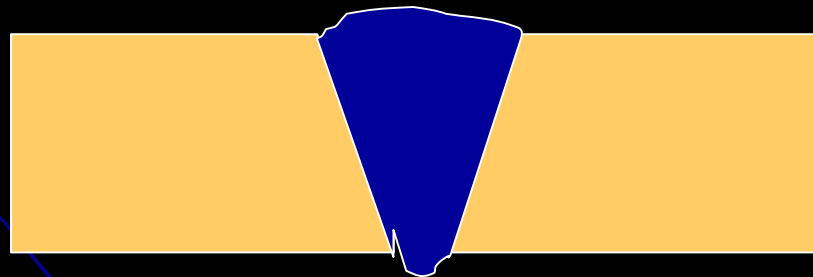
ذوب ناقص



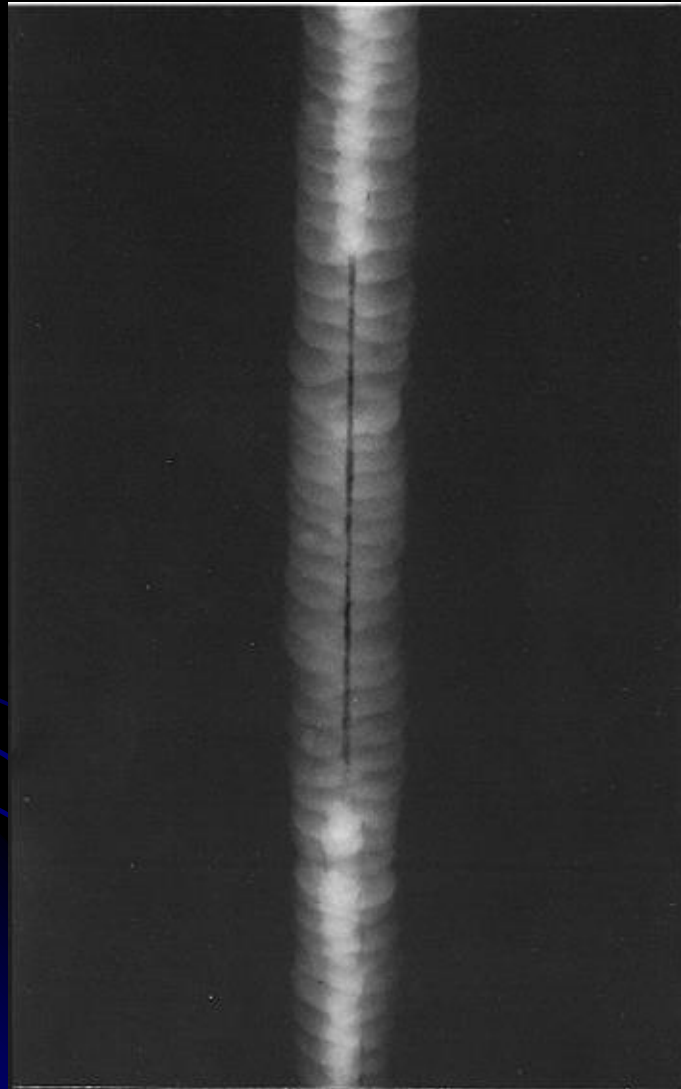
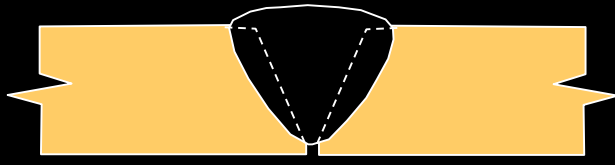
1. Lack of sidewall fusion
2. Lack of inter-run fusion



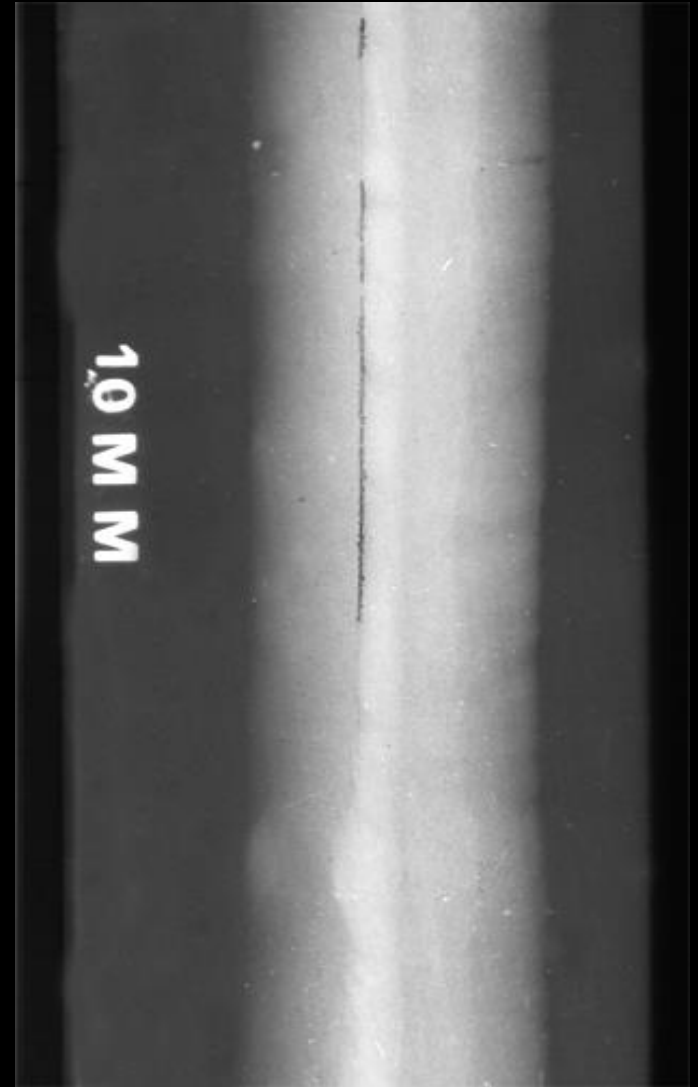
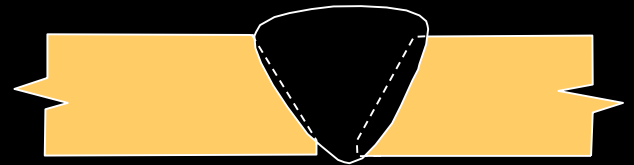
- Incomplete filled groove
+ Lack of sidewall fusion



1. Lack of root fusion



Lack of root penetration



Lack of root fusion

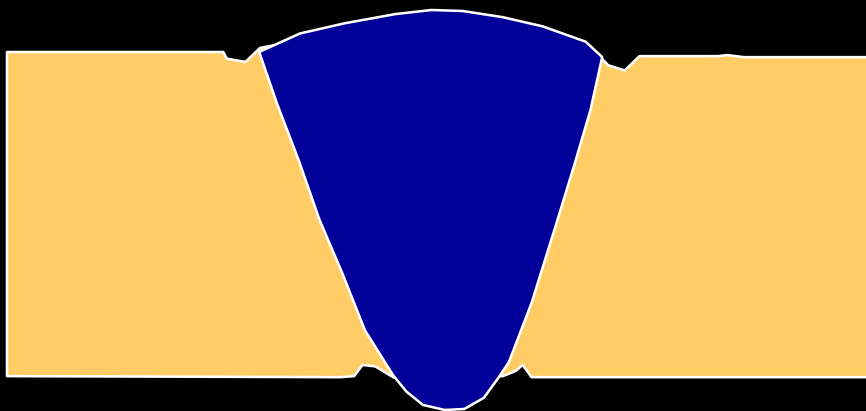
نفوذ ناقص اتصال



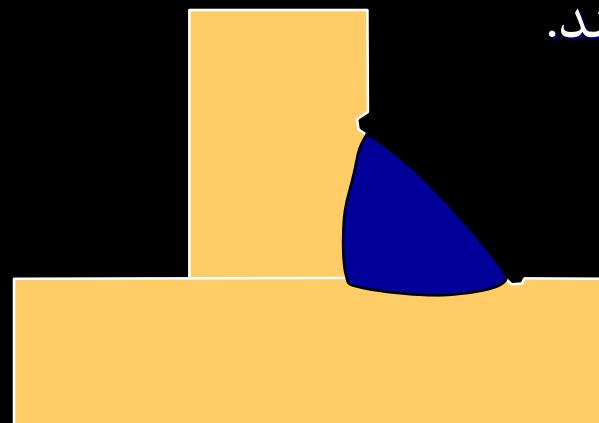
Lack of root fusion

Lack of root Penetration

سوختگی لبه جوش (Undercut)



Undercut شیاری است که در فلز پایه در مجاورت انتهای جوش یا ریشه جوش ایجاد شده و فلز جوش آنرا پر نمی کند. این شیار موجب تشکیل یک شکاف مکانیکی شده و ایجاد تمرکز تنش می کند.



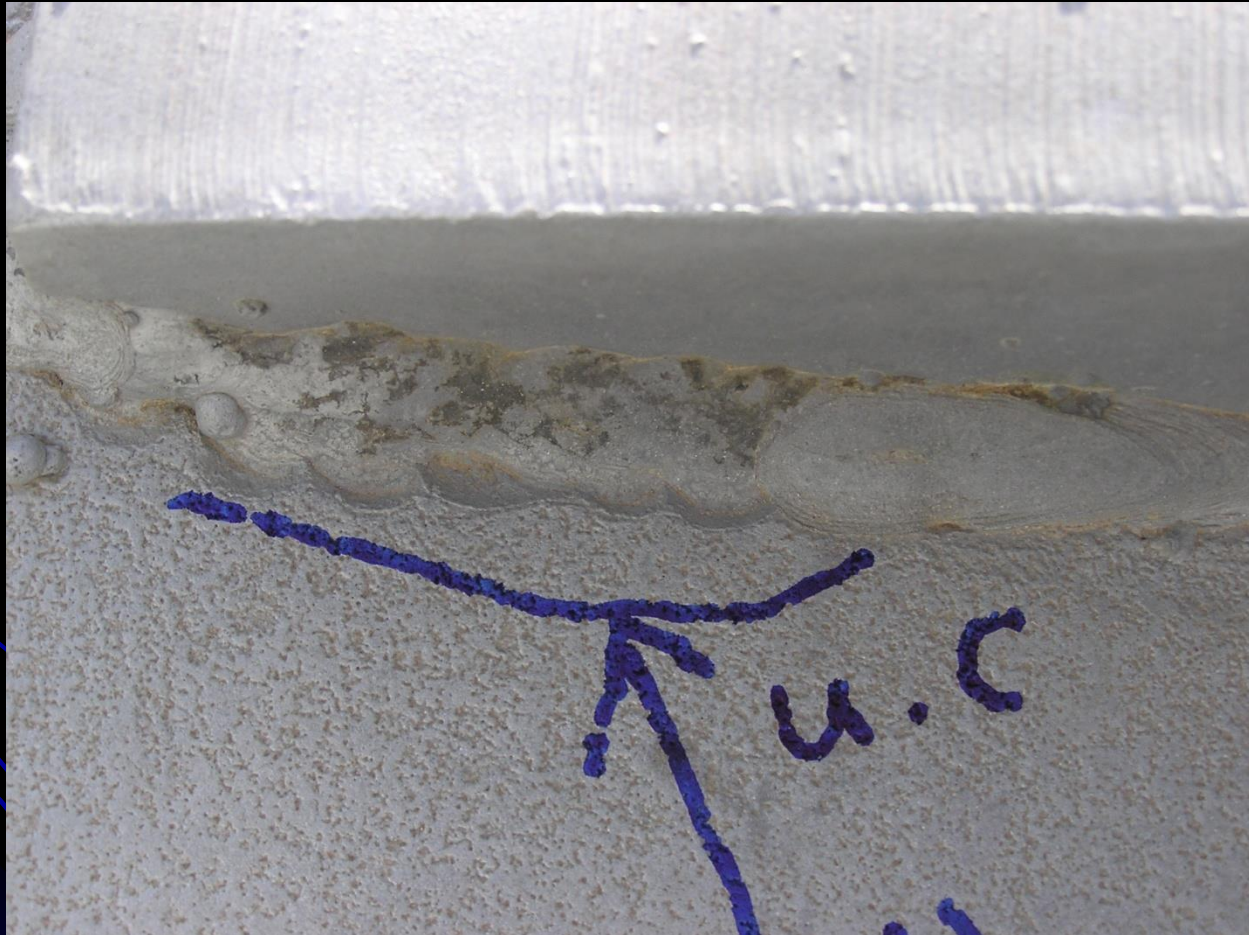
- معمولاً به علت روش نامناسب جوشکاری یا جریان اعمالی بیش از حد یا هر دو، این عیب بوجود می آید.

سوختگی لبه جوش (Undercut)

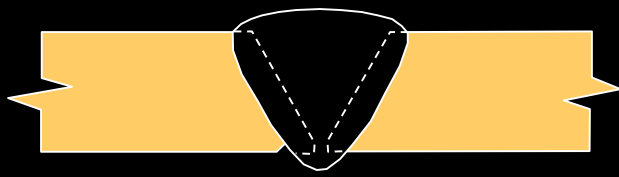


Intermittent Cap Undercut

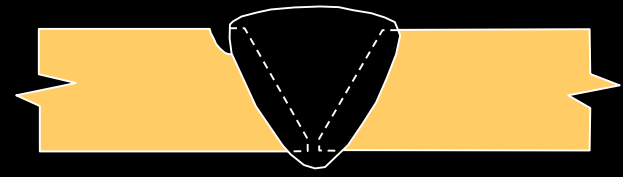
سوختگی لبه جوش (Undercut)



Continues Cap Undercut



Root undercut



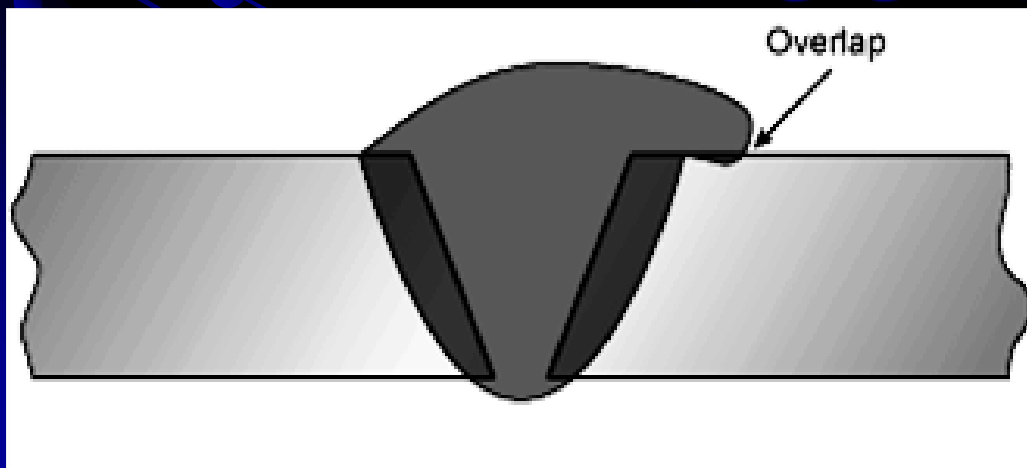
Cap undercut

همپوشانی (Overlap)

پیش آمدگی فلز جوش تا جلوتر از انتهای جوش یا ریشه است.

- علت این امر می تواند کنترل ناکافی فرایند جوشکاری، انتخاب نامناسب مواد جوشکاری، یا آماده سازی نامناسب فلز پایه باشد. معمولاً با وجود اکسیدهای بسیار چسبنده روی فلز پایه که مانع از ذوب فلز گردند، نیز همپوشانی رخ می دهد.

- همپوشانی یک ناپیوستگی سطحی است که یک شکاف مکانیکی ایجاد می کند و تقریباً همیشه مردود تلقی می شود.

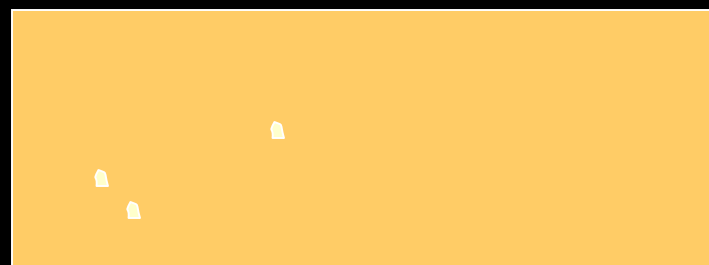
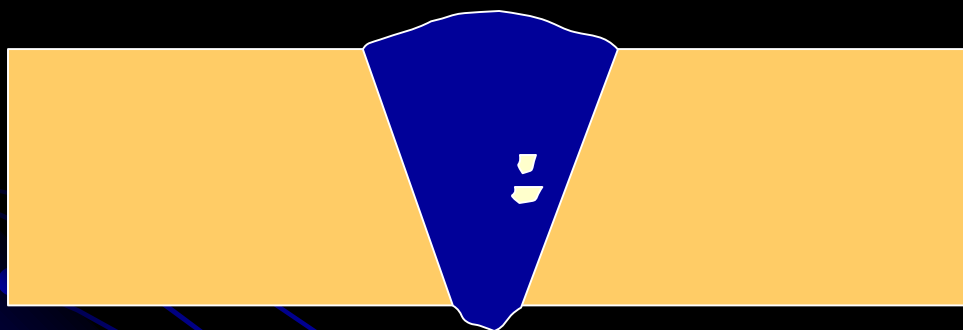


همپوشانی (Over lap)



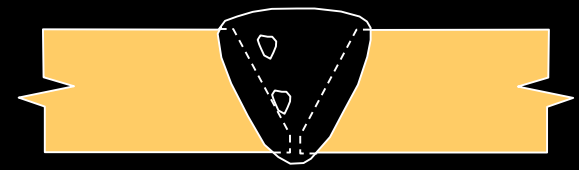
ناخالصی های تنگستن

- ذرات تنگستن محبوس در فلز جوش هستند که مختص روش جوشکاری قوسی تنگستنی است.





Tungsten inclusions



Copper inclusions

لکه قوس (Arc strikes)

- از اصابت قوس روی فلز پایه‌ای که به داخل فلز جوش هم آمیخته نخواهد شد، باید اجتناب شود. با آغاز قوس ممکن است حجم کوچکی از فلز پایه برای لحظه‌ای ذوب گردد. این امکان وجود دارد که فلز مذاب بر اثر کوئینچ شدن ترک بخورد یا حفره سطحی کوچکی در فلز منجمد شده شکل بگیرد. این گونه ناپیوستگی‌ها ممکن است منجر به ترک خوردگی‌های گسترده در حین سرویس شوند.
- هرگونه ترک یا خدش‌های که بر اثر اصابت قوس ایجاد شود، باید سنگ‌زنی شود تا به حاشیه‌های صاف و صیقلی برسد و سپس برای حصول اطمینان از سلامت، مورد بازرسی مجدد قرار گیرد.

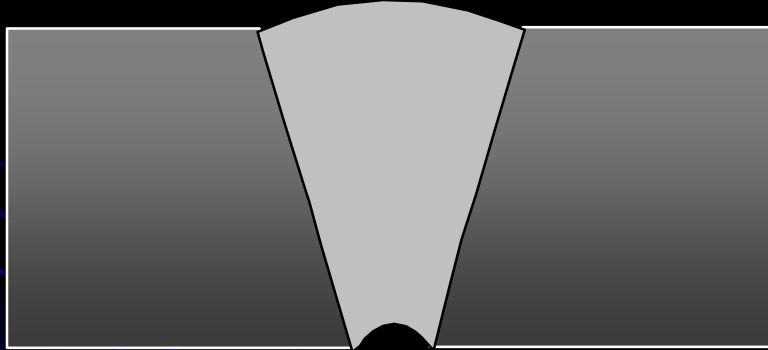
لکه قوس (Arc strikes)



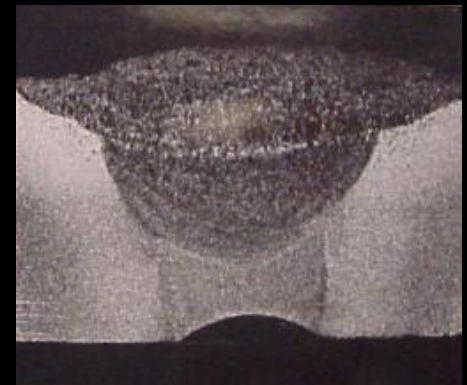
Arc strike

تقعر (Concavity)

- در اثر نیروهای جاذبه بر فلز مذاب یا در اثر کشش سطحی لبه جوش برای نگه داشتن مذاب در دیواره پخ، این عیب به وجود می آید. این عیب را با نام Suck back (مکش مذاب به طرف داخل) نیز می شناسند.



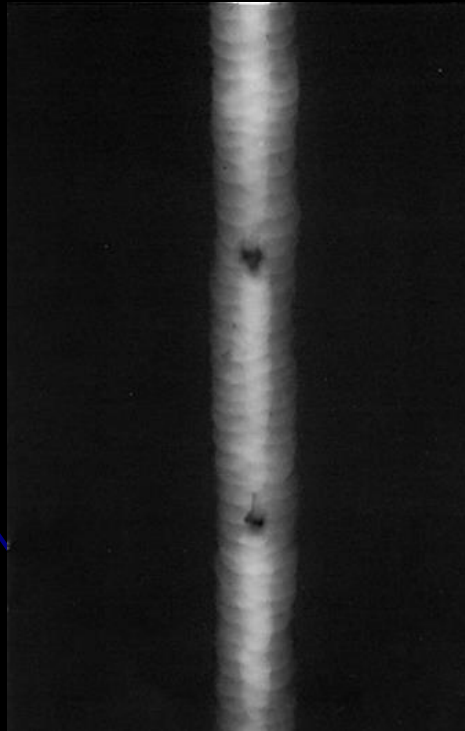
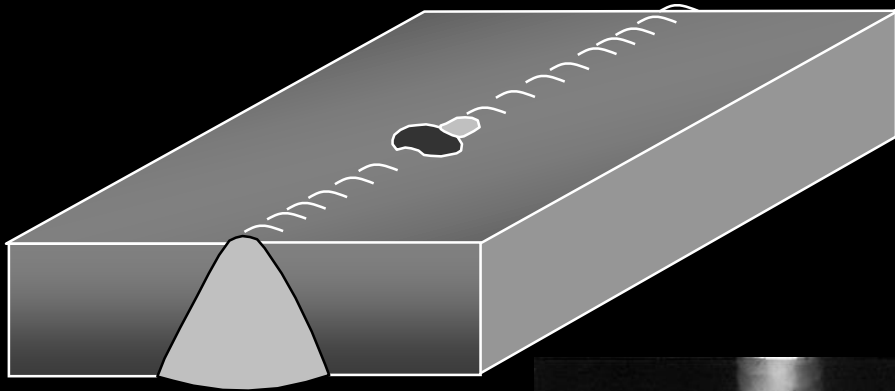
تقعر (Concavity)



پاشش (Spatter)



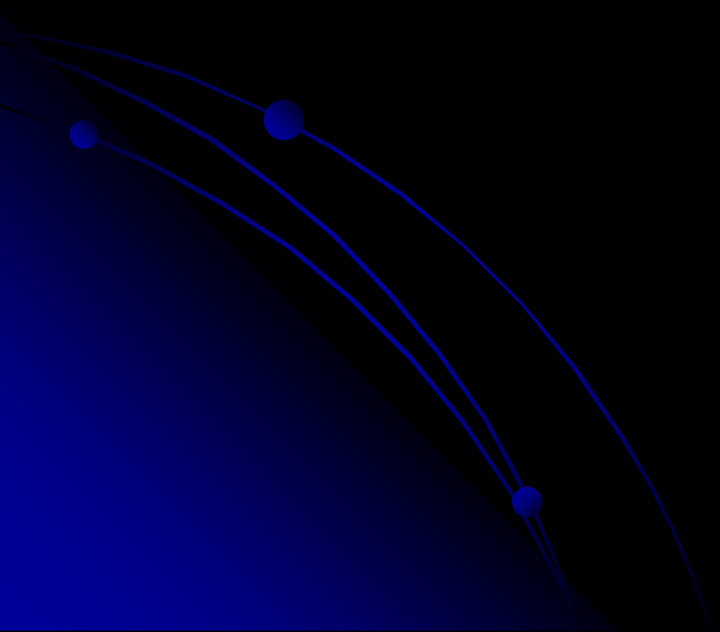
سوختگی در ریشه جوش (Burn through)



STANDARD

- **ASME** Section 5

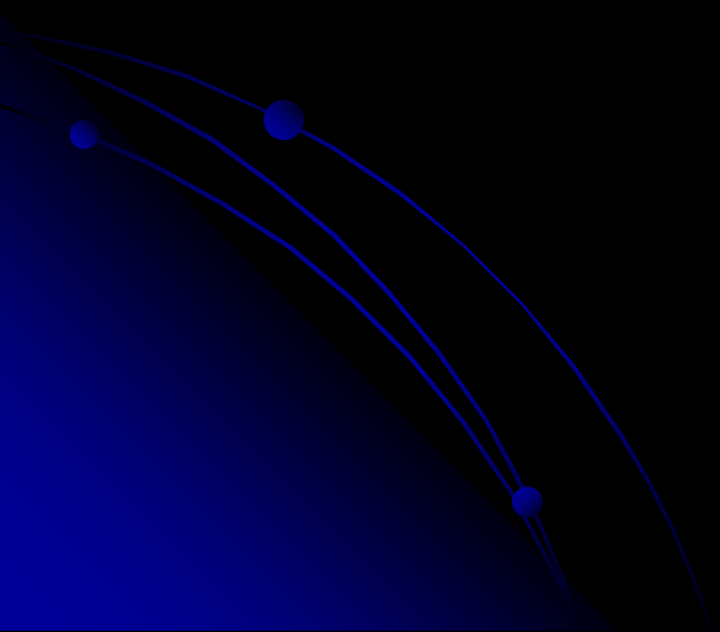
Nondestructive Examination



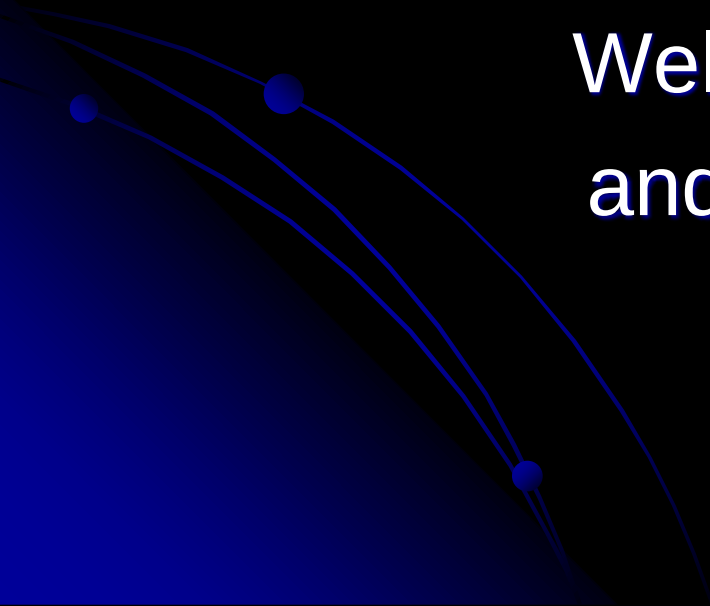
STANDARD

- ASME Section 8

BOILER&PRESSUER VESSEL



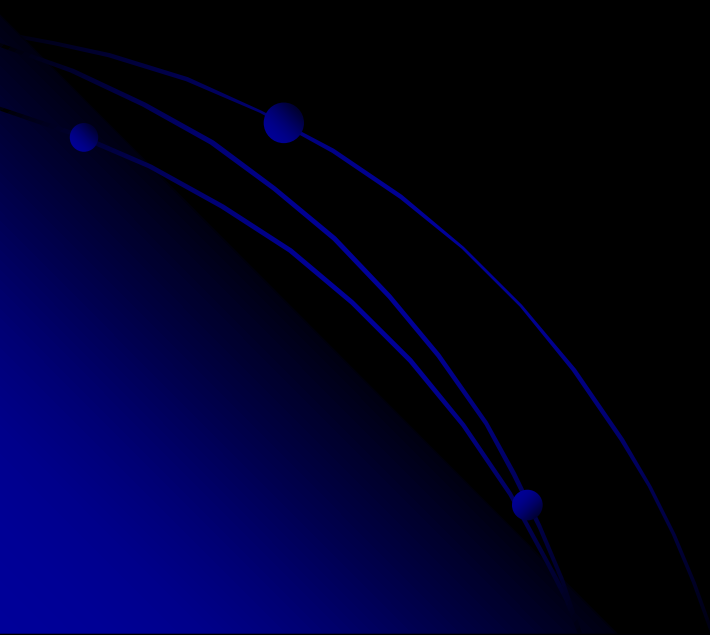
STANDARD

- **ASME** Section 9
Qualification Standard for
Welding and Brazing Procedures,
Welders, Brazers, and Welding
and Brazing Operator.
- 

STANDARD

- ASME B31.3

PROCESS & PRESSURER
PIPING



STANDARD

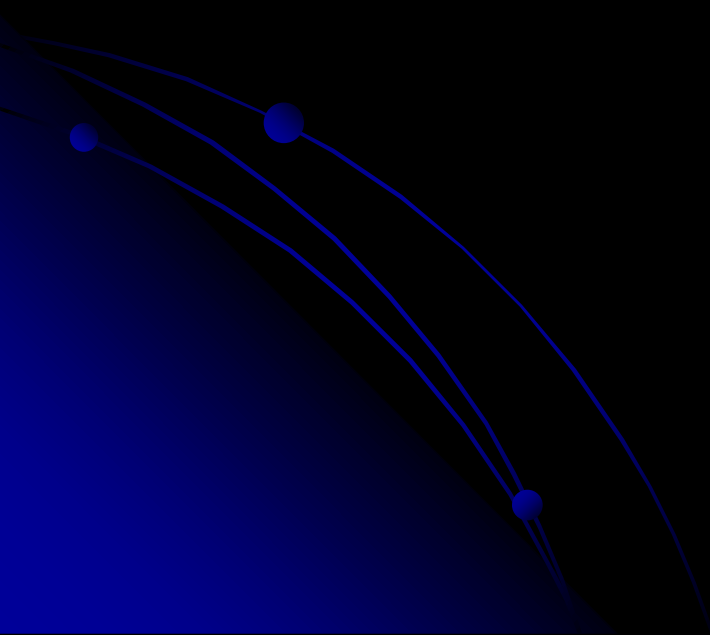
- **API 650**

Welding of Steel Tank For
Oil Storeg.

STANDARD

- **API 1104**

Welding of PIPELINE &
RELATED FACILITIES

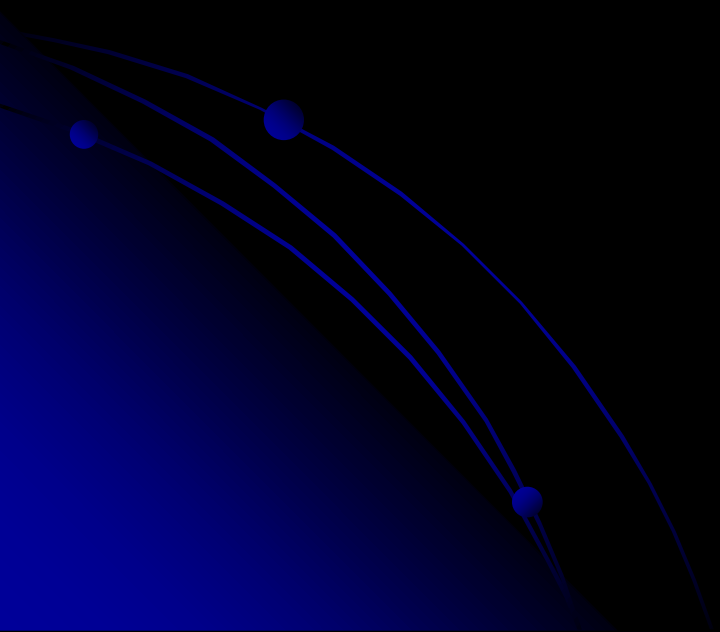


STANDARD

- AWS D1.1

An American National Standard
Structural Welding Code - Steel

بازرسی چشمی



معرفی روش

- بازرسی چشمی متداول ترین روش بازرسی غیرمخرب است که برای ارزیابی کیفیت قطعه جوش مورد استفاده قرار می گیرد.

- مزایا:

انجام ساده

هزینه نسبتاً پائین

نیاز به تجهیزات خاصی ندارد.

اطلاعات مهمی در مورد تطابق با مشخصات مورد نظر بدست می دهد.

بینائی خوب بازرس از ملزومات مهم این روش است.

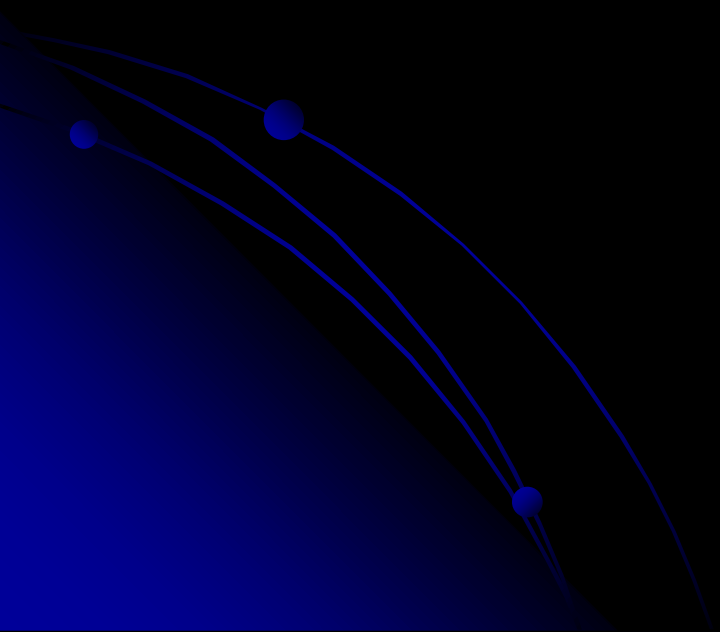
معرفی روش

اطلاعات بدست آمده بعد از تکمیل بازرسی:

۱. نفوذ و ذوب به صورت کامل بین فلز پایه و فلز جوش
۲. وجود یا عدم وجود سوختگی کناره جوش در امتداد مرز جوش و فلز پایه
۳. نفوذ مناسب در ریشه
۴. حالت گرده جوش (تقعر یا تحدب)
۵. ابعاد صحیح جوش
۶. ظاهر جوش
۷. عیوب سطحی قابل تشخیص

دستورالعمل های اولیه

۱. تامین نور کافی در سطح قطعه
۲. تمیز کردن سطح قطعه از آلودگی ها مانند محصولات خوردگی و ...
۳. مشخص نمودن عیوب احتمالی و مناطق بحرانی
۴. انجام بازرسی با چشم مسلح یا غیر مسلح



تجهيزات

چشم:

۱. قدرت دید و مشاهده عالی ← با ارزش ترین ابزار بازرسی NDT
۲. بیشترین حساسیت چشم در نور زرد مایل به سبز با طول موج ۵۵۶۰ آنگستروم
۳. نور مناسب جهت بازرسی : Lux ۸۰۰-۱۰۰۰
۴. حداکثر زمان مجاز جهت بازرسی پیوسته : ۲ ساعت

تجهيزات

وسائل کمکی چشمی و انواع گيج ها گاهی برای تسهیل تشخیص عيوب و اندازه گیری ابعاد جوش یا عيوب موجود در جوش مورد استفاده قرار می گیرند.

بازرسی قطعات جوش معمولاً شامل ارزیابی کمی و کیفی اتصال می شود. ابزارهای استاندارد متعددی جهت :

- اندازه گیری هندسهٔ اتصال و مونتاژ،

- ابعاد جوش و پیش آمدگی،

- انحراف، و

- عمق Undercut

مورد استفاده قرار می گیرند.

تجهیزات

در برخی شرایط گنج های مخصوصی جهت اطمینان از حصول شرایط مورد نظر مورد نیاز است.

شناساگرهایی مانند **پیرومترهای تماسی** و **گج های حرارتی** باید جهت اطمینان از دمای پیش گرم مناسب و دمای بین پاسی مناسب مورد استفاده قرار گیرند. جهت استفاده مناسب از ابزارهای کمکی چشمی و گج ها باید بازرس تحت آموزش درست قرار گیرد.

تجهیزات

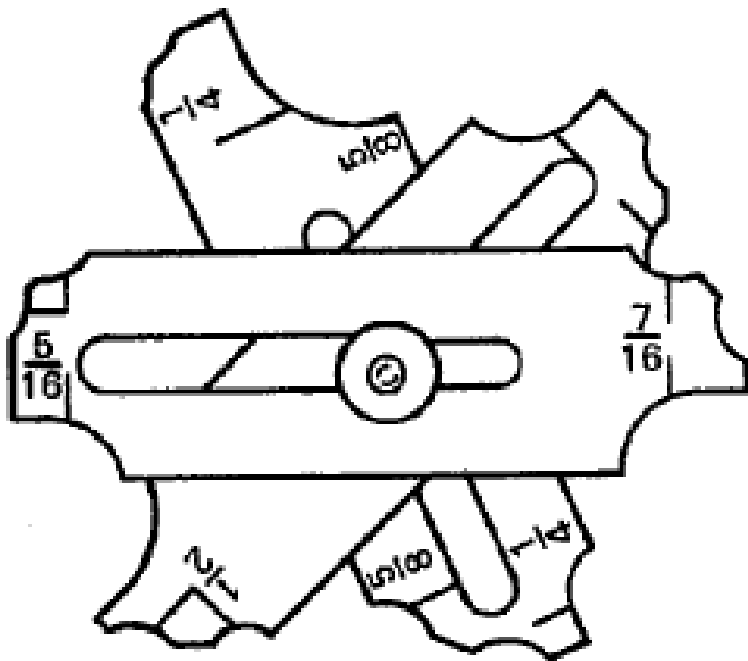
کاربردهای گيج های جوشکاری

- ۱- کنترل ابعادی قطعات و اتصالات مورد جوشکاری آماده شده
- ۲- کنترل سطوح پخ خورده از نظر زاویه سطح شیب دار پخ خورده
- ۳- کنترل فواصل لازم بین قطعات جهت مونتاژکاری آنها
- ۴- کنترل هم سطح بودن یا نبودن قطعات قبل از مونتاژ یا جوشکاری
- ۵- کنترل ابعاد جوشهای تکمیل شده طبق نقشه بعد از جوشکاری
- ۶- کنترل و اندازه گیری عیوب احتمالی بر روی سطح جوشها از نظر طول، عرض و عمق آنها

تجهیزات انواع گیج های جوشکاری

● گیج Fillet

- اندازه گیری گرده های جوش با اندازه ۱ تا ۸/۱ اینچ (۲۵-۲/۳ میلیمتر)
- اندازه گیری تحدب و تقعر گرده های جوش



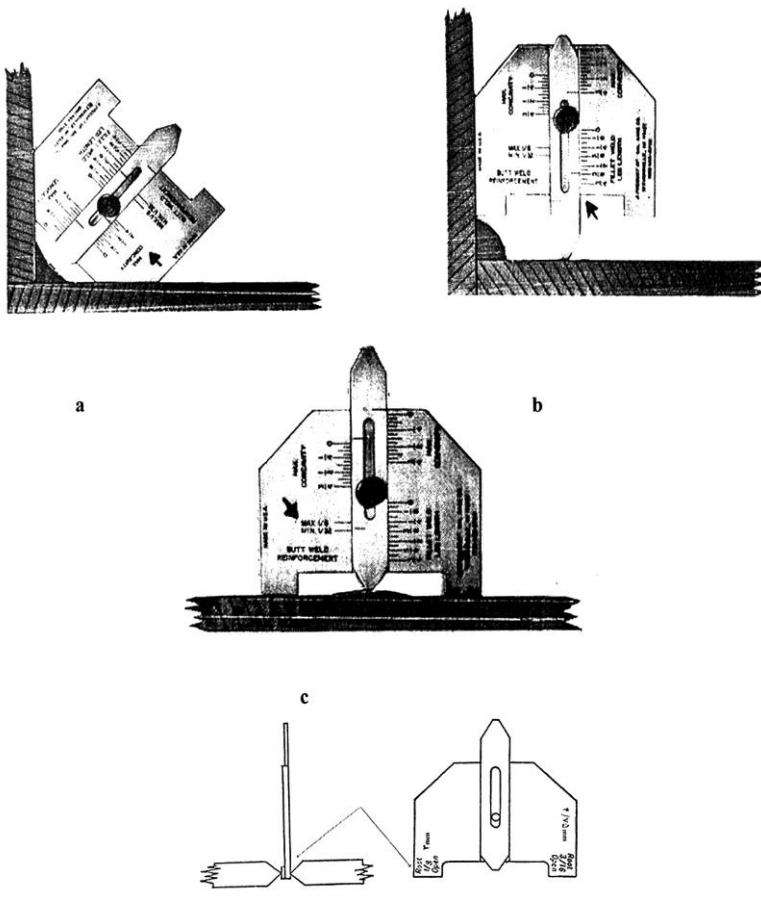
(B) Fillet weld gage

تجهیزات

انواع گیج های جوشکاری

گیج AWS

- تعیین مشخصات جوشهای گوشه ای و لبه ای
- اندازه گیری تolerانس تحدب و تقعر جوشها که از قبل برای آن تعیین شده است
- اندازه گیری گرده های جوش



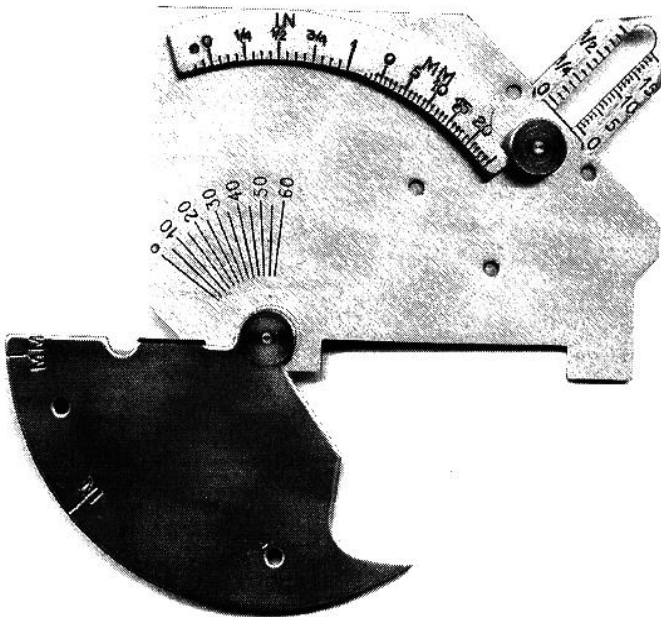
تجهیزات

انواع گیج های جوشکاری

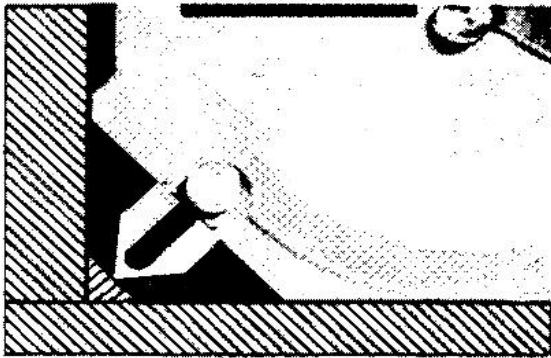
• گیج Cambridge

این گیج چند منظوره قادر به اندازه گیری موارد زیر در واحدهای اینچ و میلیمتر می باشد:

- زاویه آماده سازی تا ۶۰ درجه
- اضافه فلز جوش
- عمق Undercut ها
- عمق pitting
- اندازه ریشه
- ارتفاع گرده جوش
- عدم همطرازی
- اندازه گلویی جوش گوشه ای
- طول گرده جوش

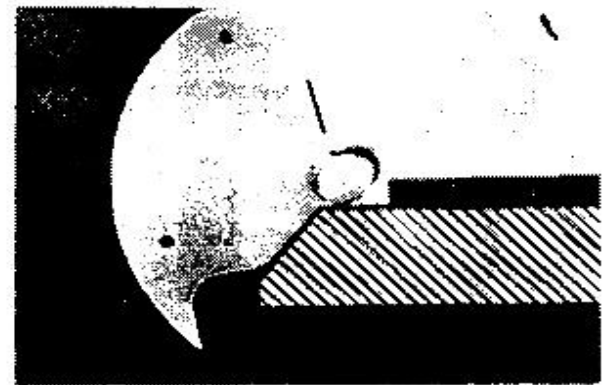


FILLET WELD THROAT

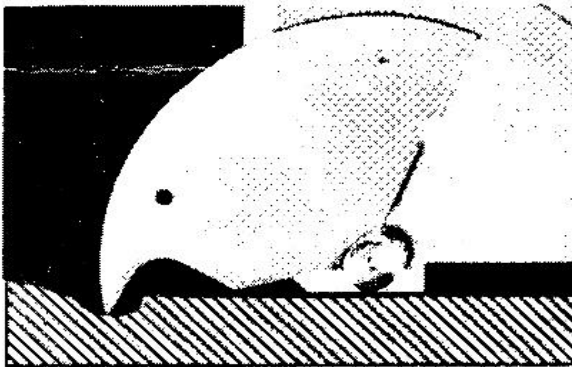


Cambridge گيج

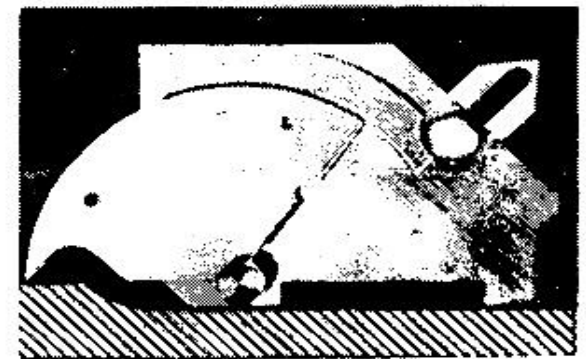
ANGLE OF PREPARATION



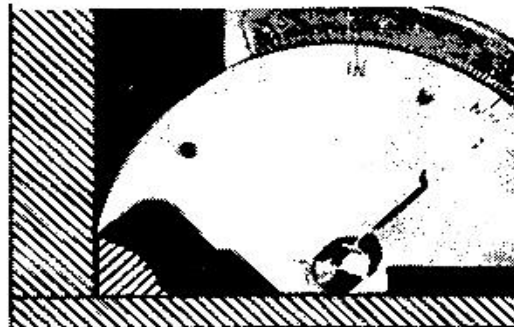
UNDERCUT



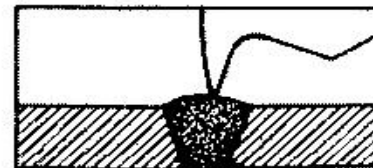
MISALIGNMENT



FILLET WELD LEG LENGTH/EXCESS WELD



The scale is used to read off these dimensions up to a maximum of 25mm and 1in.



تجهيزات

انواع گیج های جوشکاری

• گیج Hi-Lo

این گیج که گیج (mismatch) نیز نامیده می شود.

- ارتفاع گرده جوش

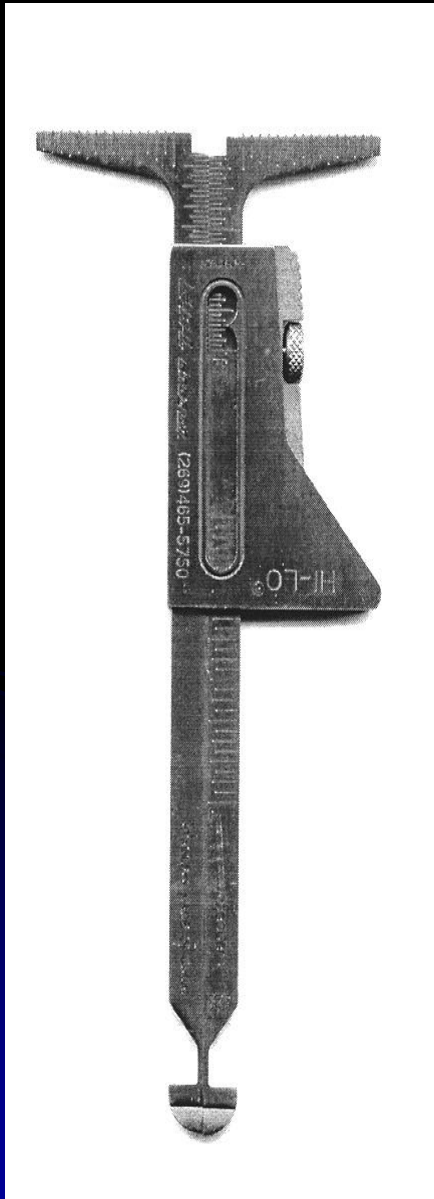
- عدم همطرازی داخلی

- درز اتصال (fit-up)

- مسیر جوش جوشهای مدور

- زاویه آماده سازی

- ضخامت دیواره جوش



تجهيزات میکروسکوپ

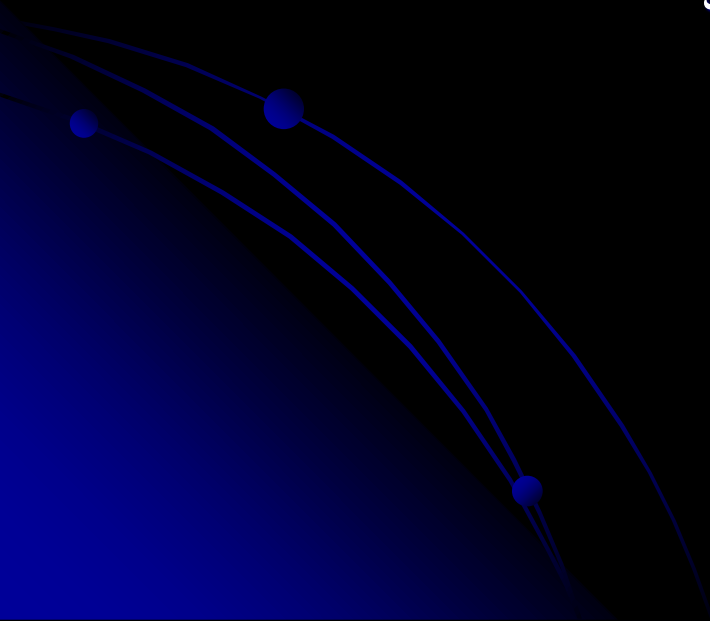
- یک میکروسکوپ چشمی شامل ترکیبی از لنزها می باشد که برای بزرگ کردن تصویر یک جسم کوچک به کار می رود.
- ساده ترین میکروسکوپ دارای یک لنز است که اغلب آنرا با نام ذره بین می شناسیم
- قابلیت **بزرگنمایی** یک ذره بین با توجه به رابطه $M=25/f$ به دست می آید (۲۵: مقدار متوسط حداقل فاصله جسم با چشم غیر مسلح، f : فاصله کانونی عدسی)
- **میدان دید**: فضایی که توسط ذره بین قابل رؤیت است که در یک ذره بین معمولی کمتر از فاصله کانونی آن می باشد.
- **عمق میدان**: فاصله ای که عدسی می تواند بدون خراب شدن کیفیت تصویر جسم، از جسم دور یا به جسم نزدیک شود. عمق میدان با بزرگنمایی را نسبت معکوس دارد.

تجهیزات بورسکوپ

- بورسکوپ: وسیله ای برای دیدن فضای داخلی لوله های باریک
- ابعاد بورسکوپ: از قطر ۱۹ تا ۲۵ میلیمتر و در مترهای مختلف
- انواع بورسکوپ: امکان دریافت تصاویر به صورت مستقیم، عمود، معکوس و مایل
- انتخاب زاویه مناسب توسط نوع ومحل عیب مشخص می شود.
- میدان دید: دایره ای با قطر ۲۵ میلیمتر و در فاصله ۲۵ میلیمتر از جلوی بورسکوپ

تجهيزات اندوسکوپ

- اندوسکوپ وسیله ای شبیه بروسکوپ اما با سیستم بصری بهتر و منبع نوری قویتر
- فاصله کانونی اندوسکوپ ثابت و ۴ میلیمتر است
- در زمانی که فاصله جسم از نوک اندوسکوپ ۴ میلیمتر باشد، بزرگنمایی حدود ۱۰ برابر به دست می آید



مراحل بازرسی

بازرسی قبل از جوشکاری

- بازرسی فلز پایه قبل از انجام جوش می‌تواند شرایط منجر به ایجاد نقصها را مشخص کند.
- بعد از نصب قطعات در محل لازم برای جوشکاری، بازرسی باید محل اتصال جوش را از نظر درز اتصال، آماده‌سازی لبه ها و دیگر مواردی که ممکن است کیفیت جوش را تحت تأثیر قرار دهند، بررسی کند.

مراحل بازرسی

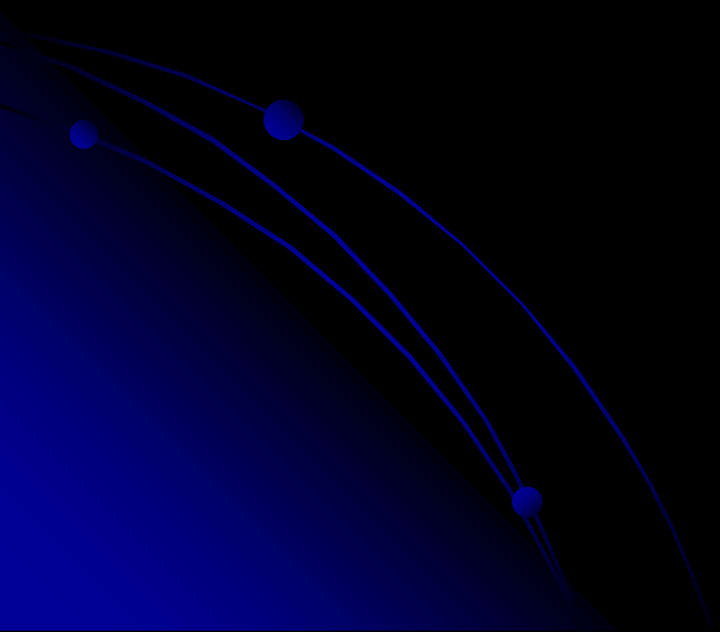
بازرسی قبل از جوشکاری

- بازرس باید شرایط زیر را برای تطابق با مشخصات مورد نظر بررسی کند:
 ۱. آمادگسازى، ابعاد و تمیزی اتصال
 ۲. صحت ابعاد تسمه های پشتیبان^۱، حلقه ها^۱ و ورودی های مصرفی
 ۳. جهت گیری^۱ و Fit up قطعاتی که باید جوش داده شوند.
 ۴. فرایند و مواد مصرفی جوشکاری
 ۵. روش جوشکاری و تنظیمات دستگاهها
 ۶. دمای پیش گرم مشخص شده
 ۷. کیفیت مورد نظر جوش

مراحل بازرسی

بازرسی در حین جوشکاری

- در حین جوشکاری، بازرسی چشمی روش اولیه جهت کنترل کیفیت است.



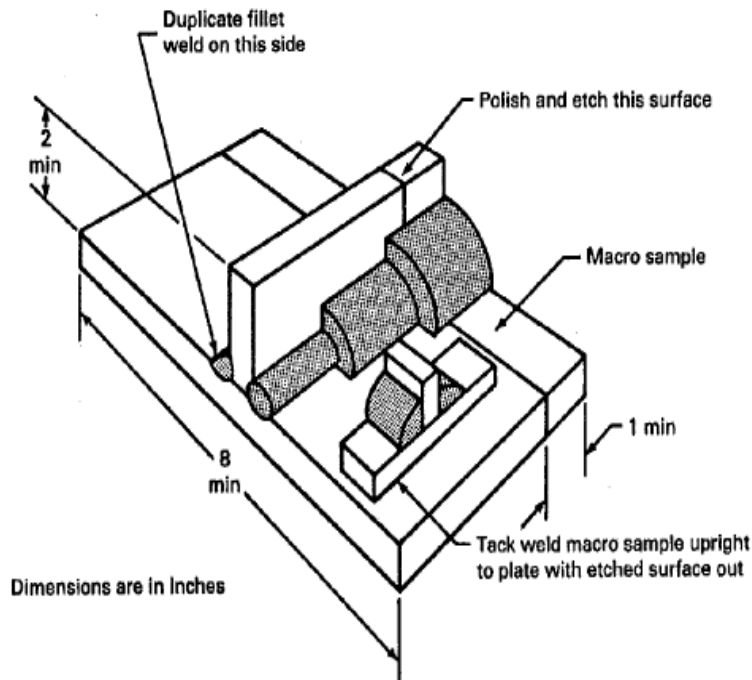
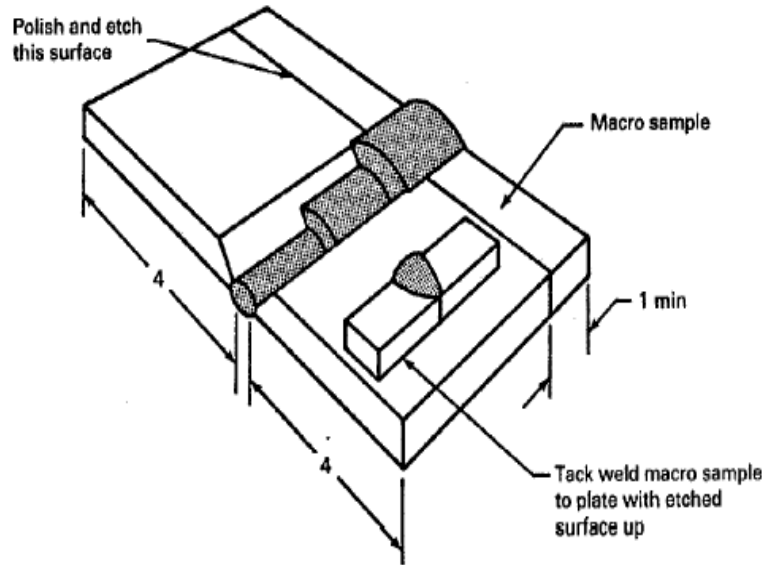
مراحل بازرسی

بازرسی در حین جوشکاری

- برخی از مراحل تولید که می توان با این روش کنترل نمود عبارتند از:
 ۱. عملیات روی خالجوش ها
 ۲. کیفیت پاس ریشه و پاسهای بعدی جوش
 ۳. دمای پیشگرم و دمای بین پاسی کافی
 ۴. ترتیب جوشکاری
 ۵. تمیز کردن بین پاسی
 ۶. آماده سازی ریشه قبل از جوشکاری طرف دوم
 ۷. هماهنگی با دستورالعمل بکار گرفته شده

مراحل بازرسی بازرسی در حین جوشکاری

در بازرسی پاس های بعدی جوش، معمولاً روی شکل خط جوش و تمیزی بین پاسی تمرکز می شود. گاهی این کار با کمک استانداردهای کیفیت کاری انجام می شود.



مراحل بازرسی

بازرسی در حین جوشکاری

این استانداردها مقاطعی از اتصالات مشابه قطعات کار را نشان می دهند که در آن ها پاسهای مختلف مشخص شده اند.

هر پاس جوش مورد نظر را می توان با پاس مربوطه در استاندارد کیفیت کاری مقایسه کرد.

یک نمونه کیفیت کاری فقط نشان دهنده شرایط ایده آل است و نمی تواند نشانگر شرایط واقعی کار باشد. به همین دلیل، باید ضرایب خطا برای تolerانس تولید در نظر گرفته شود.

مراحل بازرسی

بازرسی بعد از جوشکاری

مواردی که بعد از جوشکاری، توسط بازرسی چشمی باید بررسی شوند عبارتند از:

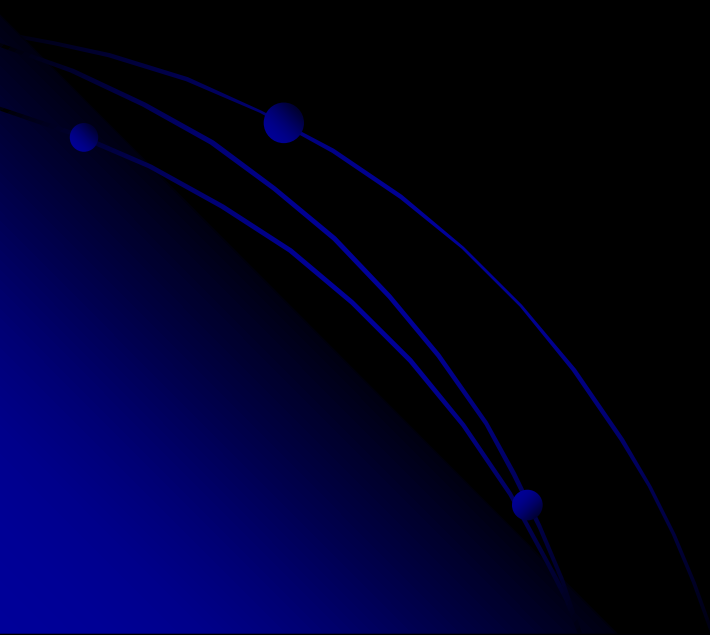
۱. ظاهر نهایی جوش
۲. ابعاد نهایی جوش
۳. مقدار جوش
۴. دقت ابعادی
۵. مقدار تغییر شکل
۶. عملیات حرارتی بعد از جوش

مراحل بازرسی

بازرسی بعد از جوشکاری

در بیشتر کدها و مشخصات، نوع و اندازه ناپیوستگی های مورد انتظار جوش ارائه شده است. بسیاری از ناپیوستگی های زیر روی سطح یک جوش توسط بازرسی چشمی قابل تشخیص هستند:

۱. ترکها
۲. Undercut
۳. همپوشانی
۴. ناخالصی های سرباره ای و تخلخلهای قابل رؤیت
۵. پروفیل جوش غیرقابل قبول



مراحل بازرسی

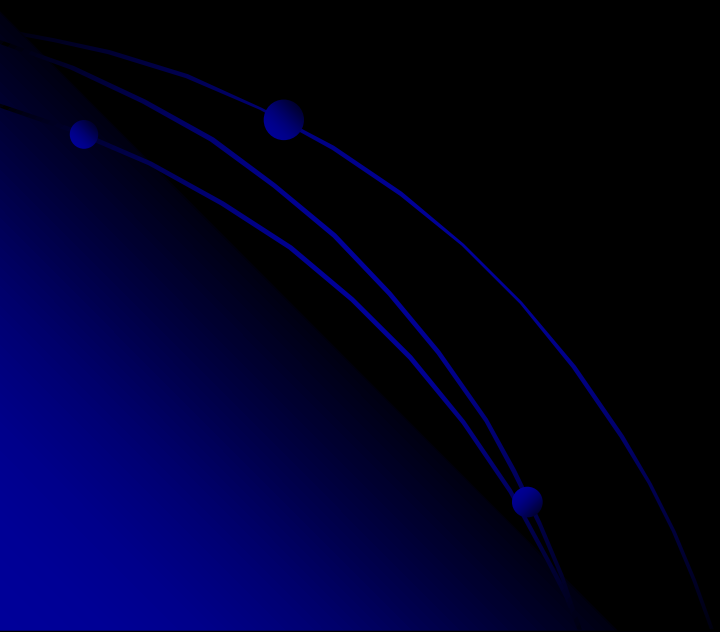
بازرسی بعد از جوشکاری

برخی فولادها همچون ASTM A514 و A517 مستعد ترک خوردگی با تأخیر هستند. کد مورد نظر این فولادها ممکن است قبل از بازرسی جوش در فولادهای حساس به ترک، یک تأخیر، توصیه کند.

وقتی عملیات حرارتی بعد از جوش توصیه شود، عملیات باید توسط بازرس بررسی و ثبت شود. آیتم های مهم جهت ثبت در عملیات حرارتی به شرح زیرند:

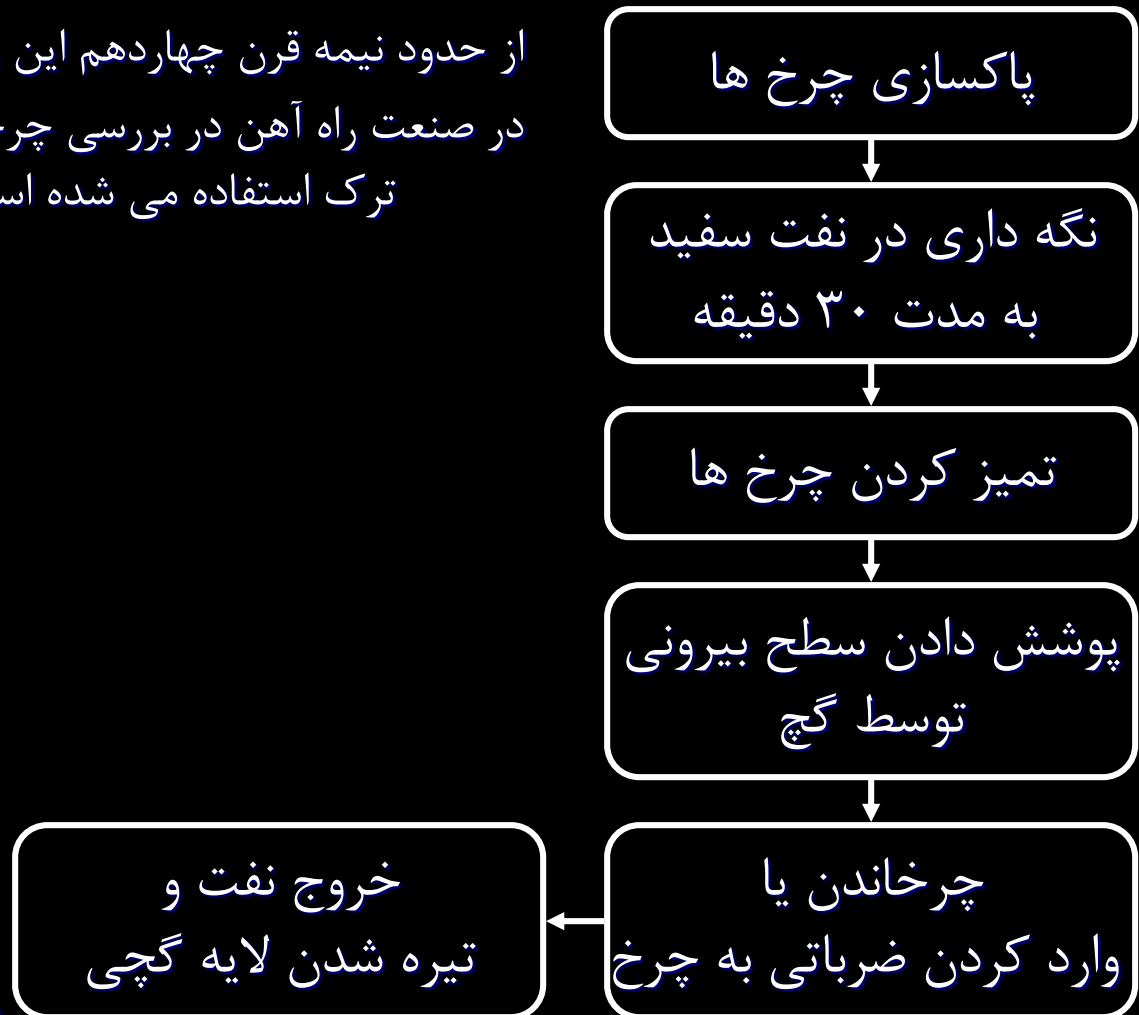
۱. سطحی که باید حرارت داده شود
۲. نرخ سرد و گرم کردن
۳. زمان و دمای نگهداری
۴. اندازه گیری دما و محل آن
۵. کالیبراسیون تجهیزات

بازرسی با مایعات نافذ



تاریخچه

از حدود نیمه قرن چهاردهم این روش مورد استفاده بوده است.
در صنعت راه آهن در بررسی چرخهای لوکوموتیو جهت پیدا کردن ترک استفاده می شده است

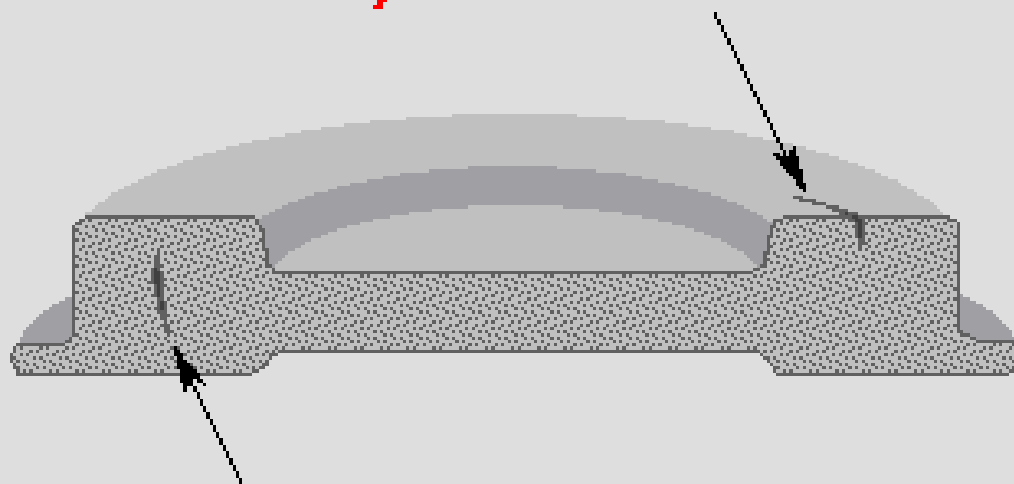


معرفی روش

آزمون مایع نافذ (PT) روشی است که ناپیوستگی های باز (سطحی) را با نشان دادن یک مایع نافذ در مقابل یک آشکار ساز، روی زمینه ظاهر می کند

Discontinuity open to the surface

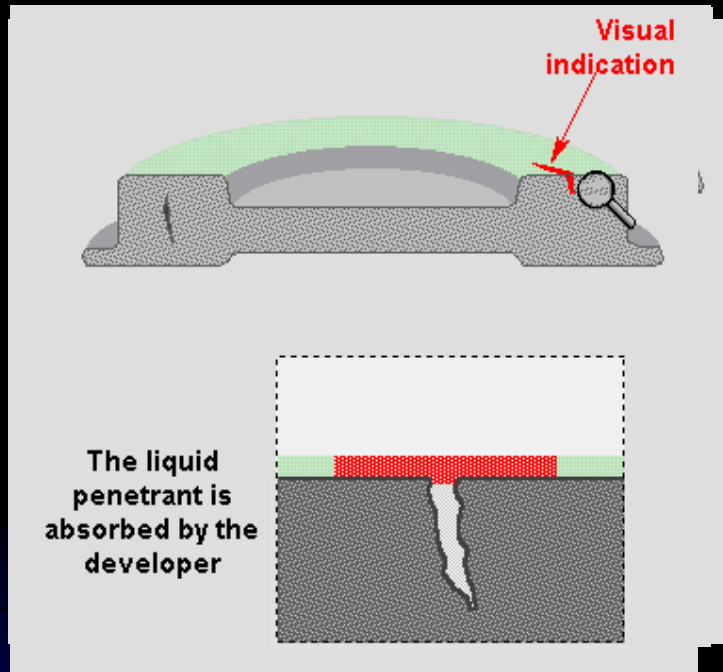
- detectable by means of PT -



Discontinuity inside the piece

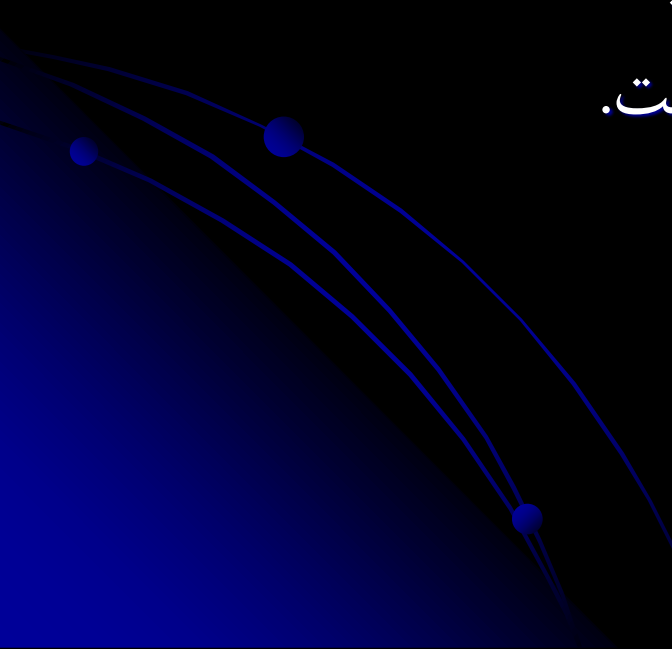
- NON detectable by means of PT -

مراحل انجام بازرسی



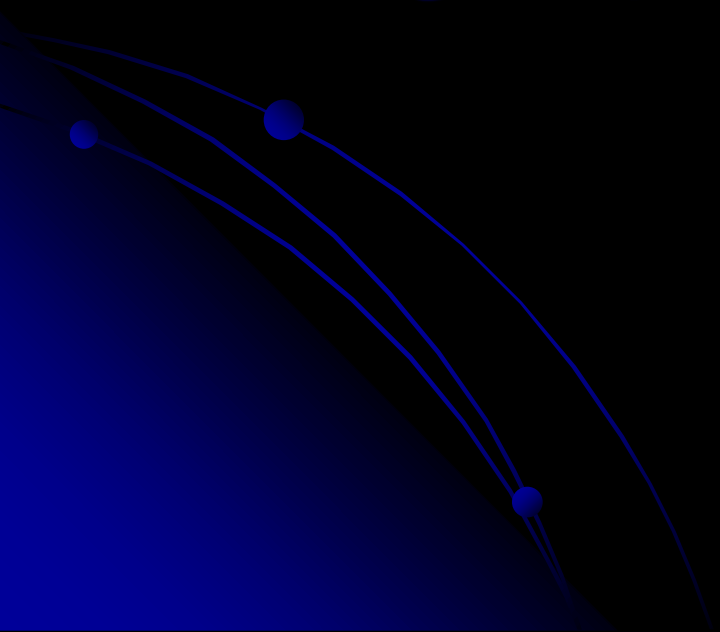
۱. تمیز کردن سطح نمونه
۲. اعمال مایع نافذ
۳. منتظر بودن به اندازه زمان نفوذ (Dwell Time)
۴. حذف مایع نافذ اضافی
۵. اعمال آشکار ساز
۶. بررسی سطح برای مشاهده و ثبت نتایج
۷. تمیزکاری نهایی (در صورت لزوم)

مزایای بازرسی به روش مایعات نافذ

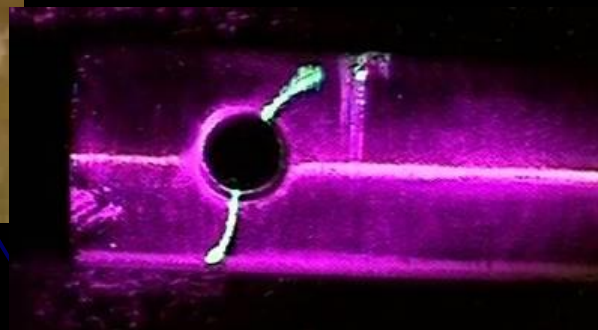
۱. روش نسبتاً ساده ای است.
 ۲. روش ارزانی است.
 ۳. محدودیتی در جنس ماده وجود ندارد (به جز مواد متخلخل).
 ۴. قادر به تعیین محل و اندازه تقریبی عیب است.
 ۵. تجهیزات این روش قابل حمل و نقل است.
- 

محدودیت های بازرسی به روش مایعات نافذ

۱. تنها عیوب و ناپیوستگی های سطحی قابل تشخیص هستند.
۲. در قطعات متخلخل و با سطوح خشن کاربردی ندارد.
۳. گاهی ترک های عریض و کم عمق تشخیص داده نمی شوند.
۴. اندازه عیوب بزرگتر از اندازه واقعی تخمین زده می شود.



کاربردهای بازرسی به روش مایعات نافذ

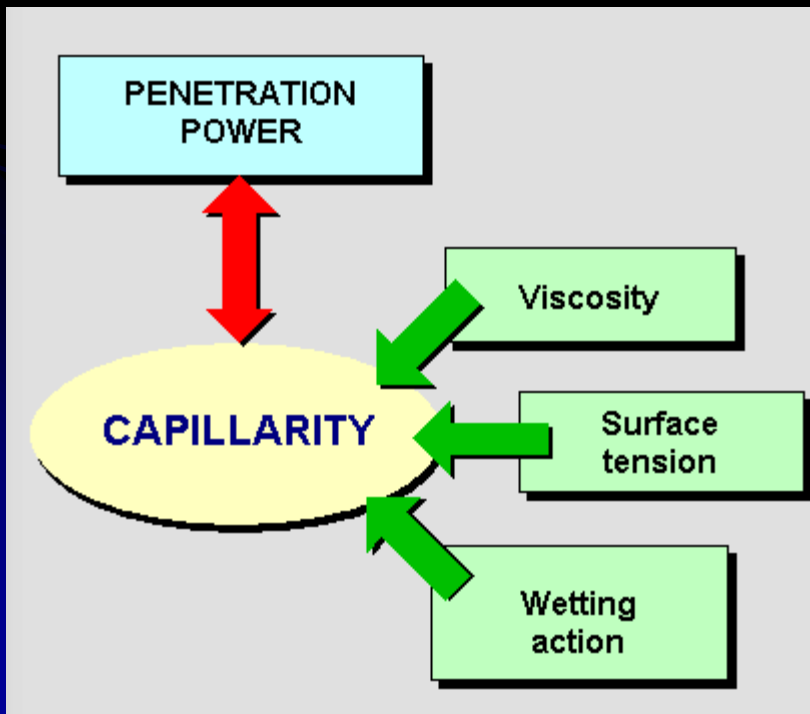


۱. صنایع فضایی برای کنترل مواد تولیدی
۲. قطعات خودرو مانند قطعات ریخته گری و آهنگری آلومینیم
۳. تعمیرات و سرویس های منظم قطعات لوکوموتیوهای قطار
۴. یافتن ترک های خستگی مواد مورد شده
۵. کنترل صحت و دقت نتایج به دست آمده از MT

اصول فیزیکی

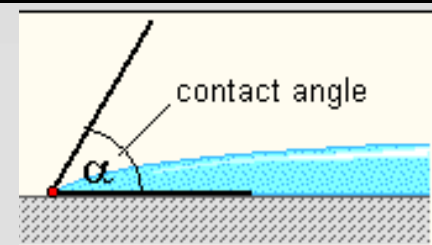
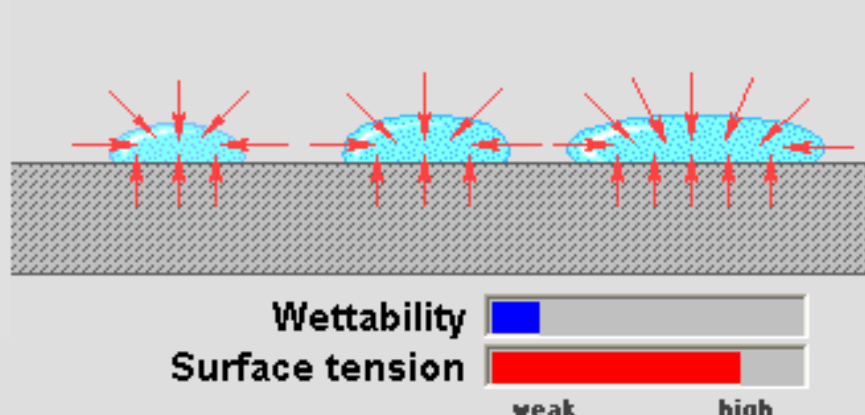
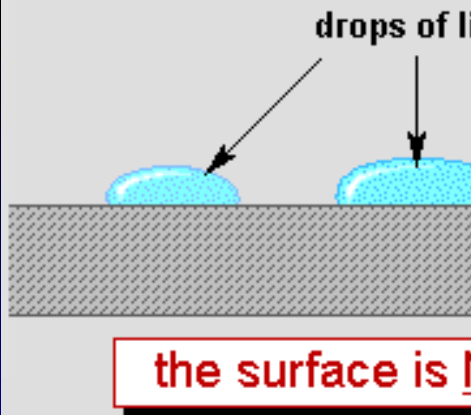
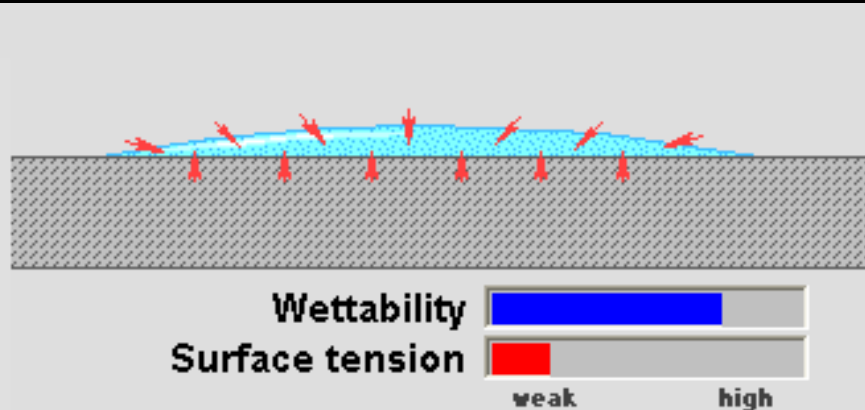
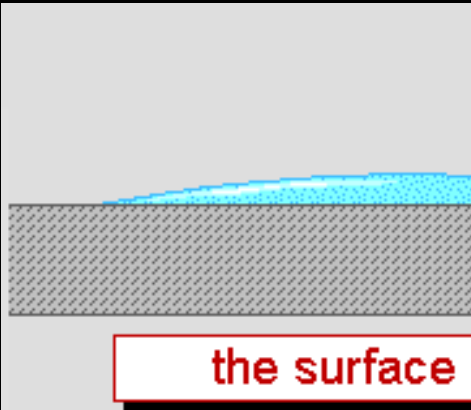
بازرسی با مایعات نافذ به طور عمده به تر شدن مؤثر یک نمونه یا قطعه کار جامد توسط یک عامل نفوذ کننده که روی سطح مذکور جریان می یابد، وابسته است.

قابلیت یک مایع نافذ برای جریان یافتن روی سطح و ورود به حفره ها به طور عمده به موارد زیر بستگی دارد:



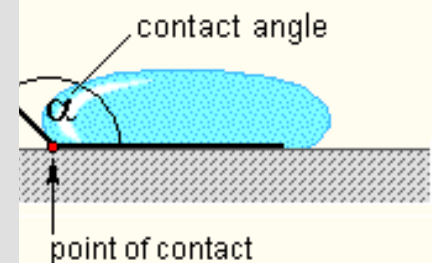
۱. تمیزی سطح
۲. پیکر بندی حفره
۳. تمیزی حفره
۴. اندازه گشودگی دهانه حفره
۵. کشش سطحی مایع نافذ
۶. توانایی مایع در تر کردن سطح

کشش سطحی و خاصیت تر کنندگی



0° : the liquid wets the surface

tangent to the surface of the liquid at the point of contact

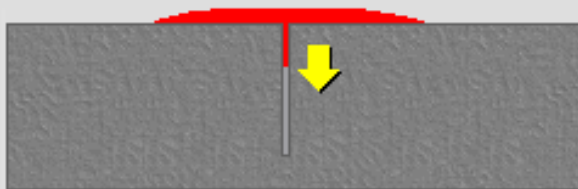


90° : the liquid DOES NOT wet the surface

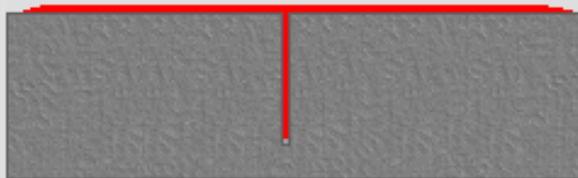
گرانروی یا ویسکوزیته

high
viscosity

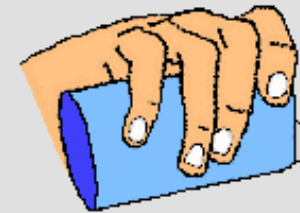
higher
penetration
time



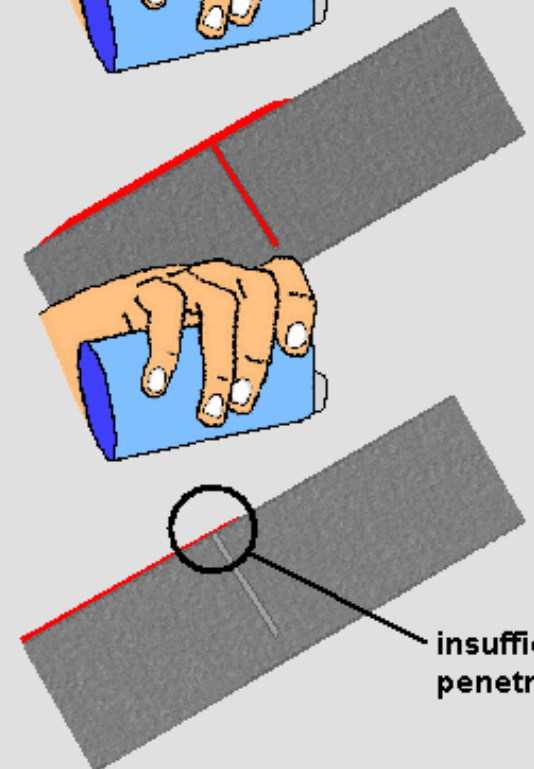
low
viscosity



high
viscosity



low
viscosity



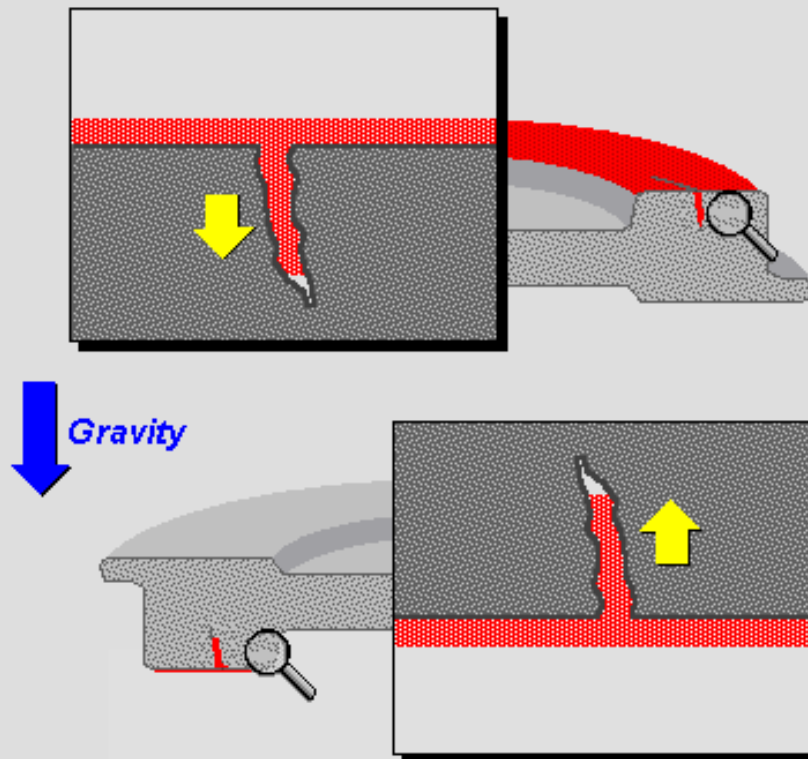
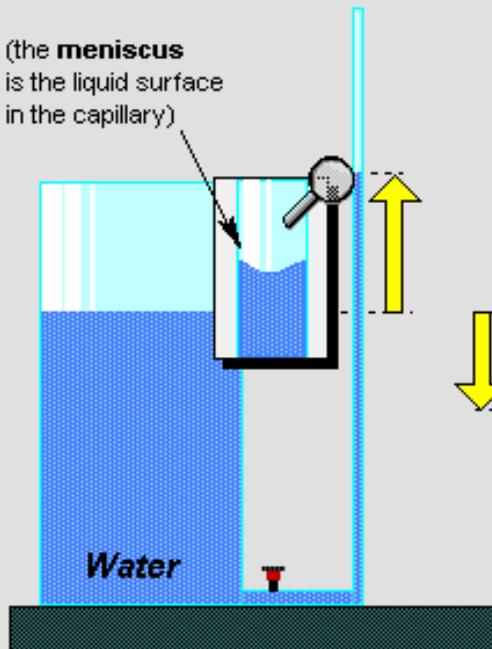
insufficient
penetrant

خاصیت موینگی

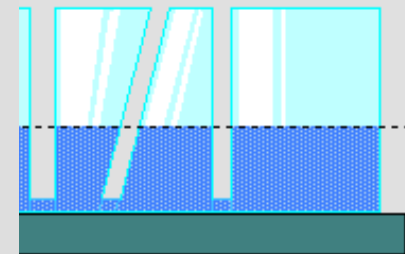
'Wet' walls

- ▶ *higher level*
- ▶ *concave meniscus*

(the **meniscus** is the liquid surface in the capillary)



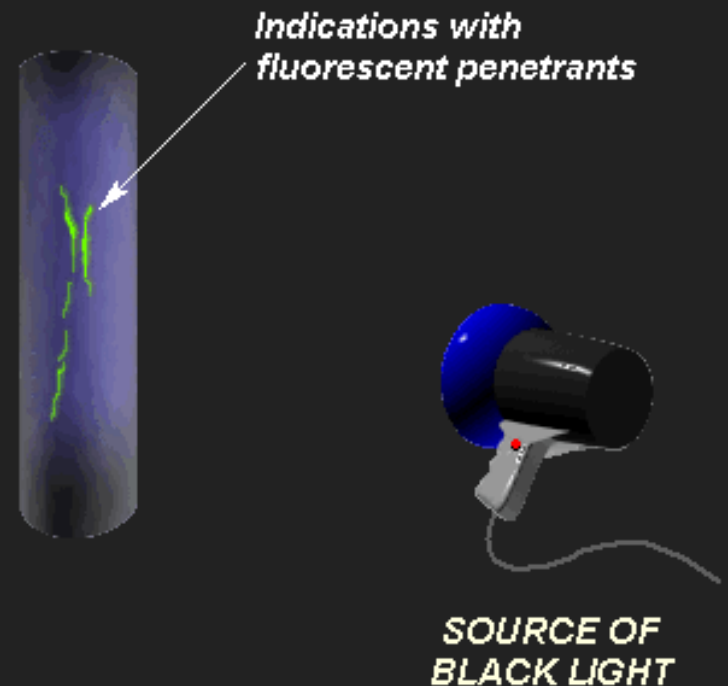
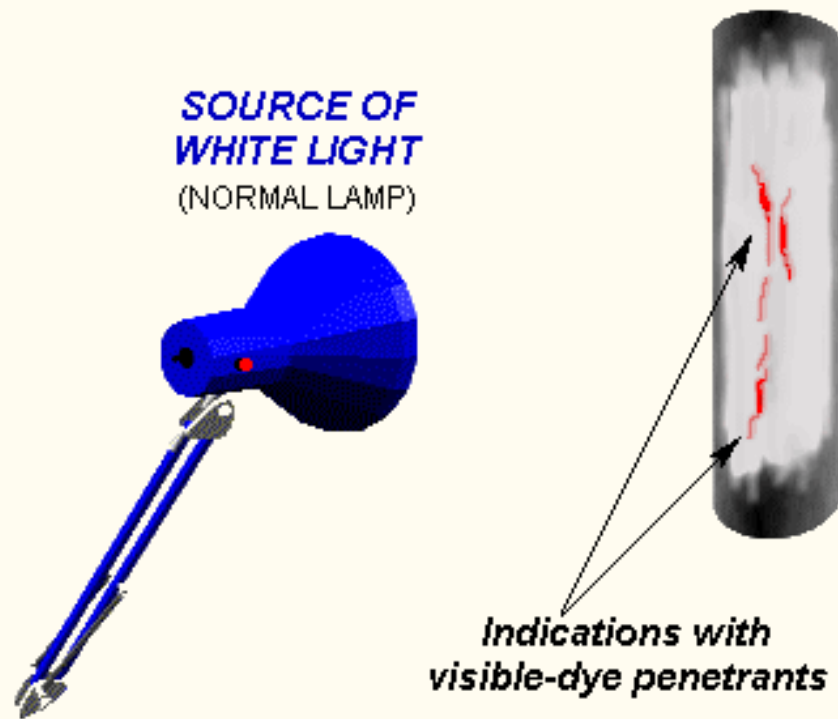
y tube
0.1 mm



روش های تست مایعات نافذ

I تست مایع نافذ فلورسنت

II تست مایع نافذ مرئی



تفسیر مشاهدات

- ناپیوستگی های مورد ارزیابی به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

۱. نشانه های خطی یا Linear (طول سه برابر عرض)

۲. نشانه های گرد یا Round (طول کمتر از سه برابر عرض)

۳. نشانه های پراکنده در قطعه

- گاهی ممکن است نشانه های نامربوط Non relevant نیز بر روی سطح قطعه نمایان شود.

تفسیر مشاهدات

- متداول ترین نقص قابل مشاهده با این روش ترک سطحی است.
- در تفسیر علائم ناشی از ترک عرض Bled out معیاری از عمق ترک است.
- در یک ترک بسیار عمیق Bled out حتی پس از تمیزکاری و آشکارسازی مجدد نیز ظاهر می شود.
- تخلخل سطحی، اکسیدهای فلزی، سرباره و نفوذ و ذوب ناقص نیز در صورتی که در سطح باشند، با این روش بازرسی تشخیص داده می شوند.
- Under cut و همپوشانی به راحتی با این روش تشخیص داده نمی شوند.

تفسیر مشاهدات

- در برخی موارد نشانه های نادرست False Indication نیز بر روی سطح قطعه ایجاد می شود:

۱. از روی دست اپراتور به سطح انتقال یابد.
۲. در اثر آلودگی Developer ایجاد شود.
۳. Bled out از یک قطعه بیرون آمده و به قطعه دیگر منتقل می شود.
۴. به وسیله محلی که پس از غوطه وری قطعات روی آن چیده می شوند، به قطعه منتقل شود.
۵. در اثر شستشوی نامناسب قطعات ایجاد شود.

طبقه بندی روش های بازرسی مایعات نافذ

● عوامل اصلی در انتخاب روش PT:

۱. شرایط سطحی قطعه کار مورد بازرسی

۲. مشخصه های نقص مورد تشخیص

۳. زمان و مکان بازرسی

۴. اندازه قطعه کار

۵. حساسیت مورد انتظار

انواع مایع نفوذ کننده

۱. از لحاظ دید

۱. Fluorescent

۲. Visible

۳. Dual

۲. از لحاظ اعمال

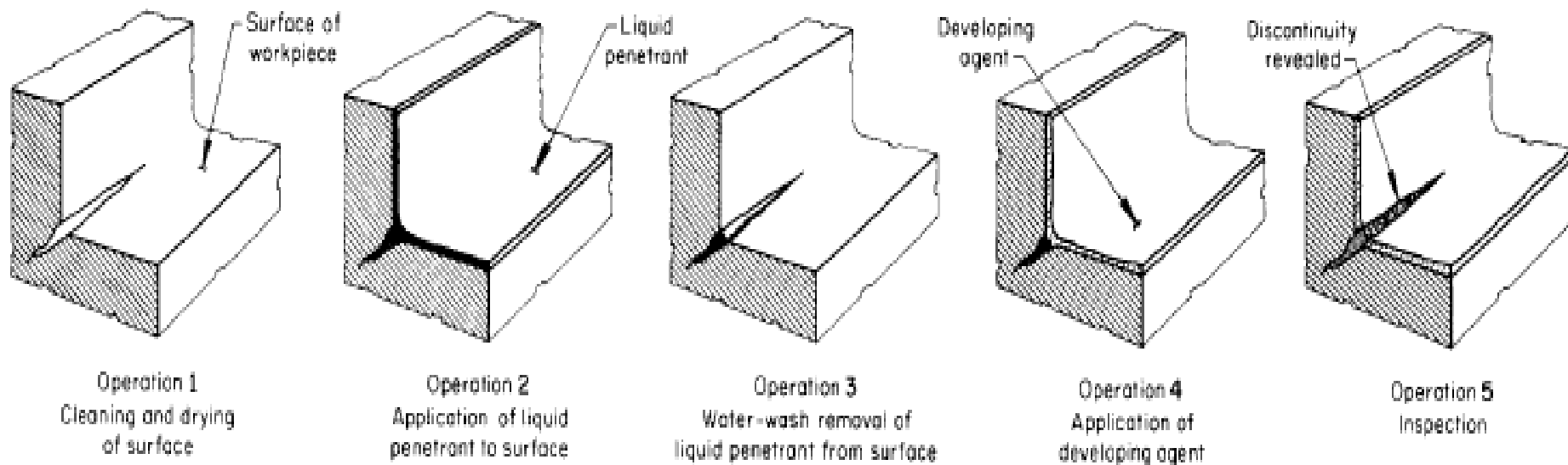
A. Water Washable

B. Post Emulsifier-Lipophilic

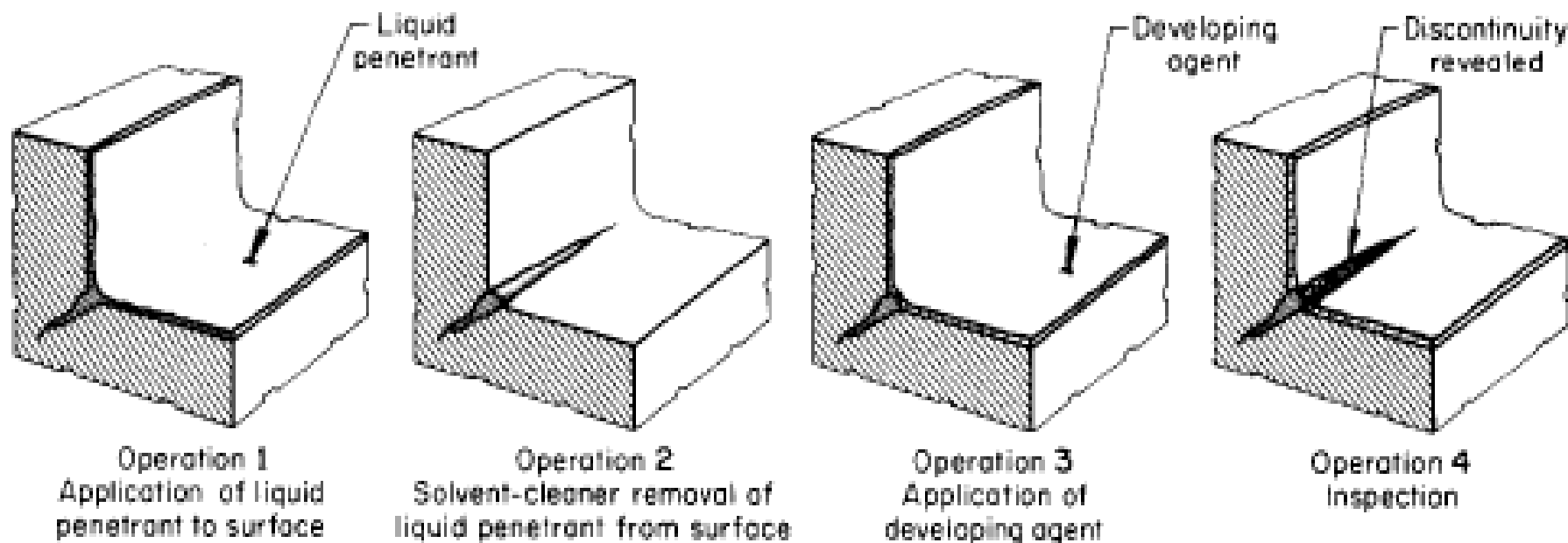
C. Solvent Removable

D. Post Emulsifier-Hydrophilic

روش A



روش C



عملیات ۱:
تمیزکاری و خشک کردن سطح

عملیات ۲:
اعمال مایع نافذ به سطح

عملیات ۳:
زدودن مایع نافذ از سطح
با یارچه آغشته با حلال

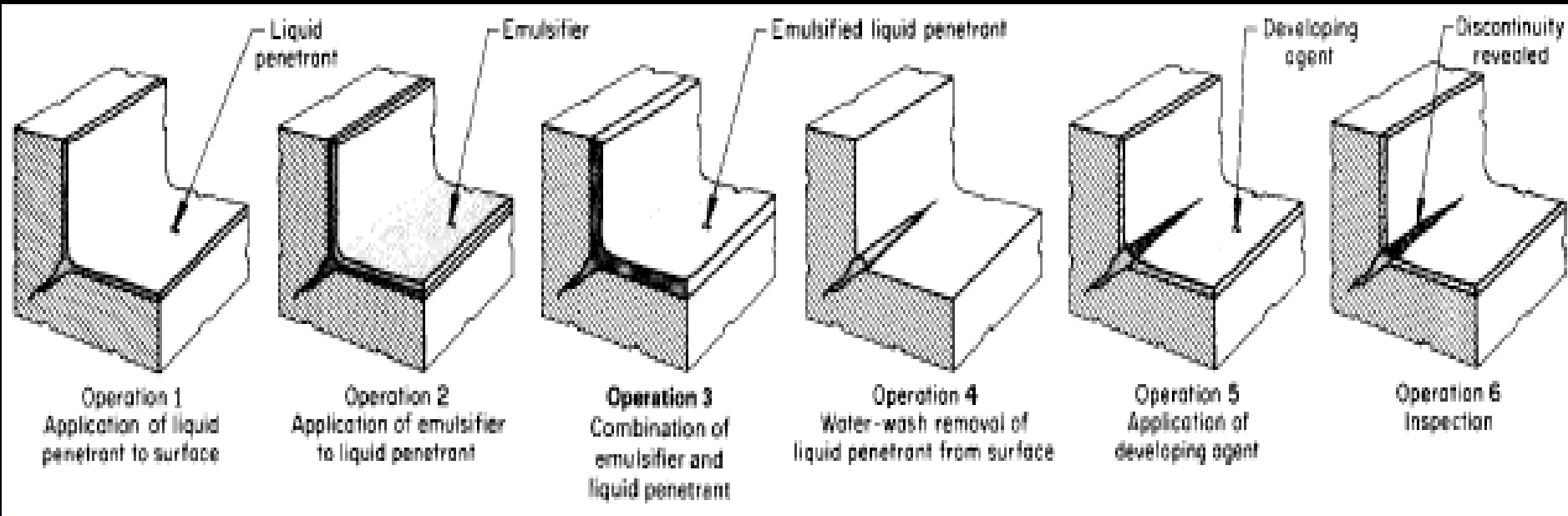
عملیات ۵:
بازرسی

عملیات ۴:
اعمال آشکارساز

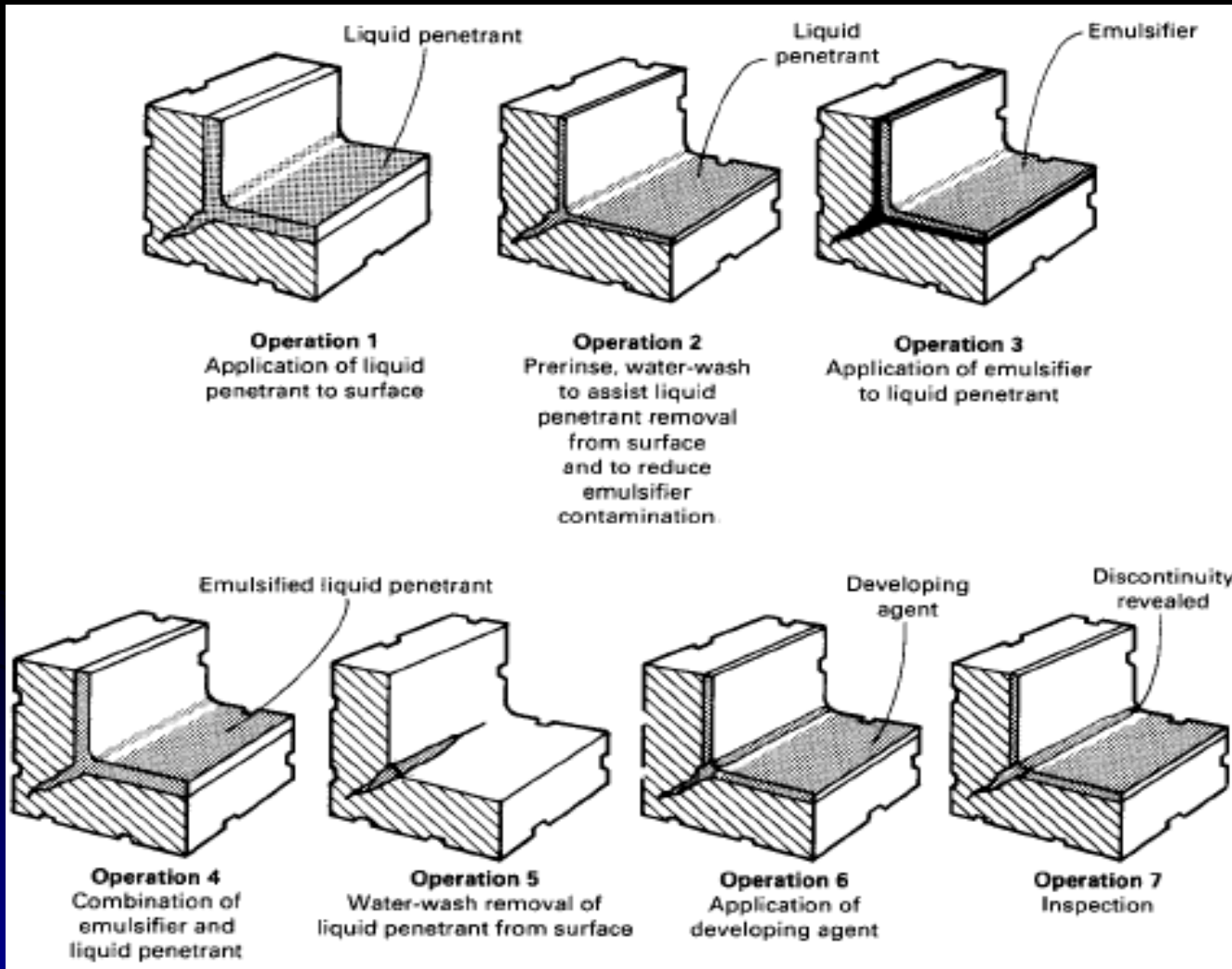
روش B و D



مراحل روش B



مراحل روش D



عملیات ۱:

اعمال مایع نافذ به سطح

عملیات ۲:

شستشوی اولیه

عملیات ۳:

اعمال معلق کننده به مایع نافذ

عملیات ۴:

ترکیب معلق کننده و مایع نافذ

عملیات ۵:

زدودن مایع نافذ از سطح
به طریق شستشو با آب

عملیات ۶:

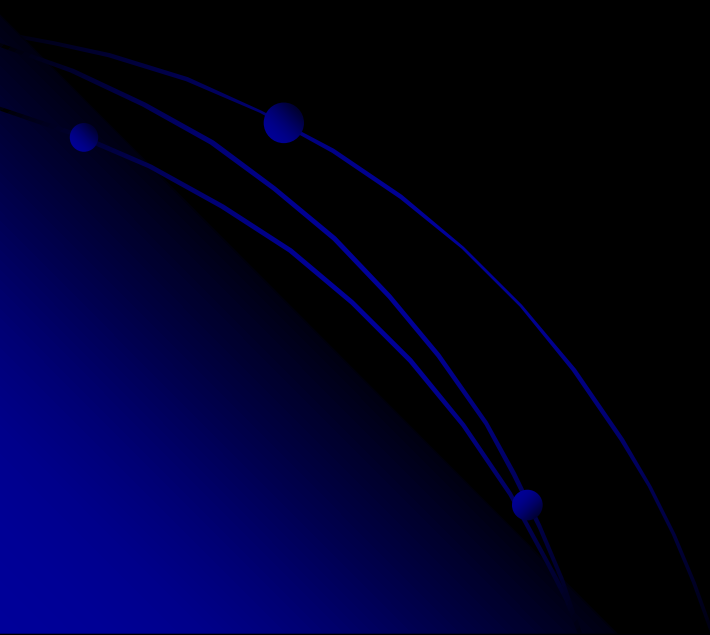
کاربرد عامل آشکار ساز

عملیات ۵:

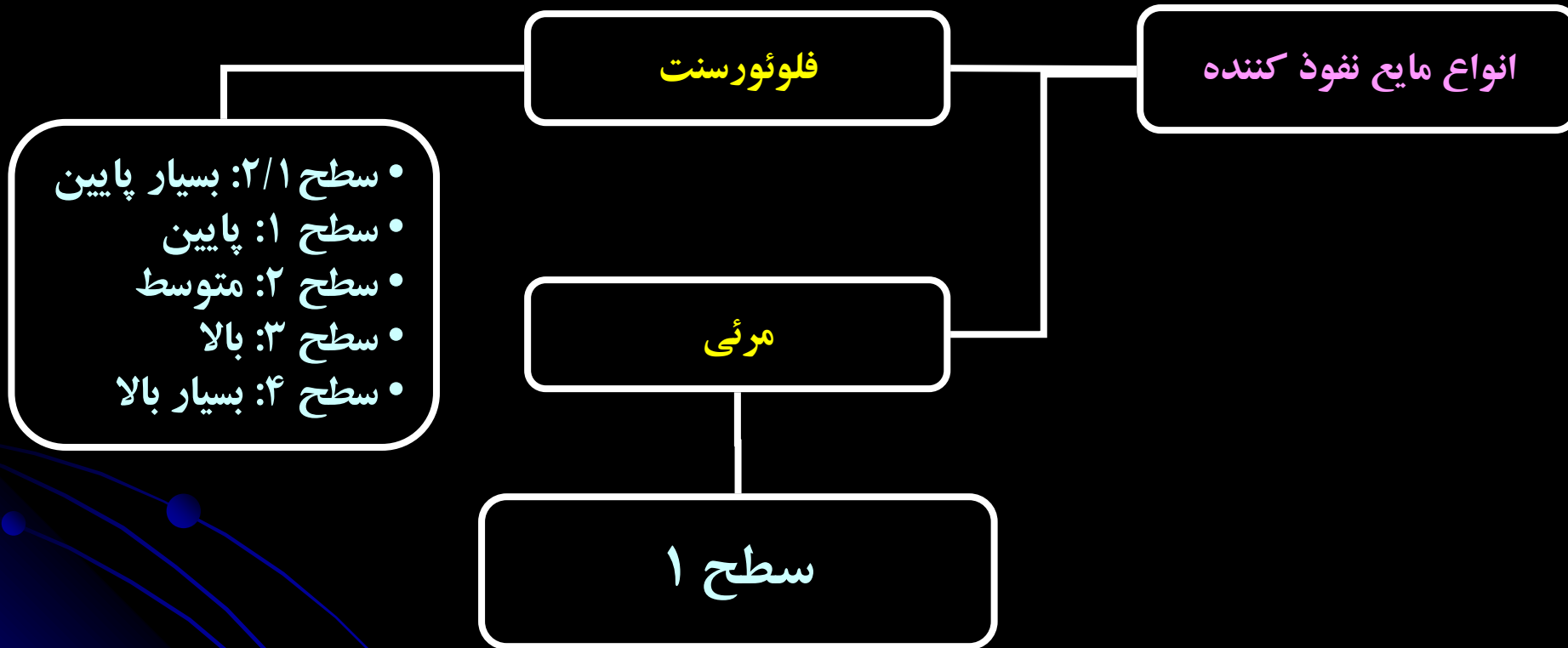
بازرسی

مواد و تجهیزات

۱. مواد نافذ
۲. معلق کننده ها
۳. حذف کننده ها
۴. آشکار سازها



انواع مایع نفوذ کننده

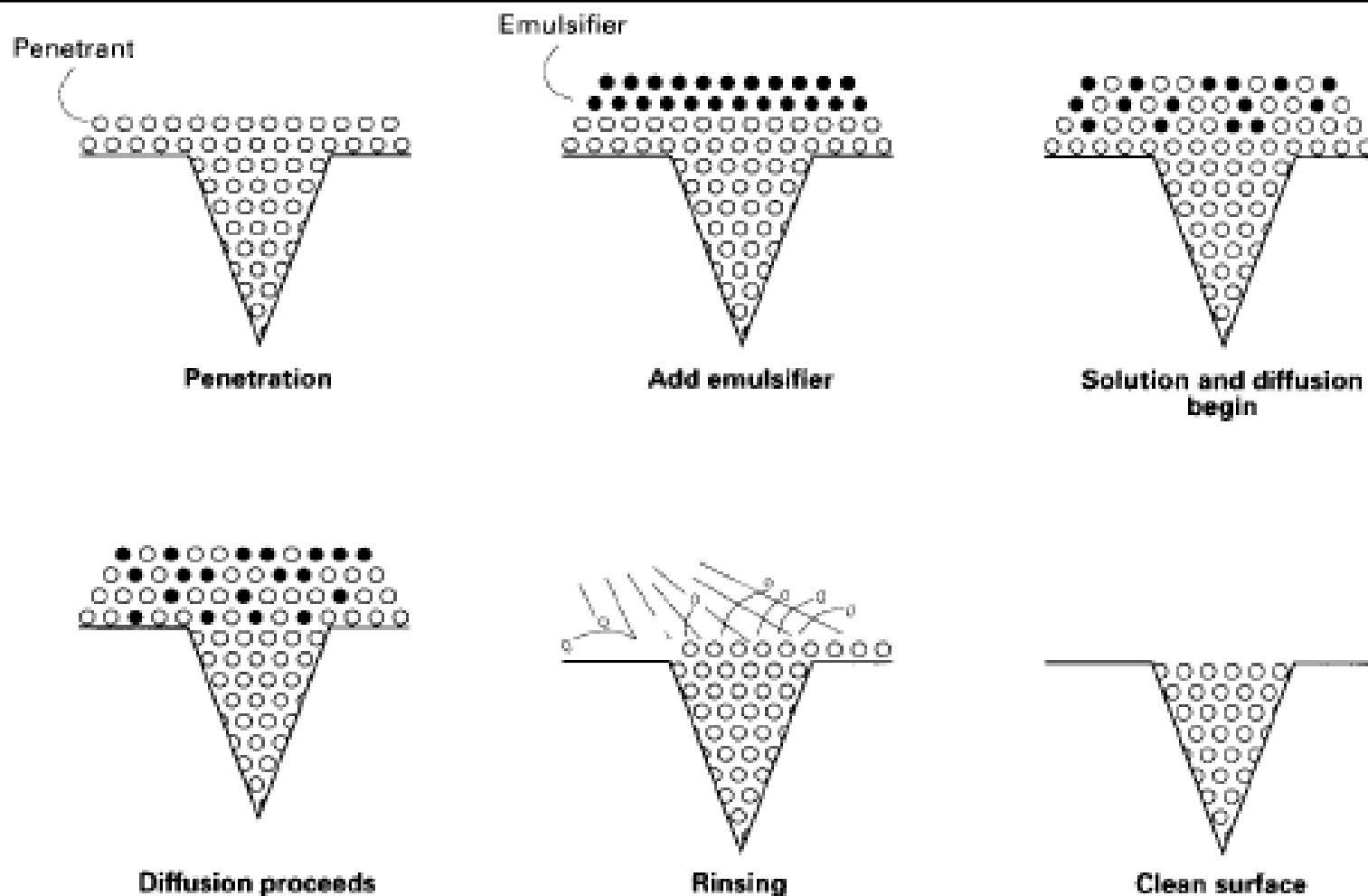


ویژگی های فیزیکی و شیمیایی

۱. پایداری شیمیایی و تطابق یکنواخت فیزیکی
۲. نقطه اشتعال بالاتر از 95°C (200°F)؛ (نافذهایی که نقطه اشتعالی پایین تر از این میزان داشته باشند، دارای خطر بالقوه آتش سوزی هستند).
۳. درجه بالای ترشوندگی
۴. ویسکوزیته پایین به منظور ایجاد امکان پوشش بهتر و حداقل بیرون زدگی
۵. قابلیت نفوذ سریع و کامل در ناپیوستگی ها
۶. وضوح و دوام رنگ کافی
۷. واکنش ناپذیری شیمیایی با مواد مورد بازرسی و محفظه های نگهداری
۸. مسمومیت پایین به منظور ایمنی کارکنان
۹. خصوصیات خشک شوندگی آهسته
۱۰. سهولت زدایش
۱۱. نداشتن بوی زننده
۱۲. هزینه پایین
۱۳. مقاومت در برابر نور ماوراء بنفش و محو شدن بر اثر حرارت

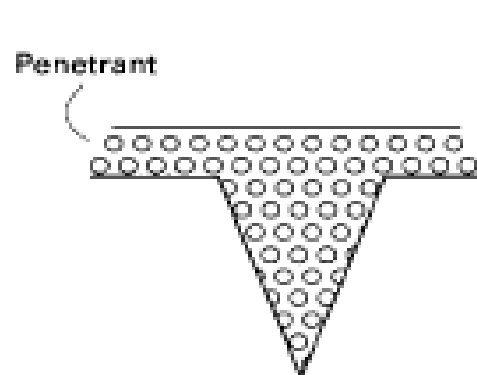
معلق کننده ها

نوع B

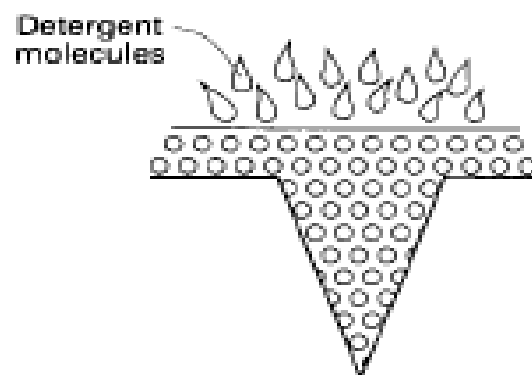


معلق کننده ها

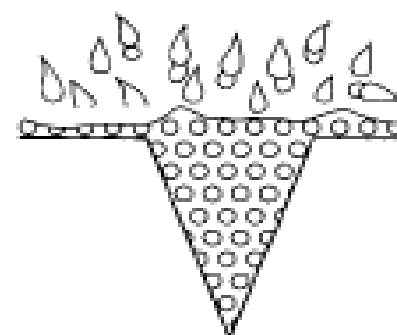
نوع D



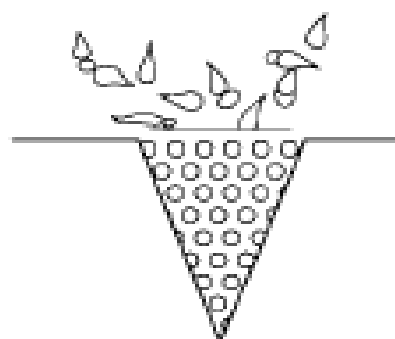
Penetration



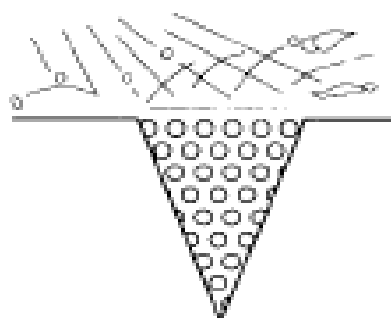
Immerse in aqueous
remover solution



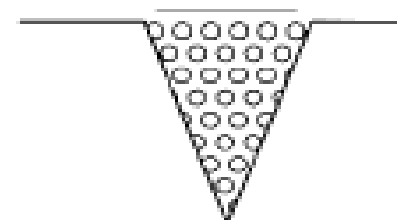
Diffusion and emulsification
begin



Agitation and
emulsification

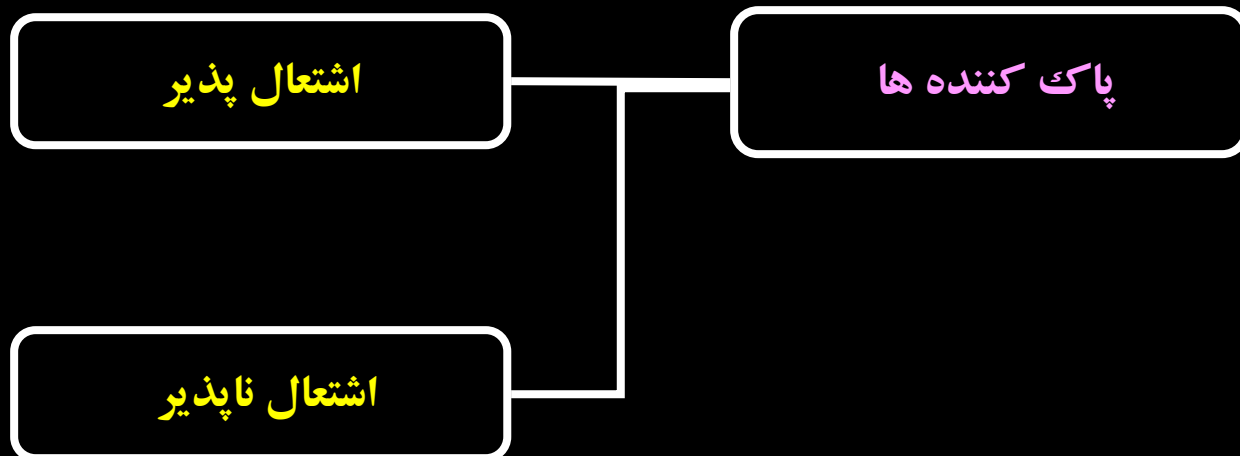


Rinsing



Clean surface

پاک کننده ها (زداينده های حلالی)



آشکار سازها

۱. نوع A، پودر خشک

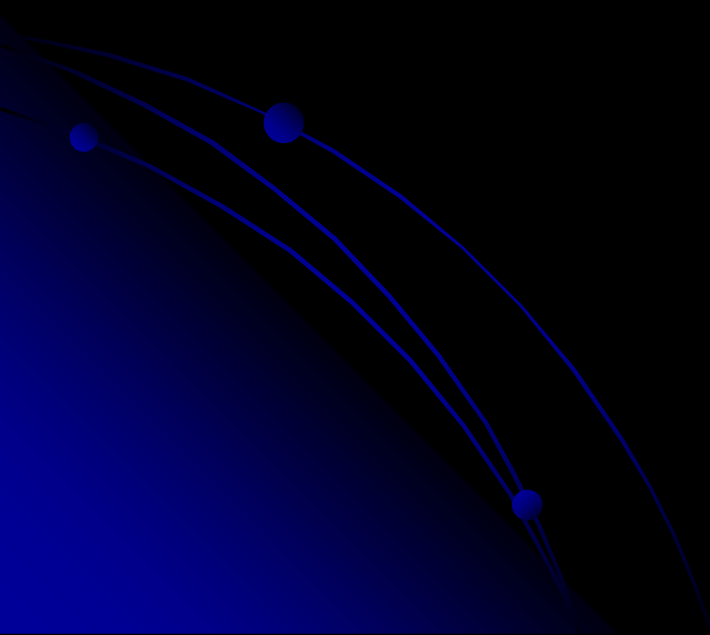
Water Soluble

۲. نوع B، قابل انحلال در آب

Water Suspendible

۳. نوع C، قابل معلق شدن در آب

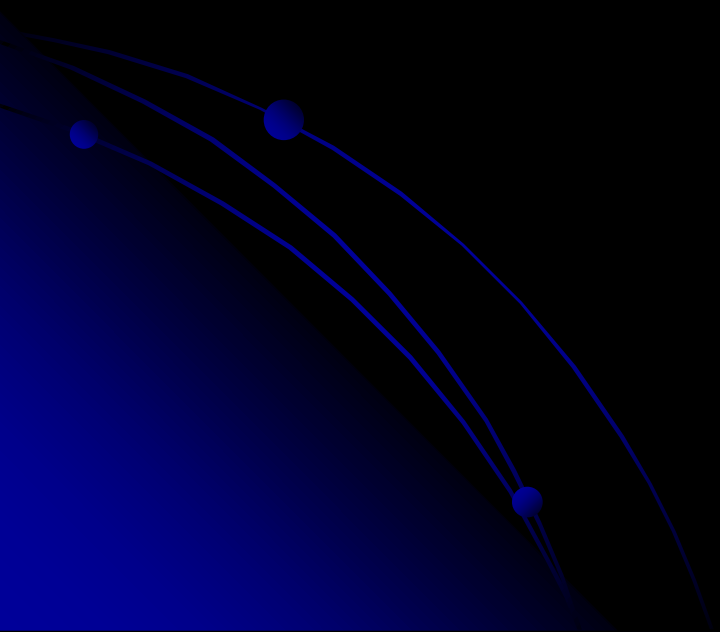
۴. نوع D، غیر آبی و قابل معلق شدن در حلال Nonaqveoos Solvent Suspendible



خواص مورد نیاز آشکارسازها

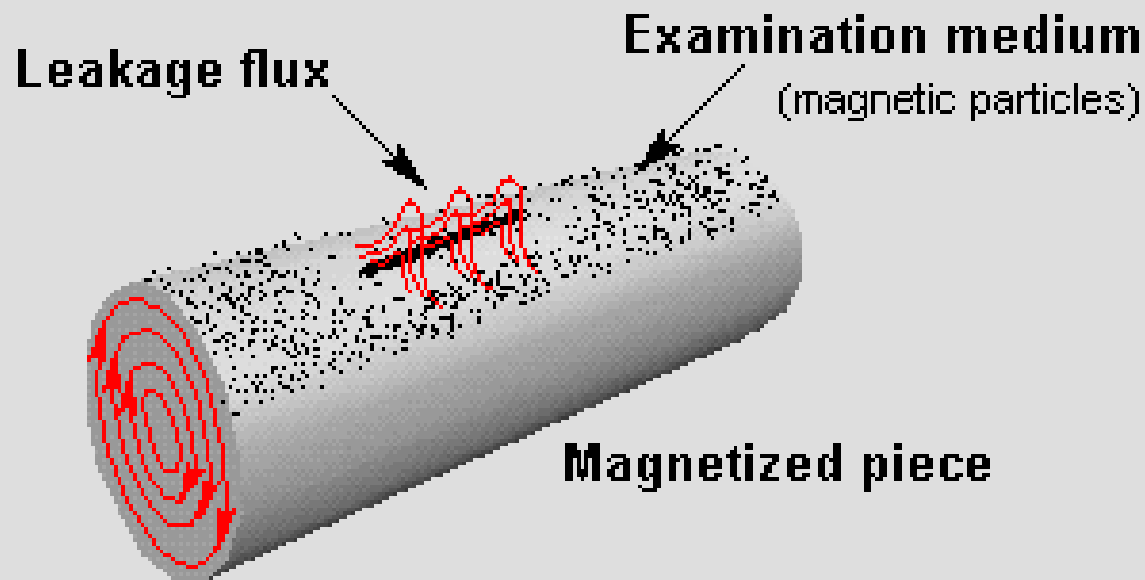
۱. آشکارساز باید دارای خاصیت جذب سطحی باشد تا کارکرد لکه سازی آن به حداکثر میزان ممکن برسد.
۲. باید از اندازه دانه کوچک و شکل ذرات ظریف برخوردار باشد تا به خوبی پراکنده شده و در معرض نافذ موجود در نقائص قرار گرفته و بدین طریق منجر به شکل گیری نشانه هایی قوی و واضح از نقائص گردد.
۳. در صورت استفاده از نافذ رنگی، ماده آشکارساز باید قادر به تأمین کنتراست با زمینه برای نشانه ها باشد.
۴. اعمال آن باید آسان باشد.
۵. باید پوششی نازک و یکنواخت روی سطح ایجاد نماید.
۶. باید به سادگی توسط نافذ موجود در نقائص تر گردد (باید امکان پخش شدن مایع در سطح ذرات فراهم باشد)
۷. در صورت استفاده از نافذهای فلوئورسنت، آشکارساز نیز باید فلوئورسنت باشد.
۸. پس از بازرسی باید به آسانی قابل زدایش باشد.
۹. نباید محتوی اجزایی باشد که ضرری را متوجه قطعات مورد بازرسی یا تجهیزات مورد استفاده در عملیات بازرسی می نمایند.
۱۰. نباید حاوی اجزای سمی یا مضر برای اپراتور باشد.

بازرسی با ذرات مغناطیسی



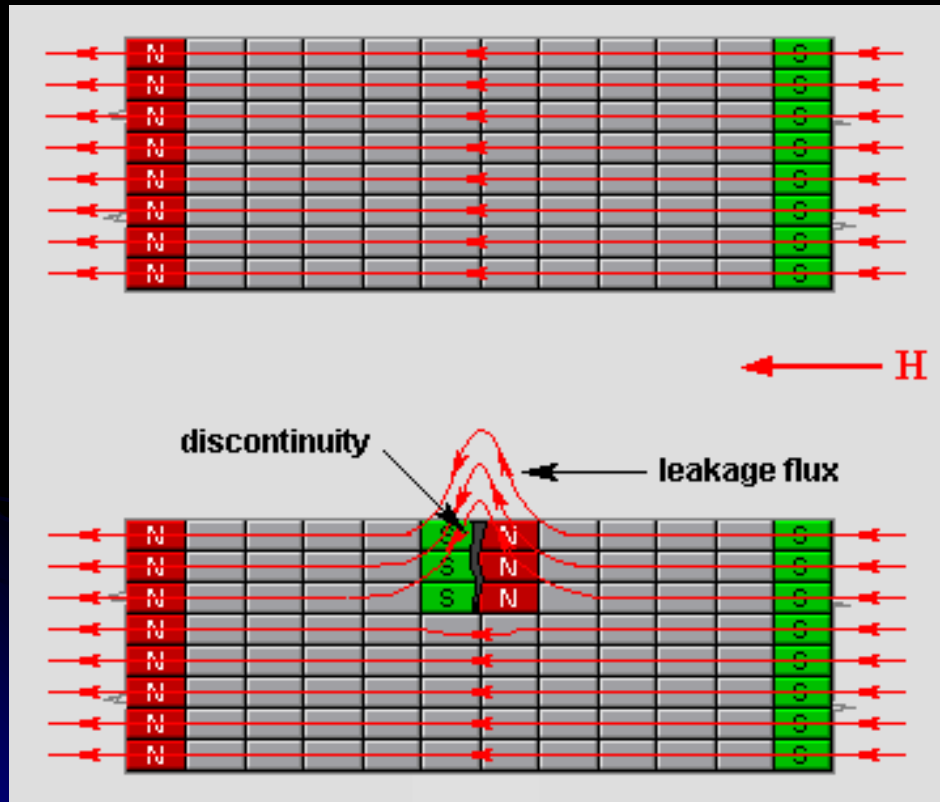
معرفی روش

بازرس ذرات مغناطیسی (MT) یک روش غیرمخرب برای تشخیص ناپیوستگی های
سطحی یا نزدیک به سطح در مواد مغناطیسی می باشد



معرفی روش

خطوط مغناطیسی نیرو در مواد فرومغناطیسی، توسط ناپیوستگی‌های موجود در ماده تغییر شکل می‌دهند. اگر یک ناپیوستگی در یک ماده مغناطیسی روی سطح یا نزدیکی آن وجود داشته باشد، خطوط شار مغناطیسی روی سطح تغییر شکل می‌یابند، که به آن نشتی شار مغناطیسی گفته می‌شود.

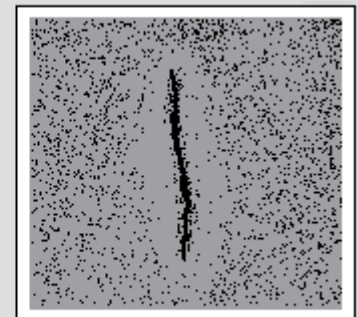


What a discontinuity looks like ...



BEFORE

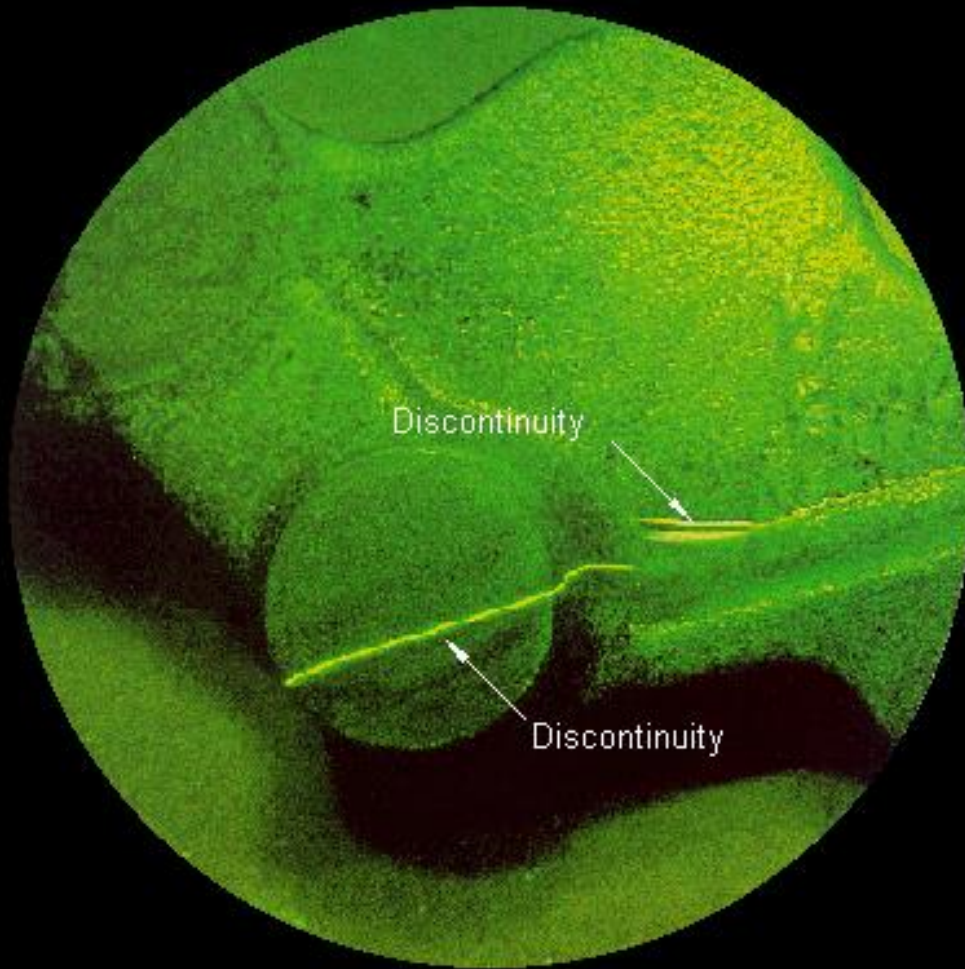
the application of the method



AFTER

the method has been applied

تجمع ذرات تحت شرایط نوری مناسب قابل
مشاهده خواهد بود



معرفی روش

سه شرط اصلی برای انجام این روش وجود دارد که عبارتند از:

۱. قطعه باید مغناطیسی شود.

- یک ماده فرومغناطیس را می توان با ایجاد یک جریان الکتریکی در ماده یا قرار دادن ماده در یک میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک منبع خارجی، مغناطیسی کرد.

۲. ذرات مغناطیسی باید وقتی اعمال شوند که قطعه مغناطیسی است.

۳. هر گونه تجمع مواد مغناطیسی باید مشاهده و تفسیر شود.

- اگر جهتگیری یک ناپیوستگی موازی خطوط نیرو باشد، غیر قابل تشخیص خواهد بود.

مزایای بازرسی به روش ذرات مغناطیسی

۱. روش ذرات مغناطیسی وسیله ای حساس برای یافتن ترک های کوچک و کم عمق سطحی در مواد فرومغناطیسی است. روش ارزانی است.
۲. نشانه های ذرات مغناطیسی، مستقیماً روی سطح قطعه ایجاد می شوند و محل عیب به راحتی تشخیص داده می شود.
۳. نیاز به مداربندی الکتریکی یا ابزار بازخوانی الکترونیکی که کالیبره شده باشد، وجود ندارد.
۴. تخمین عمق ترک به صورت تقریبی امکان پذیر است.
۵. اندازه یا شکل قطعات قابل بازرسی به این روش از محدودیت بسیار کمی برخوردار بوده و یا محدودیتی ندارد.
۶. نیازی به تمیزکاری مبسوط اولیه وجود ندارد و ترک هایی که توسط مواد خارجی پر شده اند، قابل تشخیص می باشند

محدودیت های بازرسی به روش ذرات مغناطیسی

۱. این روش صرفاً برای مواد فرومغناطیسی قابل استفاده است.
۲. اتصال بین فلزاتی با خواص مغناطیسی غیرمشابه باعث ناپیوستگی های مغناطیس ای می شود که بصورت عیب مشاهده می شوند، در حالی که اتصال جوش سالم است
۳. پوششهای نازک رنگ و سایر پوشش های غیرمغناطیسی، مانند روکش های آبکاری، اثر مخربی بر حساسیت بازرسی با ذرات مغناطیسی دارند
۴. حساسیت با کاهش اندازه ناپیوستگی و همچنین با افزایش عمق عیب نسبت به سطح کاهش می یابد.
۵. یک ناپیوستگی باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا میدان مغناطیسی را قطع کرده یا در آن تغییر ایجاد کند و نشتی خارجی ایجاد شود.
۶. شرایط سطحی نیز بر حساسیت فرایند بازرسی مؤثرند.

اصول فیزیکی

● میدان مغناطیسی

درون و پیرامون یک قطعه مغناطیس و پیرامون رسانایی که جریان برق از آن می گذرد، یک میدان مغناطیسی وجود دارد. میدان مغناطیسی پیرامون یک میله مغناطیس، دارای دو قطب می باشد، ولی میدان مغناطیسی پیرامون یک رسانا، قطبی (قطبیده) نیست.

● جهتگیری میدان مغناطیسی

جهتگیری میدان مغناطیسی اثر زیادی بر اعتبار و عملکرد تست دارد. اگر تست روی یک قطعه جوش با استفاده از یک جهتگیری میدان مغناطیسی انجام پذیرد، ممکن است بعضی از ناپیوستگی ها که هم جهت با جهت شار هستند، قابل تشخیص نباشند. بهترین نتایج وقتی بدست می آیند که میدان مغناطیسی عمود بر طول ناپیوستگی های موجود باشد

اصول فیزیکی

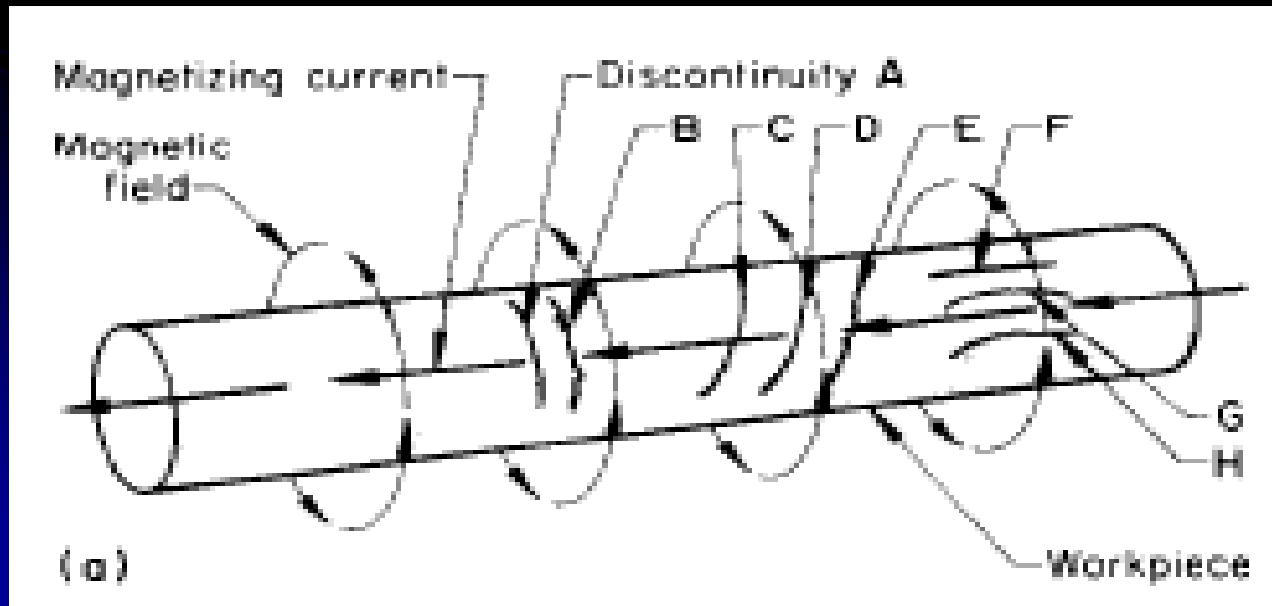
● اثر جهت شار

جهت شکل گیری یک نشانه، زاویه برخورد میدان مغناطیسی با ناپیوستگی باید تا آن حد بزرگ باشد که سبب شود خطوط میدان مغناطیسی از قطعه خارج شده و پس از پل زدن از روی ناپیوستگی به قطعه بازگردند. جهت حصول بهترین نتایج، زاویه برخورد نزدیک به 90° درجه مطلوب می باشد.

بنابراین: جهت، اندازه و شکل ناپیوستگی حائز اهمیت هستند. علاوه بر این موارد، جهت میدان مغناطیسی و نیز شدت میدان در منطقه ناپیوستگی مهم می باشند

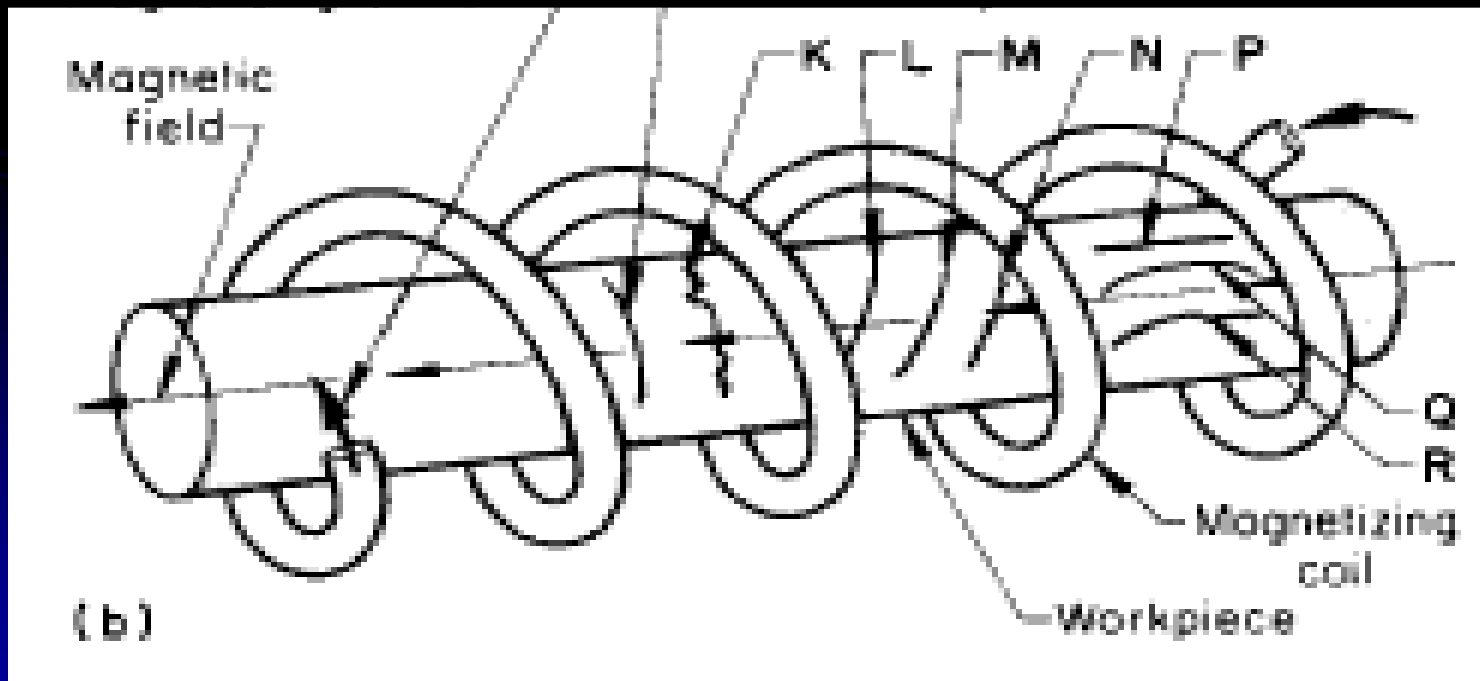
اصول فیزیکی

- ناپیوستگی A: شکل منظم و موازی میدان $\leftarrow$ هیچ نشانه ای ایجاد نمی کند.
- ناپیوستگی B: شکل نامنظم و همچنان موازی میدان $\leftarrow$ نشانه ضعیفی ایجاد می کند.
- ناپیوستگی C، D و E: زاویه ۴۵ درجه نسبت به میدان $\leftarrow$ نشانه خوبی ایجاد می کند.
- ناپیوستگی F، G و H: زاویه ۹۰ درجه نسبت به میدان $\leftarrow$ بهترین نشانه ایجاد می شود.



اصول فیزیکی

- ناپیوستگی L، M و N: زاویه ۴۵ درجه نسبت به میدان ← نشانه قابل تشخیص ایجاد می کند.
- ناپیوستگی J و K: نشانه خوبی ایجاد می کند.
- ناپیوستگی P، Q و R: نشانه ضعیفی ایجاد می کند.



جریان مغناطیس کردن

● **جریان متناوب :** فقط **سطح فلز** توسط جریان متناوب مغناطیسی می شود. (skin effect) این روش برای تعیین محل ناپیوستگی هایی که روی سطح گسترش یافته اند مانند ترکها مناسب است، اما **ناپیوستگی های عمیق تر یا ذوب ناقص تشخیص داده نمی شوند**. این روش را برای بازرسی جوش هایی که در آن ارزیابی زیر سطح مورد نیاز نیست بکار می برند.

● **جریان مستقیم :** میدان مغناطیسی تولید شده توسط این جریان **در قطعه نفوذ می کند** و در نتیجه بیشتر از جریان متناوب قادر به تشخیص ناپیوستگی های زیر سطح خواهد بود.

جریان مغناطیس کردن

- جریان باید **قدرت کافی جهت تشخیص** تمام نواقصی که ممکن است بر عملکرد جوش در حین کار تأثیر بگذارند را داشته باشد.
- جریان زیادی مغناطیسی کردن باعث ایجاد **الگوهای نامربوط** می شود.

۱- مغناطیسی کردن طولی: ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ آمپر- دور (بسته به نسبت قطر کوئل به قطر قطعه)

۲- مغناطیسی کردن دایره ای: ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ آمپر در هر اینچ از قطر نمونه

۳- مغناطیسی کردن پراد: ۹۰ تا ۱۲۵ آمپر در هر اینچ فاصله پراد، بسته به ضخامت فلز

۴- مغناطیسی کردن یوک: جریان مغناطیسی کردن باید برای بلند کردن lb40 با مغناطش DC و lb10 با AC کافی باشد.

تجهيزات

عوامل موثر بر انتخاب نوع تجهيزات جهت انجام يك نوع خاص تست:

- ۱- نوع جريان مغناطیسی کردن
- ۲- اندازه قطعه یا جوش
- ۳- هدف مشخصه تست یا نوع عیوب مورد انتظار
- ۴- محیط مورد نظر برای انجام تست
- ۵- تجهيزات متحرک یا ثابت
- ۶- مساحت قسمت مورد آزمایش و موقعیت آن روی قطعه
- ۷- تعداد قطعات مورد آزمایش

روش های ایجاد میدان مغناطیسی

یکی از الزامات اساسی بازرسی با ذرات مغناطیسی این است که قطعه تحت بازرسی به درستی مغناطیسی گردد، به گونه ای که میدان های ناشی ایجاد شده توسط ناپیوستگی ها قادر به جذب ذرات مغناطیسی باشند. در این راستا، آهنرباهای دائمی از مزایایی برخوردار می باشند، اما مغناطیسی کردن به طور کلی توسط آهنرباهای الکتریکی صورت می پذیرد که در آن ها میدان مغناطیسی در ارتباط با جریان یافتن جریان الکتریکی ایجاد می گردد. اساساً مغناطیسی شدن، ناشی از میدان مغناطیسی مدوری است که بر اثر جاری شدن جریان الکتریکی درون یک هادی ایجاد می گردد. جهت این میدان، وابسته به جهت جریان خواهد بود که با استفاده از قانون دست راست قابل تعیین می باشد.

روش های ایجاد میدان مغناطیسی

• آهنربای دائمی
• الکترومغناطیس

یوک

• تک حلقه ای
• چند حلقه ای

سیم پیچ ها

هادی های مرکزی

روش تماس مستقیم

پرادهای تماسی

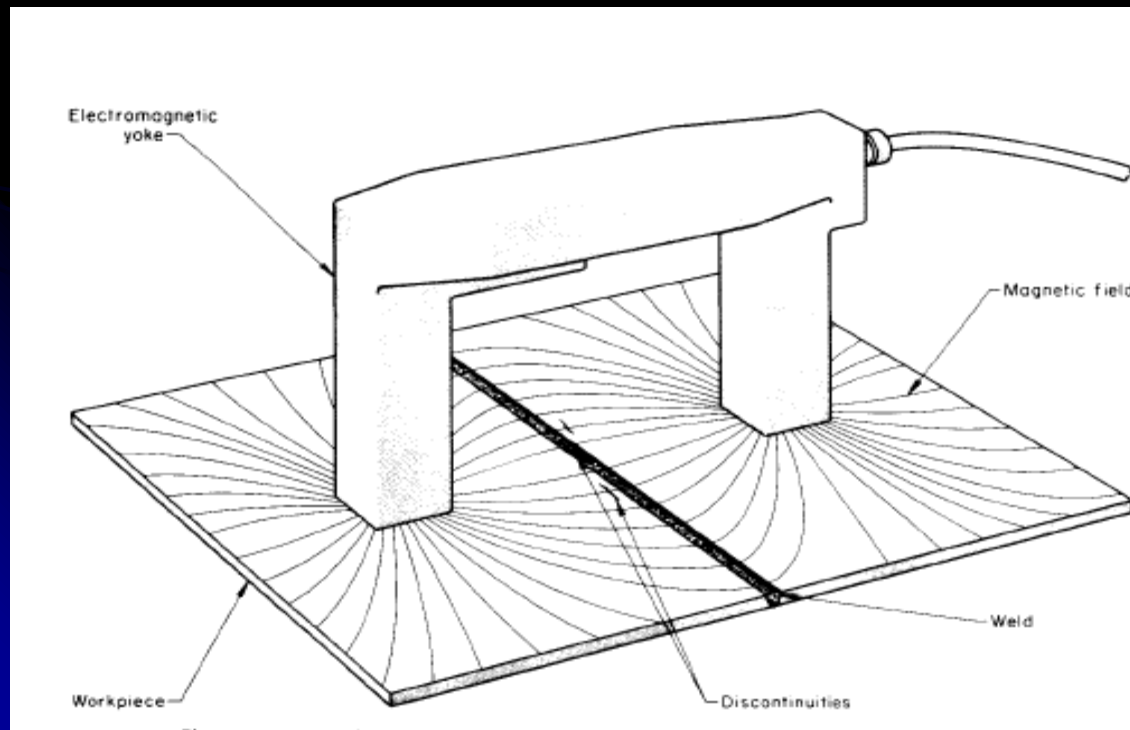
روش های ایجاد میدان
مغناطیسی

یوک های آهنربای دائمی

- برای کاربردهایی مورد استفاده قرار می گیرند که در آنها منبع توان الکتریکی در دسترس نبوده و یا قوس زنی مجاز نمی باشد (به عنوان مثال در اتمسفر انفجاری).
- محدودیت های یوک های آهنربای دائمی شامل موارد ذیل می باشد:
 - نواحی یا اجسام بزرگ را نمی توان با استحکام کافی لازم جهت حصول نشانه های رضایت بخش از ترک ها، مغناطیسی نمود.
 - دانسیته شار نمی تواند عمداً تغییر داده شود.
 - در صورتی که آهنربا بسیار قوی باشد، ممکن است جدا کردن آن از قطعات مشکل باشد.
 - ذرات ممکن است به آهنربا بچسبند و احیاناً موجب نامشخص شدن نشانه ها گردند.

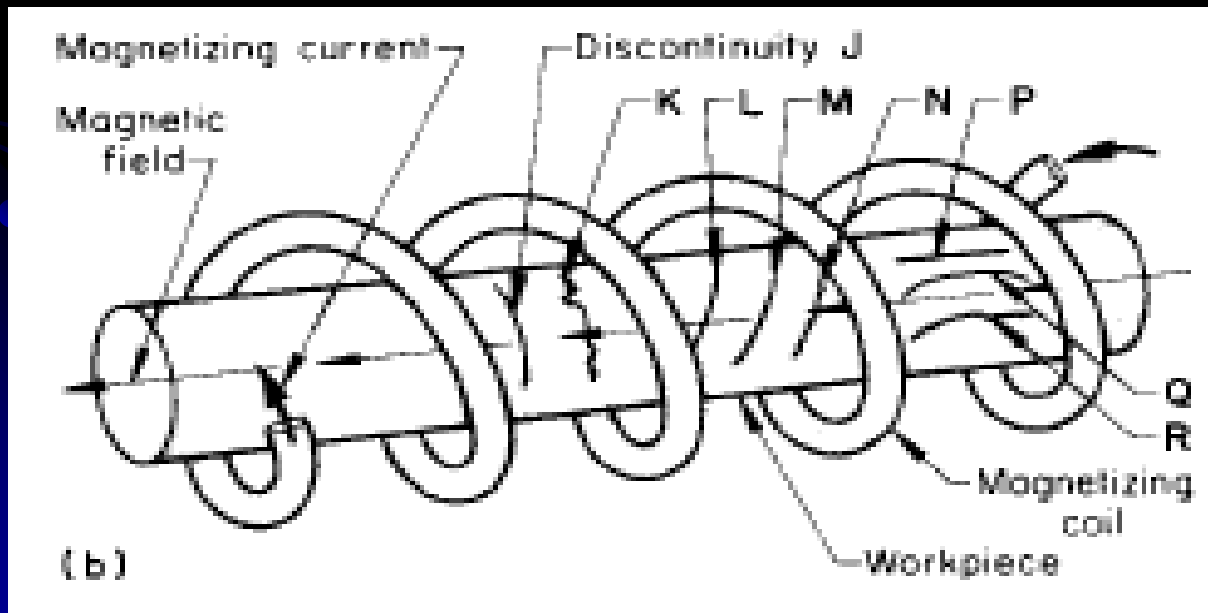
یوک های الکترومغناطیسی

- پایه های قابل تنظیم امکان تغییر فاصله تماس و زاویه تماس نسبی را به منظور جای گرفتن در قطعات دارای شکل نامنظم فراهم می آورند.
- برخلاف یوک های آهنربای دائمی، یوک های الکترومغناطیسی به سهولت می توانند خاموش یا روشن بشوند. این ویژگی سبب تسهیل اتصال و برداشتن یوک از قطعه مورد آزمایش می شود



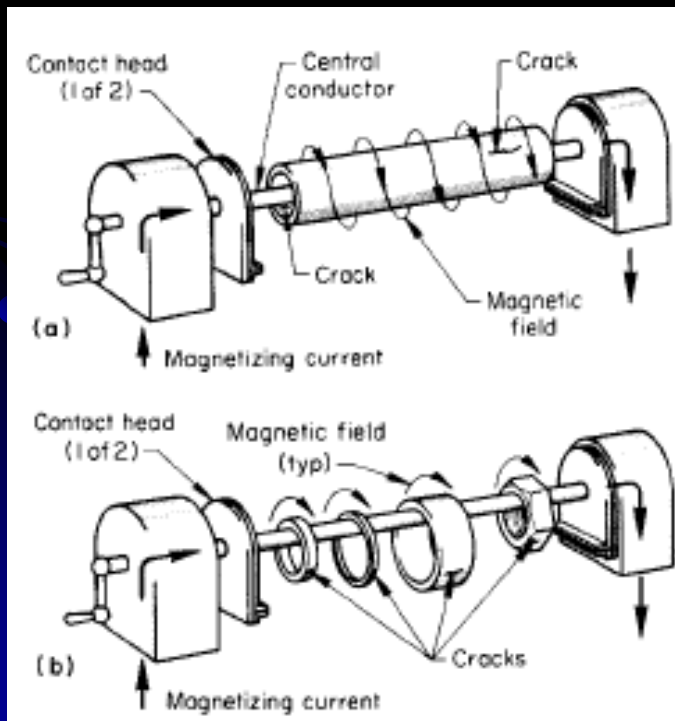
سیم پیچ ها

- سیم پیچ های تک حلقه ای و چند حلقه ای برای مغناطیسی کردن طولی قطعات مورد استفاده قرار می گیرند.
- در خصوص قطعات بزرگ، سیم پیچ را می توان با پیچیدن چندین دور از یک سیم قابل انعطاف به حول قطعه، تولید نمود، اما باید دقت لازم صورت گیرد که هیچ نشانه ای، در زیر کابل، پنهان نشود.



هادی های مرکزی

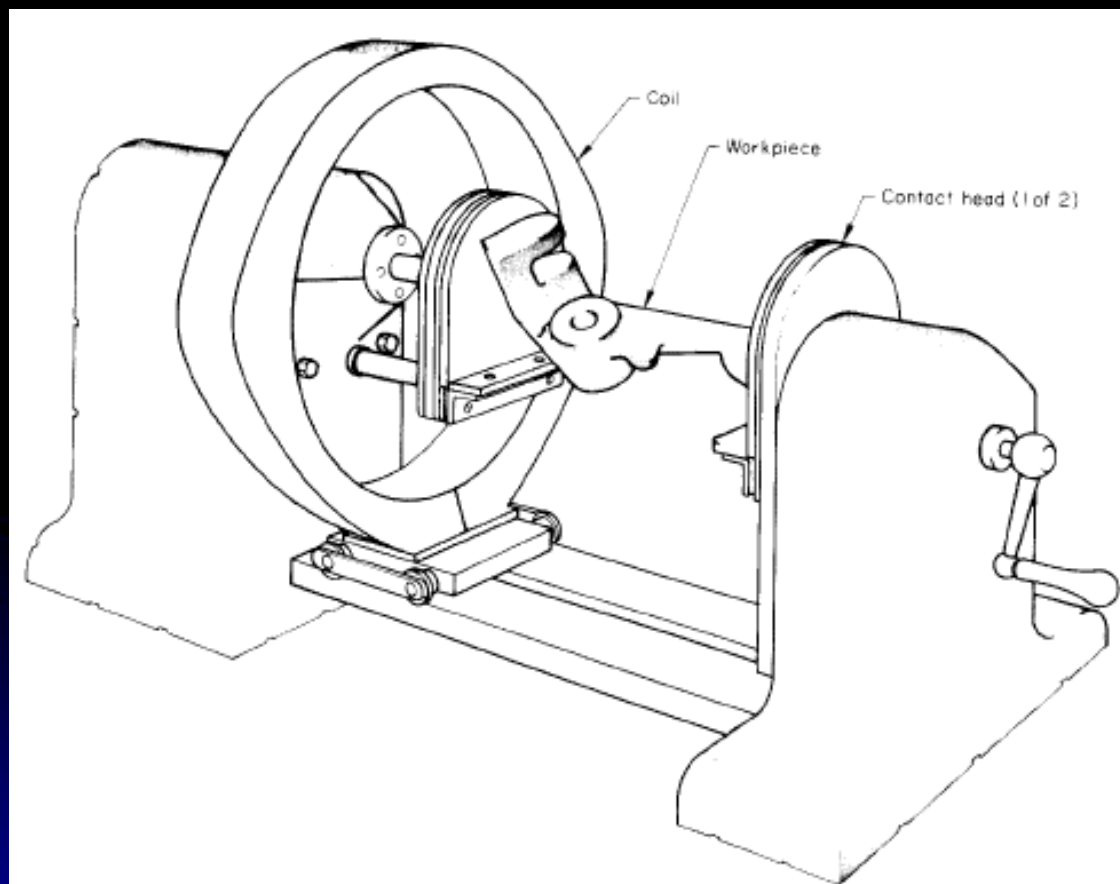
- در خصوص بسیاری از قطعات حلقه ای شکل، بهتر آن است که به جای خود قطعه، از هادی مجزایی جهت حمل جریان مغناطیسی کننده استفاده گردد.
- قوانین پایه حاکم بر میدان های مغناطیسی حول هادی مدوری که حامل جریان مستقیم باشد، به شرح زیر بیان می شوند:



- میدان مغناطیسی در خارج یک هادی دارای سطح مقطع یکنواخت، در طول هادی یکنواخت خواهد بود.
- میدان مغناطیسی با مسیر جریان داخل هادی، زاویه ۹۰ درجه می سازد.
- دانسیته شار در خارج هادی با عکس فاصله شعاعی از مرکز هادی تغییر می نماید

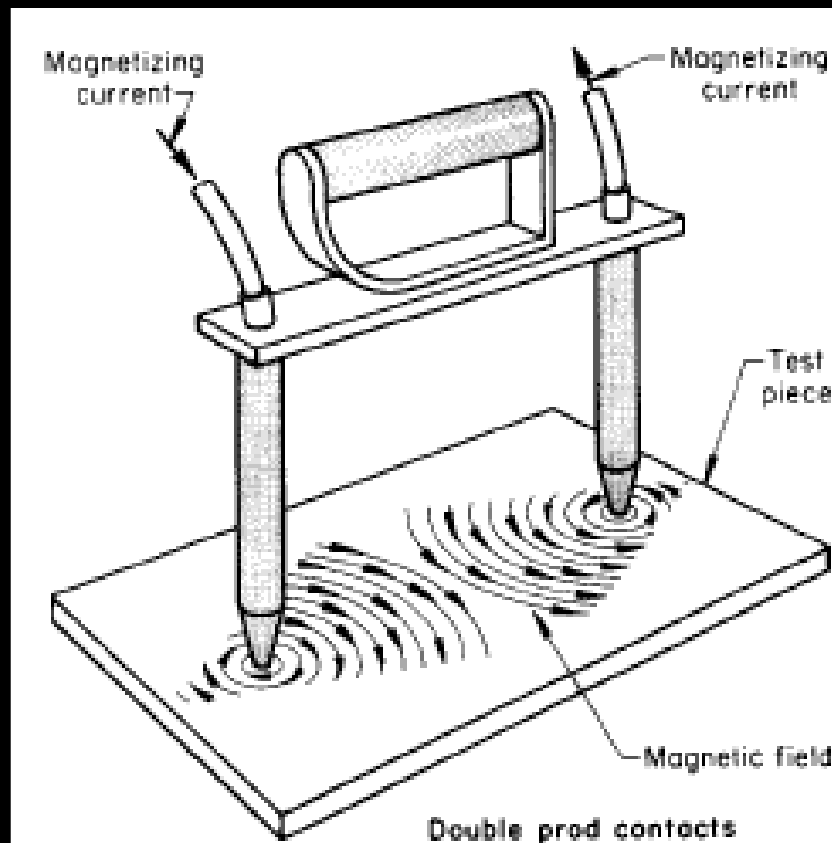
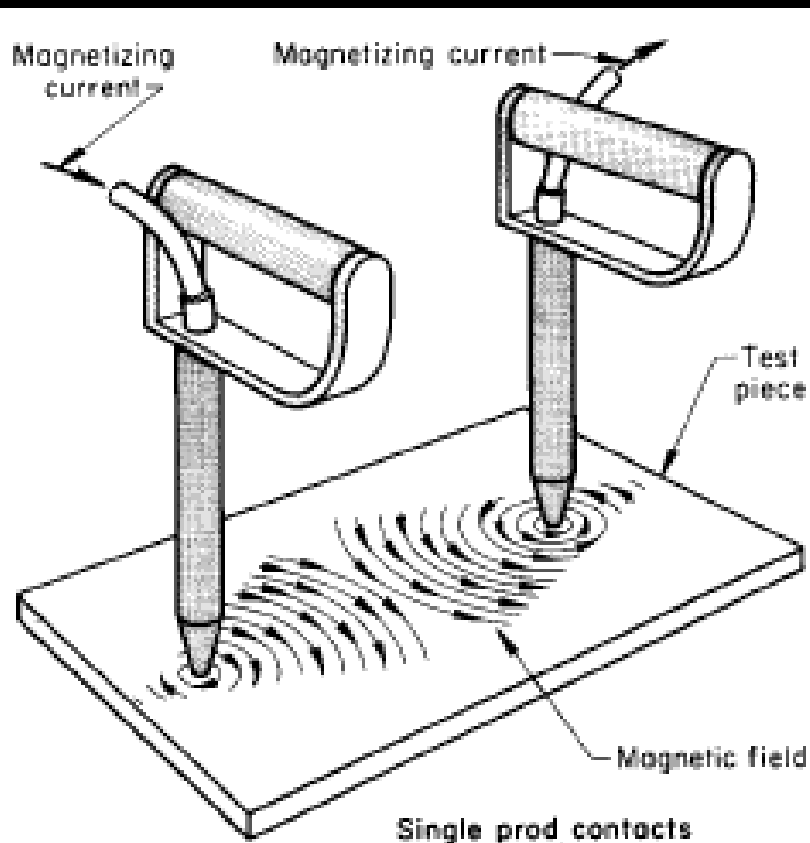
روش تماس مستقیم

در خصوص قطعات کوچک بدون هیچ گونه فضای باز در داخل قطعه، میدان های مغناطیسی مدور، از طریق تماس مستقیم با قطعه ایجاد می گردند.



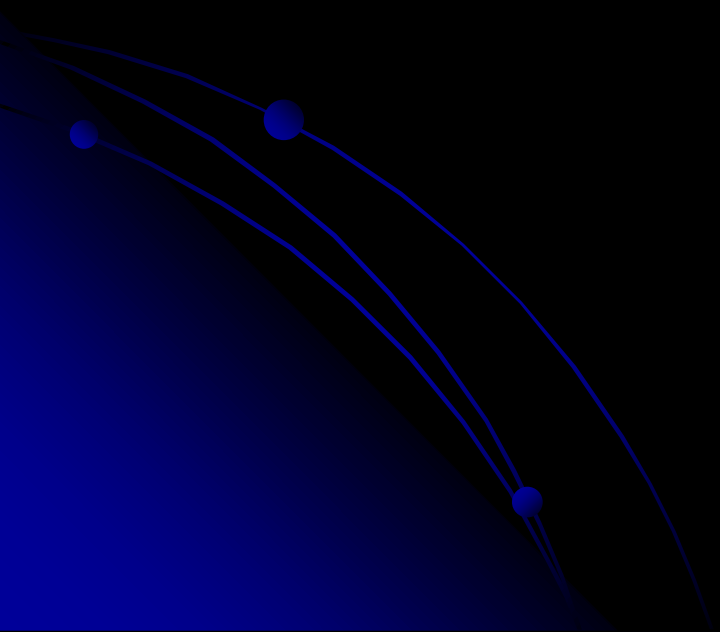
پرادهای تماسی

- برای بازرسی قطعات بزرگ و سنگین که برای قرار گرفتن در واحدهای دارای سرهای تماسی بست، بیش از حد بزرگ محسوب شوند، مغناطیسی شدن غالباً با استفاده از پرادهای تماسی انجام می گیرد .



روشهای مغناطیسی کردن

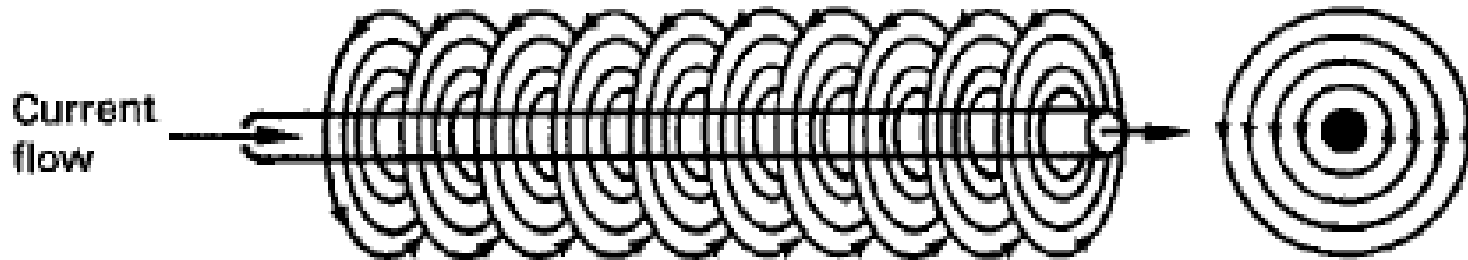
- دایره ای (Circular Magnetization)
- طولی (Longitudinal or Bipolar Magnetization)
- موضعی (Localized Magnetization)



روش‌های مغناطیسی کردن

- دایره ای

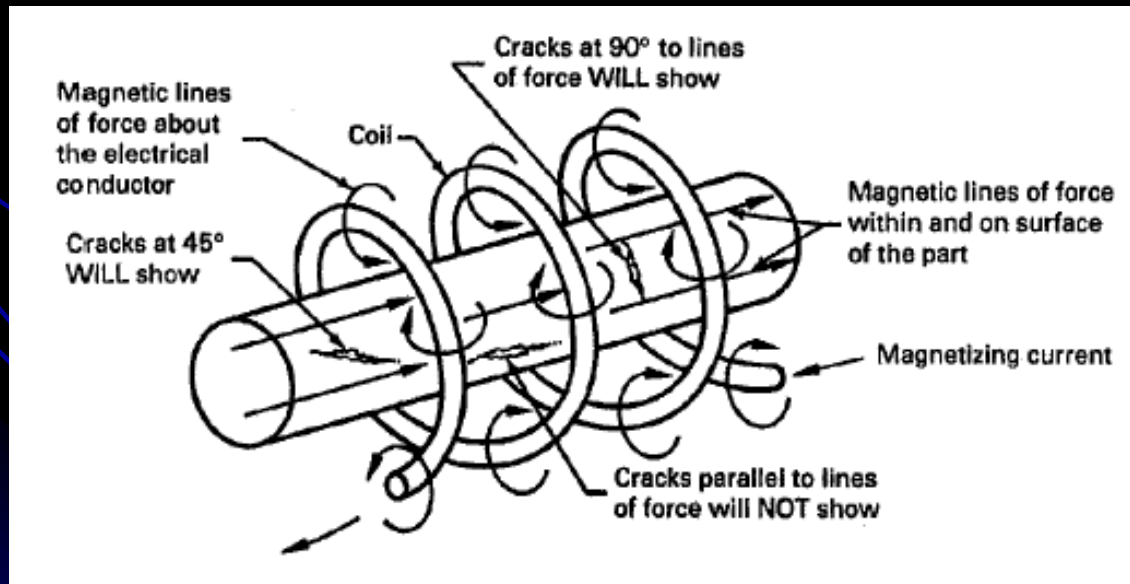
یک میدان مغناطیسی را می توان با عبور جریان الکتریکی از یک هادی ایجاد کرد به این روش، مغناطیسی کردن دایره ای گفته می شود.



روشهای مغناطیسی کردن

• طولی

گاهی جهتگیری ناپیوستگی ها موازی شار مغناطیس دایره ای در قطعه فولادی است. تشخیص چنین ناپیوستگی هایی از طریق روش کم و بیش متفاوتی انجام می گیرد. در این روش هادی بصورت کویل درآمده و قطعه مورد آزمایش بصورتی در کویل قرار می گیرد که بصورت هسته سلنوئید عمل کند، به این ترتیب میدان مغناطیسی در خط محور کویل و دو یا چند قطب معمولاً در انتهای قطعه ایجاد می شوند.



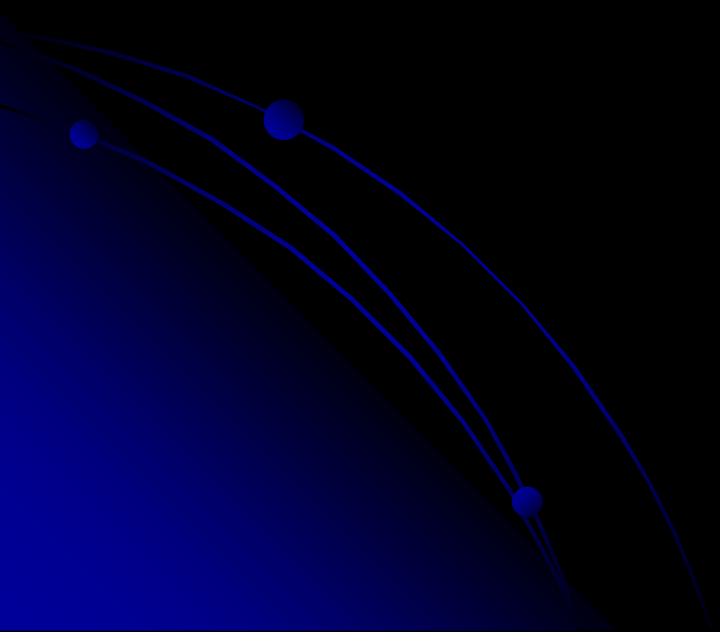
روشهای مغناطیسی کردن

● موضعی

در قطعات بزرگ، دو نوع اصلی تجهیزات جهت ایجاد میدان مغناطیسی موضعی در آنها، وجود دارد. که هر دو را می توان به عنوان روش قابل حمل بکار برد بصورتی که تجهیزات را می توان به کنار قطعه مورد بازرسی در محل حمل نمود.

روشهای مغناطیسی کردن

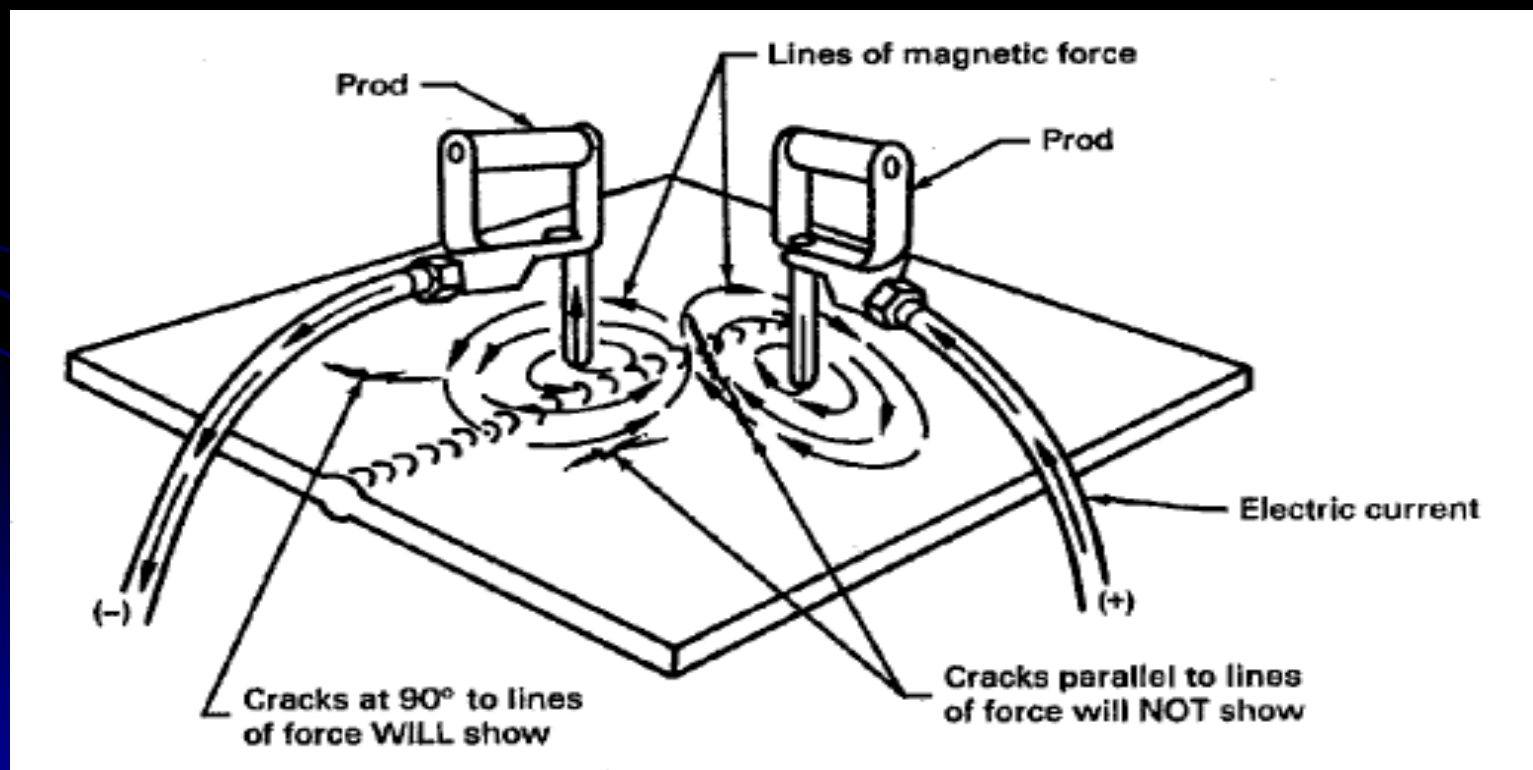
- مغناطیس سازی با پراد (Prod Magnetization)
- روش یوک (Yoke)



روشهای مغناطیسی کردن

● مغناطیس سازی با پراد (Prod Magnetization)

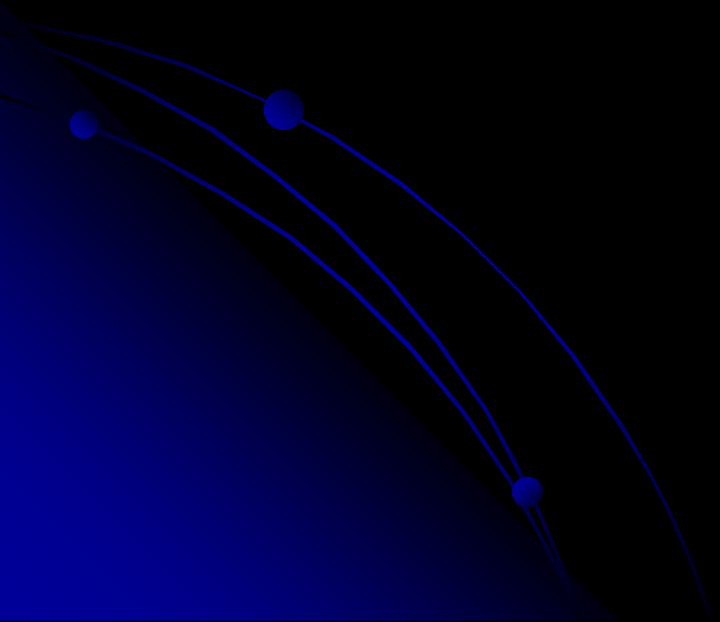
با استفاده از این روش، می توان یک محل موضعی را با عبور جریان از قطعه به روش اتصالات یا پرادهای دستی مغناطیسی کرد.



روشهای مغناطیسی کردن

- روش یوک (Yoke)

تجهیزات آن نسبتاً کوچک و سبک هستند. همچنین جنبه مطلوب دیگر این روش این است که جریان الکتریکی مثل روش پراد به قطعه منتقل نمی شود، در نتیجه امکان ایجاد قوس یا سوختن قطعه وجود ندارد.

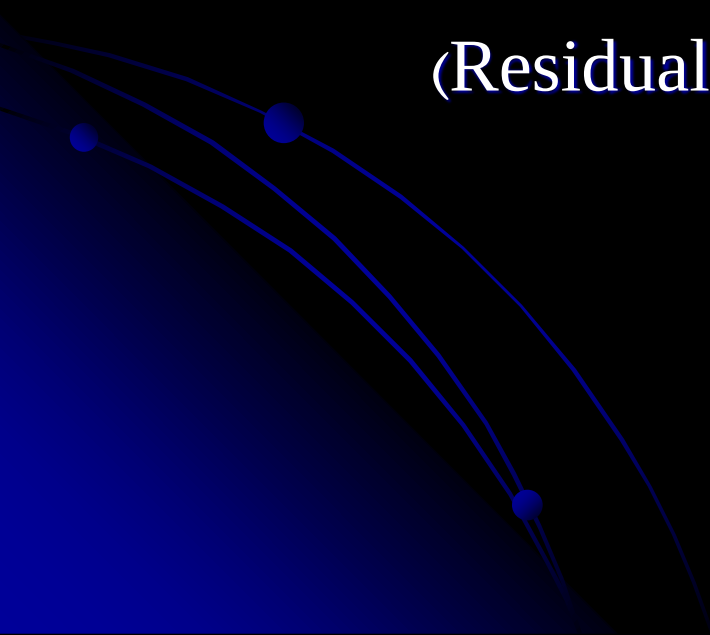


ترتیب عملیات

ترتیب انجام عملیات در بازرسی ذرات مغناطیسی به زمان، اعمال ذرات و جریان مغناطیسی کردن مربوط می شود.

- مغناطیسی کردن پیوسته (Continuous Magnetization)

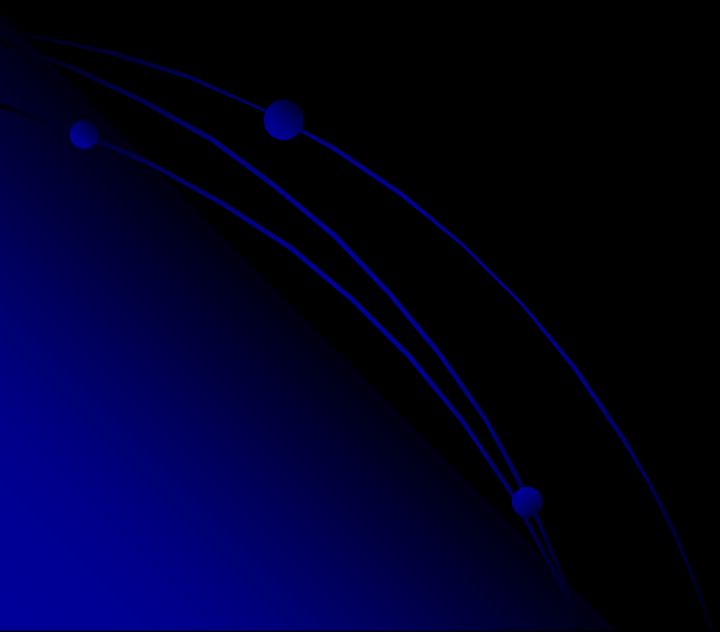
- مغناطیسی کردن پسماند (Residual Magnetization)



ترتیب عملیات

- مغناطیسی کردن پیوسته (Continuous Magnetization)

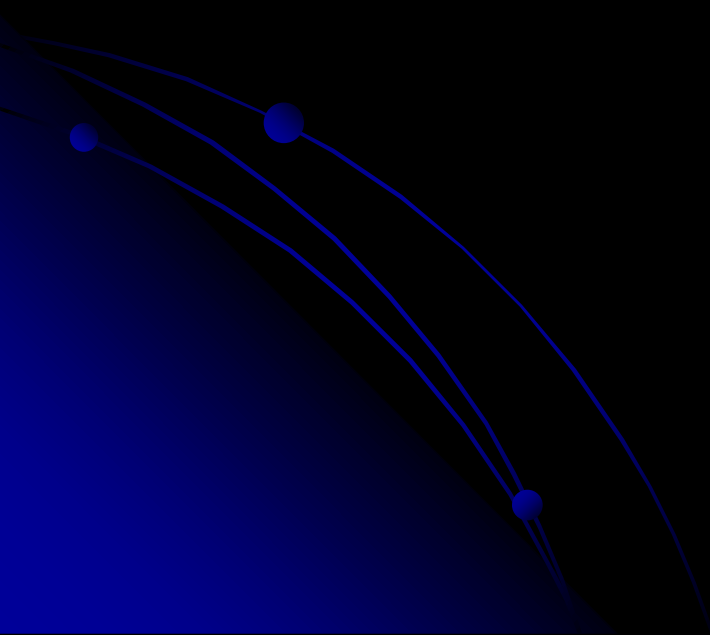
این روش عملیات با ذرات تر یا خشک در بیشتر کاربردها بکار گرفته می شود. ترتیب عملیات در روشهای مغناطیس کردن پیوسته تر و خشک با هم متفاوت است.



ترتیب عملیات

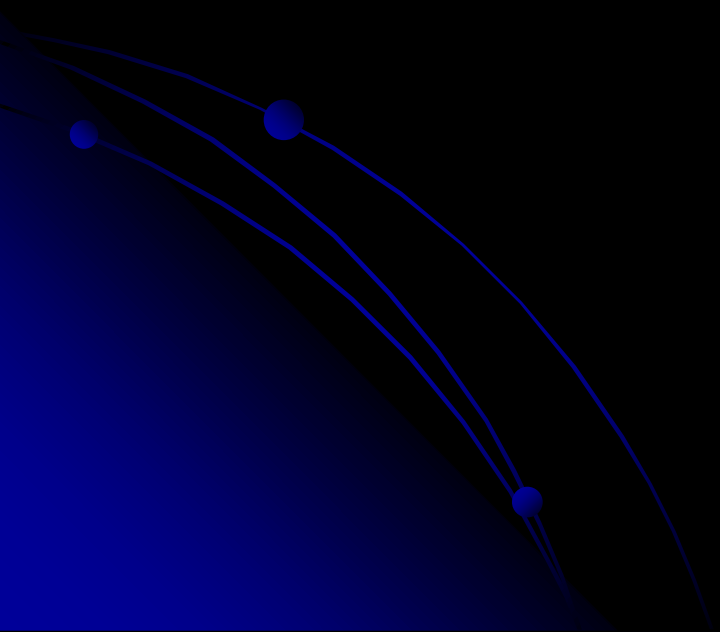
- مغناطیسی کردن پسماند (Residual Magnetization)

در این روش، محیط بازرسی بعد از قطع جریان مغناطیس کننده اعمال می شود. این روش تنها زمانی قابل بکارگیری است که قطعه جوش مورد آزمایش دارای پایداری مغناطیسی نسبتاً بالا باشد تا میدان مغناطیسی باقیمانده، قدرت کافی برای تولید و حفظ آثار را داشته باشد.



ذرات مغناطیسی و مایعات معلق کننده

ذرات مغناطیسی بر مبنای واسطه ای که برای انتقال ذرات به قطعه مورد استفاده قرار می گیرد، تقسیم بندی می شوند. این واسطه می تواند هوا (روش ذرات خشک) یا یک مایع باشد.



نورهای ماوراء بنفش

یک لامپ قوس جیوه، منبع مناسبی برای نور ماوراء بنفش است این نوع لامپ، نوری ساطع می کند که طیف آن دارای چندین پیک شدت در طول محدوده وسیعی از طول موج ها است. هنگام استفاده برای اهداف مشخص، نور ساطع شده از فیلتر مناسبی عبور داده می شود به طوری که تنها نور باریکی از طول موج های ماوراء بنفش در دسترس قرار بگیرند. به عنوان مثال نواری از طیف ماوراء بنفش با طول موج بالا برای بازرسی فلوئورسنت نفوذکننده مایع یا ذرات مغناطیسی مورد استفاده قرار می گیرد.

نایبوستگی های قابل تشخیص

ترکهای سطحی: آثار ایجاد شده توسط یک ترک سطحی کاملاً مشخص بوده و توسط تجمع شدید پودرها قابل تشخیص است. مقدار تجمع پودر معیاری نسبی برای عمق ترک است.

ترکهای زیرسطحی: ترکهایی که به سطح نرسیده اند آثاری متفاوت با آثار ترکهای سطحی برجای می گذارند. تجمع پودر گسترده تر و با وضوح کمتری قابل تشخیص است.

ناخالصی های سرباره و تخلخل: آثار بسیار نامشخص است که مقدار آنها بسیار زیاد باشد. تجمع پودر به خوبی قابل تشخیص نیست اما می توان آنرا از آثار سطحی تمیز داد.

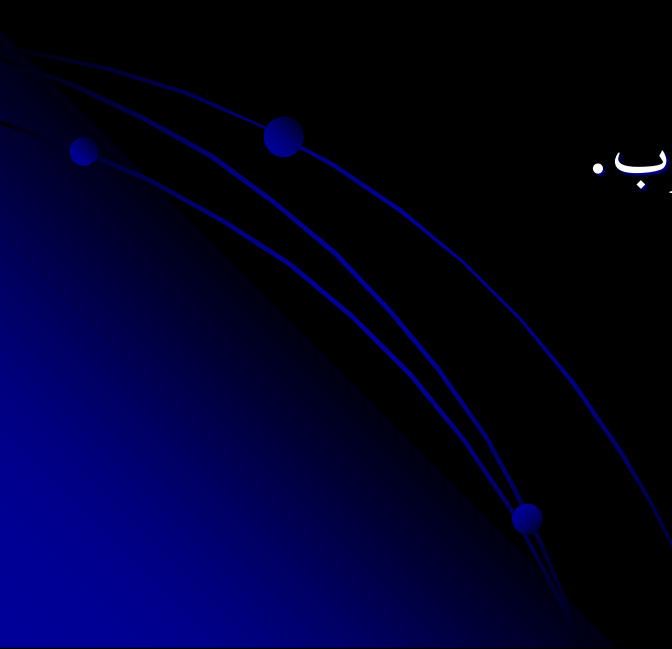
نفوذ ناقص در اتصال: وقتی شرایط بازرسی اجازه دهد، نفوذ ناقص در اتصال را نیز می توان توسط تست ذرات مغناطیسی تشخیص داد. آثار پودر، عریض و آشفته، مثل ترک زیر سطح است، اما الگوی آن یک خط مستقیم است.

تورق: وقتی لبه های ورق بازرسی می شوند، بخصوص در موارد آماده سازی جوش قبل از جوشکاری، می توان تورقهای مربوط به خورد ورق را تشخیص داد. این آثار قابل توجه و منسجم هستند و ممکن است پیوسته یا گسسته باشند.

نشانه های غیر مرتبط

- در زمان اجرای بازرسی با ذرات مغناطیسی، برخی شرایط انجام تست موجب ایجاد آثار نامربوط یا غلط می شود. نشانه های غیر مرتبط به الگوهای واقعی اطلاق می شود که بر اثر میدان های نشتی که ناشی از حضور نقائص نباشند، ایجاد می گردد .
- منابع نشانه ها
- پرداخت سطحی
- تفاوت در خواص مغناطیسی
- میدان مغناطیس پسماند
- چسبندگی ذرات به واسطه نیروی مغناطیسی بیش از حد
- منابع دیگر

تشخیص نشانه های مرتبط از غیر مرتبط

- بازرسی چشمی دقیق سطح در ناحیه ناپیوستگی و استفاده از بزرگنمایی.
 - مطالعه طرح یا نقشه قطعه مورد آزمایش.
 - مغناطیس زدایی و آزمایش مجدد.
 - آنالیز دقیق الگوی ذرات.
 - استفاده از یک روش دیگر بازرسی غیرمخرب.
- 

مغناطیس زدایی

- فولادهای فرومغناطیسی درجات مختلفی از مغناطیس باقیمانده از خود نشان می دهند. در برخی شرایط وجود یک میدان مغناطیسی باقیمانده در قطعه در حین کار موجب صدمه زدن به آن می شود. بنابراین در این موارد مغناطیس زدایی ضروری است.

دلایل مغناطیس زدایی

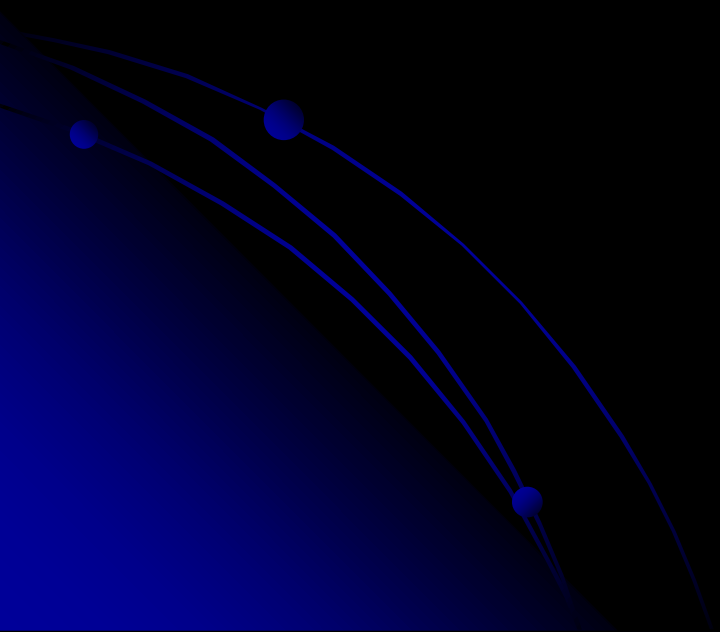
- قطعه در محلی به کار گرفته خواهد شد که میدان مغناطیسی پسماند با عملکرد تجهیزاتی که به میدان های مغناطیسی حساس هستند، تداخل پیدا کرده یا سبب کاهش دقت ابزارآلات مورد استفاده در مجموعه ای که قطعه مغناطیسی کننده در آن قرار می گیرد، خواهد گردید.
- در حین ماشین کاری بعدی ممکن است تراشه ها به سطح چسبیده و در عملیات بعدی از قبیل رنگ آمیزی یا آب کاری اخلاص ایجاد کنند.
- ممکن است ذرات ساینده جذب قطعات مغناطیسی از قبیل سطوح بلبرینگ، جداره یاتاقان یا دندانه چرخ دنده شده و منجر به سایش، خراش یا مسدود شدن حفره ها و شکاف های روغن شوند.
- در حین برخی انواع عملیات جوشکاری قوس الکتریکی، میدان های مغناطیسی قوی ممکن است منجر به انحراف قوس از نقطه مورد هدف شوند.
- وجود میدان مغناطیسی پسماند در قطعه ممکن است سبب اخلاص در مغناطیسی کردن مجدد قطعه در شدت میدان هایی گردد که برای غلبه بر میدان باقی مانده در قطعه قدرت کافی ندارند.

دلایل عدم مغناطیس زدایی

مغناطیس زدایی ممکن است ضروری نباشد اگر:

- قطعات از فولاد نرم از لحاظ مغناطیسی و دارای نگهداری مغناطیسی پایین ساخته شده باشند، چنین قطعاتی معمولاً بلافاصله پس از خروج از منبع مغناطیسی کننده به طور خود به خود مغناطیس زدایی می شوند.
- قطعات قرار است بعداً در دمایی بالای نقطه کوری خود حرارت داده شوند و در نتیجه خواص مغناطیسی خود را از دست بدهند.
- میدان مغناطیسی به گونه ای است که کارکرد قطعه را در سرویس تحت تاثیر قرار نمی دهد.
- قطعه باید مجدداً برای بازرسی بیشتر به روش ذرات مغناطیسی یا برای عملیات ثانویه دیگری که طی آن ممکن است از یک صفحه یا گیره مغناطیسی برای نگه داشتن قطعه استفاده شود، تحت عملیات مغناطیسی شدن قرار گیرد.

بازرسی به روش اولتراسونیک



معرفی روش

تست اولتراسونیک (UT) یک روش غیرمخرب است که در آن امواج صوتی با فرکانس بالا به یک قطعه اعمال می شوند تا ناپیوستگی های داخلی و سطحی را مشخص کنند. تشخیص، تعیین محل و ارزیابی ناپیوستگی ها ممکن است زیرا:

۱- سرعت صوت در یک ماده معمولاً ثابت است و اندازه گیری فاصله را مقدور می سازد.

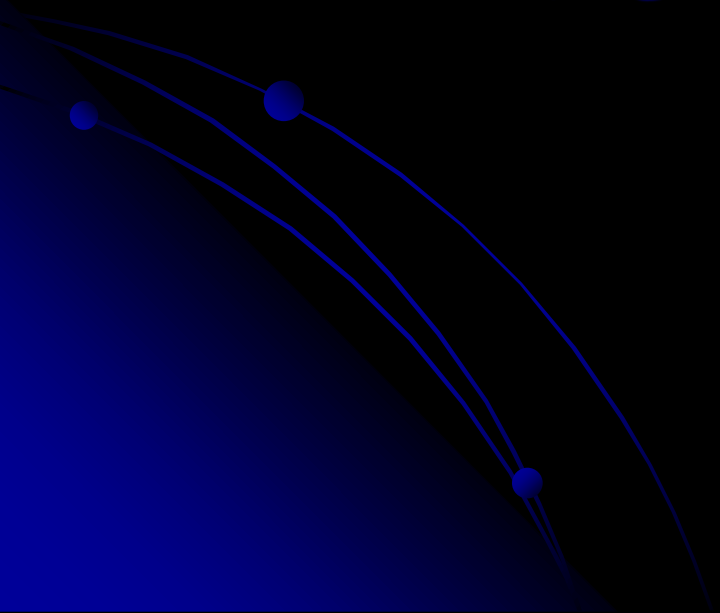
۲- دامنه صوت برگشتی تقریباً با اندازه بازتاب دهنده نسبت دارد.

درجه انعکاس، به میزان زیادی به حالت فیزیکی مواد تشکیل دهنده فصل مشترک و تا حدود کمتری به خواص فیزیکی ویژه ماده بستگی دارد.

ترکها، حفره انقباضی، ترکیدگی ها، پوسته ها، حفرات و سایر ناپیوستگی هایی که می توانند فصل مشترک های انعکاسی ایجاد کنند، به راحتی قابل تشخیص هستند. آخالها و سایر ناهمگنی ها نیز از طریق ایجاد انعکاس یا پراکندگی امواج آلتراسونیک یا با ایجاد برخی دیگر از اثرات قابل شناسایی بر امواج آلتراسونیک، قابل تشخیص هستند.

معرفی روش

اکثر بازرسی های آلتراسونیک در فرکانسهای مابین $1/0$ و 25 MHz انجام می گیرند که این محدوده بسیار بالاتر از محدوده شنوایی انسان - حدود 20 Hz تا 20 KHz - می باشد. امواج آلتراسونیک از نوع ارتعاشات مکانیکی هستند؛ دامنه ارتعاشات در فلزاتی که تحت بازرسی آلتراسونیک قرار می گیرند، سبب ایجاد تنش هایی بسیار کمتر از حد الاستیک می شود، بنابراین از تأثیرات دائمی روی قطعه جلوگیری می شود.



مزایا

مزایای اصلی UT نسبت به دیگر روشهای NDT در جوشکاری عبارتند از:

- ۱- خواص نفوذی خوب برای تشخیص ناپیوستگی ها در مقاطع ضخیم
- ۲- حساسیت نسبتاً بالا به ناپیوستگی های کوچک
- ۳- توانایی تعیین محل ناپیوستگی های داخلی و تخمین اندازه و شکل آنها
- ۴- کافی بودن دسترسی به یک وجه (معمولاً)
- ۵- تجهیزات قابل حمل قابل استفاده در محل کار
- ۶- بی خطر برای پرسنل یا تجهیزات.

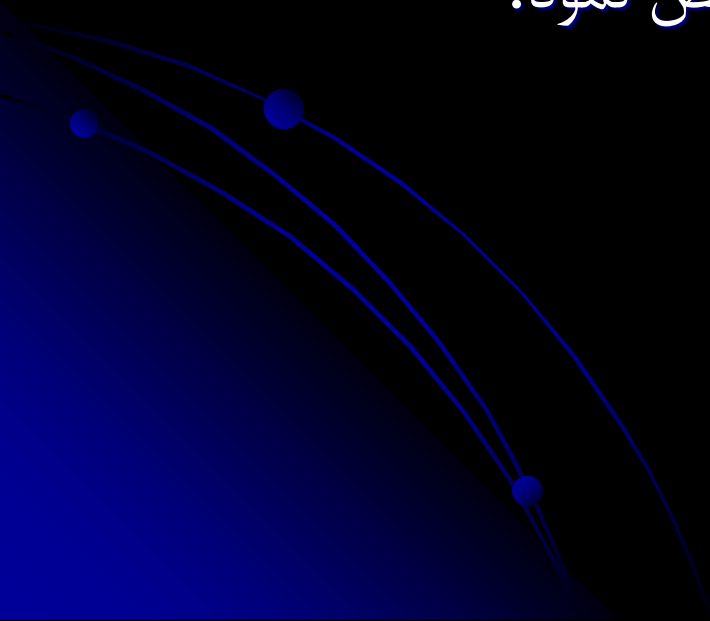
محدودیت ها

محدویت های اصلی UT عبارتند از:

- ۱- کار و انجام عملیات نیازمند تکنسین های آموزش دیده و با تجربه است.
- ۲- قطعات جوش زبر، با شکل بی نظم، بسیار کوچک یا نازک را نمی توان تشخیص داد، که شامل جوشهای گوشه نیز می شود.
- ۳- ناپیوستگی های سطحی ممکن است تشخیص داده نشوند.
- ۴- اعمال کوپلنت بین ترنسدیوسر و جوش برای انتقال انرژی موج صوتی ضروری است.
- ۵- استانداردهای مرجع برای کالیبره کردن تجهیزات و ارزیابی اندازه عیب لازم هستند.

کاربردها

آزمون اولتراسونیک را می توان برای تشخیص ترک، تورق، حفرات انقباضی، تخلخل، ناخالصیهای سرباره ای، ذوب ناقص، نفوذ ناکافی اتصال، و دیگر ناپیوستگی ها در قطعات جوش یا لحیم بکار برد. با استفاده از روشهای مناسب، محل و عمق تقریبی ناپیوستگی را می توان تعیین کرد و در برخی موارد، اندازه آنرا نیز بطور تقریبی میتوان مشخص نمود.

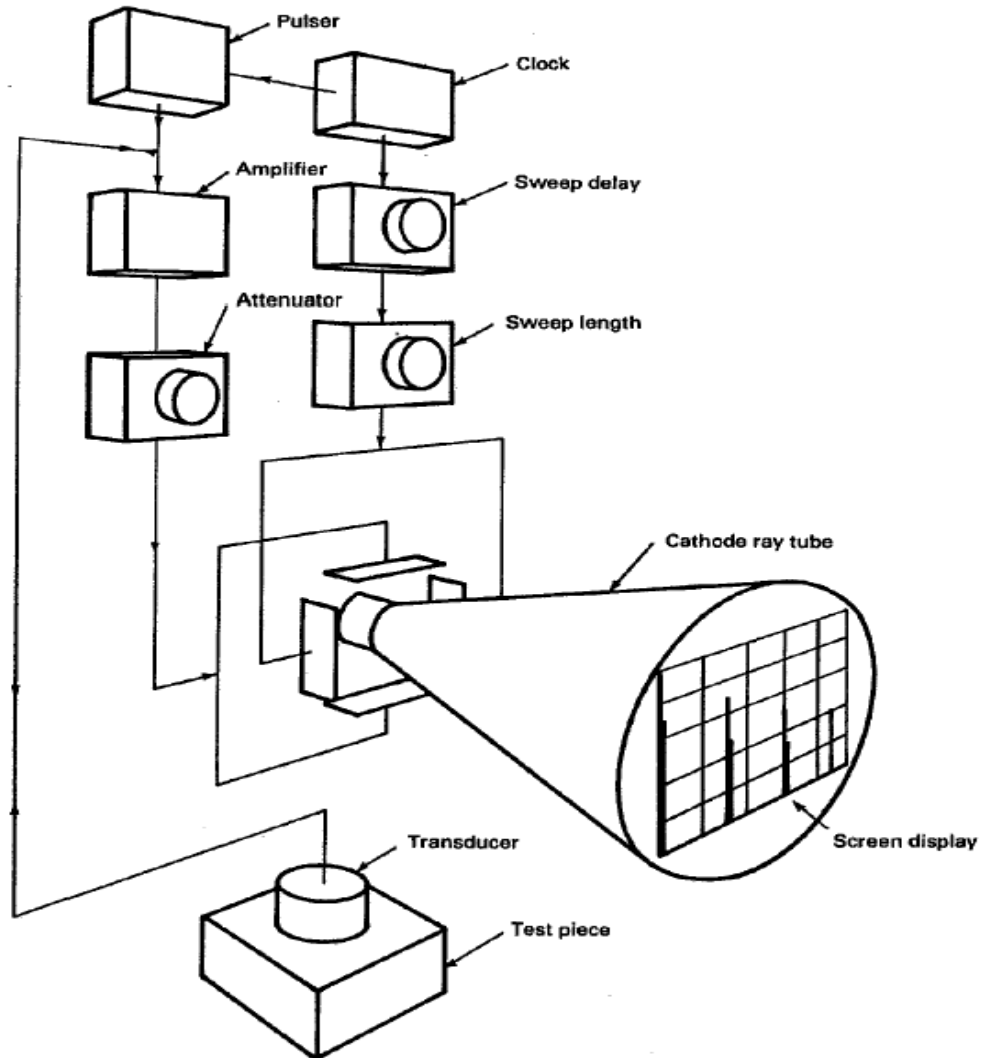


تجهيزات الکترونیک

تمامی واحدهای دارای منظور عمومی از اجزاء اصلی زیر متشکلند [۵]:

- ۱- یک تولید کننده سیگنال الکترونیکی (پالس دهنده) که ولتاژ متغیر تولید کند
- ۲- یک ترنسدیوسر فرستنده که یک موج اولتراسونیک در هنگام اعمال ولتاژ آزاد کند.
- ۳- یک کوپلنت برای عبور انرژی اولتراسونیک از ترنسدیوسر به قطعه و برعکس
- ۴- یک ترنسدیوسر دریافت کننده برای تبدیل امواج صوتی به ولتاژ متغیر.
- ۵- یک دستگاه الکترونیکی برای تقویت و یکسو کردن یا تغییر سیگنال از ترنسدیوسر دریافت کننده.
- ۶- یک نشانگر یا صفحه برای ثبت یا تشخیص خروجی بدست آمده از قطعه
- ۷- یک تایمر الکترونیک برای کنترل عملیات

اجزاء اصلی یک دستگاه پالس اکو



خواص عمومی امواج آلتراسونیک

امواج آلتراسونیک امواجی مکانیکی هستند (در مقایسه با مثلاً نور یا اشعه X که امواج الکترومغناطیسی هستند) که از نوسان یا ارتعاش ذرات اتمی یا مولکولی یک ماده، حول موقعیت های تعادلی این ذرات، متشکل می شوند. امواج آلتراسونیک اساساً شبیه به امواج صوتی شنیداری رفتار می کنند. این امواج می توانند در یک محیط الاستیک که ممکن است جامد، مایع یا گاز باشد، انتشار پیدا کنند ولی امکان اشاعه آنها در خلأ وجود ندارد.

خواص عمومی امواج آلتراسونیک

شباهت با امواج آب. مشخصه های عمومی امواج صوتی و مافوق صوت به سهولت با تشبیه آنها به رفتار امواجی که در یک ظرف آب، زمانی که سنگی در آن انداخته شود، ایجاد می شوند، قابل تشریح هستند.

در ادامه این تشبیه، فاصله بین دو پستی یا بلندی متوالی، **طول موج**، (λ) می باشد.

نزول از یک بلندی به یک پستی و صعود مجدد تا بلندی بعدی (که در طول این فاصله اجام میگیرد)، یک **سیکل [دوره]** را تشکیل می دهد.

تعداد سیکل ها در یک واحد زمانی مشخص، **فرکانس** (f) مربوط به موج است.

ارتفاع یک بلندی یا عمق یک پستی نسبت به سطح در حال تعادل، **دامنه امواج** است.

سرعت یک موج و نرخي که با آن دامنه و انرژی موج در طی اشاعه آن کاهش می یابد، مشخصه های محیطی که موج در آن انتشار می یابد می باشند.

دامنه و انرژی امواج صوتی در محیط الاستیک، بستگی به مقدار انرژی تأمین شده خواهد داشت. سرعت و میرایی (کاهش دامنه و انرژی) امواج صوتی، بستگی به خواص محیطی دارد که در آن انتشار پیدا میکنند.

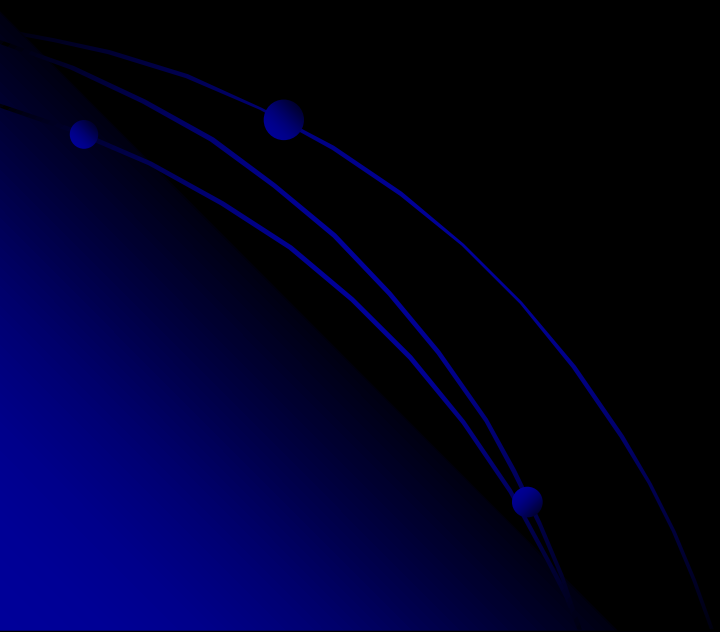
شکل موج

سه حالت اصلی انتشار امواج صوتی در فلزات وجود دارد:

۱- طولی

۲- عرضی

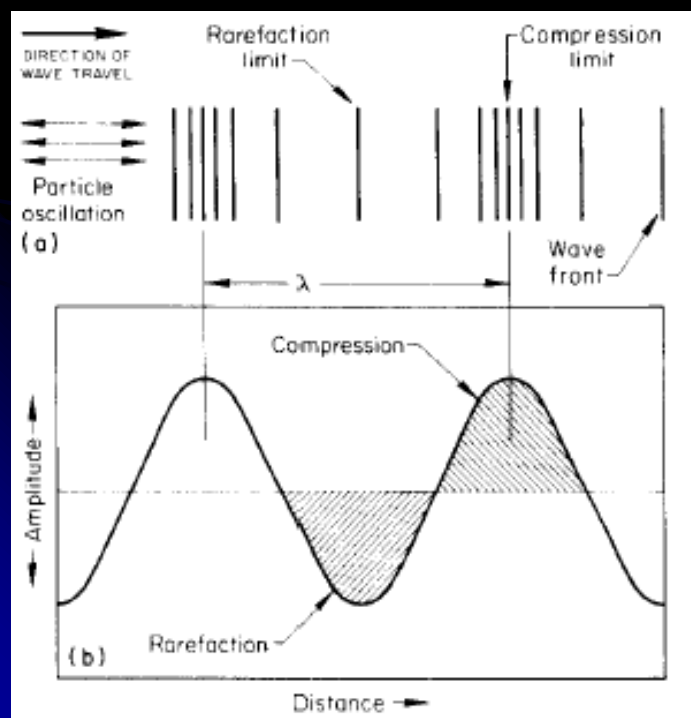
۳- سطحی .



شکل موج

• امواج طولی

که گاهی به آنها مستقیم یا Compressional نیز گفته می شود، نشان دهنده ساده ترین نوع موج هستند. این موج وقتی بوجود می آید که حرکت ذرات موازی جهت انتشار موج باشند.



شکل موج

• امواج عرضی

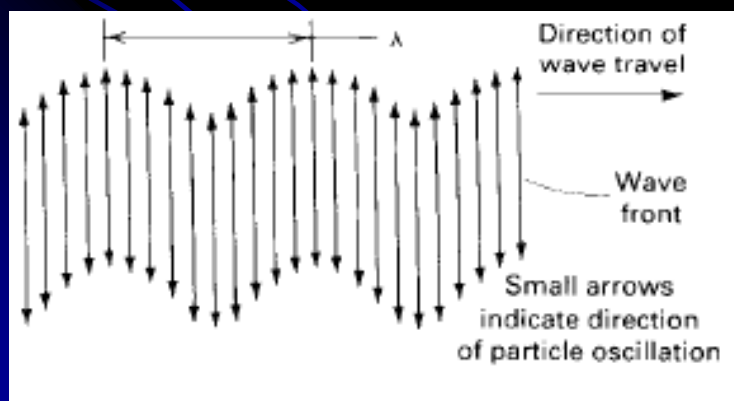
حالت دیگر، موج عرضی است که به آن موج برشی نیز گفته می شود و در آن ذرات دارای حرکتی عمود بر جهت انتشار صوت هستند. **سرعت این موجها حدوداً نصف امواج طولی است.**

مزیت این نوع امواج عبارت است از:

۱- سرعت کمتر زمان بندی الکترونیکی را تسهیل می کند.

۲- حساسیت بیشتر به علائم کوچکتر.

از سوی دیگر، این امواج راحت تر پخش می شوند و **نمی توانند** در محیط مایع (آب) منتشر شوند



انتشار موج

• دامنه، شیوه ارتعاش و سرعت امواج، در جامدات، مایعات و گازها متفاوت است، دلیل این امر، اختلاف زیاد فاصله متوسط مابین ذرات در این حالت های ماده می باشد.

مفاهیم طول موج، سیکل، فرکانس، دامنه، سرعت و میرایی به طور عمومی در خصوص امواج آلتراسونیک و سایر امواج صوتی صادق هستند. ارتباط سرعت با فرکانس و طول موج، توسط رابطه زیر بیان می گردد:

$$V = f\lambda$$

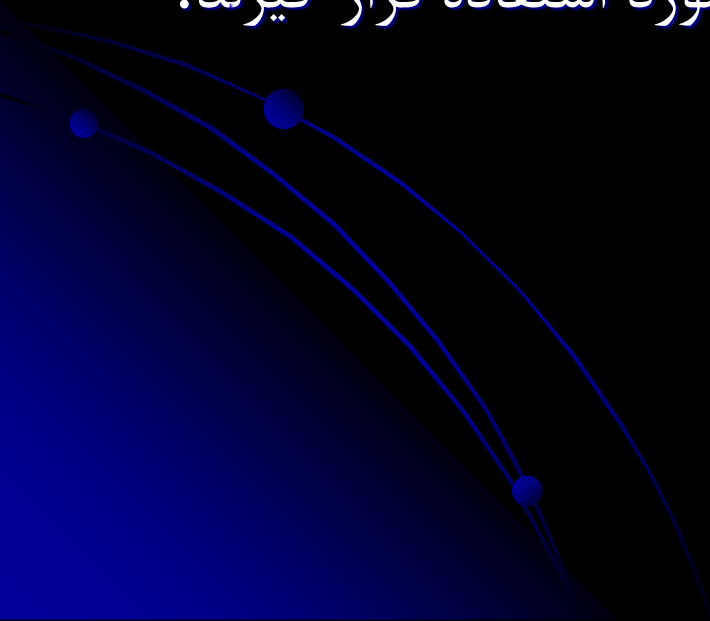
V سرعت (برحسب متر بر ثانیه)

f فرکانس (برحسب هرتز)

طول موج (برحسب متر به ازای هر سیکل)

متغیرهای اصلی در بازرسی آلتراسونیک

متغیرهای اصلی که باید در بازرسی آلتراسونیک مورد نظر قرار گیرند، هم در برگیرنده مشخصه های امواج آلتراسونیک مورد استفاده و هم شامل مشخصه های قطعات مورد بازرسی است نوع و قابلیت های دستگاه با این متغیرها تعامل پیدا می کند؛ اغلب اوقات انواع متفاوتی از تجهیزات باید برای به انجام رساندن اهداف متفاوت بازرسی مورد استفاده قرار گیرند.



متغیرهای اصلی در بازرسی آلتراسونیک

فرکانس

فرکانس امواج آلتراسونیک مورد استفاده، قابلیت های بازرسی را از جهات مختلف تحت تأثیر قرار می دهد.

فرکانسهای موج صوتی بکار رفته در بازرسی جوش بین ۱ تا ۶ MHz هستند که فراتر از قدرت شنوایی انسان است. بیشتر بازرسی های جوشکاری در ۲/۵ MHz انجام می شوند. فرکانسهای بالاتر یعنی ۵ MHz برای تولید امواج کوتاه و تیز صوتی بکار می رود که برای تعیین محل و ارزیابی ناپیوستگی ها در جوشهای دیواره نازک بکار می روند.

متغیرهای اصلی در بازرسیอัลتراسونیک

امپدانس آکوستیک

امواج صوتی بعثت اختلاف امپدانس صوتی در مرز مشترک دو محیط منعکس می شوند. میزان انرژی که از مرز مشترک منعکس می شود با داشتن امپدانس دو محیط قابل محاسبه می باشد. امپدانس صوتی برابر است با حاصل ضرب سرعت صوت در جسم و داکتیلیته آن یعنی:

$$Z = \beta \times V$$

Z = امپدانس صوتی

β = دانسیته

V = سرعت

متغیرهای اصلی در بازرسی آلتراسونیک

اگر موج صوتی در داخل جسمی با امپدانس صوتی Z_1 حرکت کند و به صورت قائم به سطح جسم دیگری با امپدانس Z_2 برخورد کند دو ضریب زیر را می توان تعریف نمود:

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad \text{ضریب انعکاس}$$

$$T = \frac{2Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \text{ضریب انتقال}$$

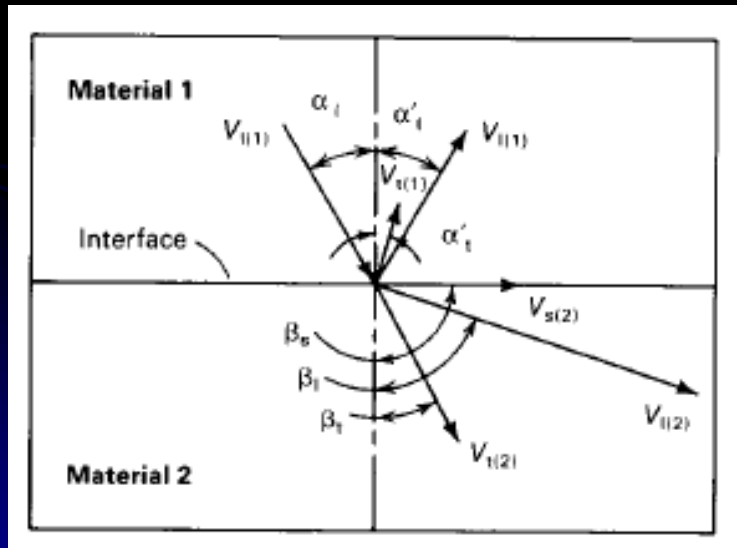
متغیرهای اصلی در بازرسی آلتراسونیک

ضریب انعکاس نسبت فشار صوت منعکس شده را بدست می دهد و ضریب انتقال نسبت فشار صوت منتقل شده را بدست می دهد. R می تواند مثبت و یا منفی باشد. در حالی که T می تواند بسته به آنکه Z_1 یا Z_2 بزرگتر باشد، بزرگتر و یا کوچکتر از یک باشد.

اگر امپدانس صوتی دو محیط برابر باشد ($Z_1=Z_2$) هیچگونه انعکاسی رخ نخواهد داد ($R=0$) و صوت از سطح مشترک دو جسم بدون مانعی عبور می کند ($T=1$). لازم به اشاره است که مقادیر T و R به فشار صوت بستگی داشته و به انرژی صوتی وابسته نمی باشند.

زاویه برخورد

تنها زمانی که موج آلتراسونیک با زاویه قائمه به فصل مشترک دو ماده برخورد کند (برخورد نرمال؛ یعنی زاویه برخورد = 0° درجه)، عبور و انعکاس در فصل مشترک بدون هیچگونه تغییری در جهت باریکه رخ خواهد داد. در هر زاویه برخورد دیگری، پدیده های تبدیل مد (تغییر در ماهیت حرکت موج) و شکست (تغییر در جهت انتشار موج) باید مدنظر قرار گیرند.



این پدیده ها ممکن است تمامی باریکه یا تنها بخشی از آن را تحت تأثیر قرار دهند و مجموع کل تغییراتی که در فصل مشترک رخ می دهد، بستگی به زاویه برخورد و سرعت امواج آلتراسونیک دارد که نقطه برخورد را روی فصل مشترک ترک می کنند.

زاویه برخورد

قانون کلی که رفتار موج را در فصل مشترک تشریح می کند، تحت عنوان قانون اسنل شناخته می شود. براساس قانون اسنل، نسبت سینوسی زاویه برخورد به سینوس زاویه انعکاس یا انکسار، برابر است با نسبت سرعت های امواج.

از نظر ریاضی، قانون اسنل میتوان به صورت زیر بیان نمود:

$$\sin \alpha / \sin \beta = V_1 / V_2$$

α زاویه برخورد

β زاویه انعکاس یا انکسار

v_1 و v_2 سرعت های امواج برخوردی و انعکاسی یا انکساری (هر دو نسبت به خط عمود بر فصل مشترک اندازه گیری می شوند).

زوایای بحرانی

در صورتی که زاویه برخورد کوچک باشد، امواج صوتی در حال انتشار در یک محیط مفروض ممکن است در محل مرز دچار تبدیل مد شده و در نتیجه در محیط دوم انتشار امواج طولی و عرضی (برشی) به طور همزمان اتفاق بیفتد. در صورتی که زاویه افزایش یابد، جهت موج انکساری طولی به صفحه مرزی خواهد رسید. در یک مقدار مشخصی α و β ، دقیقاً برابر ۹۰ درجه خواهد شد که بالاتر از این مقدار، موج انکساری طولی، دیگر در ماده انتشار نیافته و تنها موج انکساری برشی (تبدیل مد یافته)، در محیط دوم انتشار پیدا می کند. این مقدار، **اولین زاویه بحرانی** نامیده می شود.

اگر α بیش از اولین زاویه بحرانی افزایش پیدا کند، جهت موج انکساری برشی به صفحه مرز خواهد رسید. در دومین مقدار ویژه α و β ، دقیقاً برابر ۹۰ درجه می گردد که بالاتر از آن موج انکساری عرضی، دیگر در ماده انتشار پیدا نمی کند. این دومین مقدار **دومین زاویه بحرانی** نامیده می شود.

اثرات میدان نزدیک و میدان دور

سطح یک کریستال آلتراسونیک- ترنسدیوسر، تحت اثر ولتاژ الکتریکی اعمالی، به طور یکنواخت نوسان نمی‌کند. بلکه سطح کریستال به صورتی پیچیده نوسان خواهد داشت که به ساده ترین بیان می توان آن را به صورت موزاییکی از تعدادی کریستال کوچک و مجزا که همگی در یک جهت، ولی با قدری اختلاف فاز نسبت به همسایه های خود ارتعاش می کنند، در نظر گرفت. منطقه ای که این حداکثرها و حداقل های فشار اکوستیک در آن واقع می شوند، میدان نزدیک یا میدان Fresnel باریکه صوتی نامیده می شود.

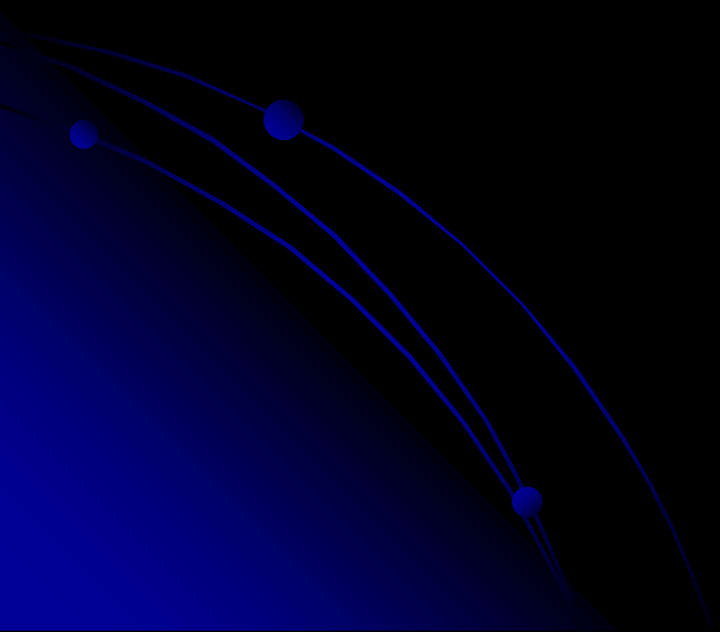
طول میدان نزدیک می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

A مساحت سطح کریستال

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{A}{\pi\lambda}$$

اثرات میدان نزدیک و میدان دور

در فواصل بزرگ تر از N ، که به عنوان میدان دور باریکه آلتراسونیک نامیده می شود، اثرات تداخل وجود نخواهد داشت.



واگرایی باریکه

در میدان دور یک باریکه آلتراسونیک، جبهه موج با افزایش فاصله از ساطع کننده، گسترش می یابد. زاویه واگرایی از محور مرکزی باریکه از یک ساطع کننده دایره ای مطابق زیر از طول موج آلتراسونیک و اندازه ساطع کننده قابل محاسبه است:

$$\gamma = 2 \sin^{-1} \left(0.5 \frac{\lambda}{D} \right)$$

γ زاویه واگرایی بر حسب درجه
 λ طول موج آلتراسونیک
 D قطر ساطع کننده دایره ای

تجهيزات

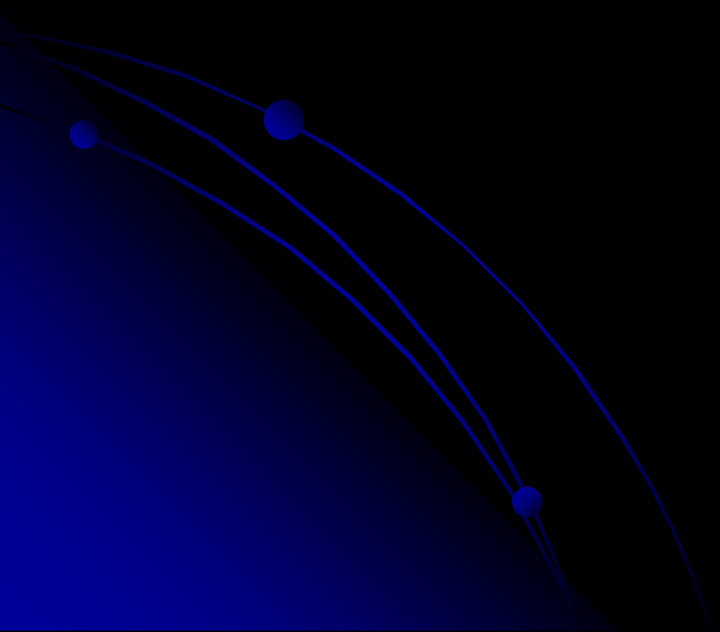
۱-پراب

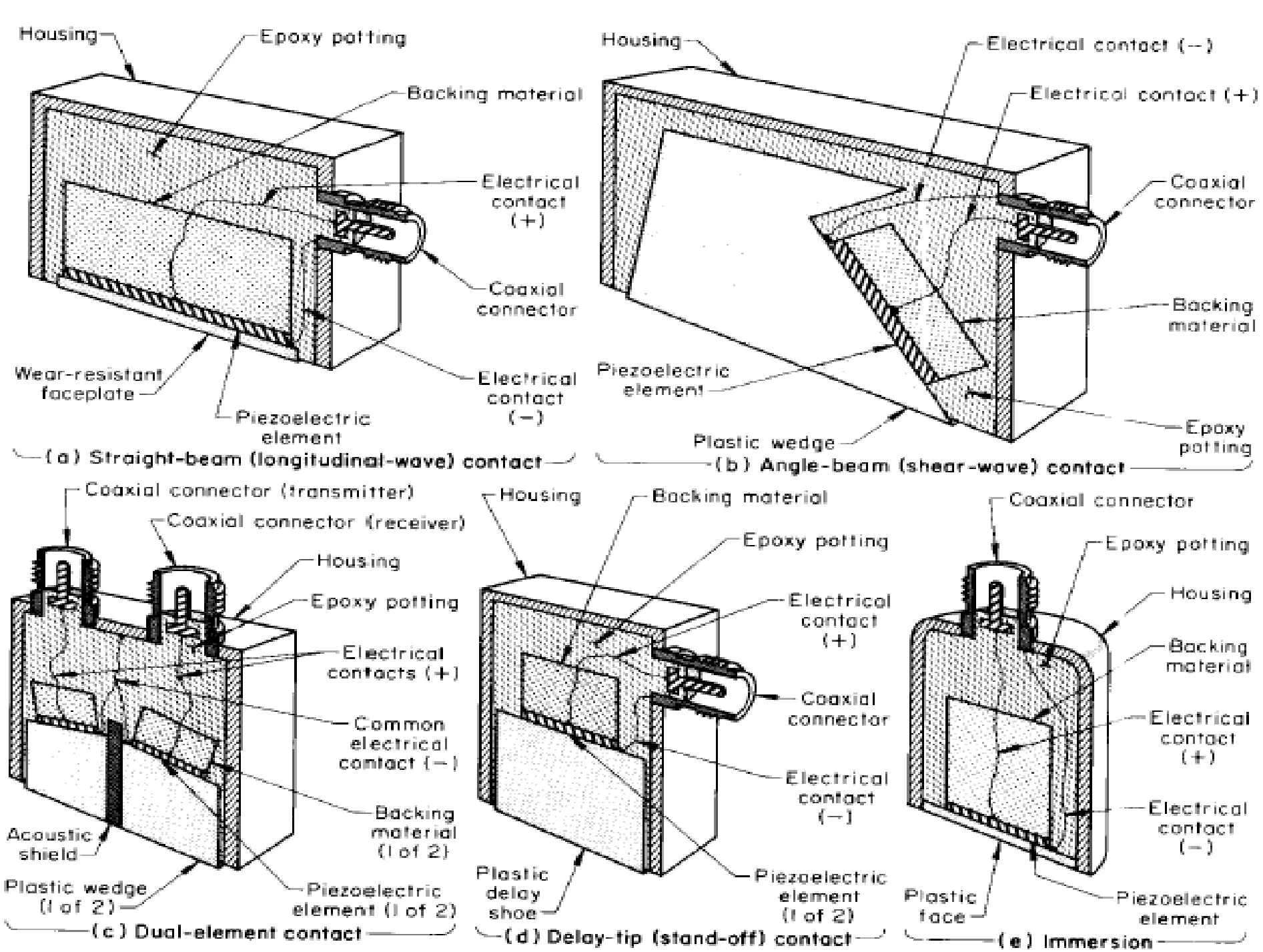
ترنسدیوسر بخشی اساسی هر پراب است. ولتاژ به ترنسدیوسر فرستنده اعمال می گردد و در عکس العمل به ولتاژ اعمالی به صورت مکانیکی به ارتعاش در می آید. بنابراین ترنسدیوسر در صورتی که با یک محیط الاستیک چفت شود، قادر به تولید امواج آلتراسونیک به درون ماده تحت بازرسی خواهد بود. ترنسدیوسر دریافت (کننده)، امواج آلتراسونیک را که بدان برخورد می کنند، به ولتاژ متناوب متناظر با آن تبدیل می کند. در حالت Pitch-Catch، ترنسدیوسرهای عبوری و دریافتی، واحدهای مجزایی را تشکیل می دهند؛ در حالت پالس-اکو، یک ترنسدیوسر به تناوب هر دو نقش را ایفا می کند.

تجهيزات

چهار نوع پایه پراب عبارت اند از:

۱. نوع تماسی باریکه مستقیم (Straight-Beam Contact)
۲. نوع تماسی زاویه ای (Angle-Beam Contact)
۳. نوع تماسی عنصر دوگانه (Dual-Element Type)
۴. نوع غوطه وری (Immersion Type)

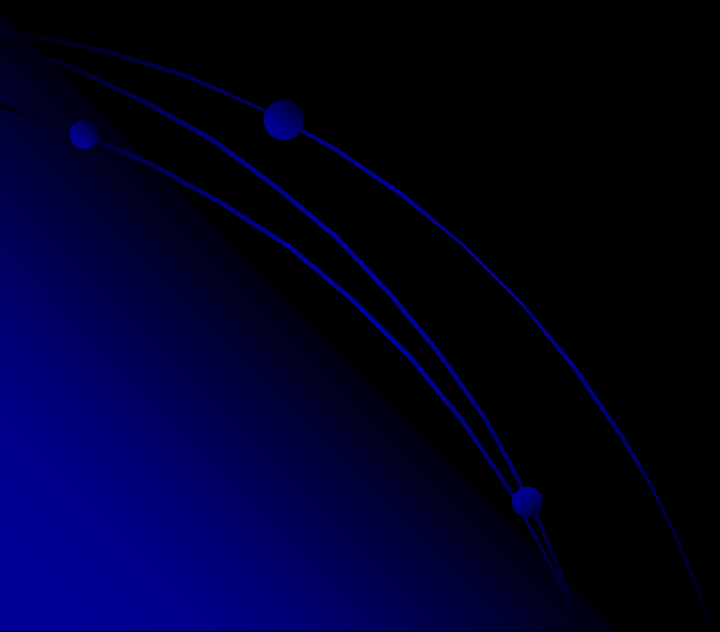




تجهيزات

۲-اسیلوسکوپ

داده های دریافتی معمولاً روی یک اسیلوسکوپ، چه در حالت ویدئویی و چه در حالت فرکانس رادیویی نمایش داده می شوند. در نمایش حالت ویدئویی، تنها شدت پیک، بر روی اثر قابل مشاهده است؛ در حالت RF، امکان مشاهده شکل موج ولتاژهای سیگنال وجود دارد.

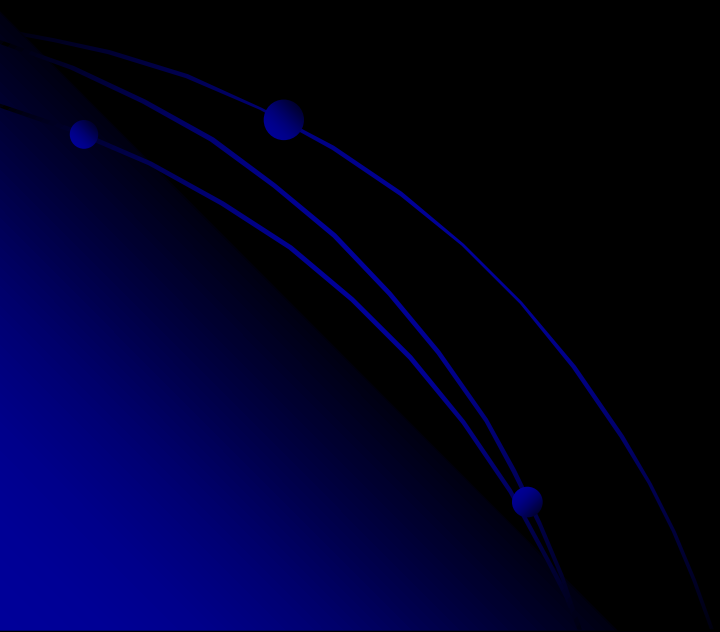


تجهيزات

۳-کوپلنت ها

جهت ایجاد یک اتصال رضایت بخش بازرسی با ترنسدیوسرهای پیزوالکتریک، لازم است هوای موجود بین ترنسدیوسر قطعه تست توسط یک کوپلنت حذف شود.

یک مایع یا ماده هیدرولیک برای انتقال امواج اولتراسونیک به قطعه تست بکار می رود.



تجهیزات

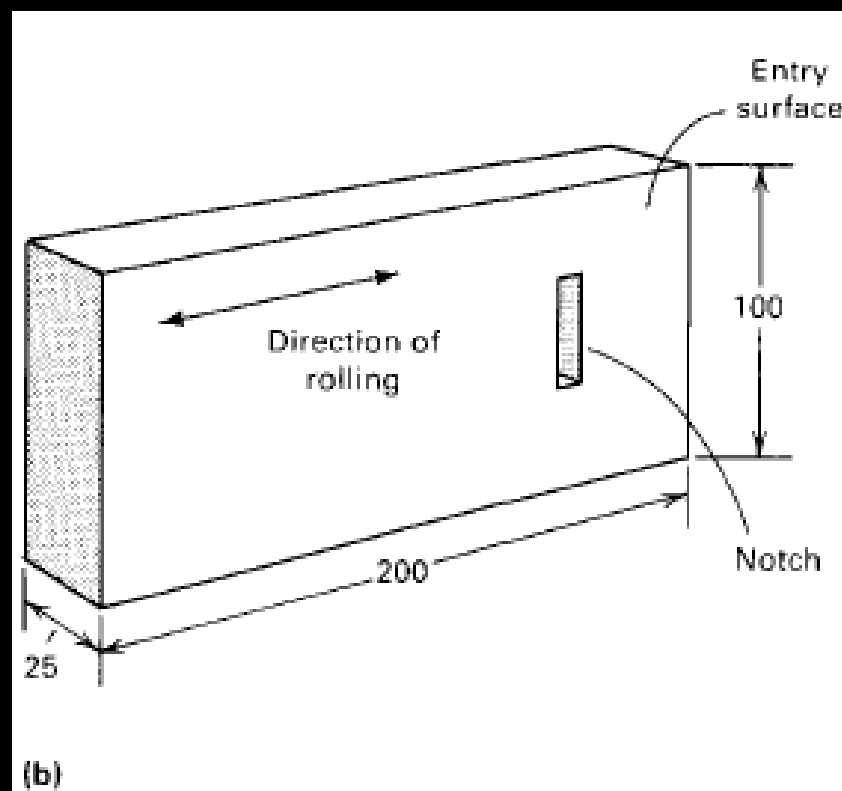
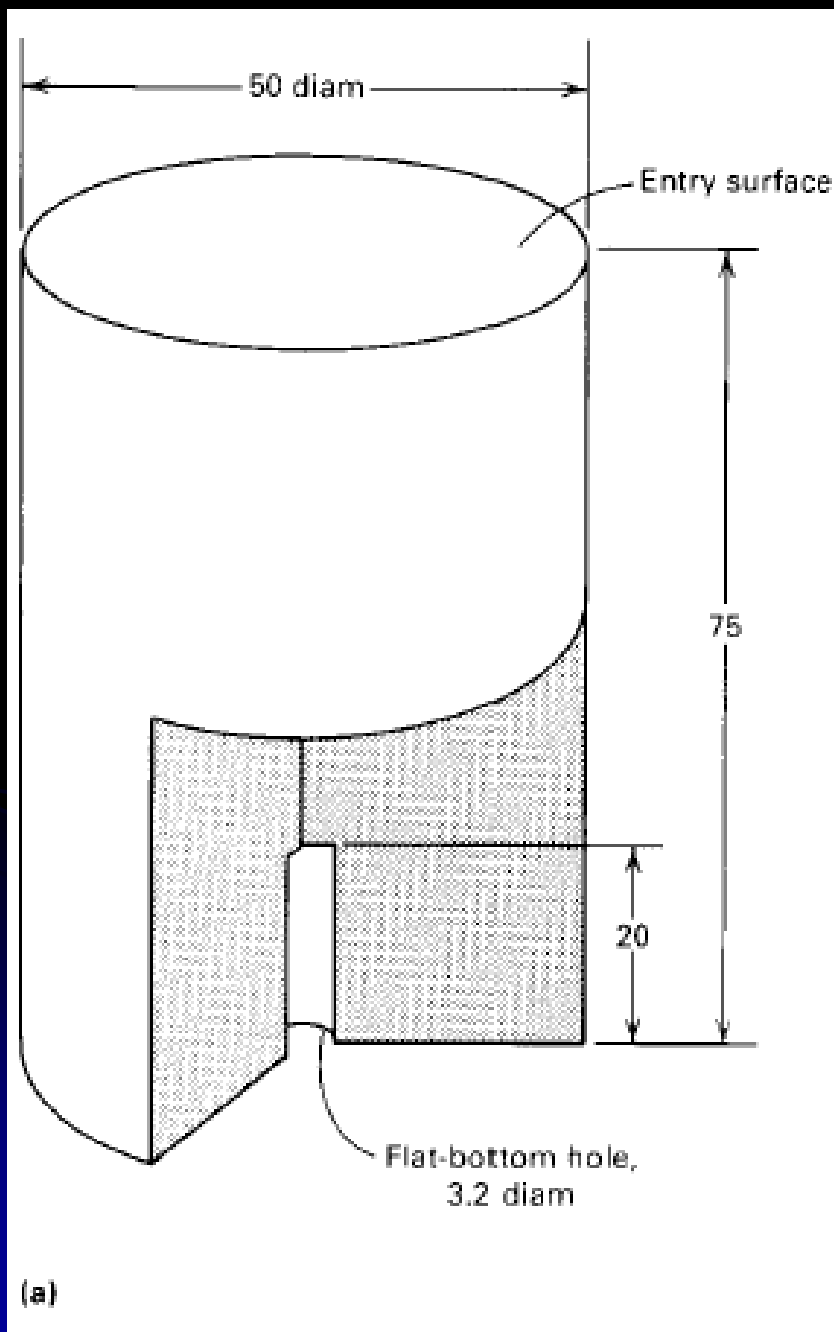
۳-بلوک های کالیبراسیون

جهت تخمین اندازه های عیوب شناسایی شده وبه عنوان یک راهنما برای تنظیم ابزارهای کنترلگر جهت آشکارسازی عیوب مضر به کار می روند. همچنین این استانداردها، جهت تعیین نشانه هایی که از عیوب بی اهمیت ناشی می شوند، مورد استفاده قرار می گیرند که در نتیجه از انجام کار مجدد روی قطعه مورد آزمایش جلوگیری می شود.

استانداردهای مرجع یا بازرسی برای آزمونهای پالس-اکو شامل بلوکهای تست حاوی عیوب ذاتی، بلوکهای تست حاوی عیوب مصنوعی و یک تکنیک جهت بررسی درصد انعکاس برگشتی می باشد. استانداردهای بازرسی برای آزمایشهای ضخامت سنجی می تواند ورقه هایی با ضخامتهای مشخص شده مختلف یا لبه های گوه ای شکل یا پله ای باشد.

تجهيزات

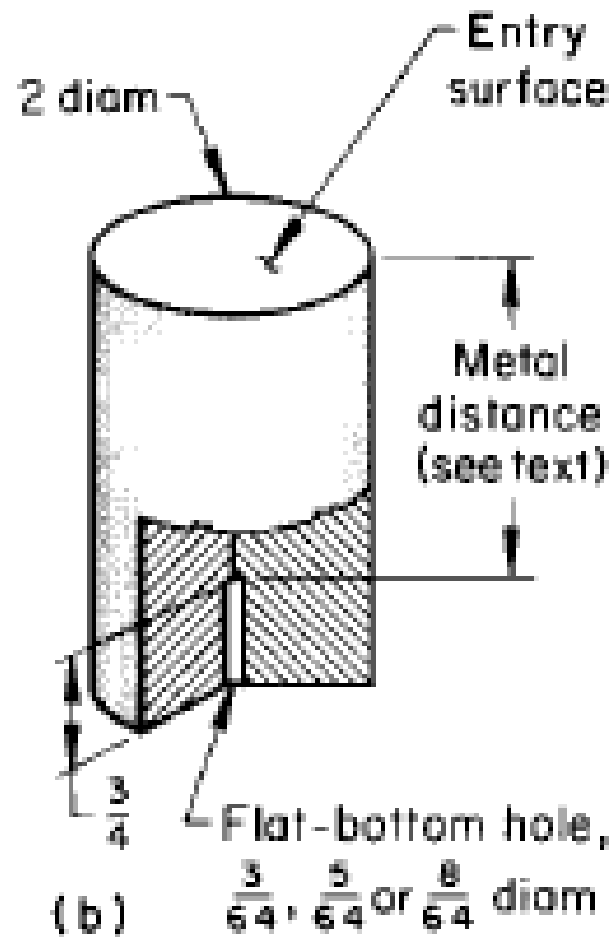
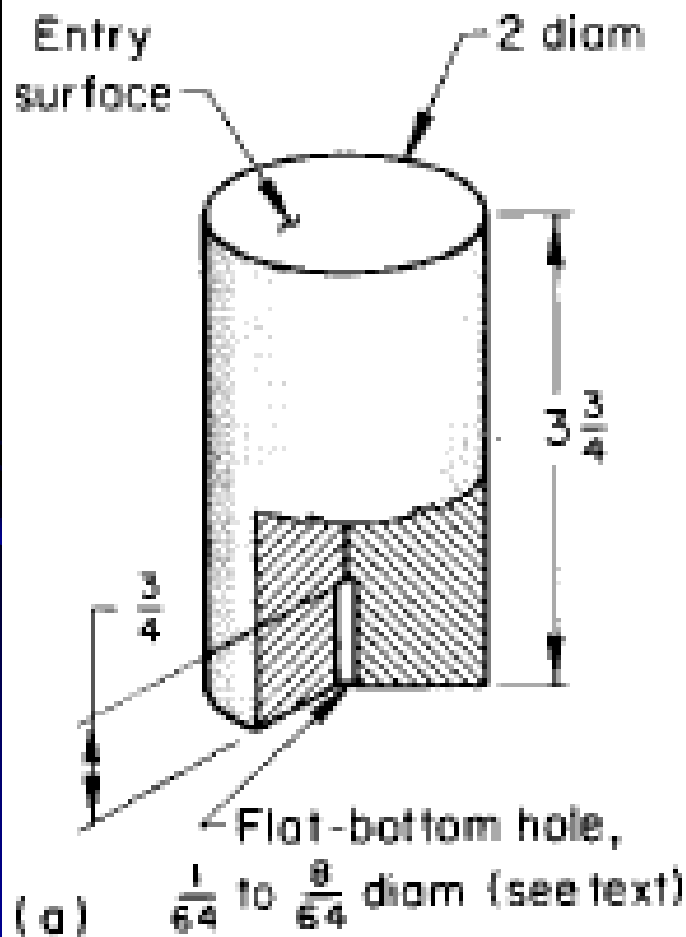
a تست بلوک جهت بازرسی با پراب نرمال
b تست بلوک جهت بازرسی با پراب زاویه ای



تجهيزات

a بلوک دامنه-مساحت

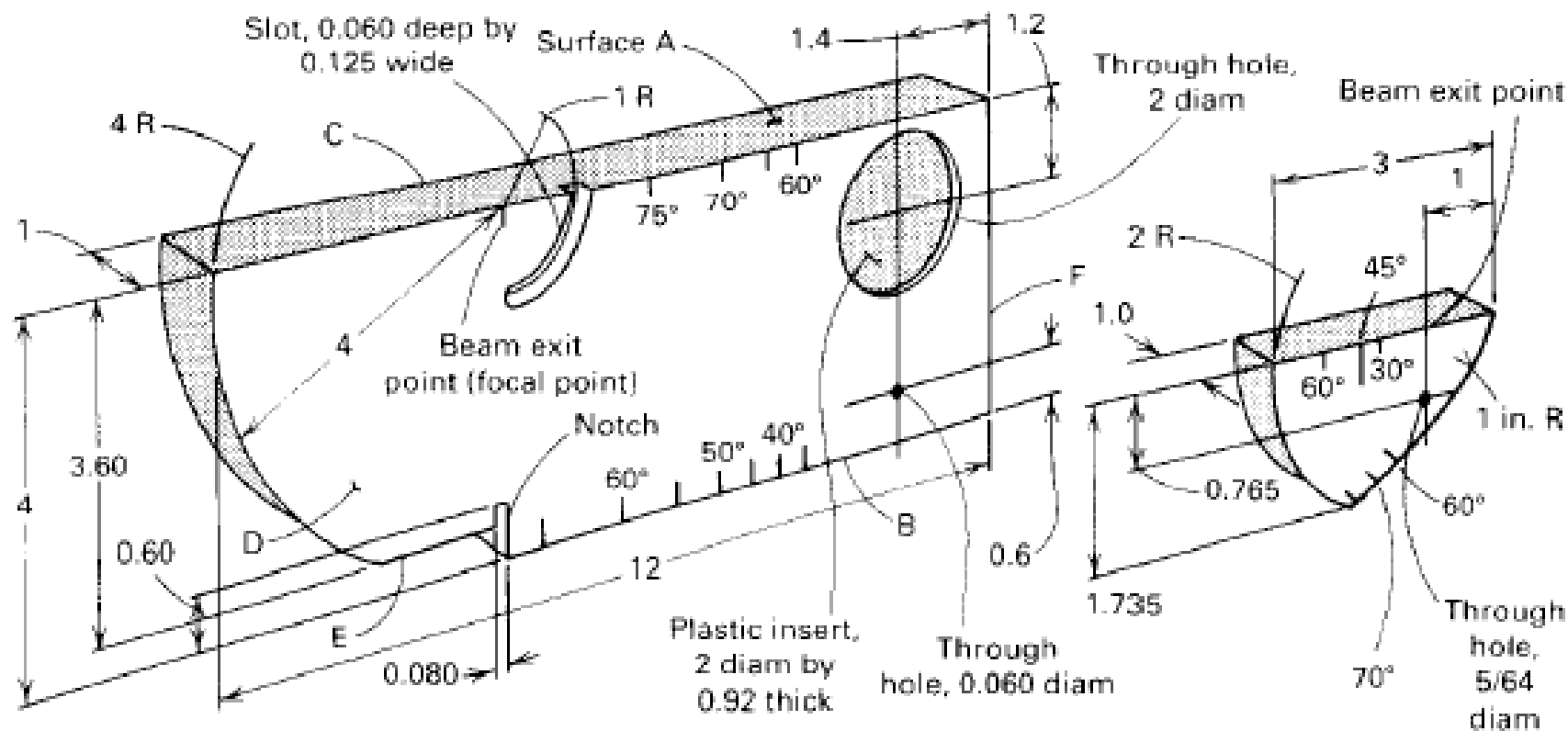
b بلوک دامنه-مسافت



تجهيزات

I نوع IIW a

b تست بلوک زاویه ای



(a)

(b)

روش های اصلی بازرسی با امواج آلتراسونیک

امواج آلتراسونیک بعد از برخورد به مرز مشترک دو محیط که دارای امپدانسهای آکوستیک مختلف هستند، تجزیه شده قسمتی از آن به محیط دوم انتقال می یابد و قسمتی دیگر انعکاس یافته و به محیط اول بر می گردد.

بر اساس اینکه موج انتقال یافته و یا موج برگشتی مورد ارزیابی قرار گیرد دو روش مختلف به شرح زیر جهت تست بکار می رود:

۱. روش انعکاس امواج (Pulse echo technique)

۲. روش عبور امواج (Transmission method)

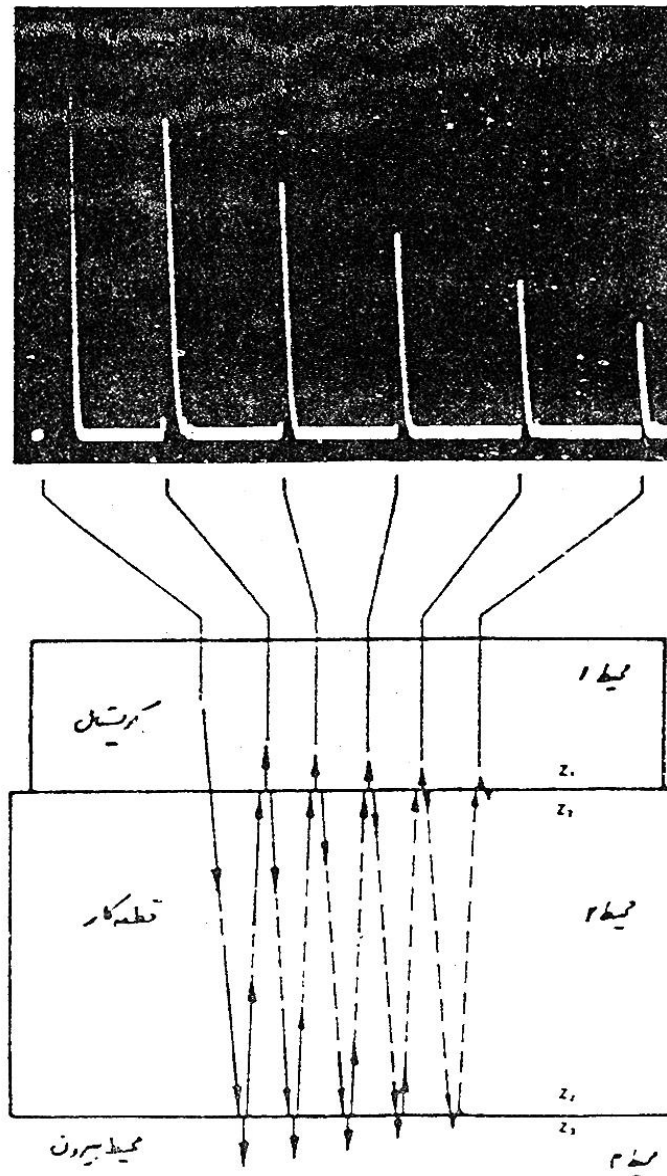
روش انعکاس امواج

در این روش برای تشخیص عیب در قطعه کار از بخش انعکاس یافته امواج آلتراسونیک استفاده می شود.

در این روش بر خلاف روش انتقال امواج محل عیب امکان پذیر می گردد و به همین دلیل است که در اغلب موارد از این روش استفاده می شود و مزیت دیگر آن این است که تنها به یک سطح تماس نیاز می باشد. لذا روش تست تا حدود زیادی ساده شده و شرایط نسبتاً ثابتی در حین تست ایجاد می شود.

روش انعکاس امواج

دریافت پژواک های متوالی بر
روی صفحه CRT



روش انعکاس امواج

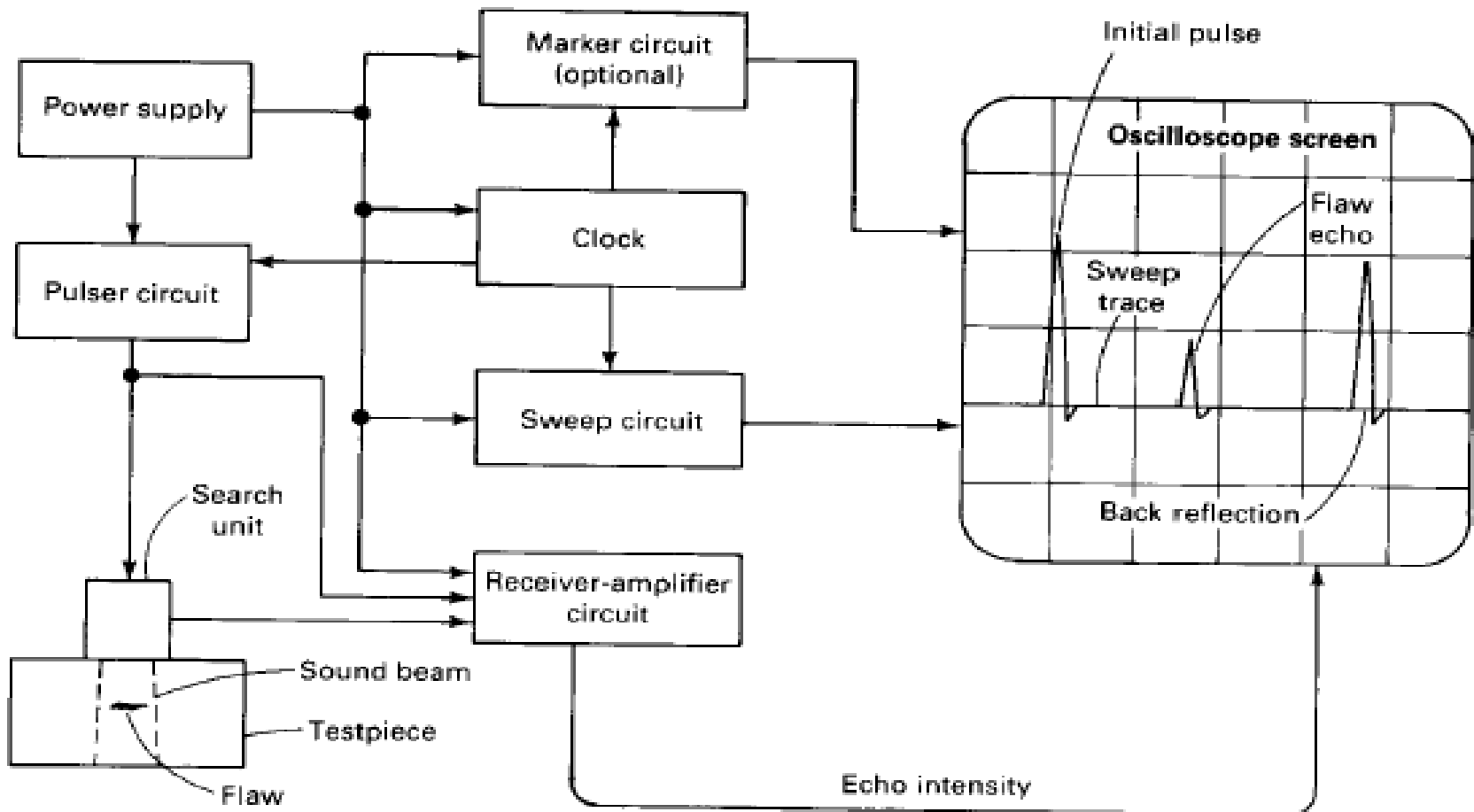
● نمایش A-Scan

اساساً ترسیمی است از دامنه برحسب زمان، که در آن خط مبنای افقی در صفحه اسیلوسکوپ، بیانگر زمان سپری شده بوده و انحرافات عمودی (که نشانه یا سیگنال نامیده می شوند)، بیانگر اکو می باشند (شکل و) اندازه نقص را می توان به کمک مقایسه دامنه سیگنال ناپیوستگی با دامنه سیگنال ناشی از یک ناپیوستگی دارای اندازه و شکل معلوم، تخمین زد؛ سیگنال ناپیوستگی همچنین باید برای اتلافهای فاصله ای مورد تصحیح قرار گیرد.

مکان نقص (عمق) از موقعیت اکوی نقص روی صفحه اسیلوسکوپ تعیین می گردد.

روش انعکاس امواج

نمایش A-Scan



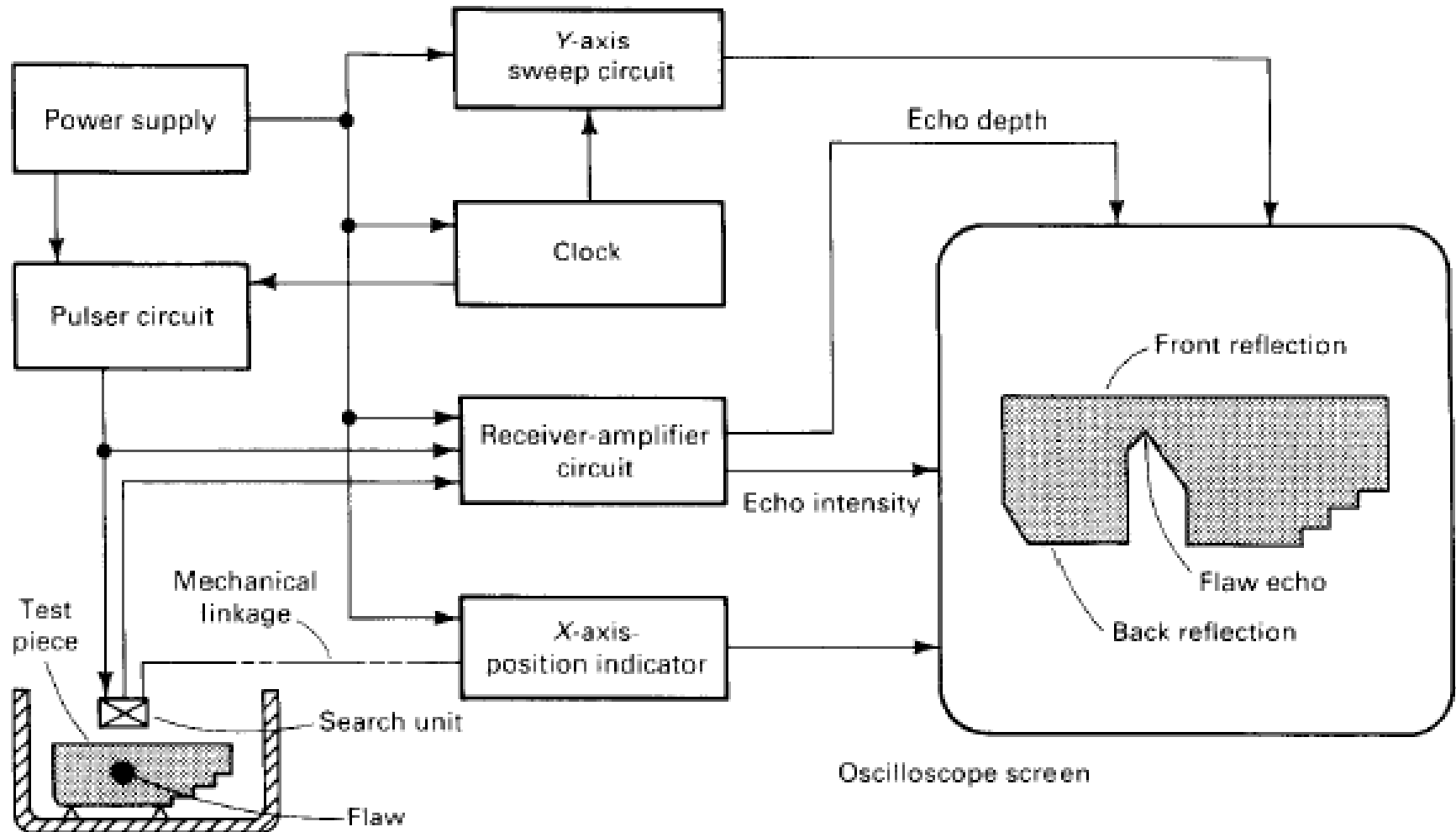
روش انعکاس امواج

● نمایش B-Scan

عبارت است از رسم زمان برحسب فاصله، که در آن یکی از محوره‌ای متعامد روی صفحه نمایش، مربوط به زمان سپری شده و محور دیگر نمایانگر موقعیت پراب در امتداد خطی روی سطح قطعه تست، نسبت به موقعیت پراب در بدو بازرسی می باشد.

روش انعکاس امواج

نمایش B-Scan



روش انعکاس امواج

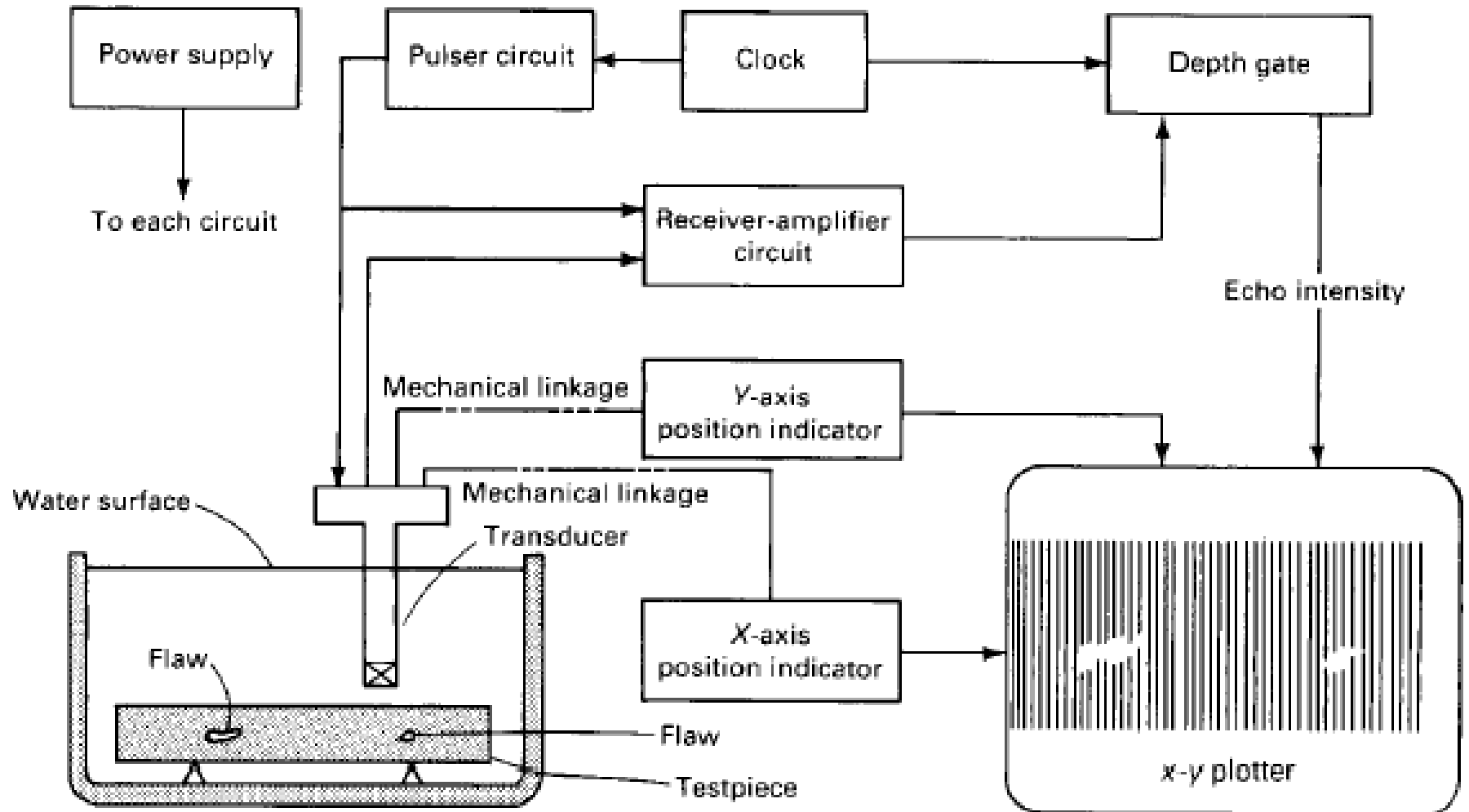
● نمایش C-Scan

اکوها را از بخش های داخلی قطعه کار و به صورت تابعی از موقعیت هر فصل مشترک منعکس کننده در محدوده یک سطح، ثبت می نماید.

عمق نقص، معمولاً ثبت نمی گردد، اگرچه با محدود کردن گستره عمقهای در قطعه تست که در هر اسکن پوشش داده می شوند، می توان آن را به صورت نیمه کمی اندازه گیری نمود.

روش انعکاس امواج

نمایش C-Scan



روش انعکاس امواج

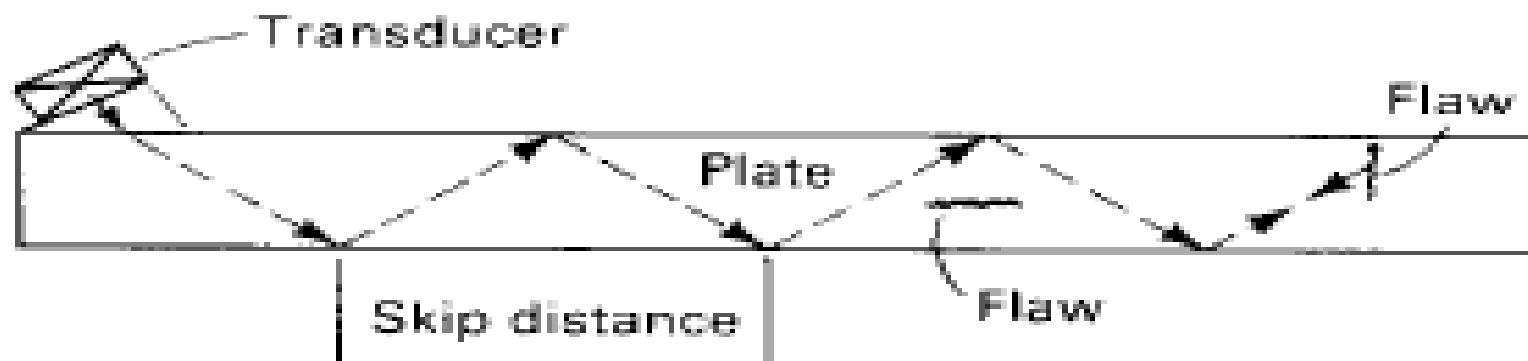
تکنیکهای زاویه ای

در تکنیکهای زاویه ای، پالس صوتی برخوردی، به جای زاویه قائم با زاویه ای مورب وارد قطعه تست می شود. برخلاف آزمایشهای باریکه مستقیم، این رویکرد سبب حذف اکوها از سطوح جلویی و عقبی می گردد و تنها انعکاسهای ناشی از ناپیوستگیهای عمود بر باریکه برخوردی را نمایش می دهد. تنها در موارد نادری، سطح پشتی جهت ایجاد نشانه های انعکاس برگشتی، جهتگیری صحیحی به خود می گیرد.

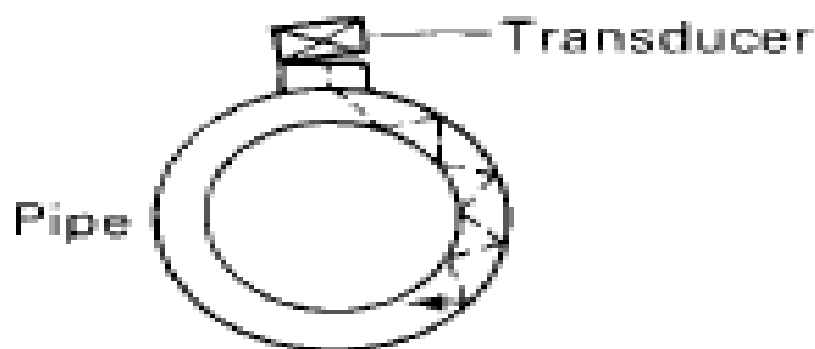
تکنیکهای زاویه ای به منظور آزمایش جوش، لوله ها، مواد ورقه ای و صفحه ای، نمونه های دارای شکل غیرمنظم که باریکه های مستقیم، قادر به تماس با همه سطوح آنها نیستند، مورد استفاده قرار می گیرند.

روش انعکاس امواج

تکنیکهای زاویه ای

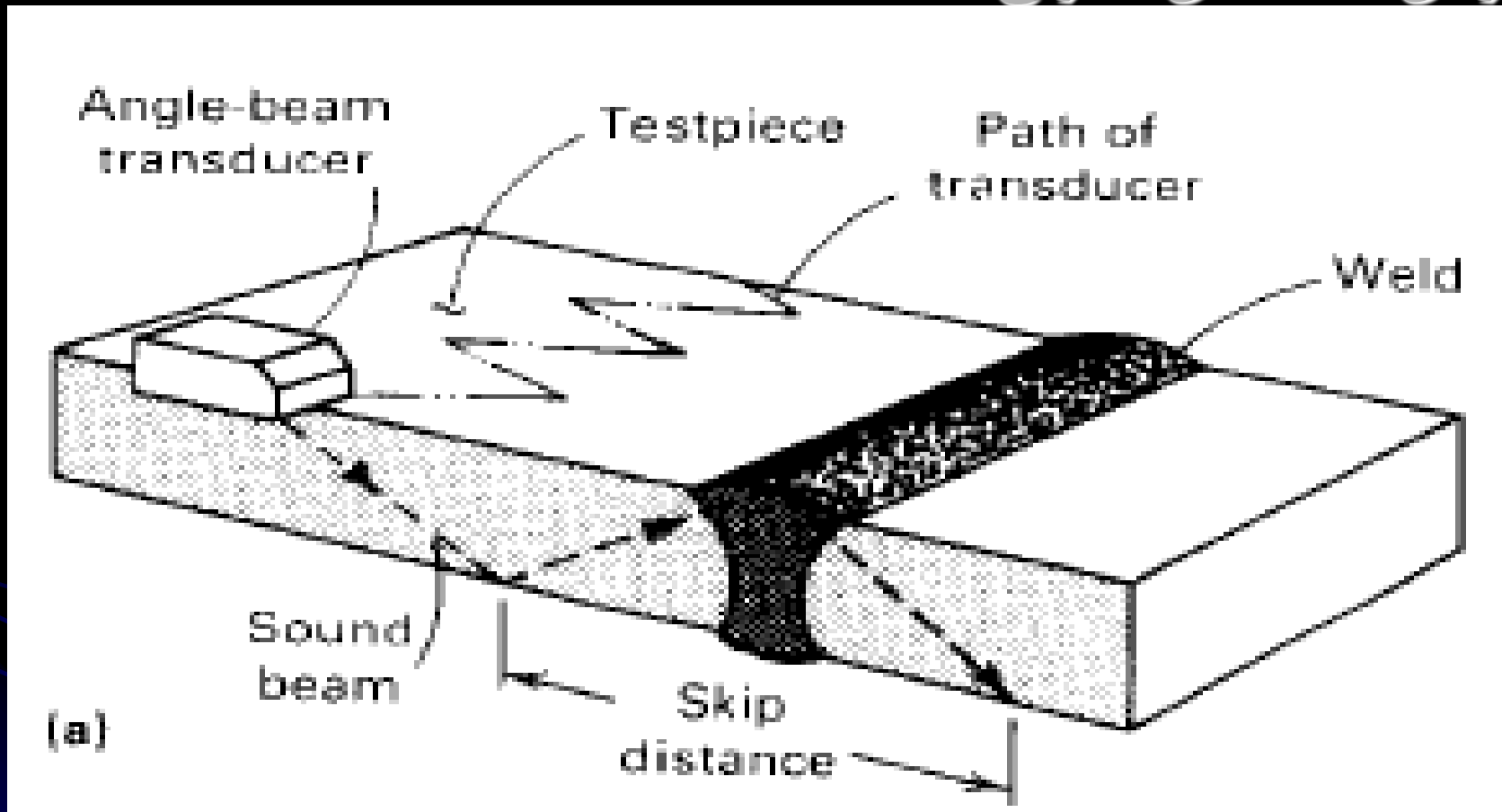


(a)



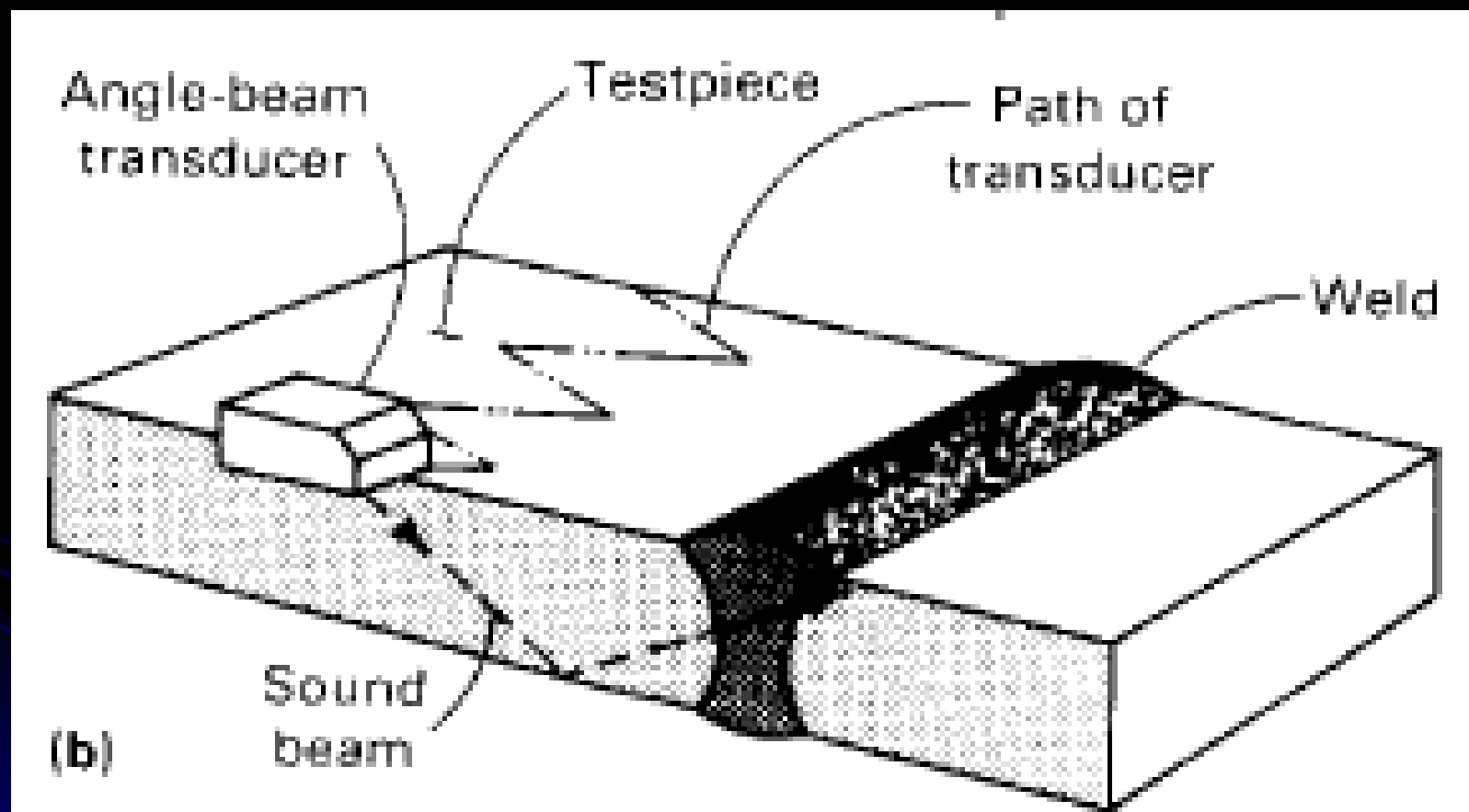
(b)

روش انعکاس امواج



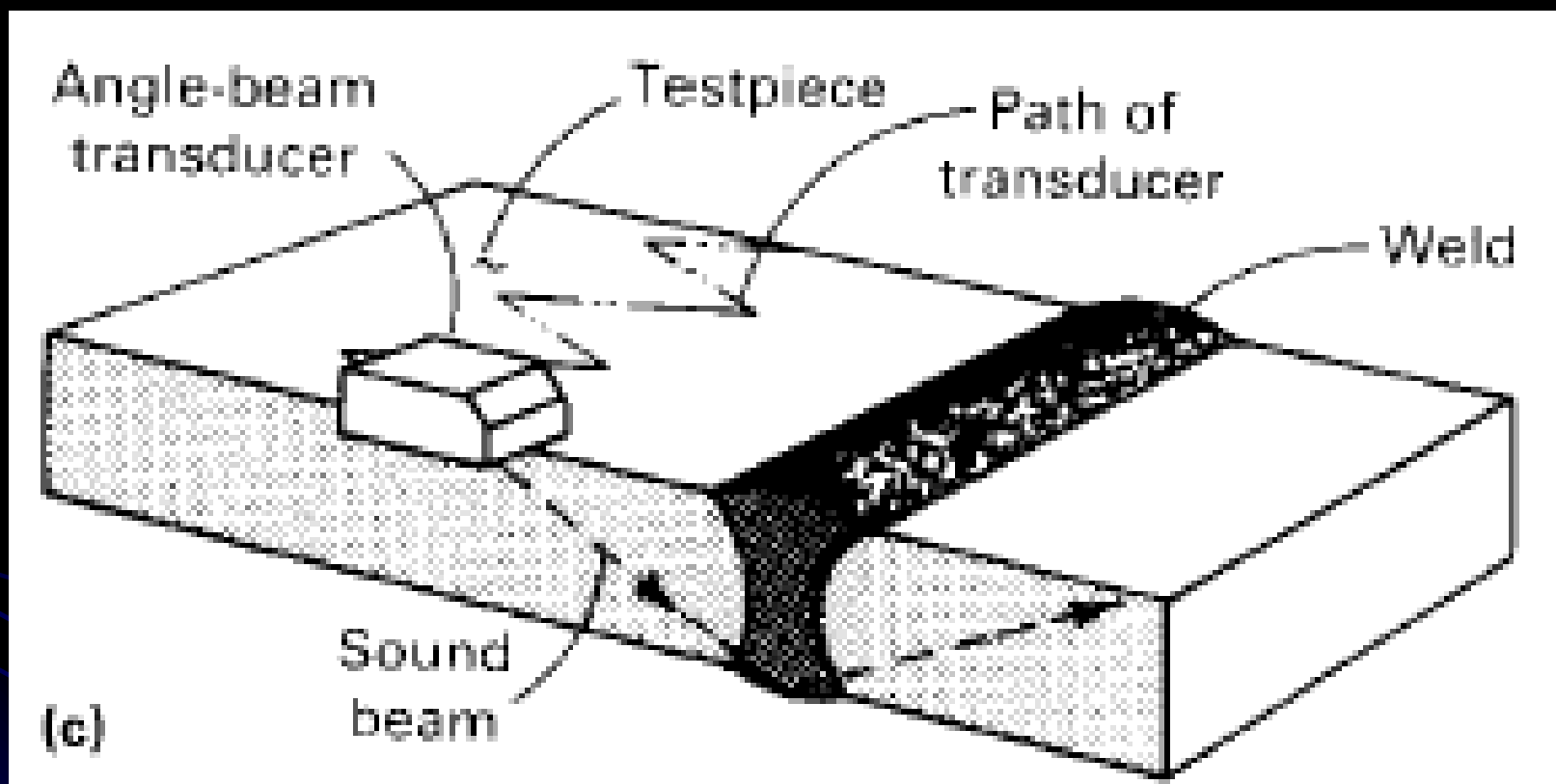
حرکت موج صوتی بر مقطع جوش از خط مرکزی ترنسدیوسر زمانی که مقطع جوش را از انتهای سمت چپ اسکن می کند.

روش انعکاس امواج



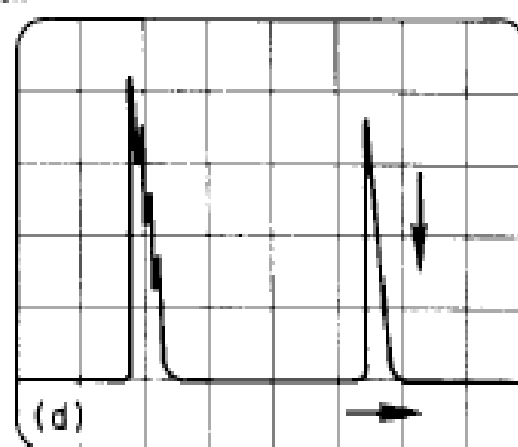
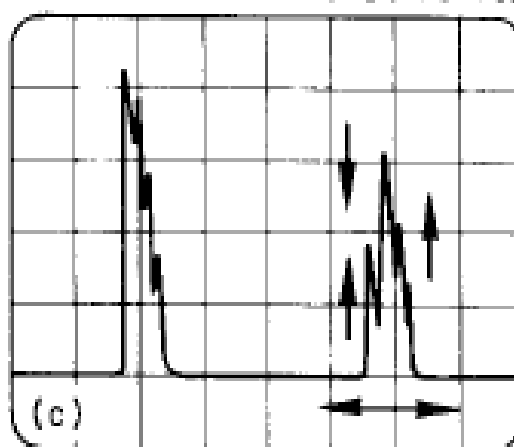
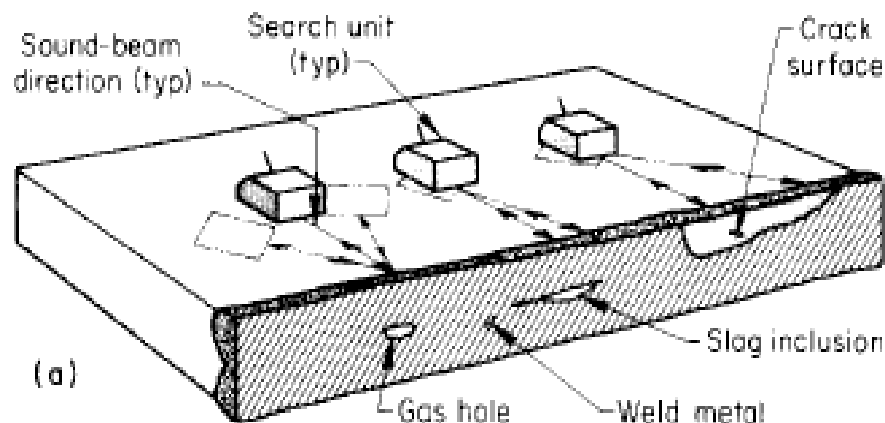
حرکت موج صوتی بر مقطع جوش از خط مرکزی ترنسدیوسر زمانی که مقطع جوش را از یک موقعیت میانی اسکن می کند.

روش انعکاس امواج



حرکت موج صوتی بر مقطع جوش از خط مرکزی ترنسدیوسر زمانی که مقطع جوش را تا انتهای سمت راست اسکن می کند.

روش انعکاس امواج



بازرسی با تکنیک زاویه ای از یک قطعه جوشکاری شده (a)، موقعیت پراب بر قطعه آزمون (b) الگوی ایجاد شده حاصل از یک حفره گازی (c) الگوی ایجاد شده حاصل از یک ناخالصی سرباره ای (d) الگوی ایجاد شده حاصل از یک ترک

روش انعکاس امواج

تکنیک های موج سطحی

برداشت خاصی از تکنیک زاویه ای منجر به انتشار یک موج سطحی می شود. امواج سطحی عمدتاً برای تشخیص ترکهای کم عمق سطحی و سایر نقائص مشابهی که درست در زیر سطح قطعه تست واقع هستند، به کار گرفته می شوند. این تکنیک بیشترین اثر بخشی را زمانی دارد که نقائص به احتمال زیادتری به سطح گسترش یافته یا در ناحیه مرده سایر تکنیکها واقع شوند. شکل نمایش، مشابه آزمایش معمولی زاویه ای است، تنها، نشانه های نقائص روی محور گسترش یافته جاروب زمان نمایش داده می شوند.

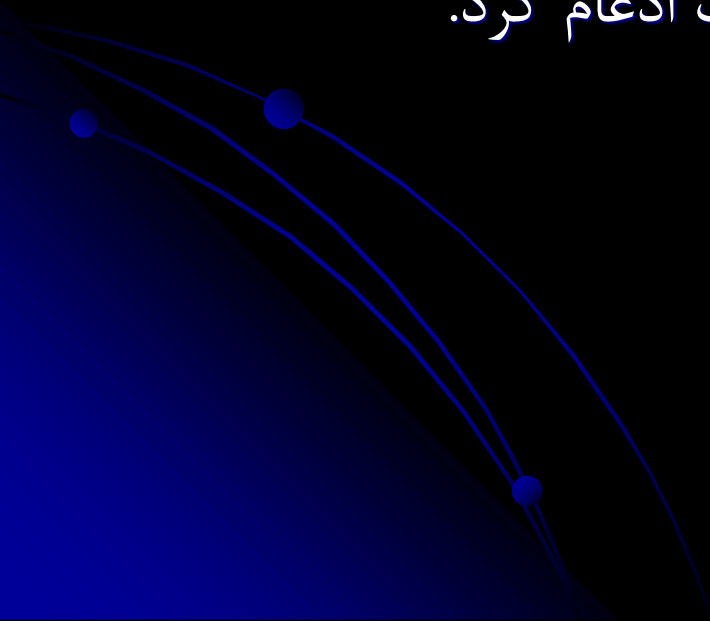
روش عبور امواج

در این روش پروب فرستنده در یک سطح جسم و پروب گیرنده در سطح مقابل آن قرار داده می شود و بخش انتقال یافته امواج مورد بررسی قرار می گیرد. عیوب موجود در فاصله بین دو پروب فوق باعث انعکاس جزئی یا کامل موج شده در نتیجه موج دریافتی توسط پروب گیرنده تضعیف شده و یا به طور کامل محو می گردد. اصولاً در این روش انتخاب موج صوتی پیوسته یا ضربانی تفاوتی نمی کند چرا که فرستنده و گیرنده از نظر الکتریکی کاملاً مجزا از یکدیگر می باشند. **البته با این روش تعیین عمق عیب امکان پذیر نیست.** علاوه بر این هماهنگی دقیق فرستنده و گیرنده در محل های مربوطه از الزامات مسلم تست می باشد.

روش عبور امواج

آزمایش Pitch-Catch

می تواند هم با باریکه های مستقیم (از طریق آزمایش عبوری) و هم با باریکه های انعکاس یافته، با استفاده از دو ترنسدیوسر به انجام برسد. ترنسدیوسرها را می توان در پرابهای مجزا- یک فرستنده و یک دریافت کننده- جای داد، یا این که آنها را در یک پراب ادغام کرد.



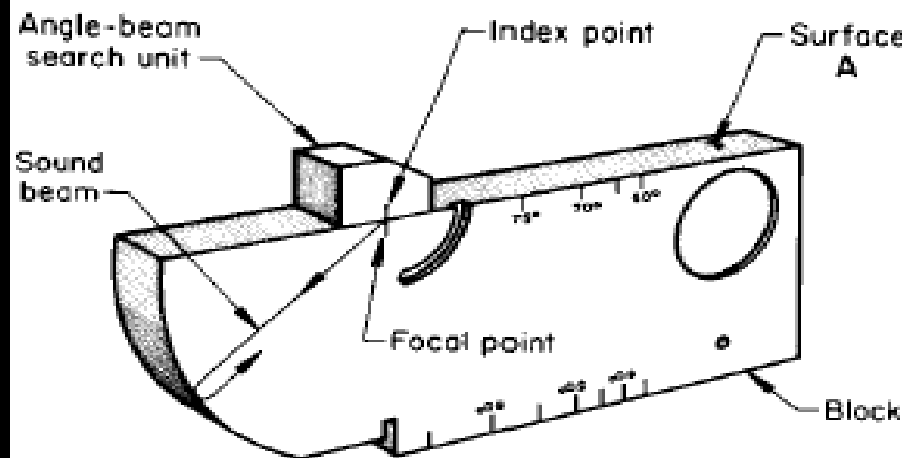
کالیبراسیون

تست اولتراسونیک اصولاً یک روش ارزیابی رقابتی است. ابعاد افقی (زمان) و عمودی (دامنه) روی صفحه CRT دستگاه UT به ترتیب به فاصله و اندازه بستگی دارد. لازم است که یک نقطه صفر شروع برای این متغیرها تعریف شود و دستگاه اولتراسونیک توسط یک استاندارد پایه قبل از استفاده، کالیبره شود.

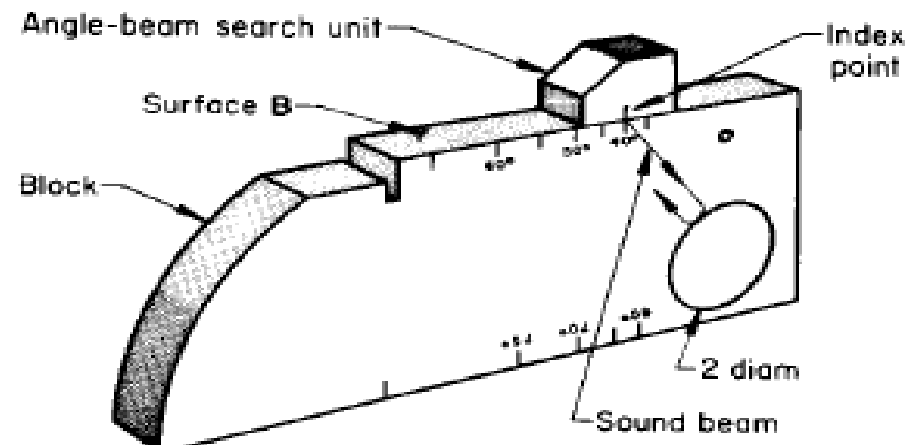
تست بلوک مؤسسه بین المللی جوش (IIW) برای کالیبراسیون تست اولتراسونیک جوش فولادها مصارف عمده ای دارد. این بلوکها و دیگر تست بلوکها برای کالیبراسیون یک دستگاه از نظر حساسیت، دقت، خطی بودن، زاویه انتشار صوت و فاصله و Gain بکار می روند.

یک سطح انحنای بزرگ (mm100 یا in4 شعاع) در یک انتهای بلوک جهت شناسایی محل شاخص پراب پرتو زاویه ای مورد استفاده قرار می گیرد. صرفنظر از زاویه پراب ماکزیمم اکو از سطح انحنای زمانی دریافت می شود که محل شاخص پراب در محل خروج پرتو قرار گیرد.

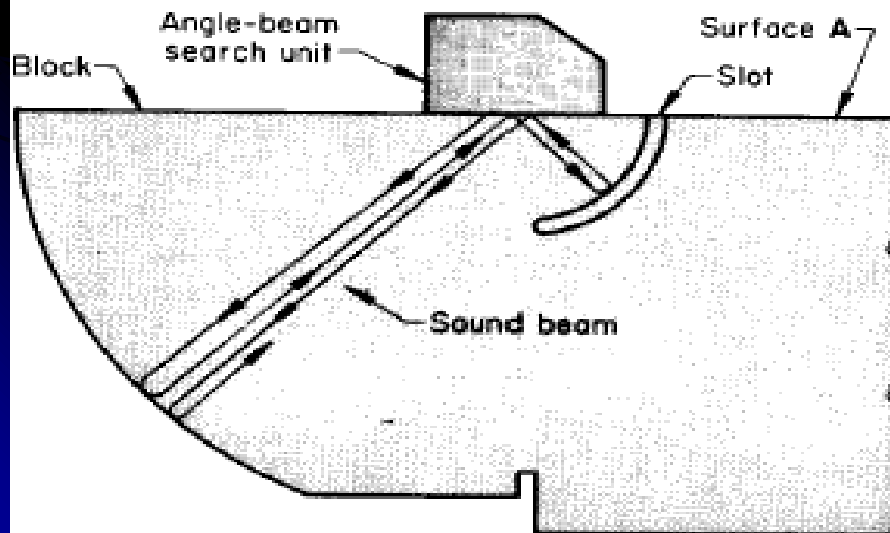
نحوه قرارگیری پراب نرمال و زاویه ای برای کالیبراسیون توسط بلوک استاندارد IIW



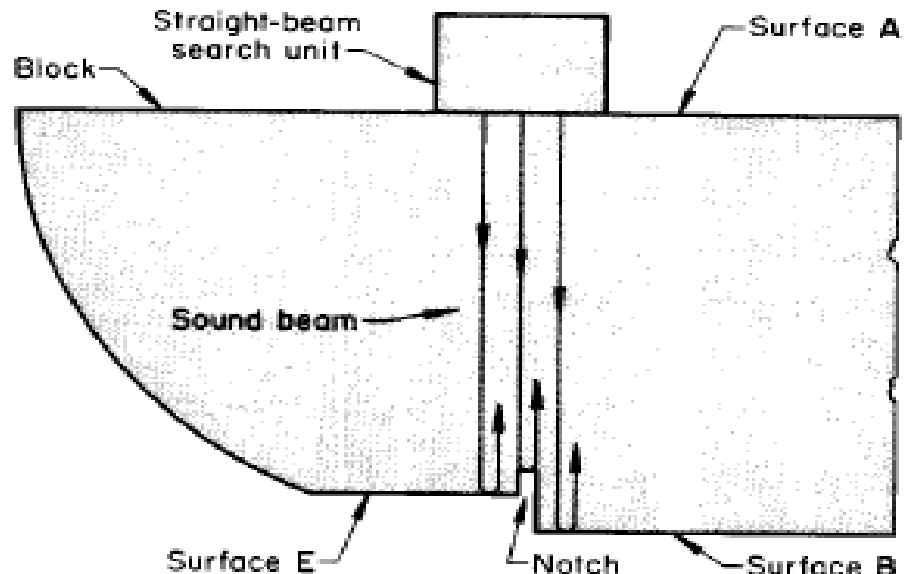
(a) Determination of index point



(b) Determination of beam angle



(c) Calibration of instrument time base



(d) Determination of straight-beam resolution

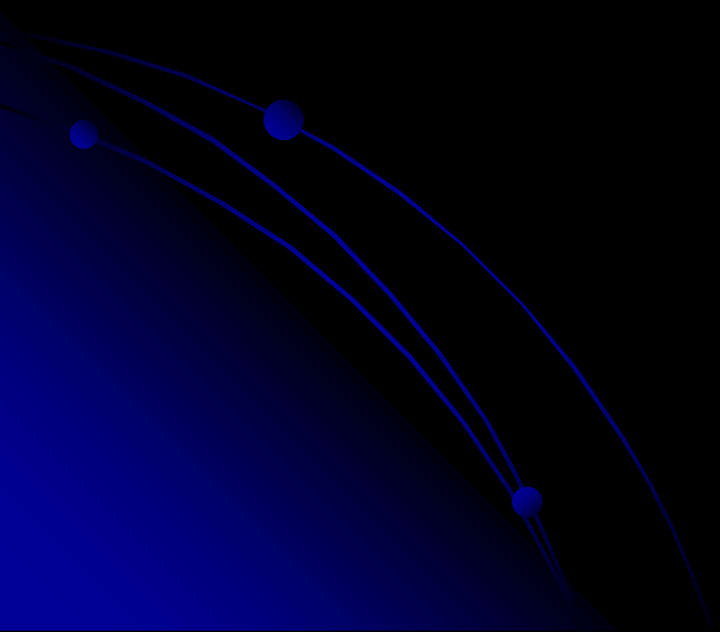
دستورالعمل تست

اکثر آزمایشهای اولتراسونیک جوش مطابق با یک نظام نامه یا دستورالعمل مشخص انجام می شود.

نمونه^۱ ای از این دستورالعمل ها در AWS D1.1 کد جوشکاری سازه ای-فولاد آمده است. ASTM E164 روش استاندارد تست اولتراسونیک در جوش خاص آلیاژهای آهنی کارپذیر و آلومینیم برای تشخیص ناپیوستگی^۲ ها است. دستورالعملهای پیشنهادی برای تست جوشهای سر به سر، گوشه و اتصالات T شکل با ضخامتهای ۵/۰ تا ۸ اینچ ارائه شده است. دستورالعملهای کالیبراسیون تجهیزات و بلوکهای کالیبراسیون مناسب نیز ارائه شده است. استانداردهای ASTM دیگر شامل دستورالعملهای آزمایشی با روشهای بازرسی اولتراسونیک مختلف برای بازرسی لوله و تیوپها می^۳ باشد. دستورالعملهای اولتراسونیک بویلرها و محفظه فشار در ASME کد بویلر و محفظه فشار، بخش ۵، تست غیرمخرب آمده است.

دستورالعمل تست

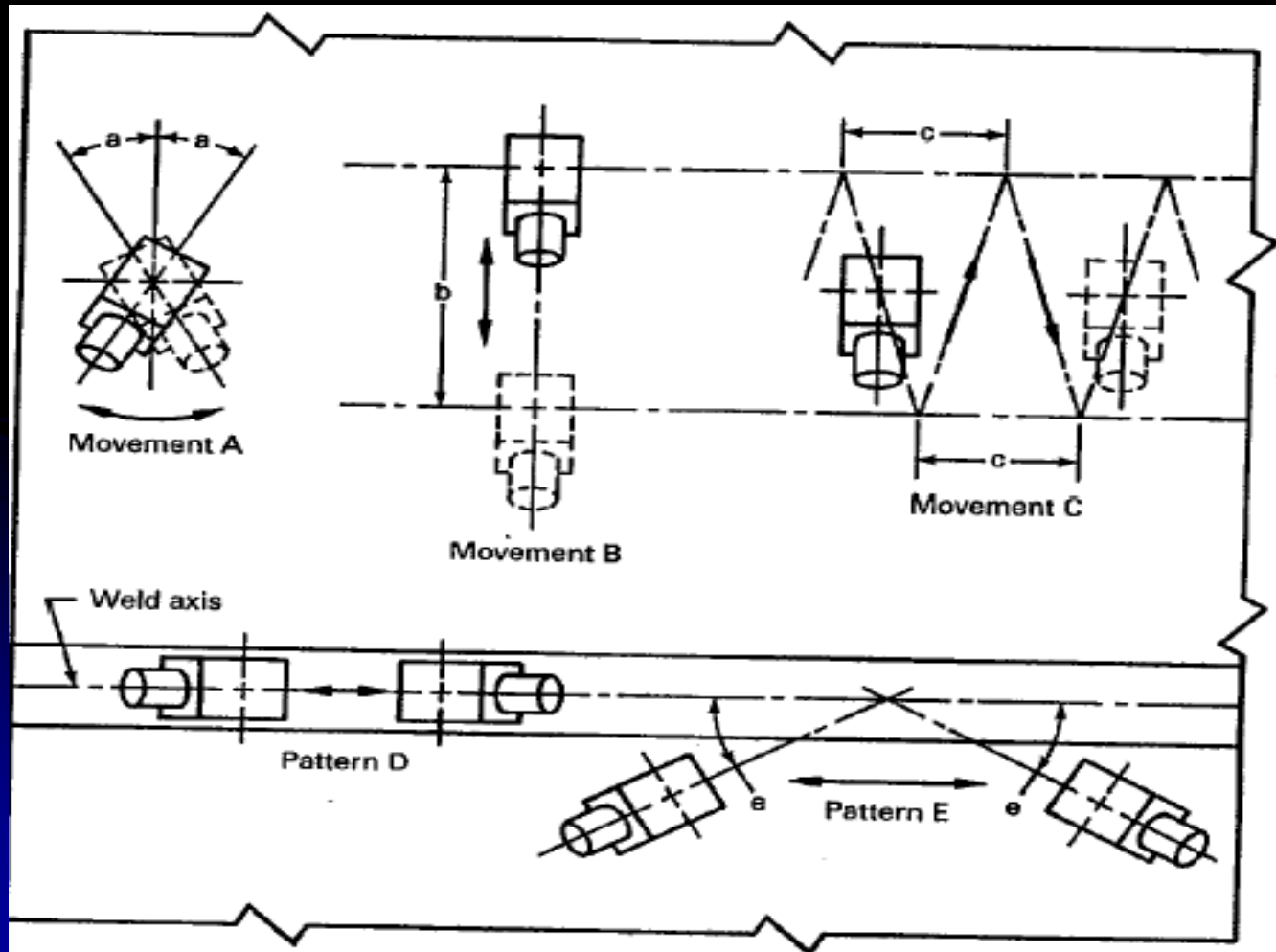
برای تست اولتراسونیک مناسب یک اتصال جوش داده شده، و پراب باید در یک یا چند الگوی مشخص بکار گرفته شود تا بطور کامل طول و ضخامت اتصال، مورد بازرسی قرار گیرد. در بیشتر موارد، اتصال باید از دو یا چند جهت مورد بررسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که اشعه به تمام ناپیوستگی‌های موجود در اتصال رسیده است.



دستورالعمل تست

الگوهای تست اولتراسونیک معمولی برای بازرسی اتصالات

جوش سر یه سر



دستورالعمل تست

الگوهای تست اولتراسونیک معمولی برای بازرسی اتصالات جوش سر به سر
الگوهای بررسی

ناپیوستگیهای طولی

حرکات A، B و C با هم بصورت یک الگوی بررسی ترکیب می‌شوند.

حرکت A، زاویه چرخش $a=10$

حرکت B، فاصله اسکن b باید بصورتی باشد که مقطع جوش مورد آزمایش پوشش داده شود.

حرکت C: پیشرفت فاصله C باید حدود نصف عرض ترنسدیوسر باشد.

ناپیوستگی‌های عرضی

الگوی بررسی D (وقتی جوش Ground Flush است)

الگوی بررسی E (وقتی گرده جوش Ground Flush نیست)

زاویه بررسی e: حداکثر 15

یادداشت:

۱- الگوهای آزمایش حول محور جوش متقارن هستند به استثنای الگوی D که مستقیماً روی محور جوش انجام می‌شود.

۲- آزمایش روی هر دو طرف محور جوش باید هر جا که از نظر مکانیکی مقدور باشد صورت گیرد