



WELDING TECHNOLOGY

QCTM.IR

• ۲۱ - ۹۱ - ۳۰۷ - ۳۰۸

• ۹۱۲ ۶۴۵ ۸۰ ۱۰

• ۹۱۲ ۹۶ ۴۸ ۱۴۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بیش از دو دهه سابقه درخشان در زمینه کارهای مهندسی



نصب و تنظیم انواع تجهیزات دوار



پایپینگ و تاسیسات



ساخت و نصب انواع سازه فلزی



آزمایشات غیر مخرب NDT



دستورالعمل های مهندسی



جوشکاری و تعمیر تجهیزات صنعتی

۰۲۱ - ۹۱ - ۳۰۷ - ۳۰۸

۰۹۱۲ ۶۴۵ ۸۰ ۱۰

۰۹۱۲ ۹۶ ۴۸ ۱۴۹



نمونه کارها



کاتالوگ

Project Solution
Follow-up Program
Partner Meeting

۰۹۱۲۹۶۴۸۱۴۹

محسن زند
مدیر پروژه ها

★★★★★ ۵ - ۵

۵ (بیش از ۱۵ سال سابقه کار)

Project Solution
Follow-up Program
Partner Meeting

۰۹۱۲۶۴۵۸۰۱۰

مصطفی زندی
مدیر R&D

★★★★★ ۵ - ۵

۵ (بیش از ۱۵ سال سابقه کار)

ما در مقابل کسانی که جان خود را به دانش فنی ما سپرده اند
مسئولیم !!!؟؟؟



بخش اول تعریف بازرسی و اهمیت آن در صنعت

طبق تحقیقات انجمن جوشکاری آمریکا(AWS) بیش از ۹۰٪ از شکست های سازه ای در اتصالات جوشی رخ می دهد اما چرا و چگونه میتوان از این فجایع جلوگیری کرد پاسخ در یک کلمه است. بازرسی جوش

تصور کنید در حال پرواز با یک هواپیما هستید،یا در حال رانندگی بر روی یک پل عظیم فلزی هستید ، یا در یک روز مفرح با خانواده و عزیزانتان در شهر بازی وقت گذرانی میکنید و وقتی قصد سوار شدن بر یک تجهیز تفریحی را دارید چه چیزی به شما اطمینان میدهد که هزاران اتصال جوشی در آن سازه،ایمن و قابل اعتماد هستند،این اطمینان حاصل کار خاموش و دقیق بازرسان جوش است.

اهداف و اهمیت بازرسی جوش (چرا بازرسی جوش حیاتی است)

▪ ایمنی (Safety)

جلوگیری از شکست، آسیب های جانی و خسارت های مالی (مثال خطوط لوله نفت و گاز، پلها، شهر بازی، دیگهای بخار، سازه های ساختمانی و صنعتی)

▪ اطمینان از کیفیت (Quality Assurance)

تضمین میکند که محصول نهایی مطابق با انتظارات و استانداردهای کیفیت ساخته شده است

▪ صرفه جویی اقتصادی

شناسایی عیوب در مراحل اولیه، هزینه تعمیرات را به شدت کاهش می دهد (پیشگیری بهتر از درمان است)

▪ رضایت مشتری و اعتبار شرکت:

تحويل پروژه اىى با كىفیت و ایمن، اعتبار و شهرت شرکت را افزایش می دهد

▪ انطباق با قوانین:

در بسیاری از صنایع، بازرسی جوش یک الزام قانونی است.

بنابراین به طور خلاصه، بازرسی جوش یک فعالیت نظام مند و ضروری جهت

تضمین در ایمنی، کیفیت، و دوام اتصالات جوشی است

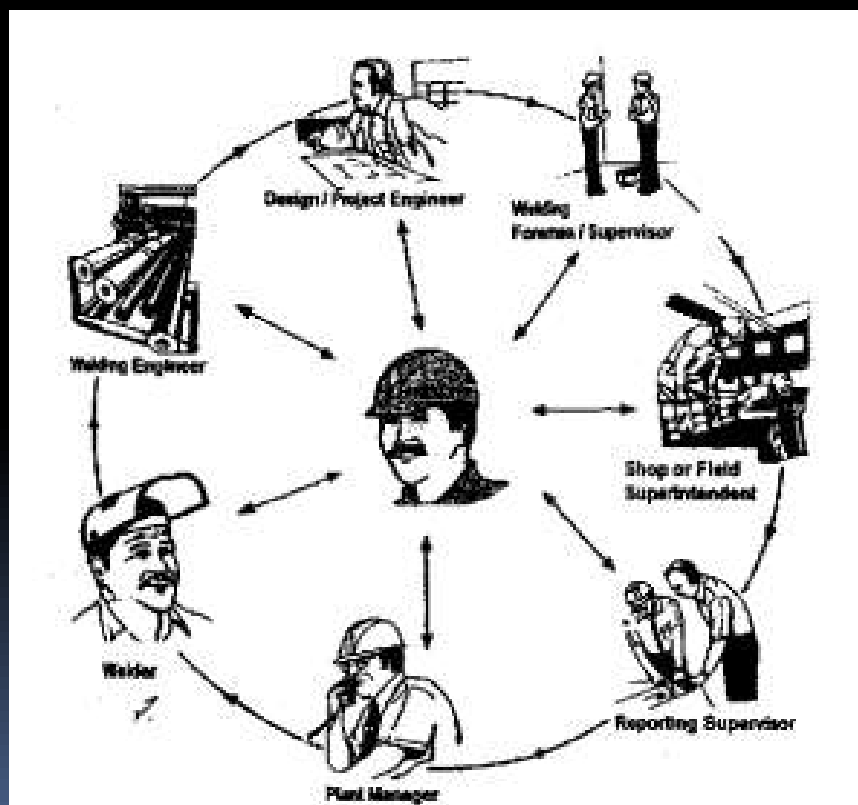
ویژگی های مهم یک بازرس جوش

- دارای اطلاعات فنی مناسب مرتبط با کار باشد
- با مراحل ساخت و تولید قطعه آشنا باشد.
- آشنایی کامل با فرایندهای جوشکاری داشته باشد.
- با موارد مصرفی مورد نیاز در پروژه آشنا باشد
- در استفاده از تجهیزات بازرسی در هر زمینه مهارت بالایی داشته باشد.
- آشنایی و مهارت کافی با استانداردهای مربوطه و مورد نیاز پروژه
- با آزمایشات مخرب و غیر مخرب کاملاً آشنا باشد.
- دارای توانایی و شرایط مناسب فیزیکی متناسب با کار باشد.
- دارای حس مسئولیت پذیری باشد
- دارای تعادل رفتاری و گفتاری مناسب باشد
- توانایی در تکمیل و نگهداری گزارشات و سوابق بازرسی

بازرس جوش و ارتباطات ایشان با دیگر نفرات مشغول به کار در پروژه

■ بازرس جوش به عنوان شخص ارتباط دهنده:

بازرس باید بتواند نظرات خود را به دیگران بازگو کرده و آماده شنیدن نظرات آنها باشد. برای بازدهی بالاتر این ارتباط باید به صورت یک حلقه پیوسته باشد اشخاصی که بازرس با آنها سر و کار دارد.



■ مهندسین جوش

■ سرپرستان بازرسی

■ سرکارگران جوشکاری

■ مهندسین طراح

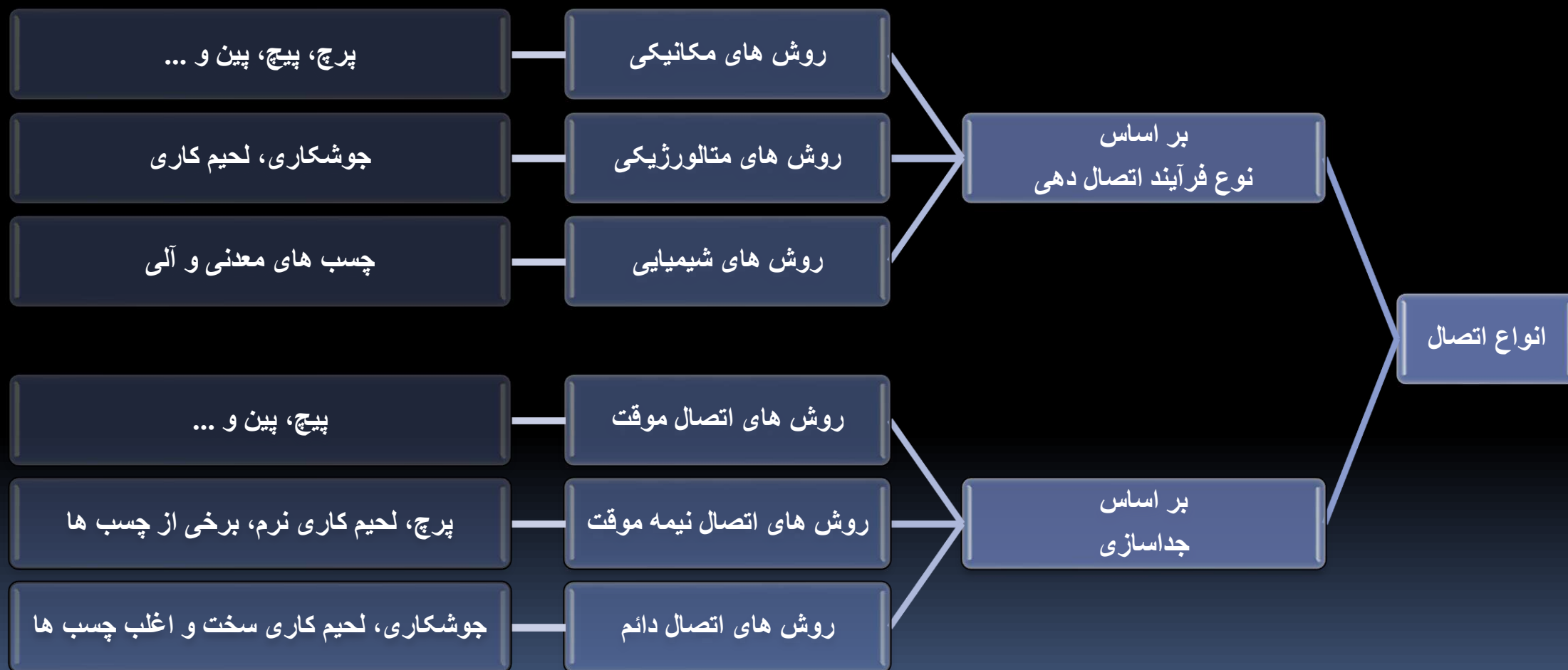
■ سرپرستان تولید

■ جوشکاران

■ کار فرما

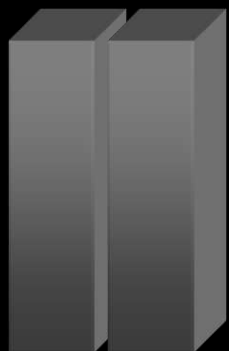
بخش دوم شناخت انواع اتصالات مرسوم در صنعت

انواع اتصالات

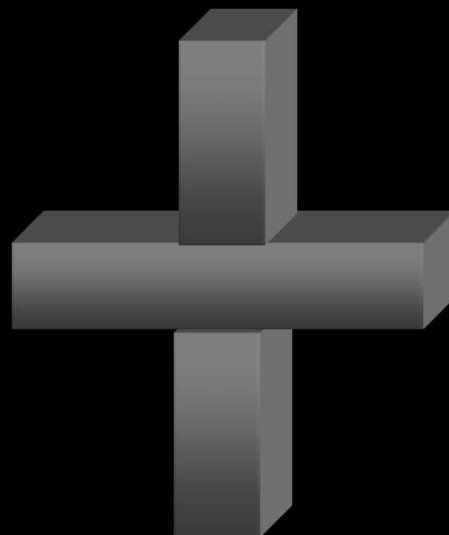


انواع اتصالات متداول جوشی در صنعت

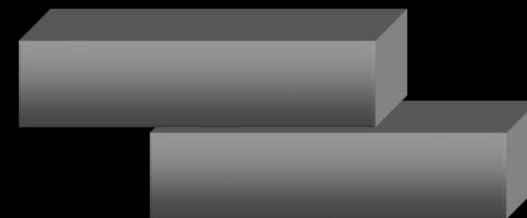
طرح اتصال join design



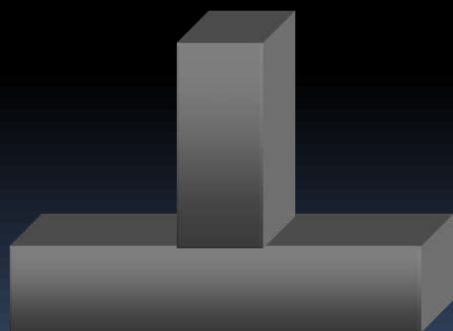
Edge



Cruciform



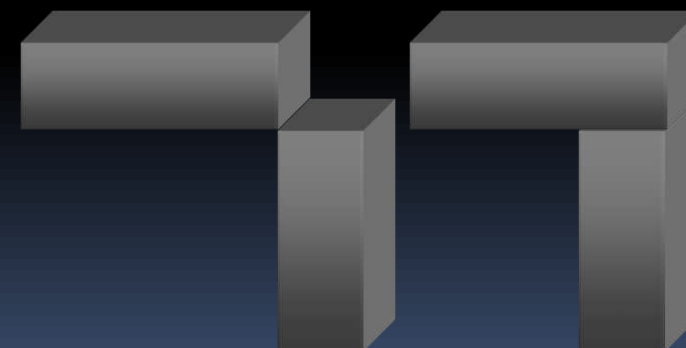
Lap



Tee



Butt



Open & Closed Corner

■ بخش سوم تعریف جوش و مفاهیم قوس الکتریکی و نحوه ایجاد یک جوش با کیفیت

■ تعاریف و مفاهیم

تعریف جوشکاری

جوش ایده آل جوشی است که نتوان آن را از قسمت های دیگر مشخص کرد.

۱- جوشکاری (Welding) یکی از روش های تولید می باشد. هدف آن اتصال دائمی مواد مهندسی (فلزات، سرامیک ها، پلیمرها، کامپوزیت ها) به یکدیگر است؛ به گونه ای که خواص اتصال برابر با خواص ماده پایه باشد.

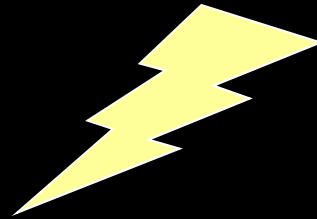
۲- حذف کردن فاصله بین اتم های دو قطعه در محل تماس به منظور ایجاد جاذبه بین اتم های آنها را جوشکاری می گویند.

۳- جوشکاری یکی از فرایندهای اتصال دائمی قطعات (فلزی یا غیرفلزی)، به روش ذوبی یا غیر ذوبی، با به کارگیری یا بدون بکارگیری فشار، با استفاده یا بدون استفاده از ماده پرکننده می باشد.



منظور از یک جوش مناسب

تعریف قوس

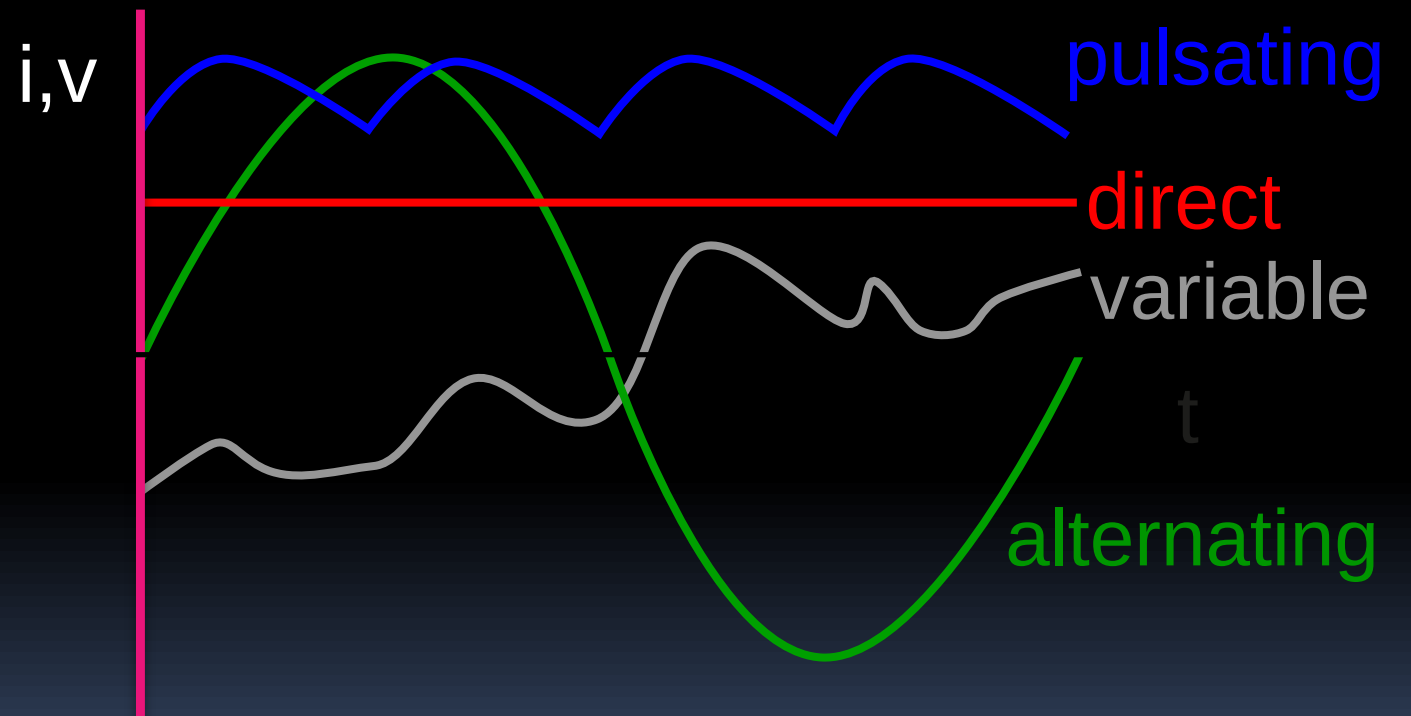
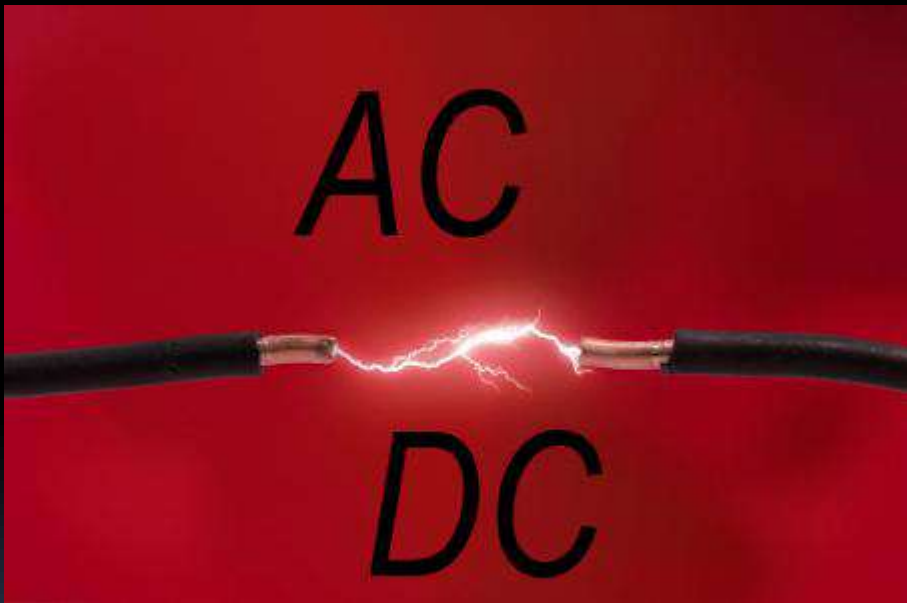


- قوس عبارت است از تخلیه الکتریکی بین دو الکترود (آند و کاتد) در یک محیط یونیزه.
- نیروی محرکه برای جریان سیال در قوس نیروی الکترومغناطیسی است که آنرا نیروی لورنتز گویند.

$$\mathbf{F} = \mathbf{J} * \mathbf{B}$$

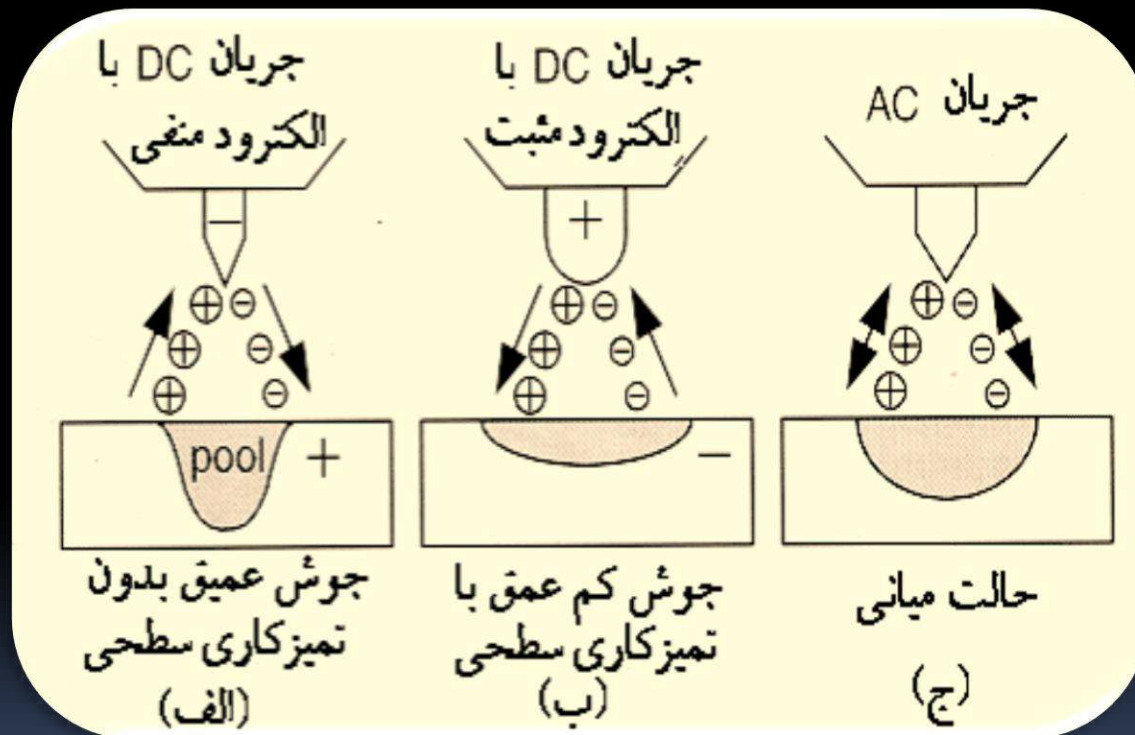
Lorentz Force

انواع جریان



اثر قطبیت در قوس الکتریکی

- الف. جریان مستقیم - الکترود قطب منفی (DCEN)
- ب. جریان مستقیم - الکترود قطب مثبت (DCEP)
- ج. جریان متناوب



دستگاه های جوشکاری

Manual

- روش های دستی

Semiautomatic

- روش های نیمه اتوماتیک

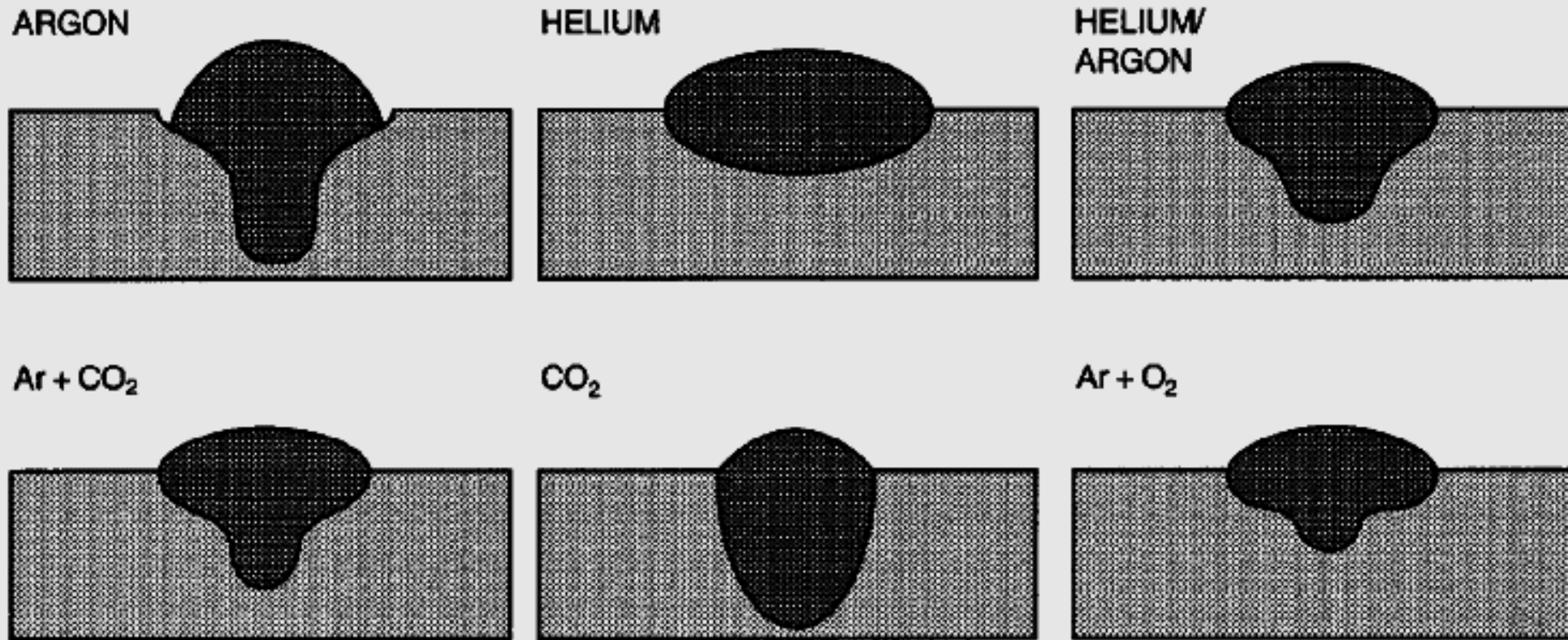
Automatic

- روش های اتوماتیک

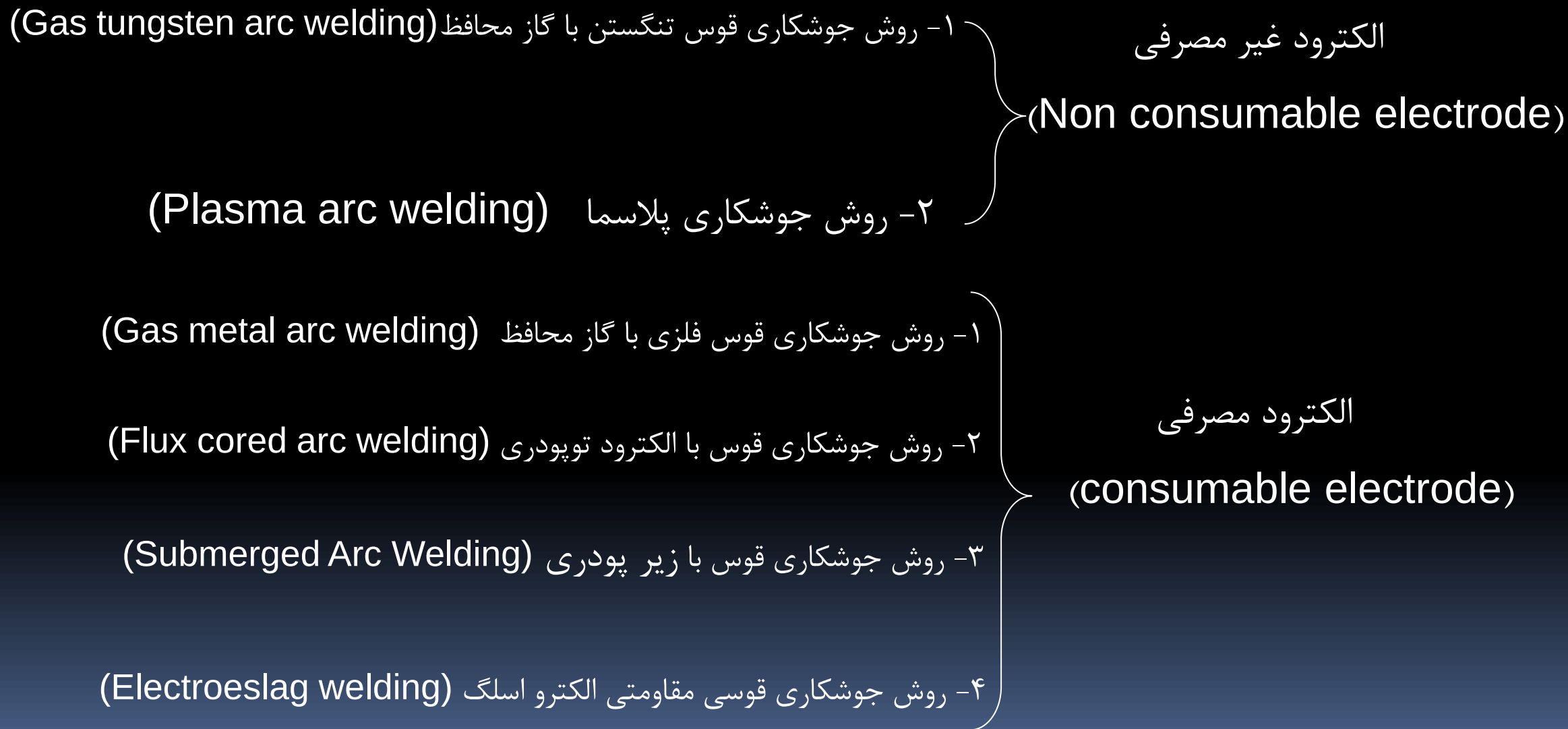
جوشکار و اپراتور جوشکاری

- جوشکار (welder) : شخصی که با روش های دستی جوشکاری می کند.
- اپراتور جوشکاری (operatore) : شخصی که با روشهای اتوماتیک و نیمه اتوماتیک کار می کند.

تأثیر توزیع حرارت قوس روی عرض و عمق جوش بر اساس گازهای محافظ مورد استفاده در فرایند جوشکاری

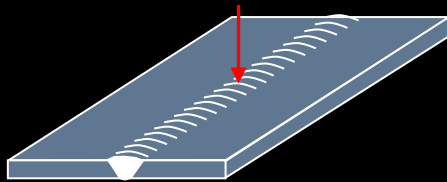


انواع روشهای متداول جوشکاری در صنعت

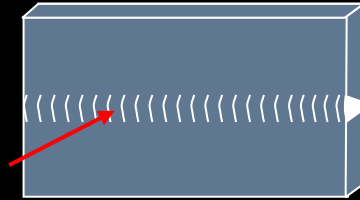


موقعیت های جوشکاری welding position

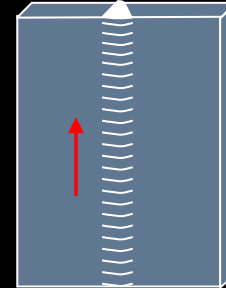
در جوشکاری گاه اتفاق می افتد که جوشکار باید در حالتی غیر از حالت تخت جوشکاری کند و لذا باید با شرایط و پارامترهای مورد نیاز در هر شرایط جوشکاری آشنا باشد.



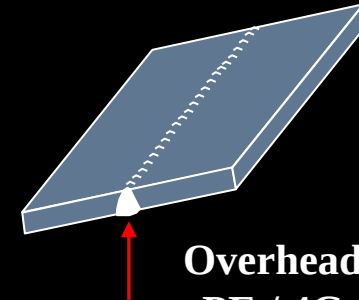
Flat: PA / 1G:



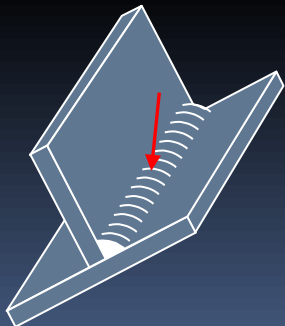
**Horizontal vertical:
PC / 2G:**



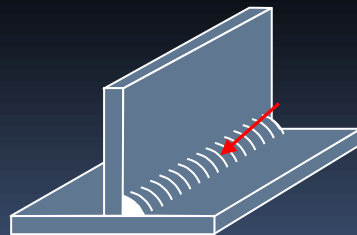
**Vertical upwards
PF / 3G**



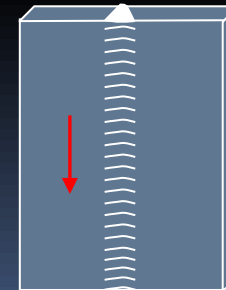
**Overhead
PE / 4G**



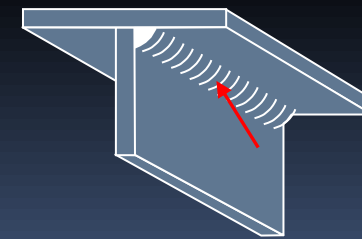
Flat PA / 1F



**Horizontal
vertical: PB / 2F:**

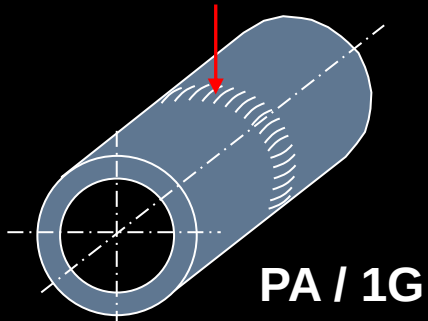


**Vertical downwards
PG / 3G**

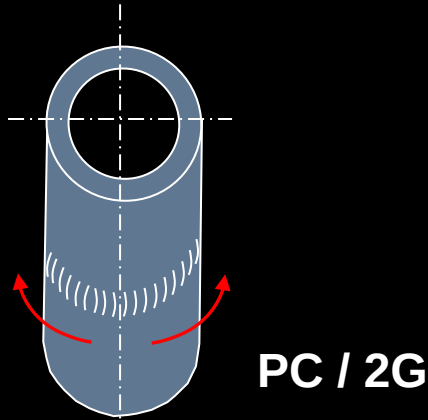


**Horizontal overhead
PD / 4F**

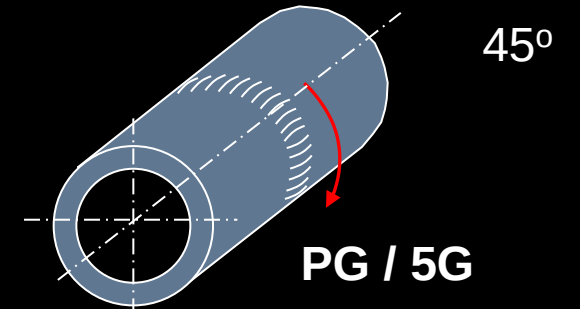
موقعیت های جوشکاری welding position



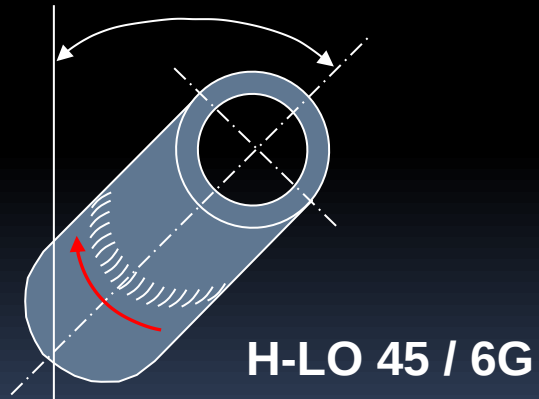
PA / 1G
Weld: Flat
Pipe: rotated
Axis: Horizontal



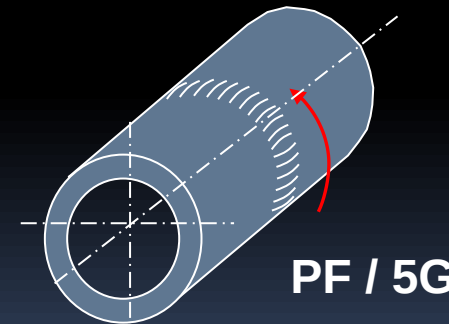
PC / 2G
Weld: Horizontal vertical
Pipe: Fixed
Axis: Vertical



PG / 5G
Weld: Vertical Downwards
Pipe: Fixed
Axis: Horizontal

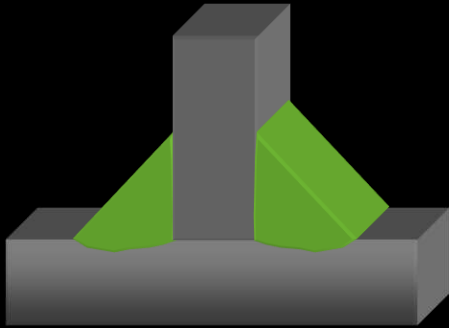


H-LO 45 / 6G
Weld: Upwards
Pipe: Fixed
Axis: Inclined

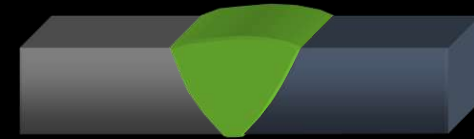


PF / 5G
Weld: Vertical upwards
Pipe: Fixed
Axis: Horizontal

انواع جوش weld type



Fillet

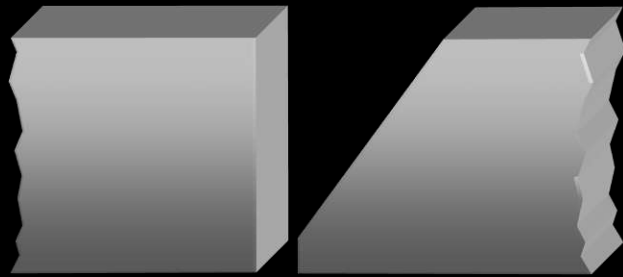


Groove

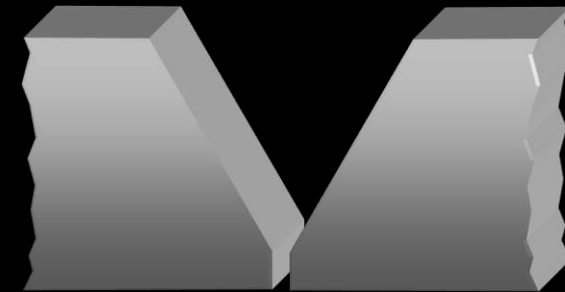
انواع آماده سازی اتصالات در جوش شیارى Groove

اتصالات لب به لب BUTT WELD

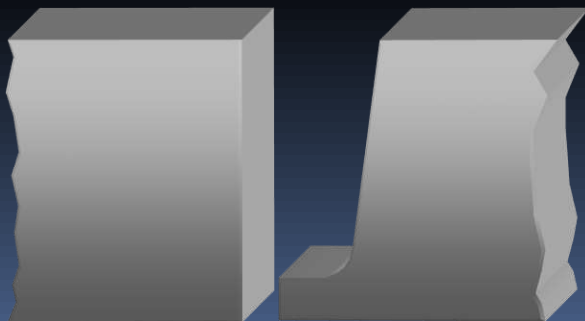
- اتصالات لب به لب یکی از پر استفاده ترین اتصالات جوشکاری است.
- اتصالات یک طرفه در مورد قطعه های نازک یا زمانی که دستیابی به دو طرف قطعه امکان پذیر نباشد مورد استفاده قرار می گیرد.



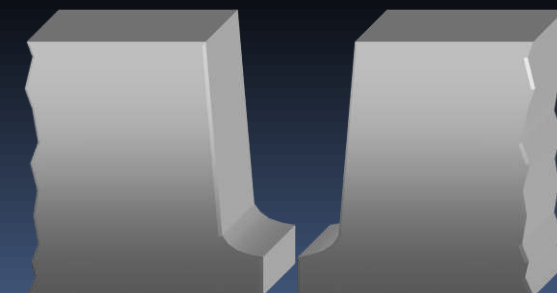
Single Bevel



Single Vee



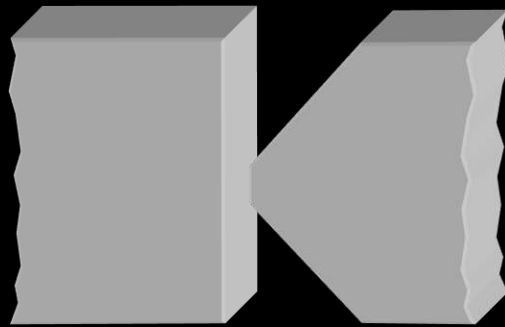
Single J



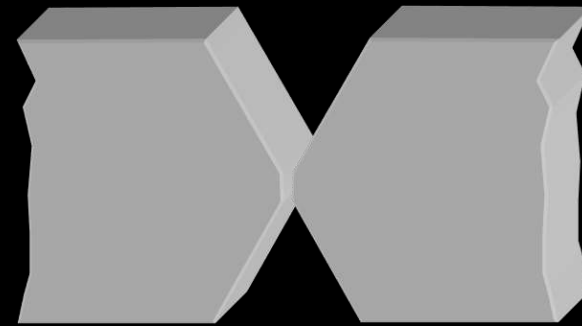
Single U

اتصالات لب به لب BUTT WELD

- اتصالات دو طرفه در مورد قطعه های ضخیم یا زمانی که در دستیابی به دو طرف قطعه محدودیتی وجود نداشته باشد مورد استفاده قرار می گیرد.



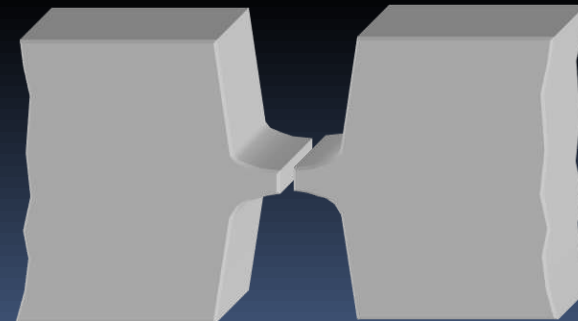
Double Bevel



Double Vee



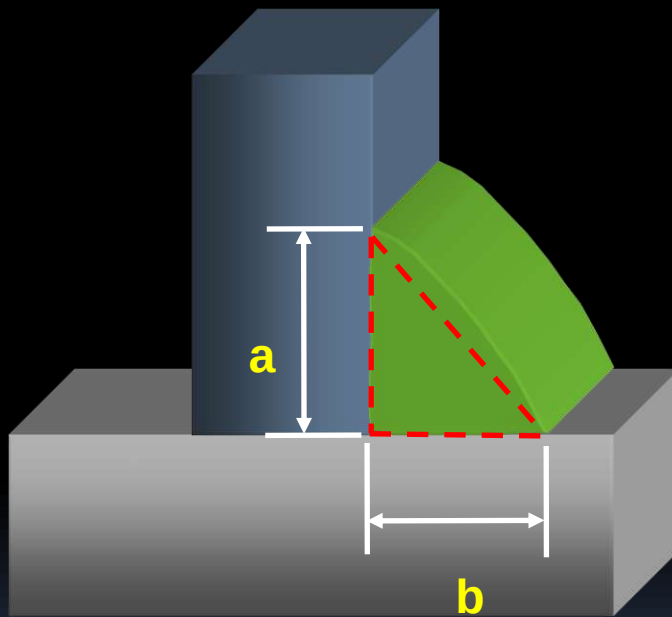
Double J



Double U

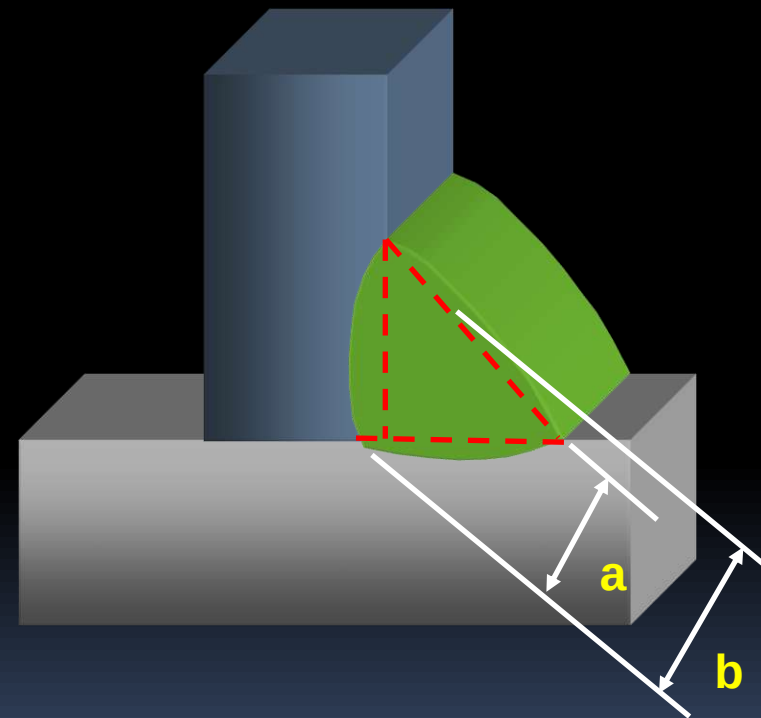
FILLET WELD اتصالات نبشی

- اتصالات نبشی گروه دیگری از اتصالات جوشکاری است که در شرایط مختلف و به فراخور نیاز مورد استفاده قرار می گیرند.



a. = Vertical leg length

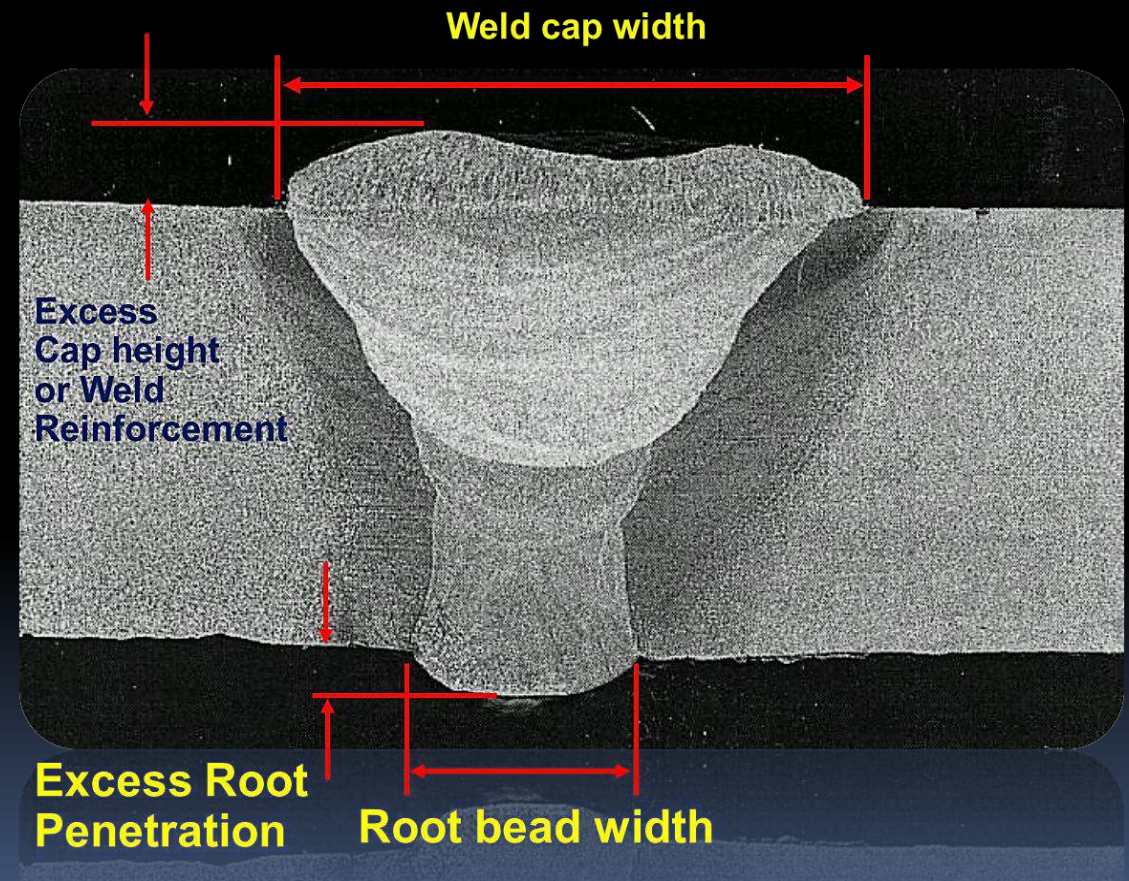
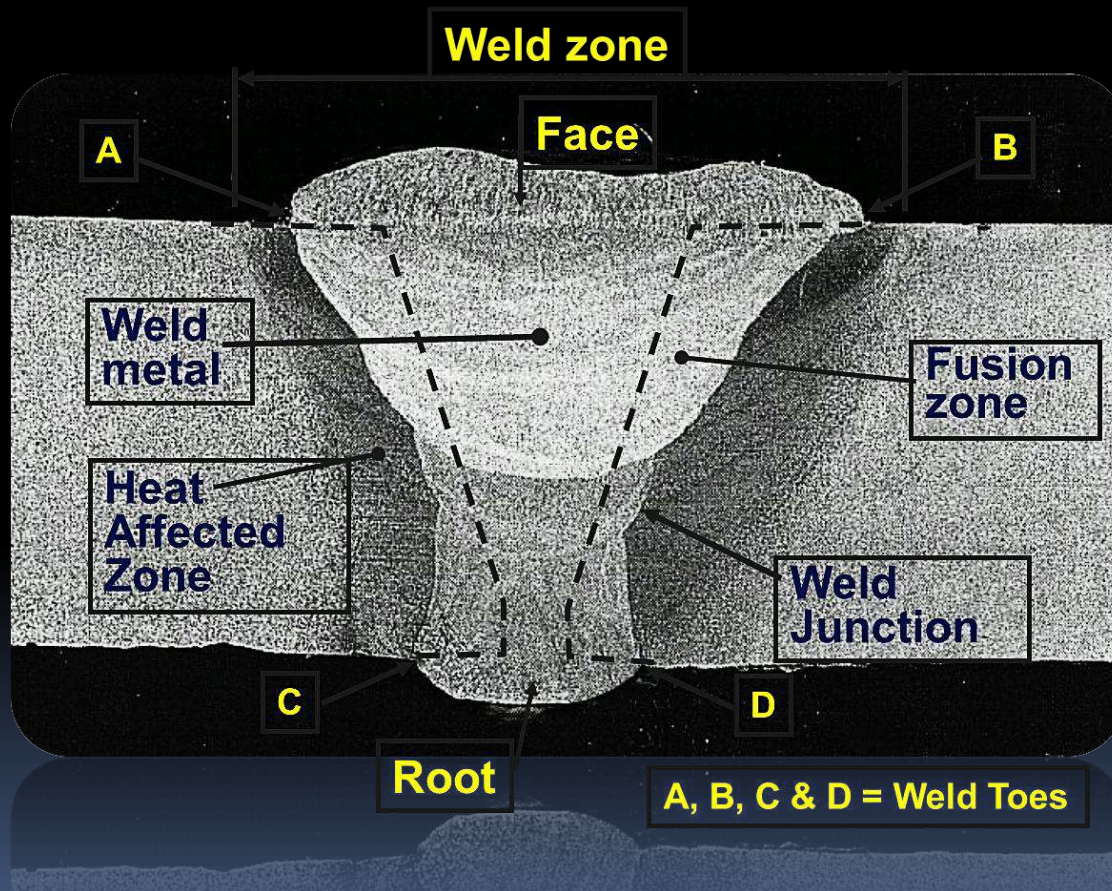
b. = Horizontal leg length



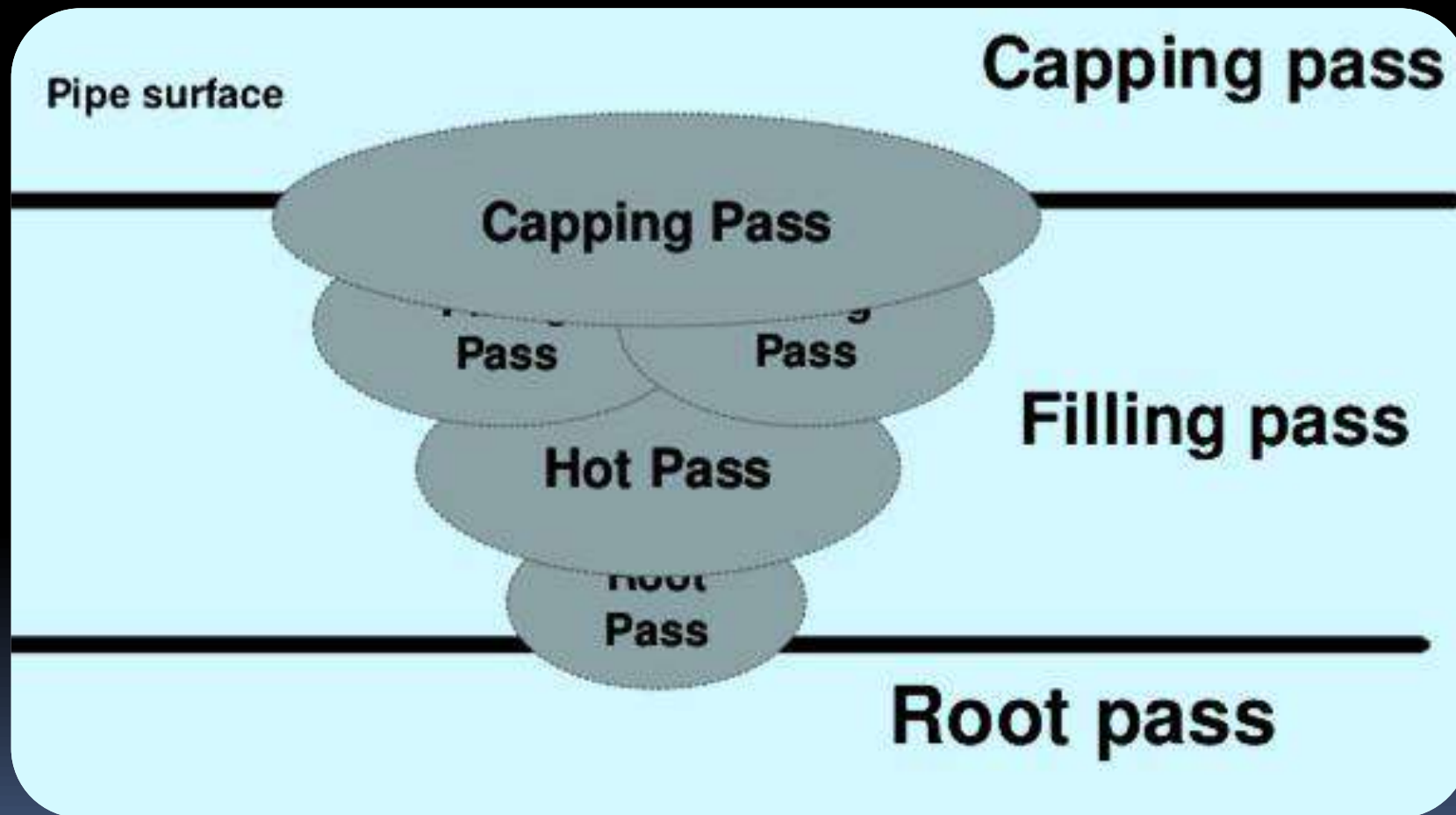
a. = Design Throat Thickness

b. = Depth of Penetration

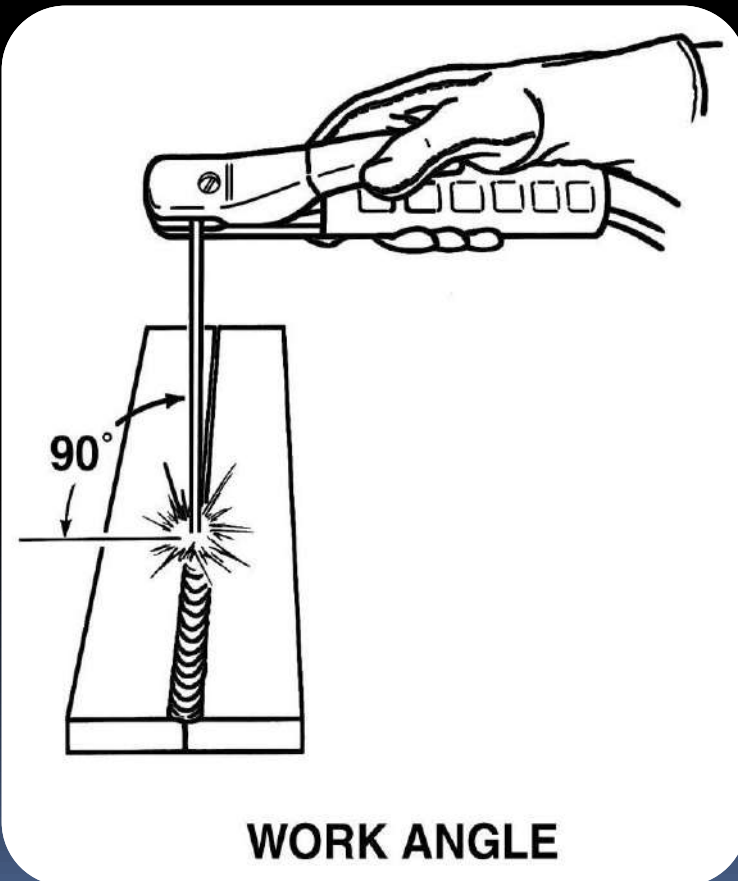
معرفی مناطق مختلف جوشکاری



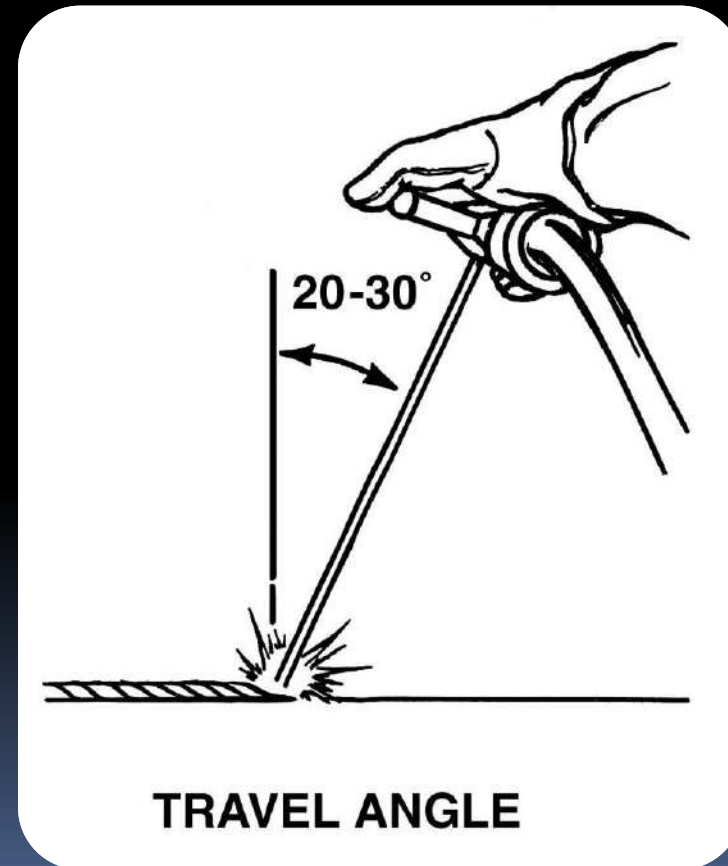
انواع پاس های جوشکاری



زوایای جوشکاری بدون فیلر

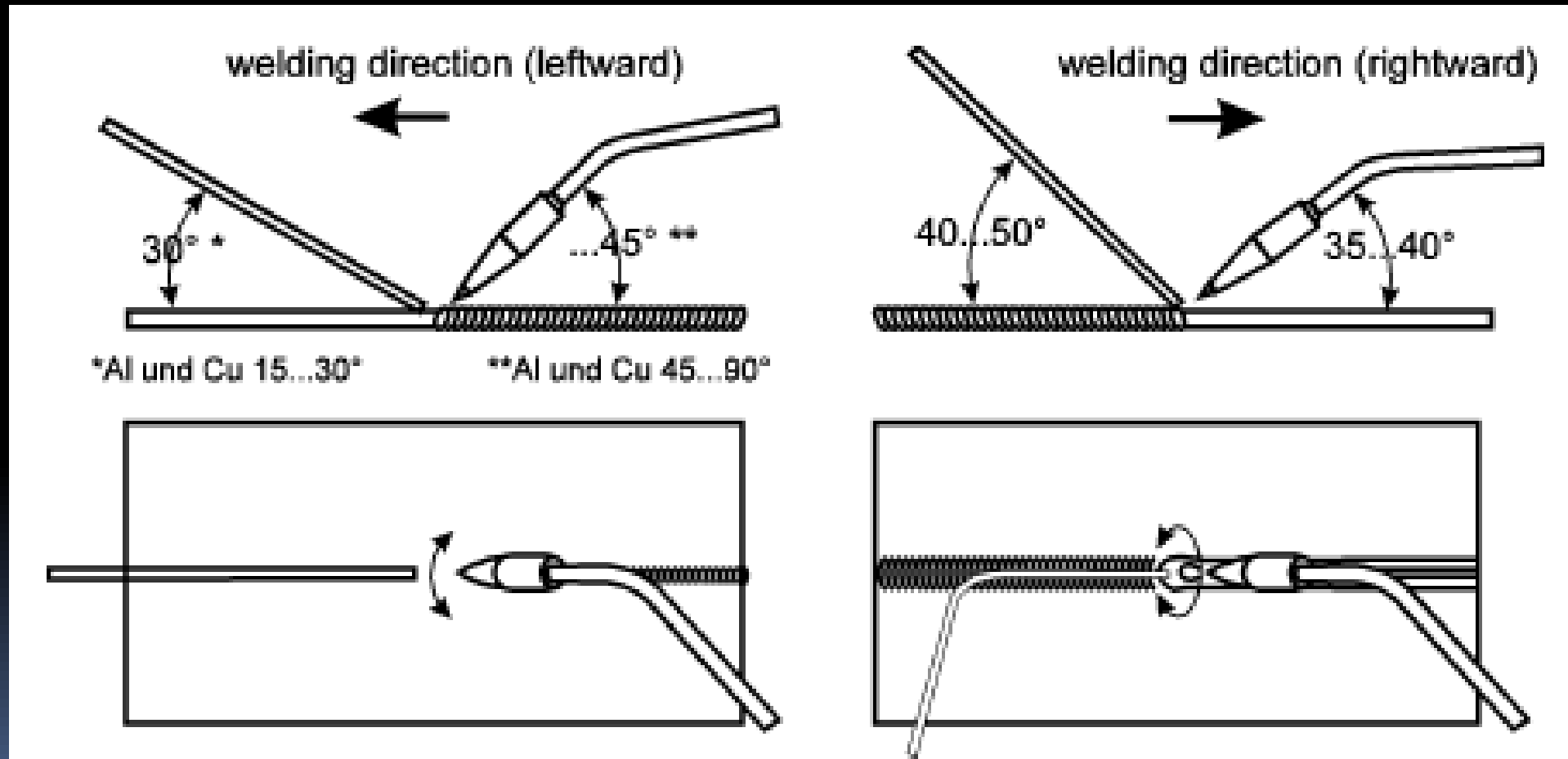


WORK ANGLE



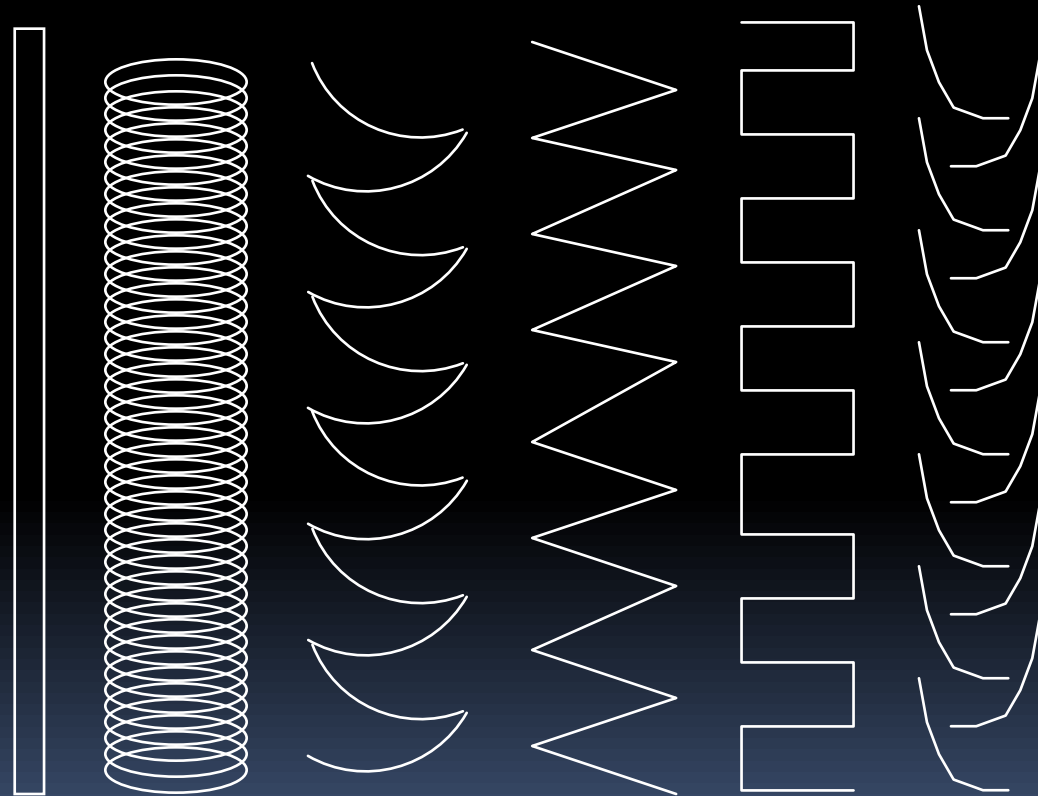
TRAVEL ANGLE

زوایای جوشکاری با فیلر



Techniques

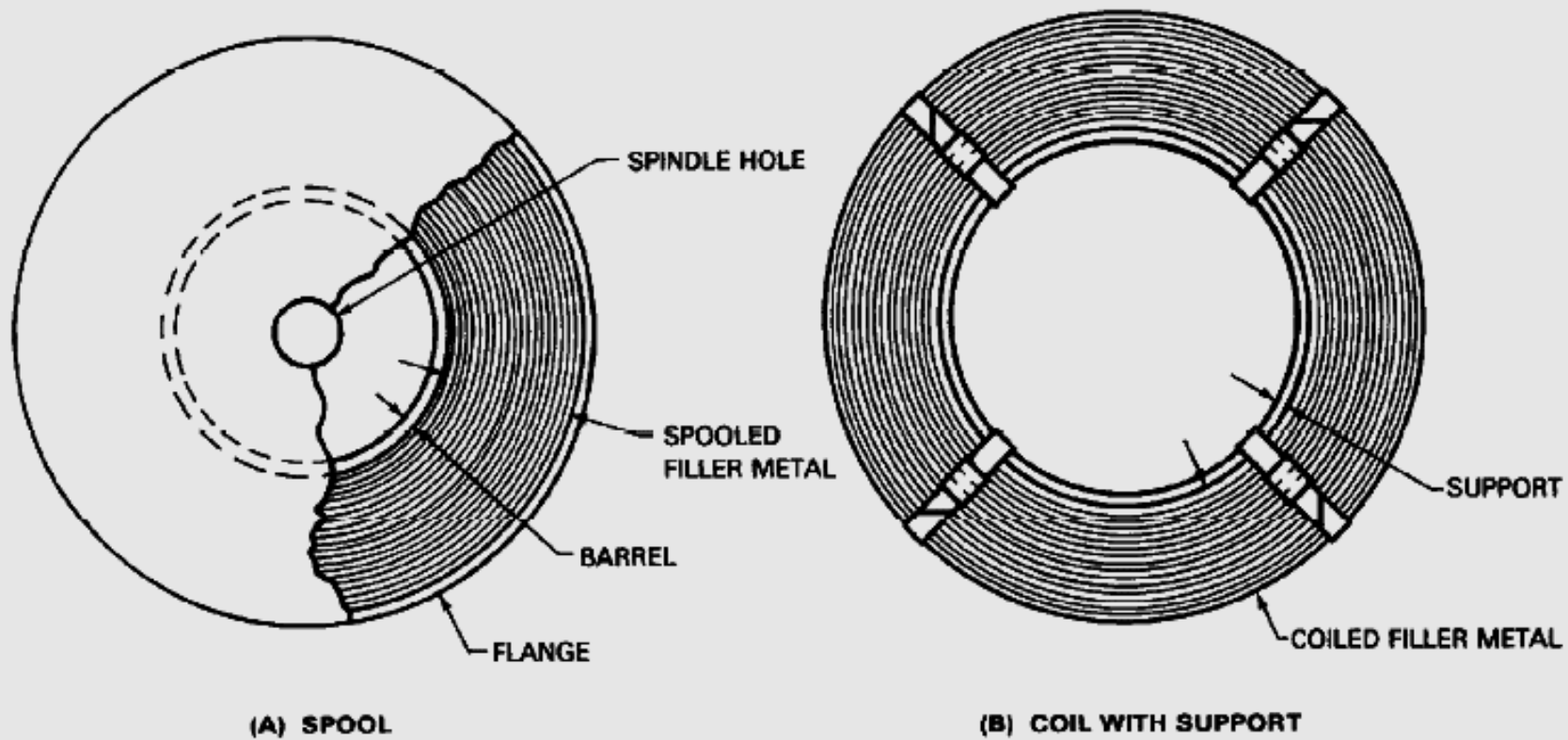
- Stringer (drag) (whip)
- Weave
 - crescent
 - zig zag
 - box weave
 - double J



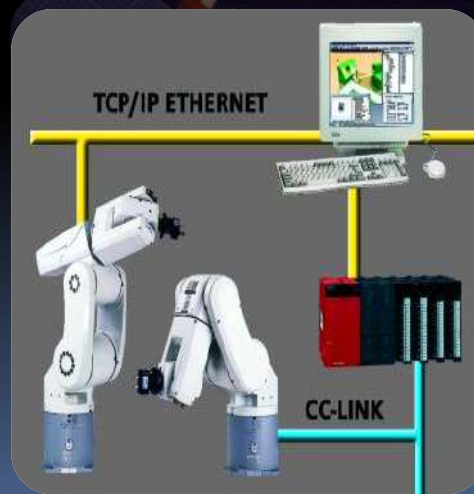
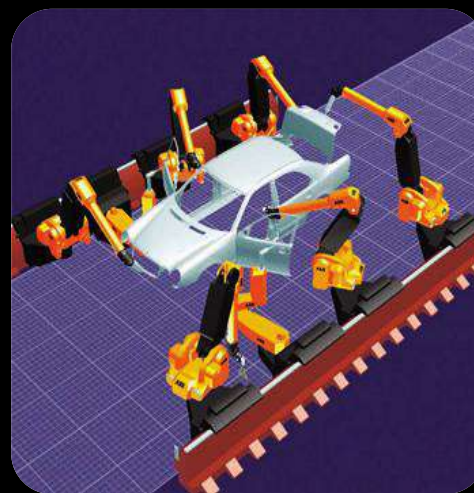
مواد مصرفی



قرقره و کلاف سیم جوش



رباتیک در جوشکاری

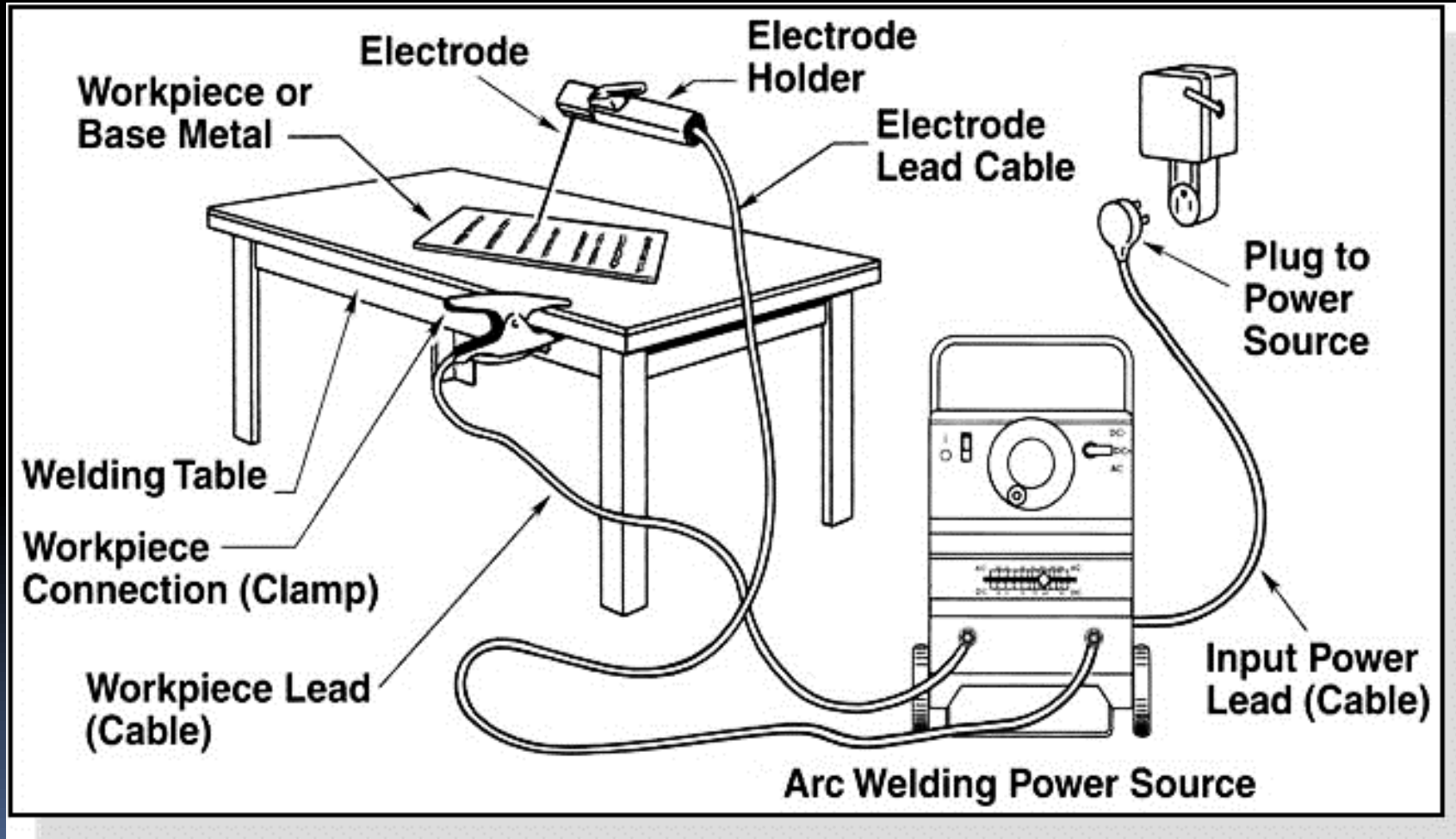


بخش چهارم معرفی کامل فرایندهای متداول جوشکاری در صنعت

جوشکاری قوس الکتریکی

(برق) SMAW

فرایند جوشکاری الکترو دستی SMAW



اجزاء مختلف روش جوشکاری SMAW

Control panel
(amps, volts)

Electrode
oven

Electrodes

Return lead

Welding
visor/filter glass

Power source

Holding oven

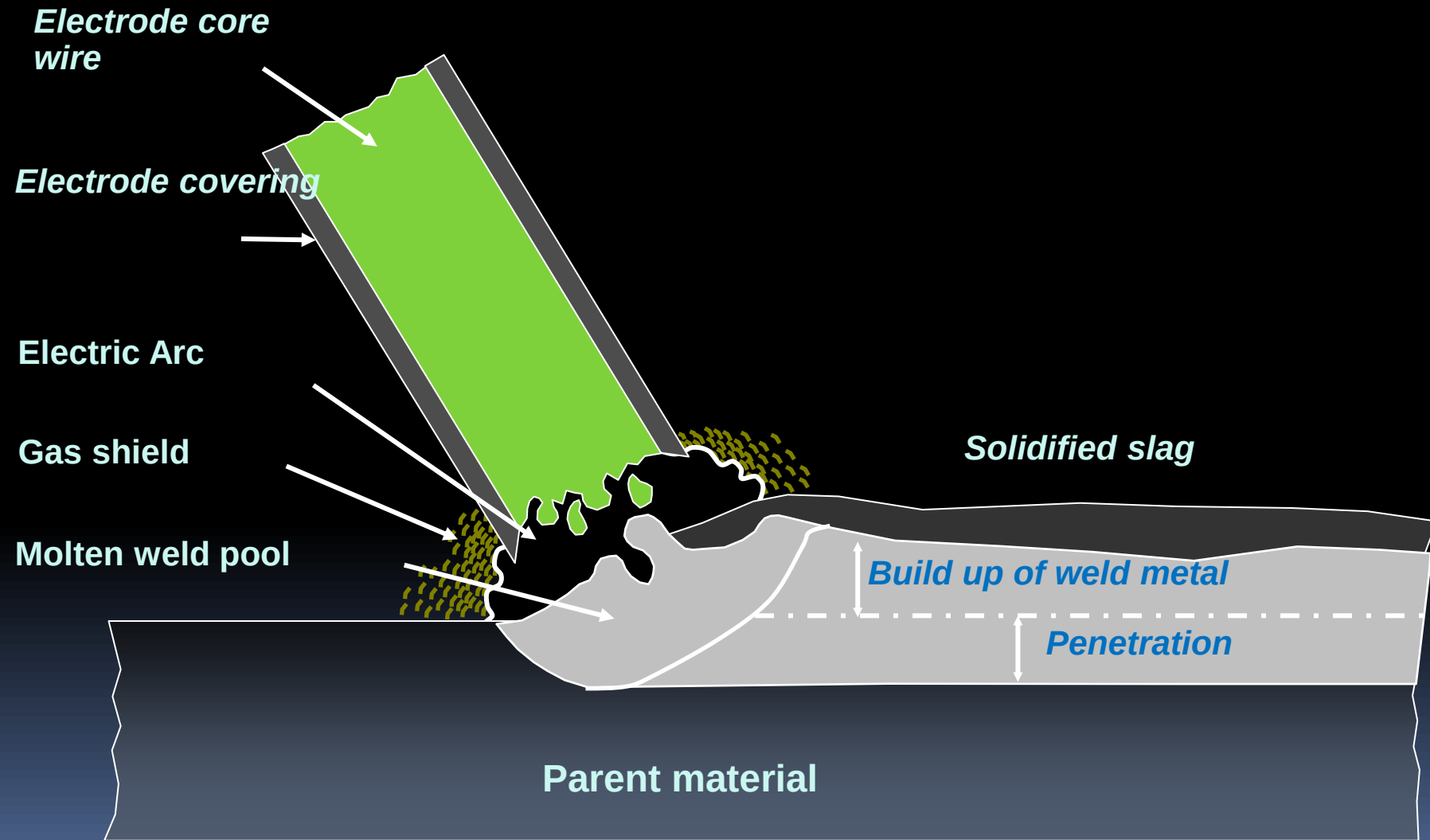
Inverter power
source

Electrode holder

Power cables

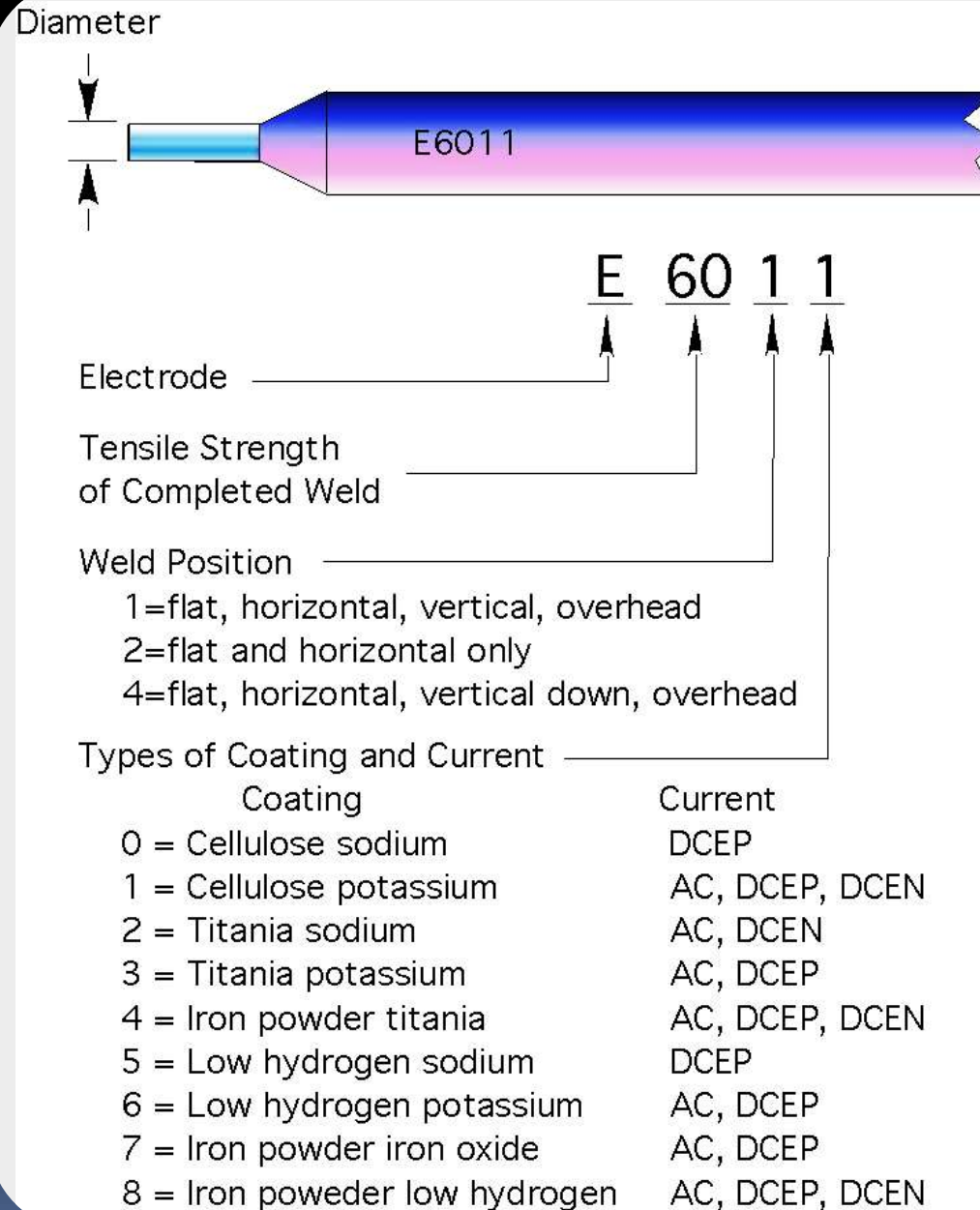


فرایند جوشکاری الکترود دستی Shilded metal arc welding



فرایند جوشکاری الکتروود دستی SMAW

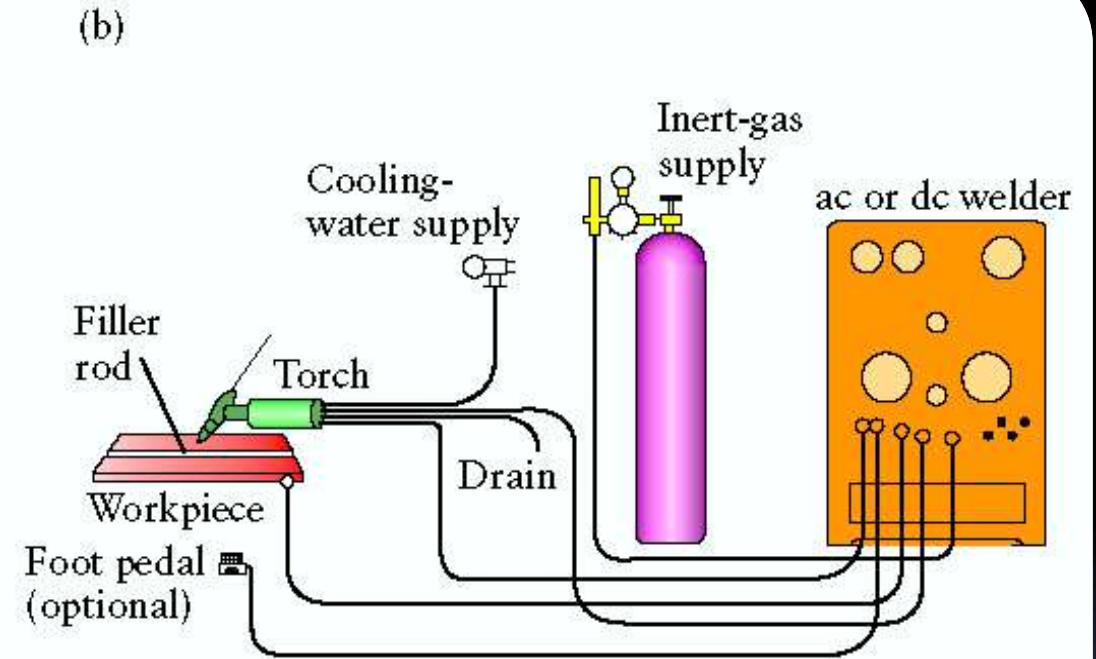
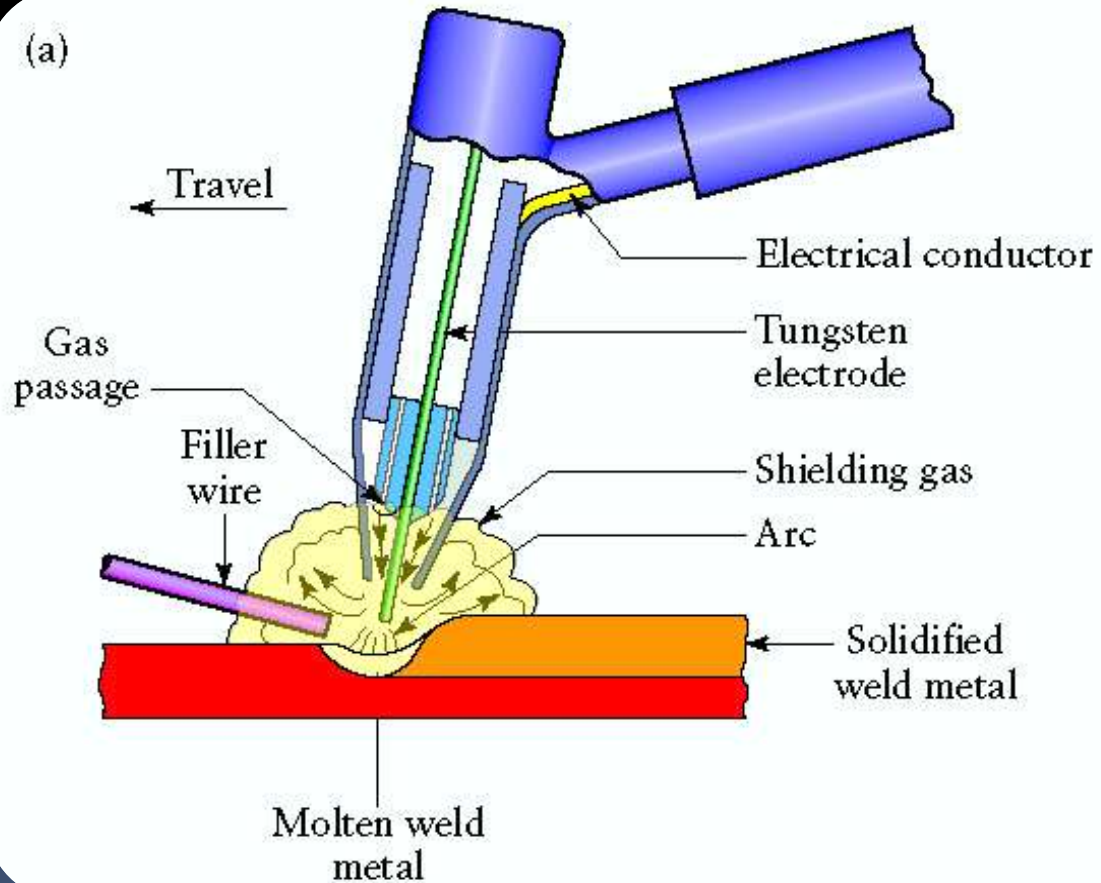




جوشکاری قوس تنگستن با

گاز محافظ (آرگون) GTAW

شماتیک اجزا در فرآیند GTAW



اجزاء جوشکاری قوس تنگستن با گاز محافظ

Power control
panel

Return lead

Torch assembly

Tungsten
electrodes



Power source

Inverter power source

Source control panel

Power cable hose

Flow-meter

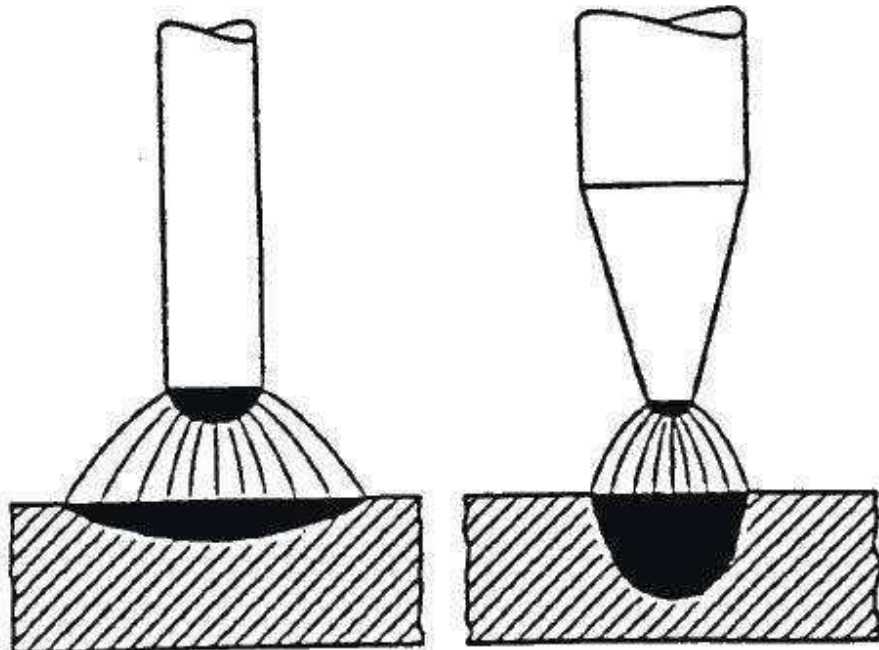
نمایی از یک تورچ هواخنک



نمایی از یک تورچ هواخنک

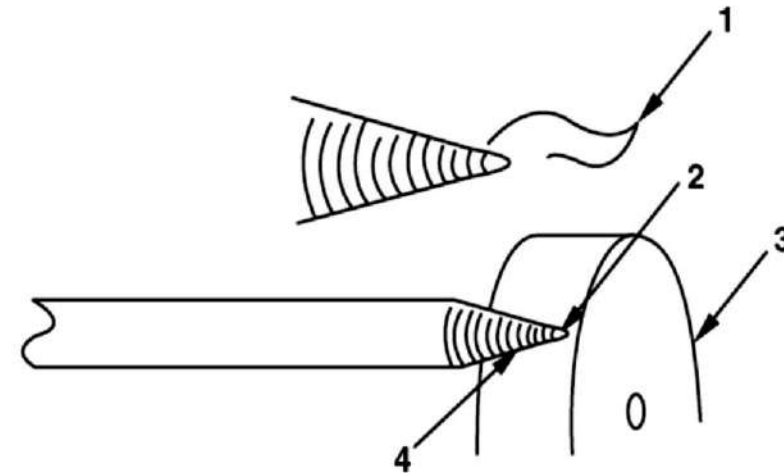


نمایی از یک تورچ هواخنک



Broad and flat
penetration

Narrow and deep
penetration



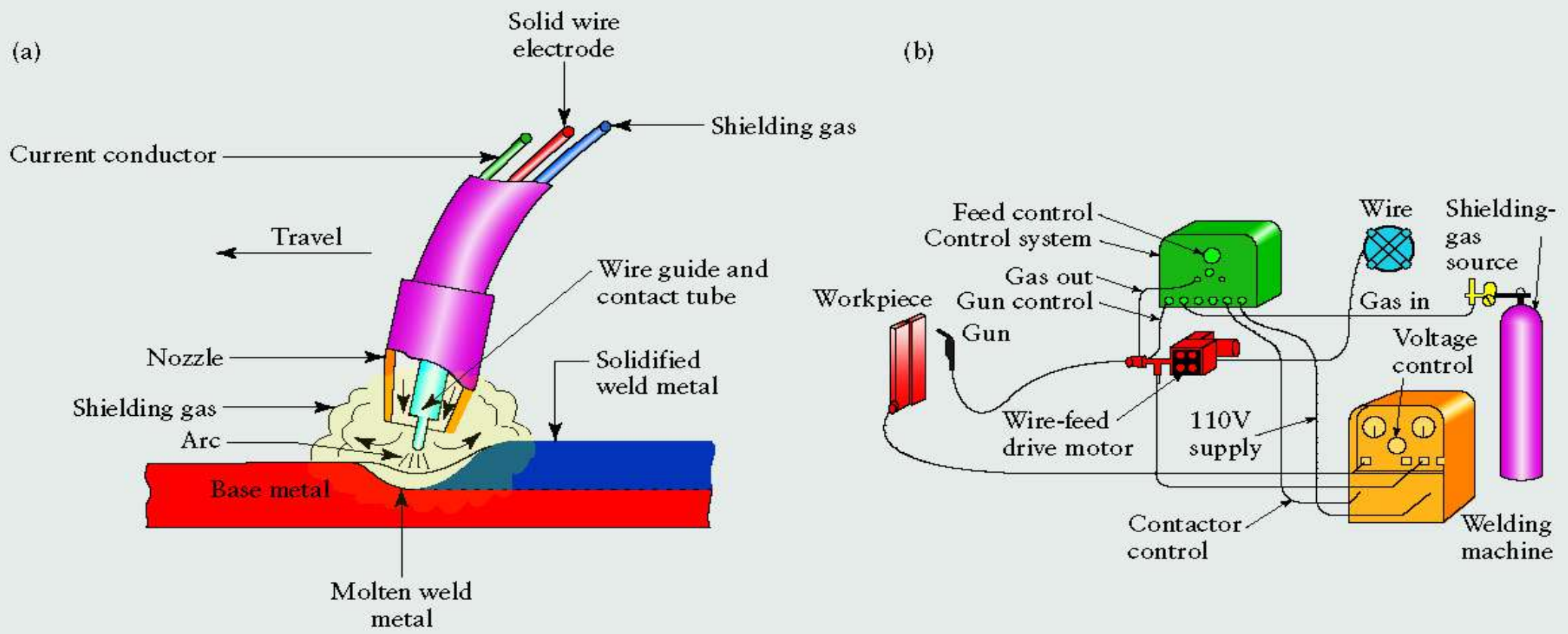
Wrong Tungsten Preparation - Wandering Arc

1. Arc Wander
2. Point
3. Grinding Wheel
4. Radial Ground

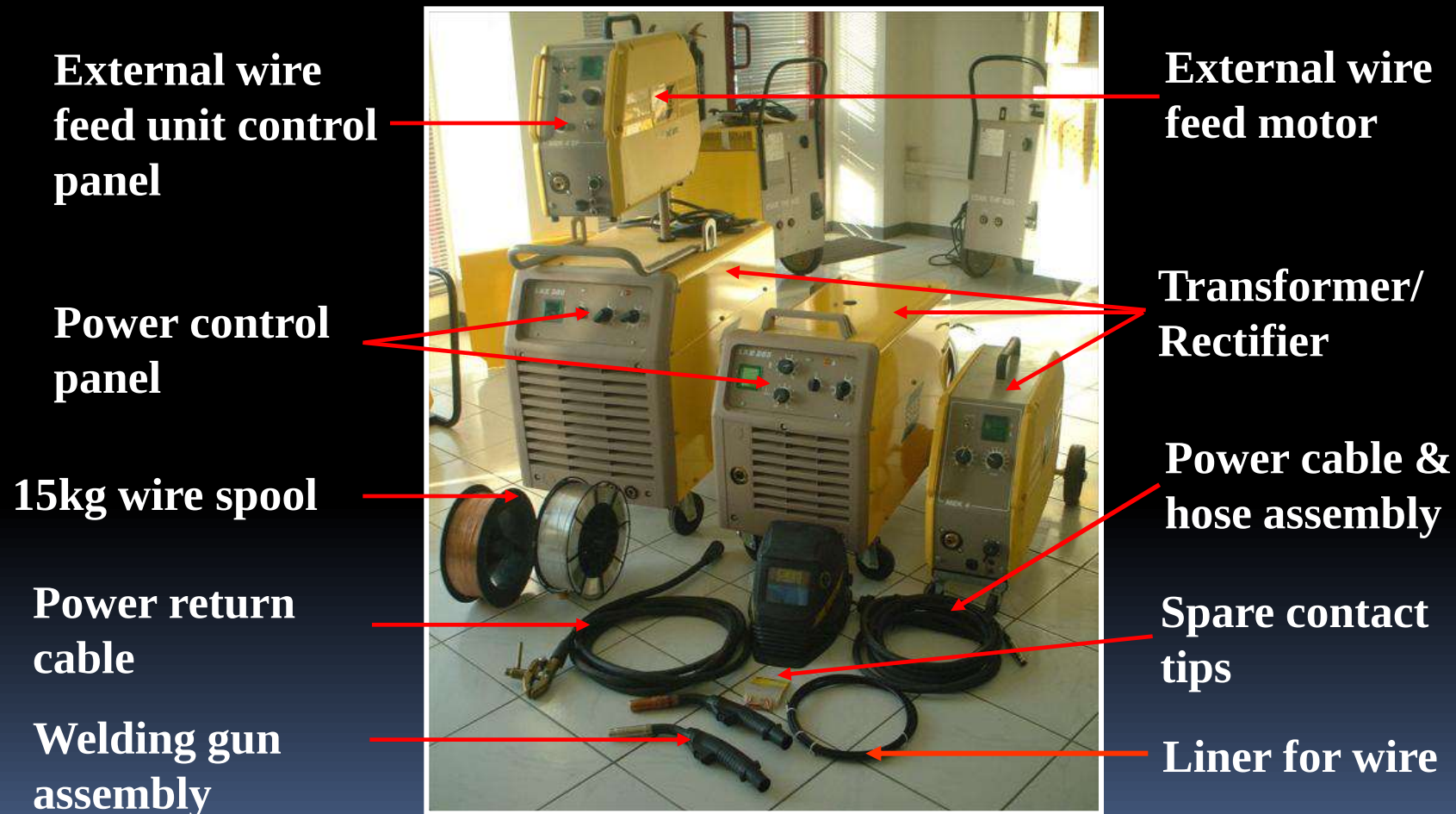
جوشکاری قوس فلزی با گاز

محافظ (CO₂) GMAW

سیستم Hot Wire



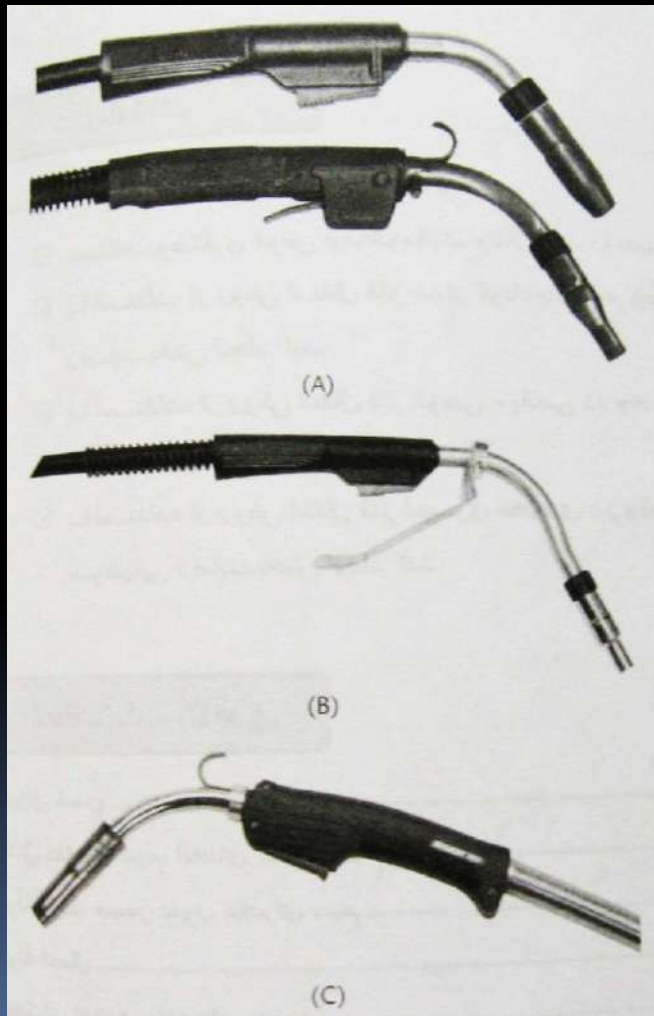
اجزاء فرایند جوشکاری GMAW, MIG/MAG



واحد تغذیه سیم جوش



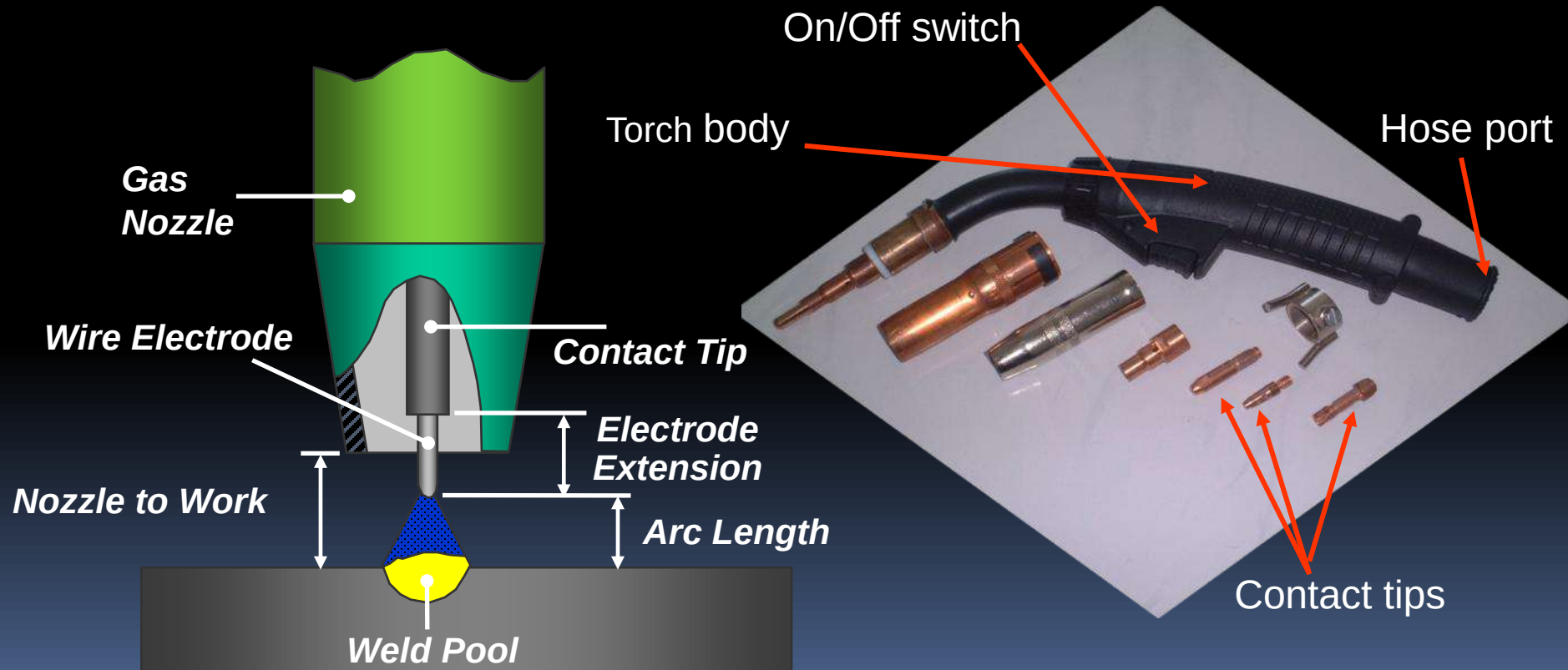
تورچ جوشکاری



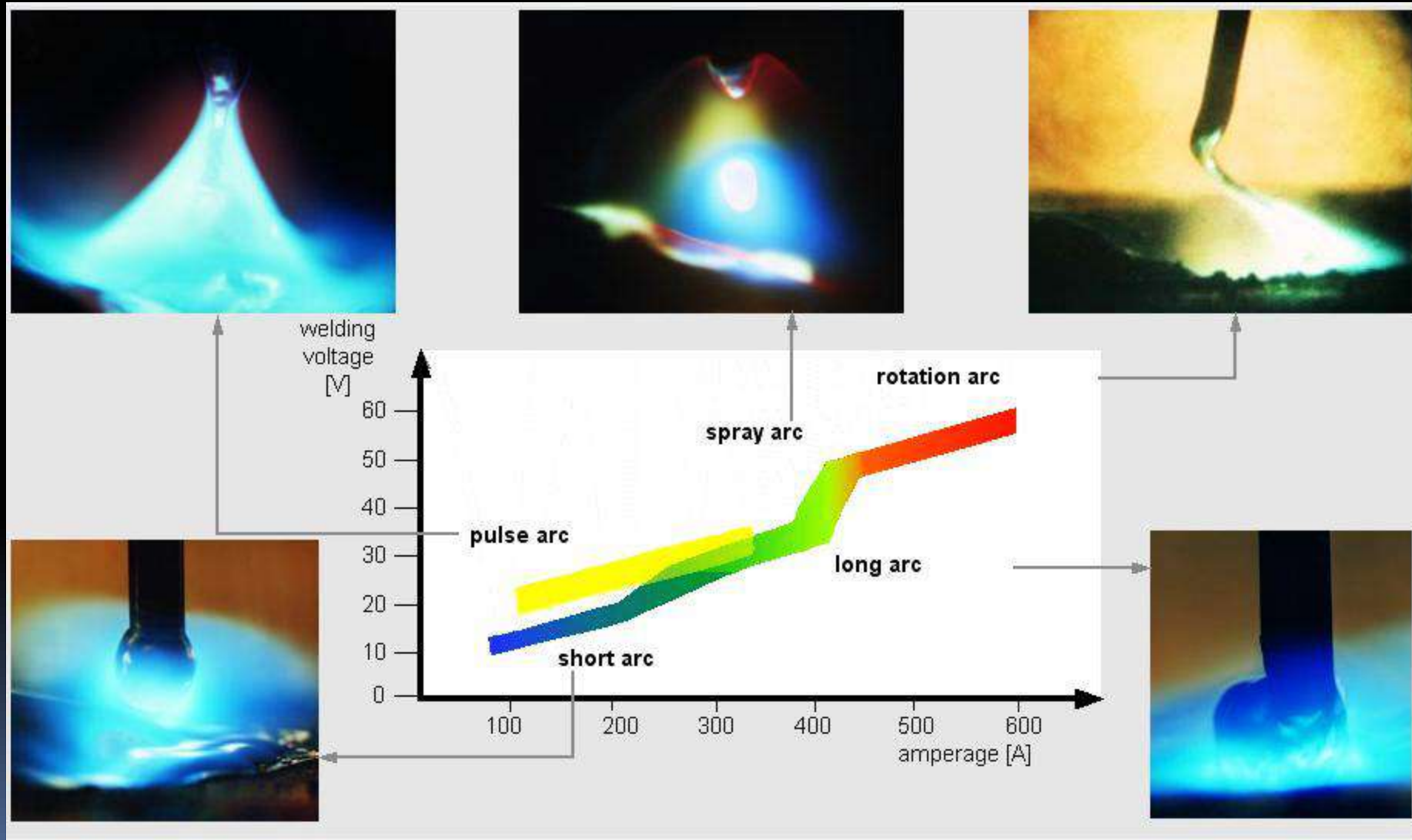
۱- آب خنک

۲- هوا خنک

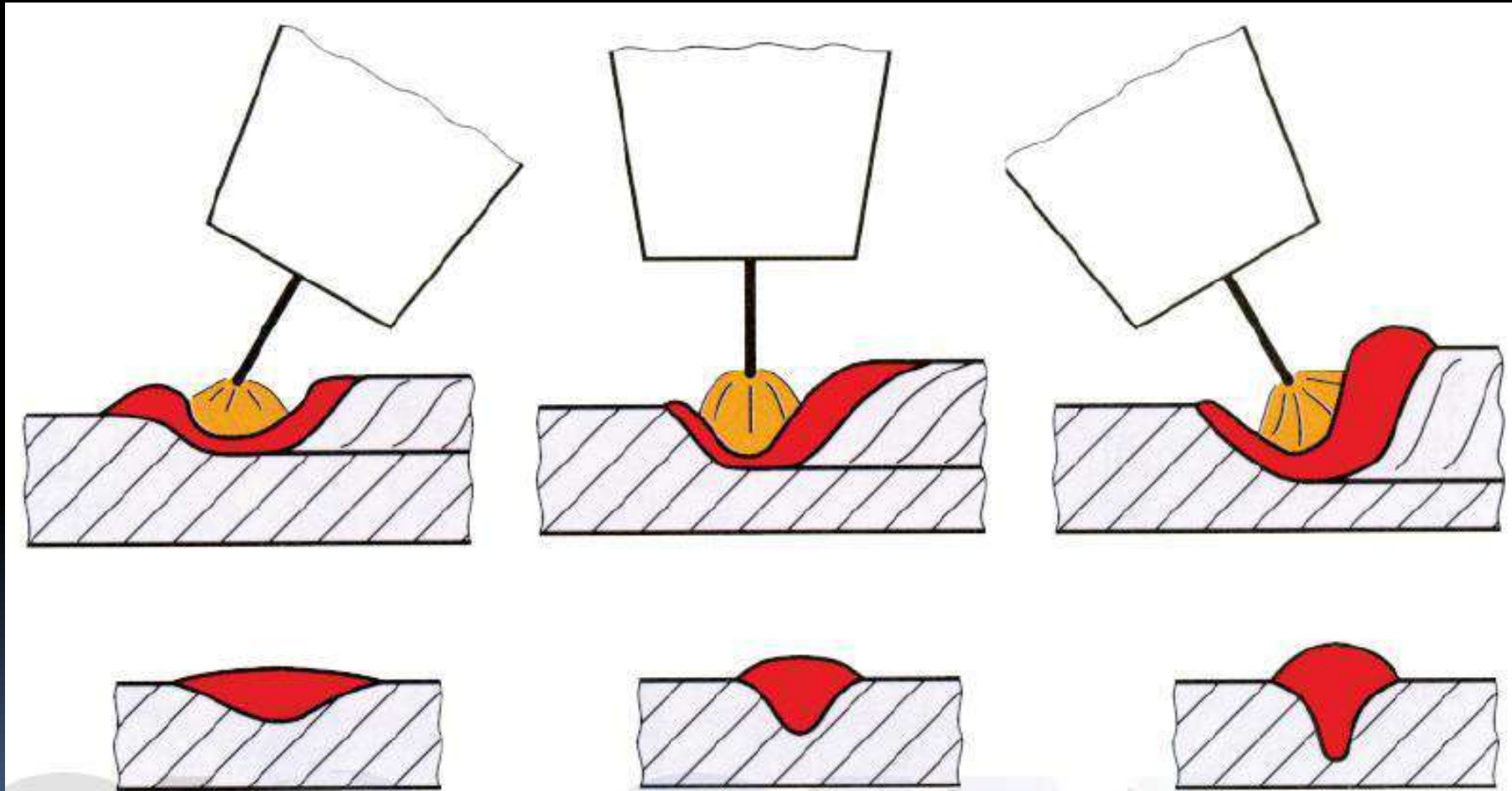
جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ GMAW



انواع انتقال فلز



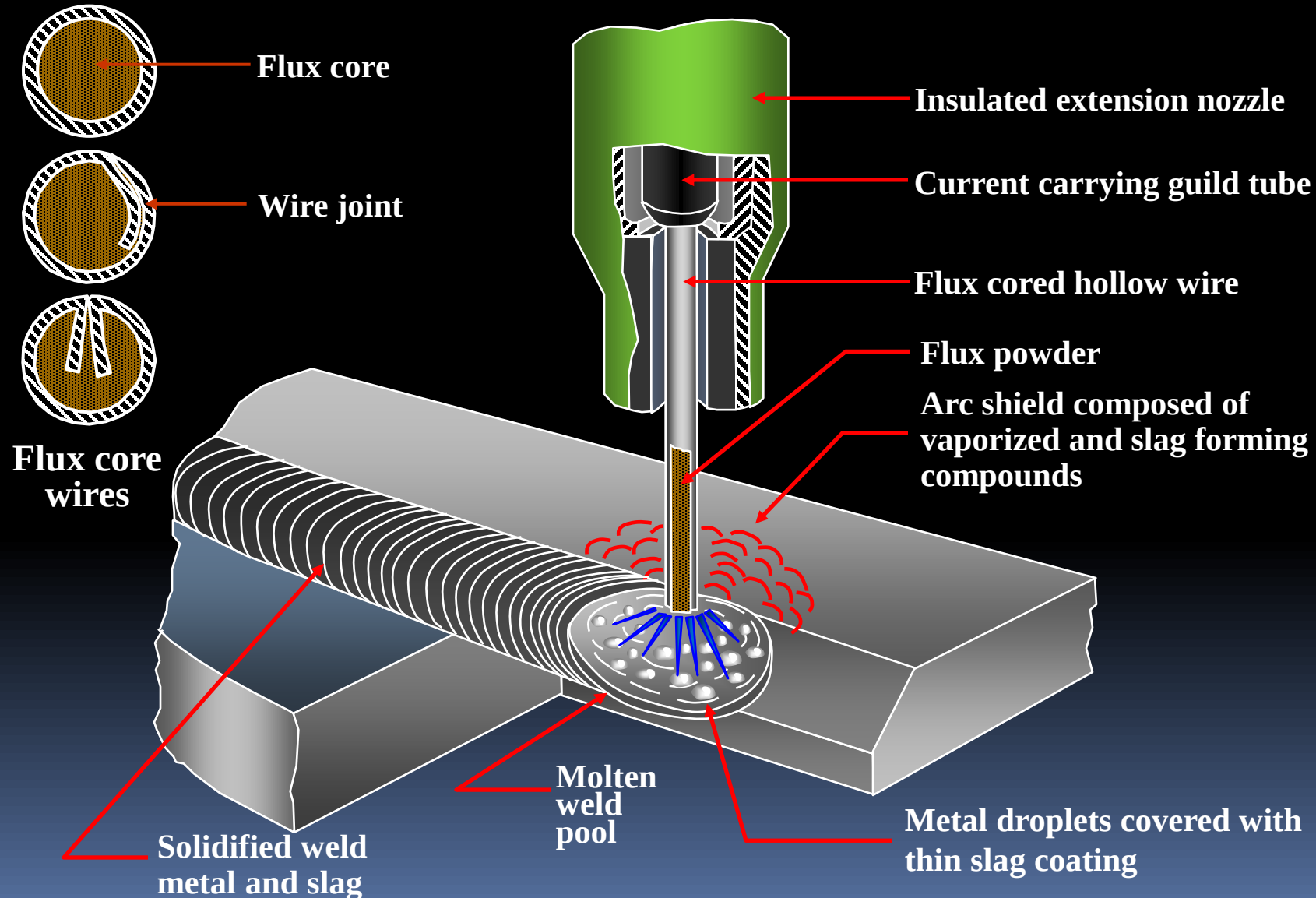
اثر زاویه سیم جوش بر شکل گرده



جوشکاری با الکتروود توپودری

FCAW

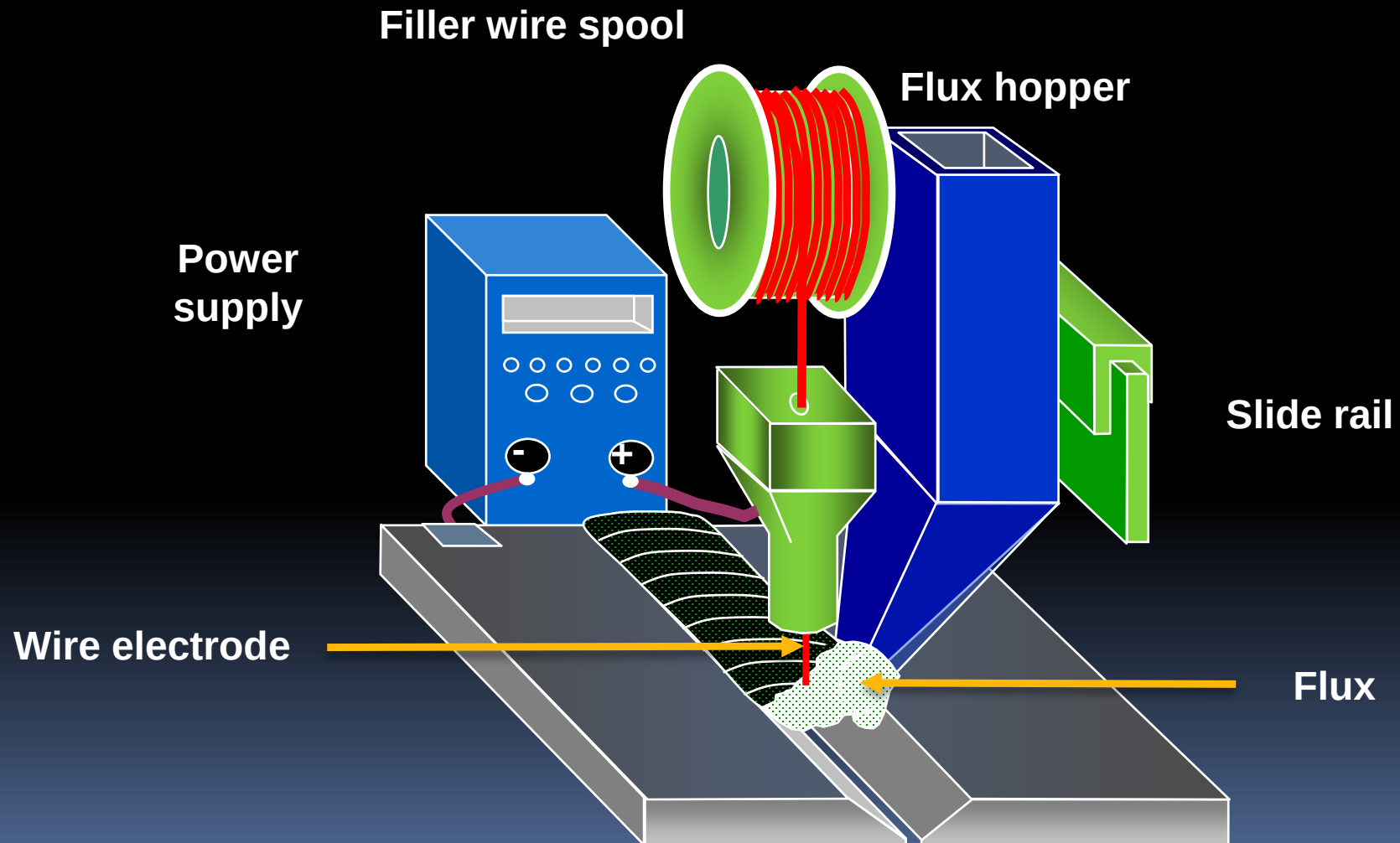
فرایند جوشکاری با الکترود توپودری (FCAW)



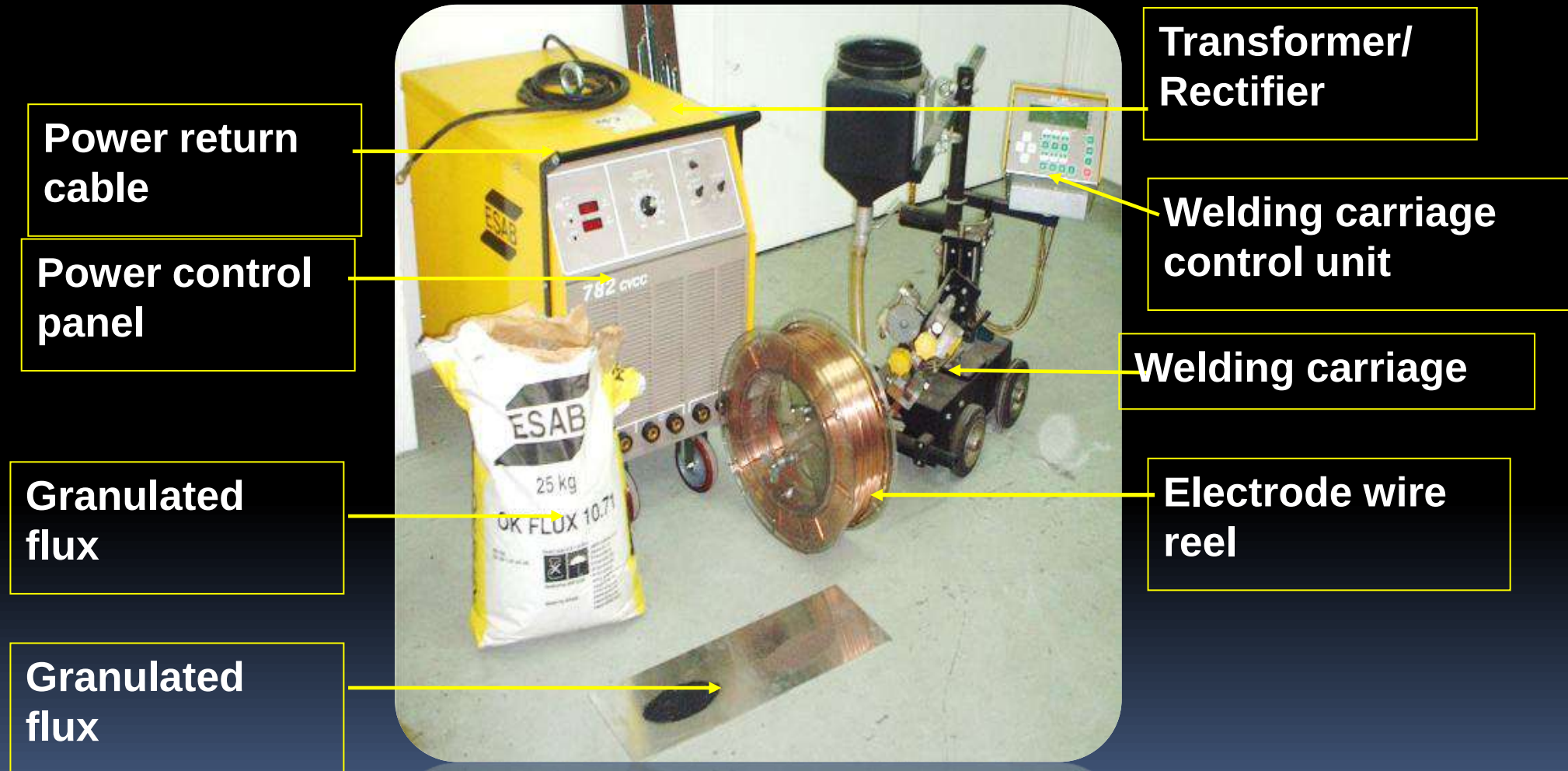
جوشکاری زیر پودری

SAW

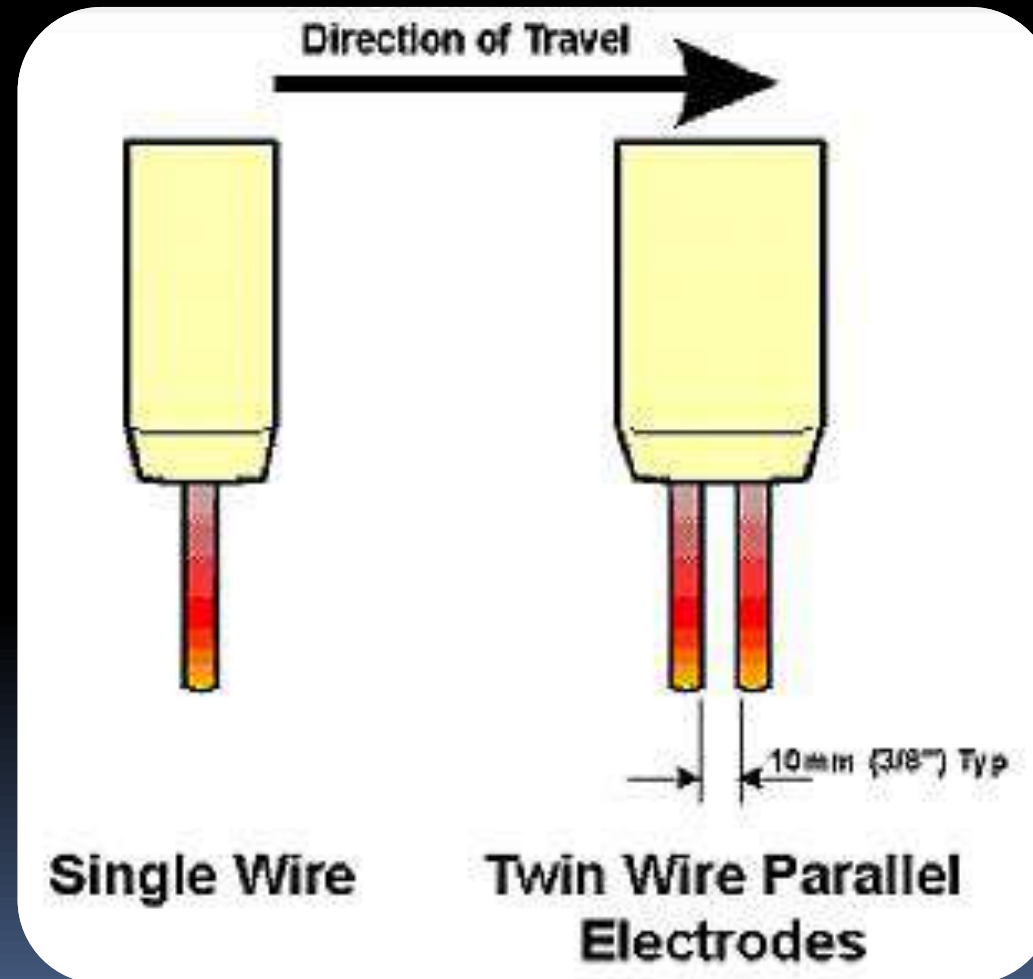
جوشکاری زیر پودری SAW



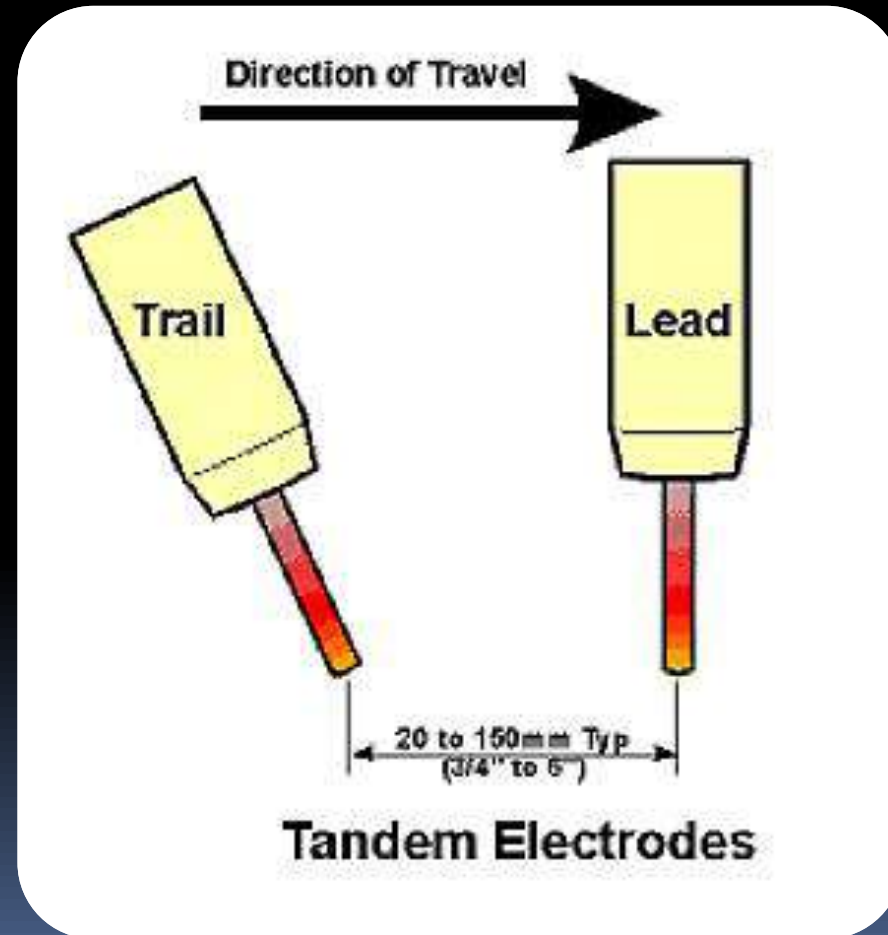
اجزاء فرایند جوشکاری SAW



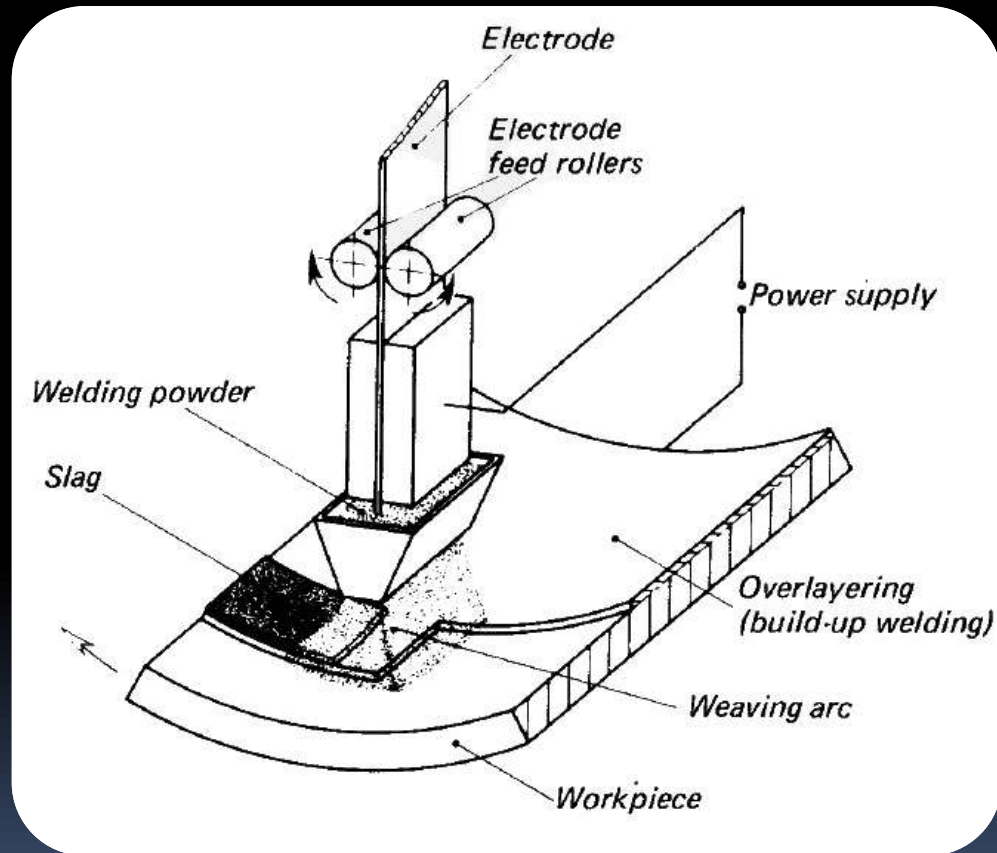
سیستم دو سیمه با یک منبع Twin



سیستم چند سیمه با چند منبع Tandem



تصویر شماتیک پوشش دهی با زیرپودری

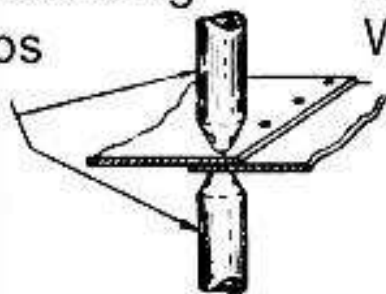


جوشکاری مقاومتی

RESISTANCE WELDING

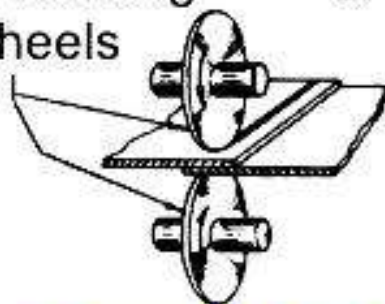
جوشکاری مقاومتی

Electrodes
or Welding
Tips



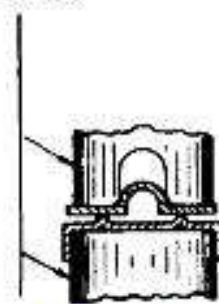
Spot Weld

Electrodes
or Welding
Wheels



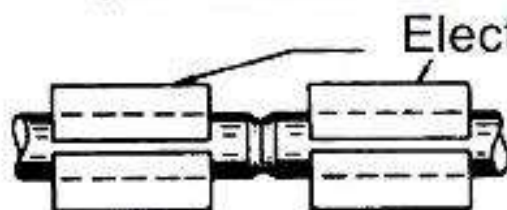
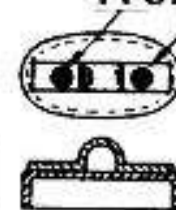
Seam Weld

Electrodes
or Dies



Projection Weld

Projection
Welds

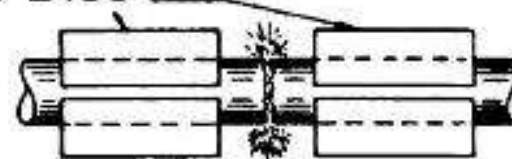


Upset Weld



After Welding

Electrodes or Dies

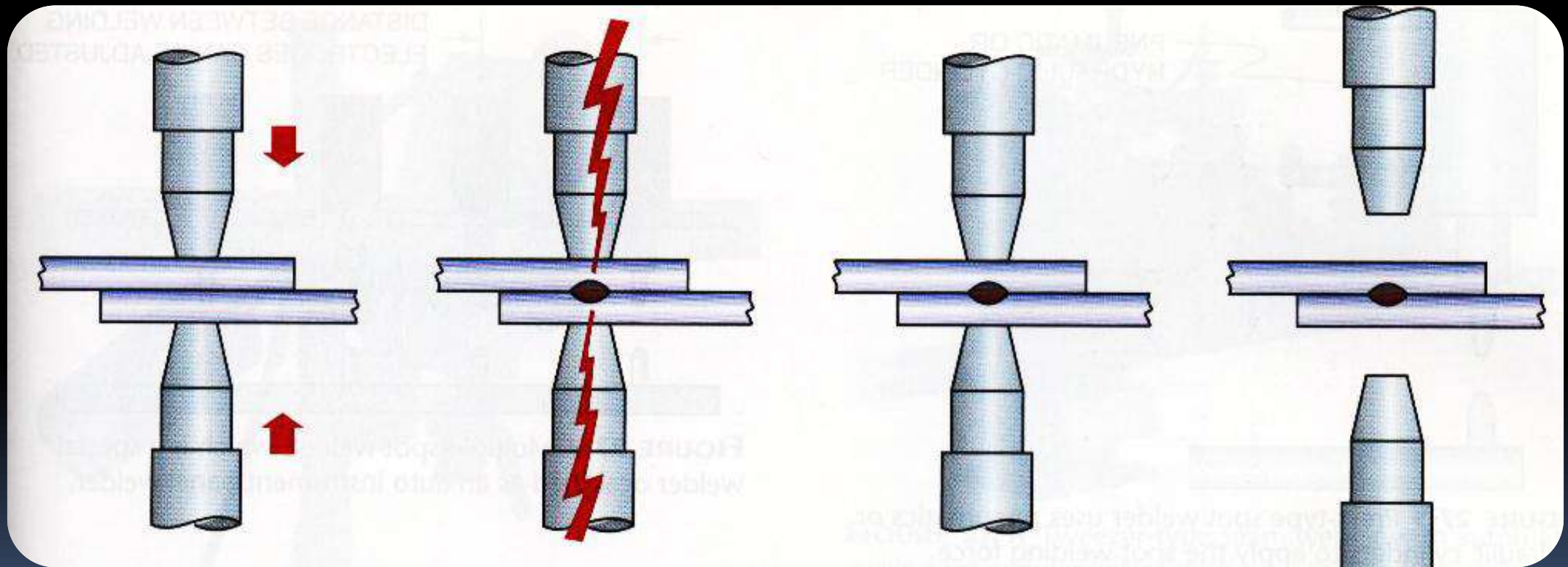


Flash Weld



After Welding

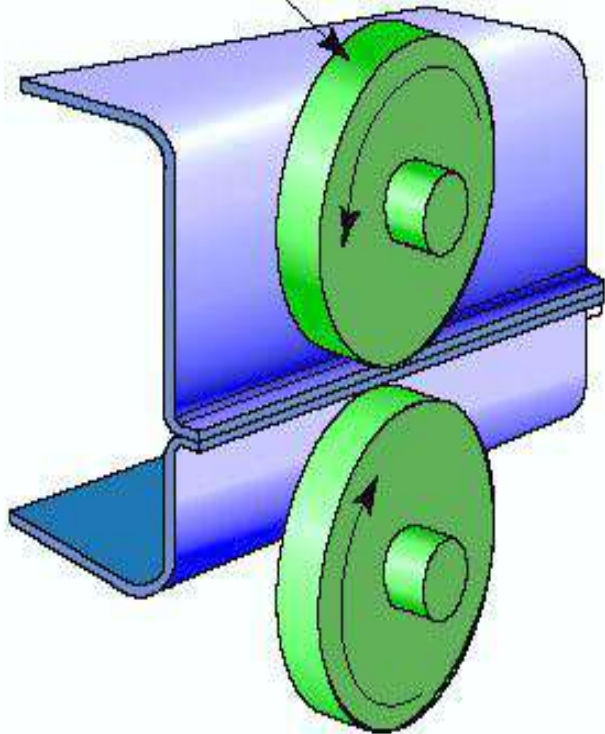
نقطه جوش Spot Weld



نقطه جوش Seam Weld

(a)

Electrode wheels

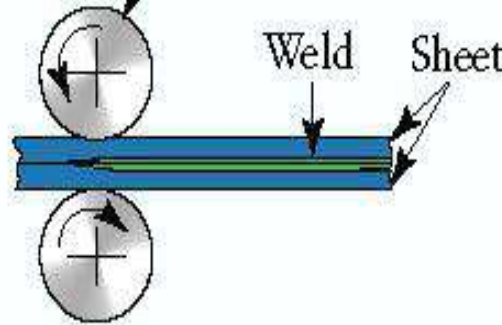


(b)

Electrode wheel

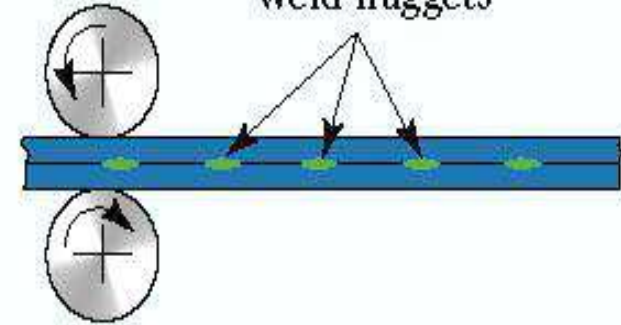
Weld

Sheet



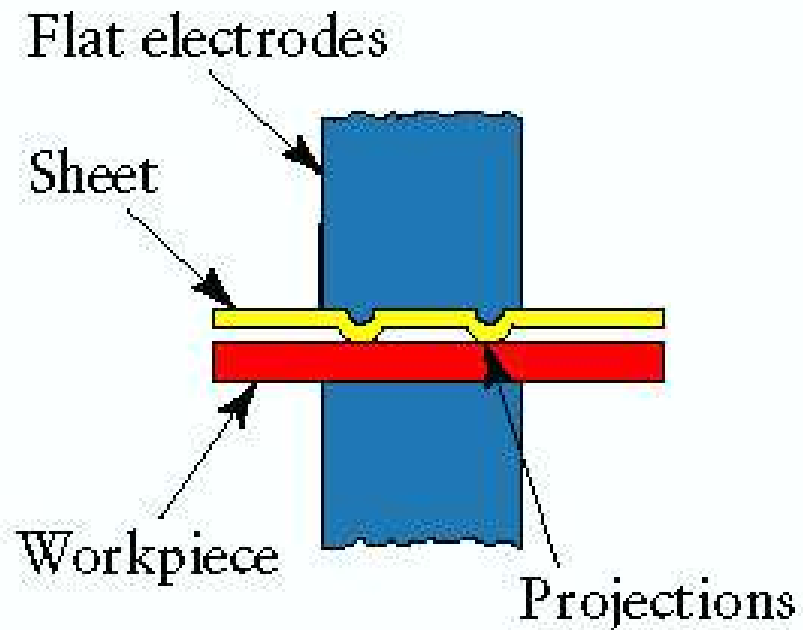
(c)

Weld nuggets

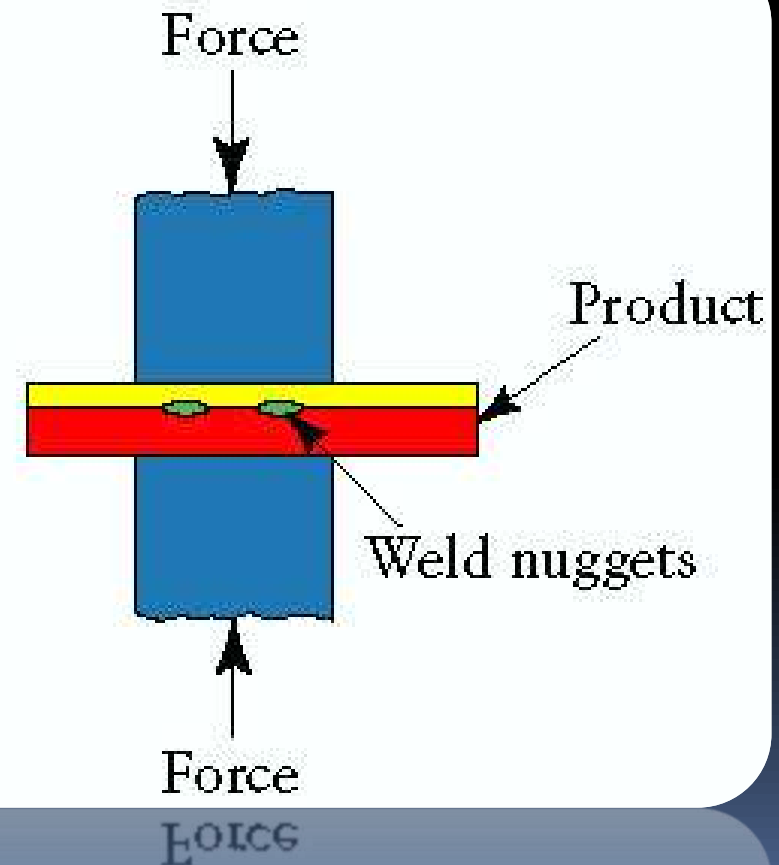


نقطه جوش Projection Weld

(a)



(b)



نقطه جوش Upset Weld

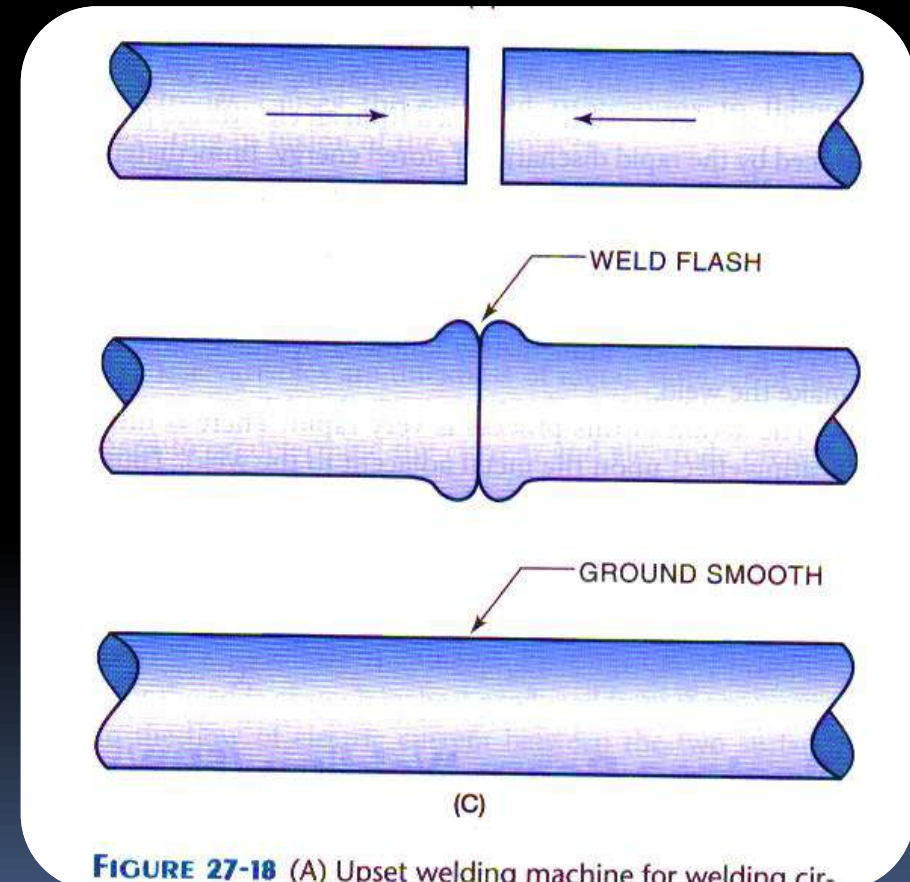
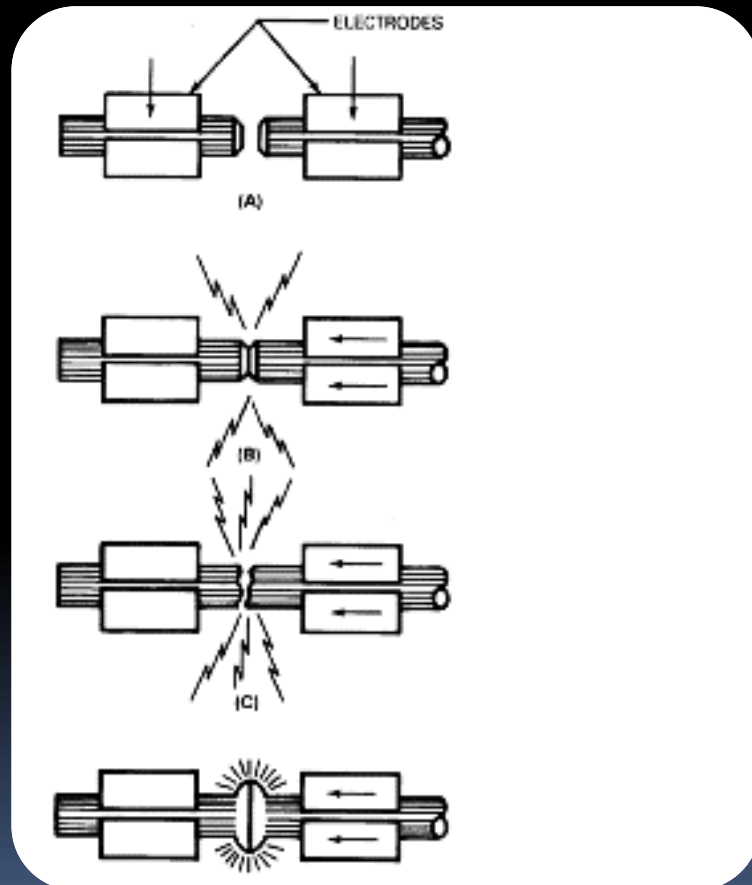


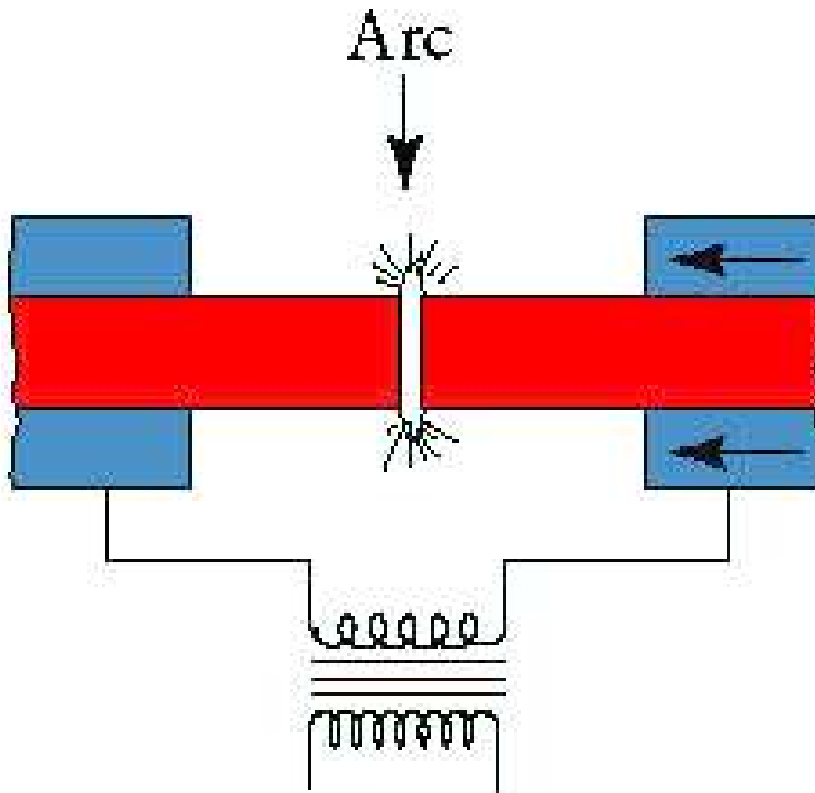
FIGURE 27-18 (A) Upset welding machine for welding cir-

FIGURE 27-18 (A) Upset welding machine for welding cir-

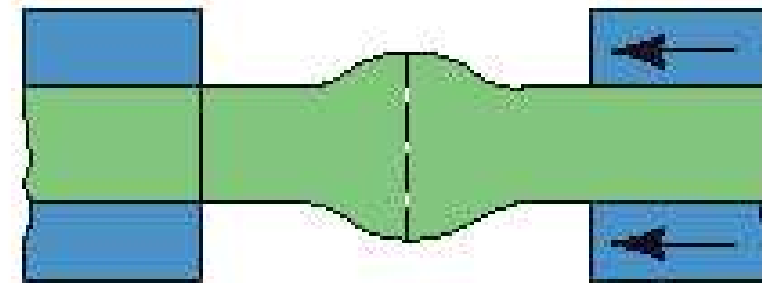
(C)

نقطه جوش Flash Weld

(a)



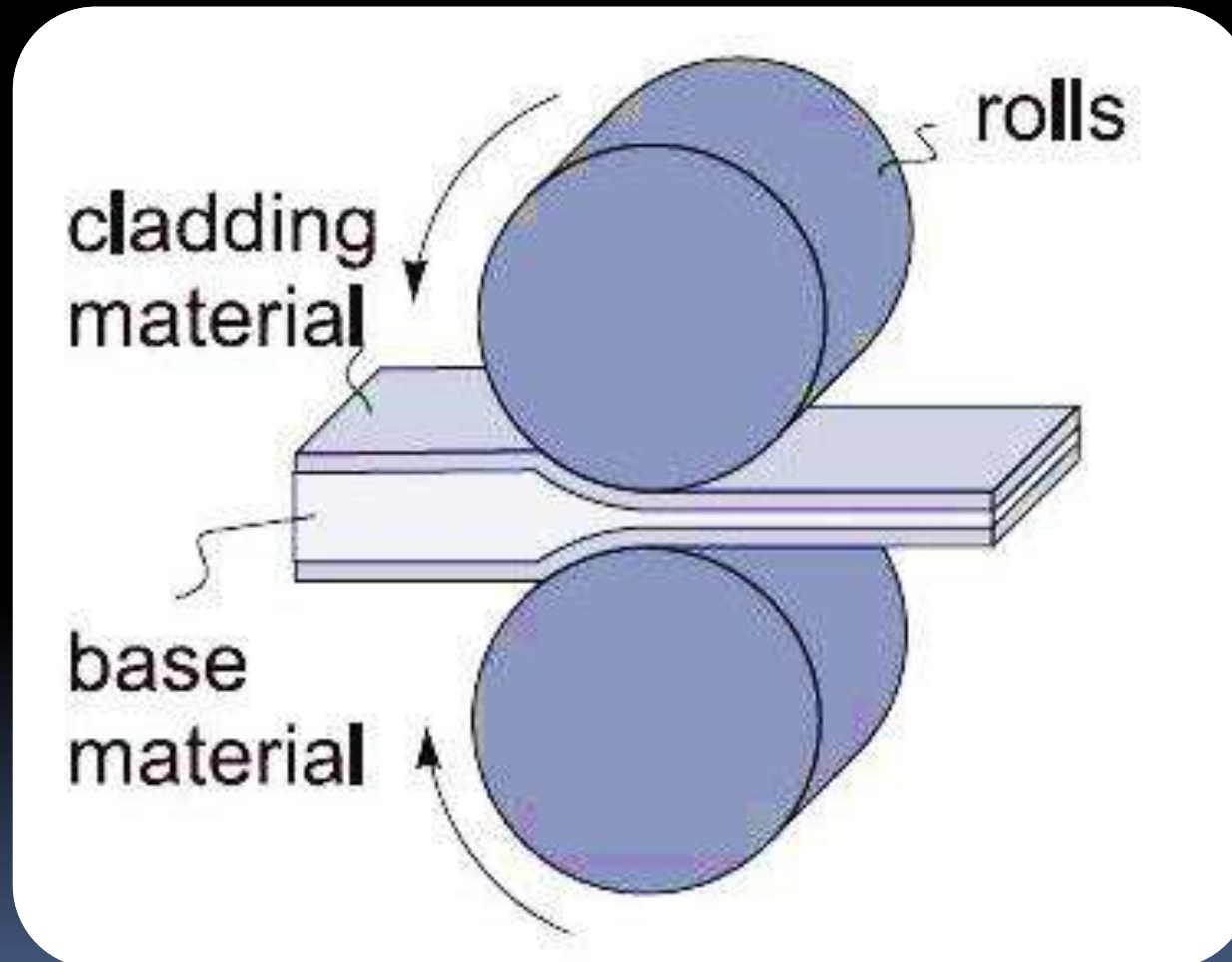
(b)



۷- سایر روش های جوشکاری

WELDING

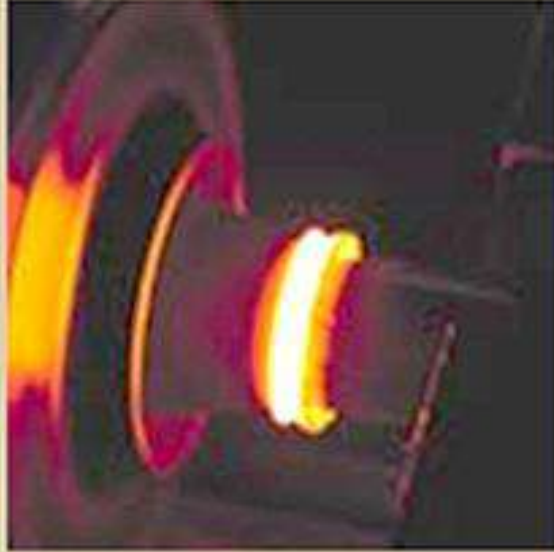
جوشکاری نوردی Roll Welding



جوشکاری آهنگری Forge Welding



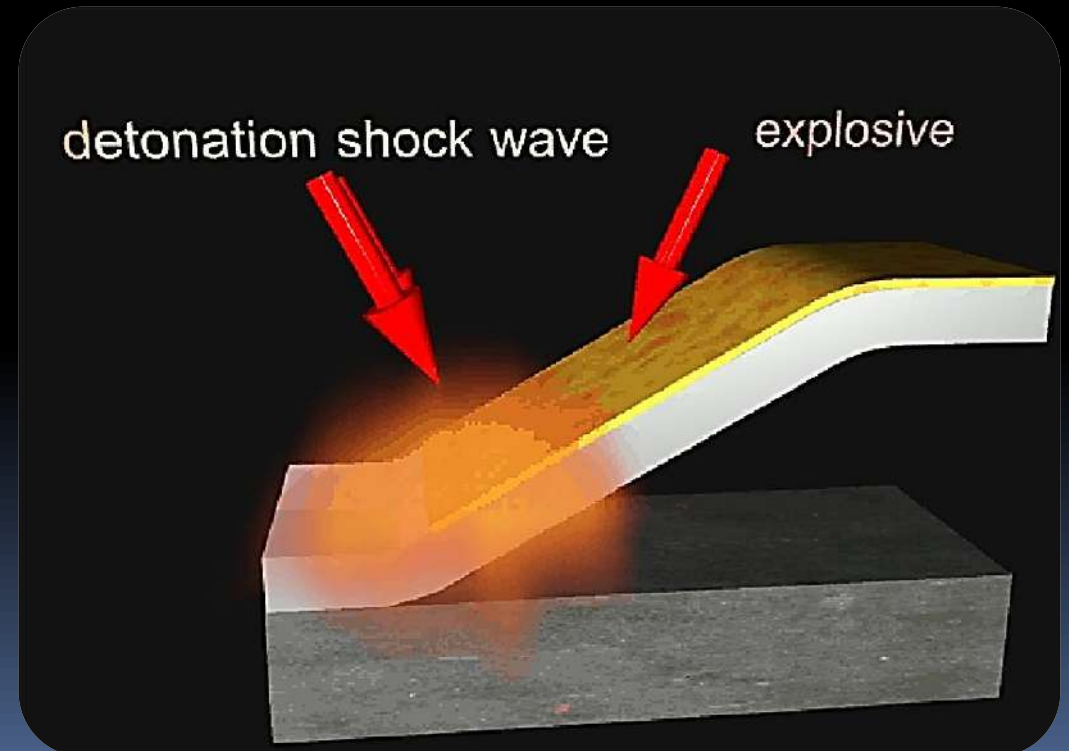
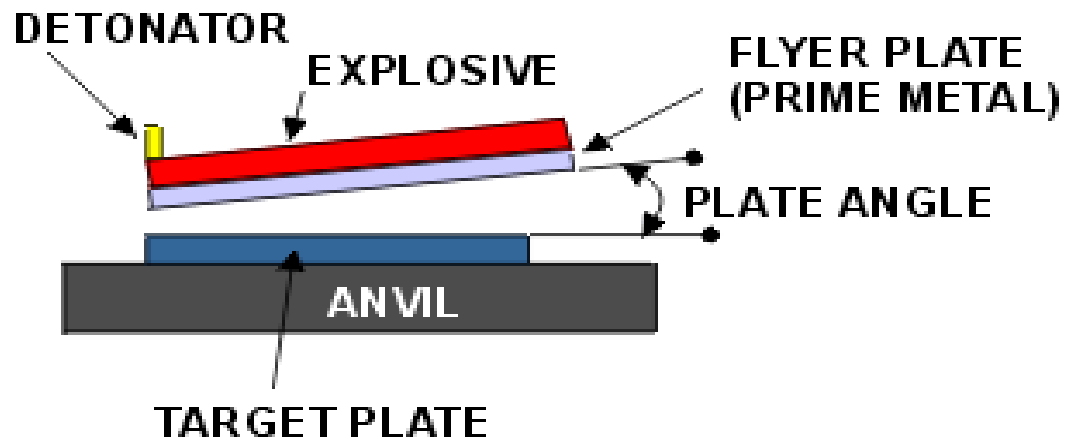
جوشکاری اصطحکاکی Friction Welding

STAGE 1	STAGE 2	STAGE 3
One component is positioned in a stationary clamp. The second part is positioned in the rotating spindle, which is then brought up to a pre-defined rotational speed. At the right moment, pre-defined axial force is applied.	These conditions are maintained for a predetermined time until the desired temperatures and material conditions exist. It's during this stage that the two materials are plasticized (become malleable).	Rotational speed is stopped. Then increased axial force is applied for another predetermined time - completing the weld. This provides molecular bonding and grain refinement through the weld zone.
 A photograph showing two metal components in a friction welding setup. One component is held stationary in a clamp, while the other is mounted on a rotating spindle. A small, bright orange-yellow glow is visible at the point of contact between the two parts, indicating the start of the friction process.	 A photograph showing the same setup as Stage 1, but the contact area between the two metal parts is now significantly larger and more intensely glowing with a bright orange-yellow light, indicating that the materials are being heated and plasticized.	 A photograph showing the final stage of the friction welding process. The contact area is now very large and intensely glowing with a bright orange-yellow light, indicating that the materials are being fully bonded and the weld is being completed.

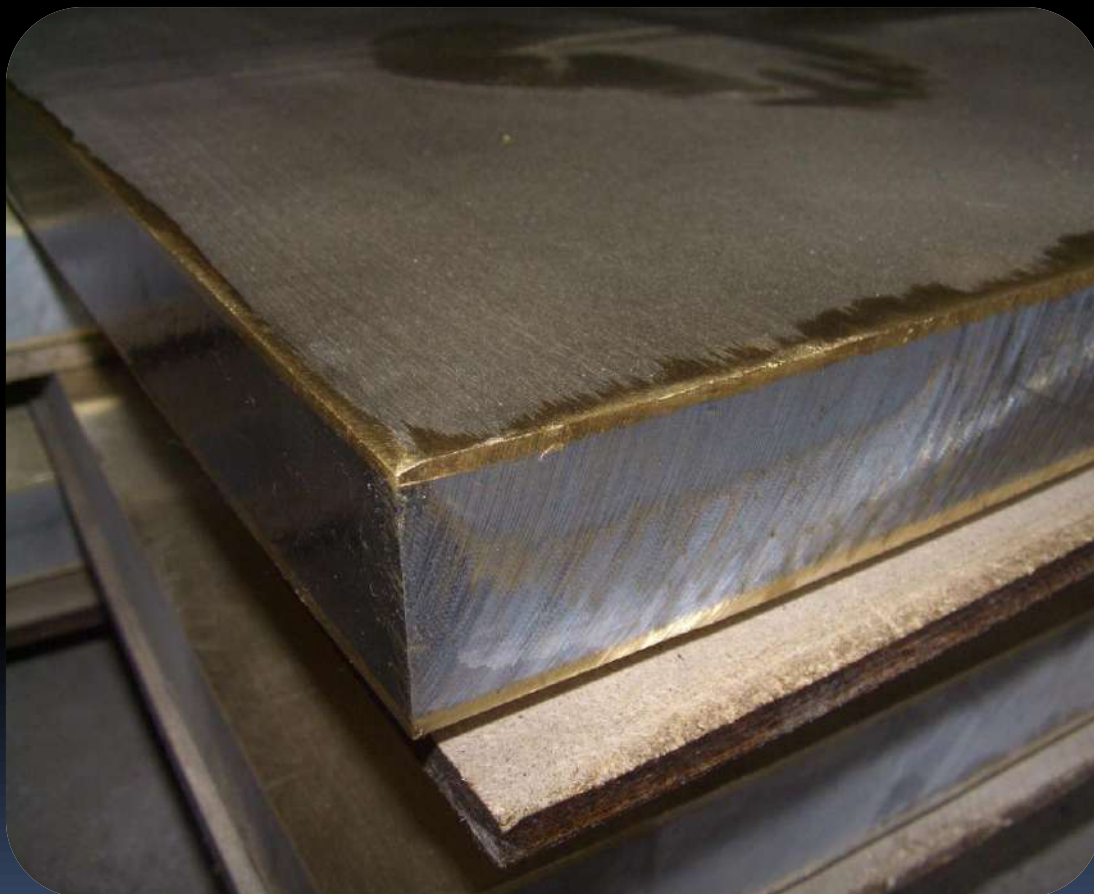
جوشکاری اصطحاکاکی Friction Welding



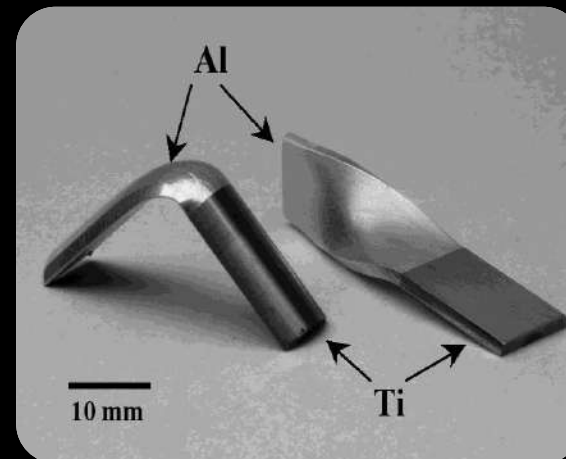
جوشکاری انفجاری Explosive Welding



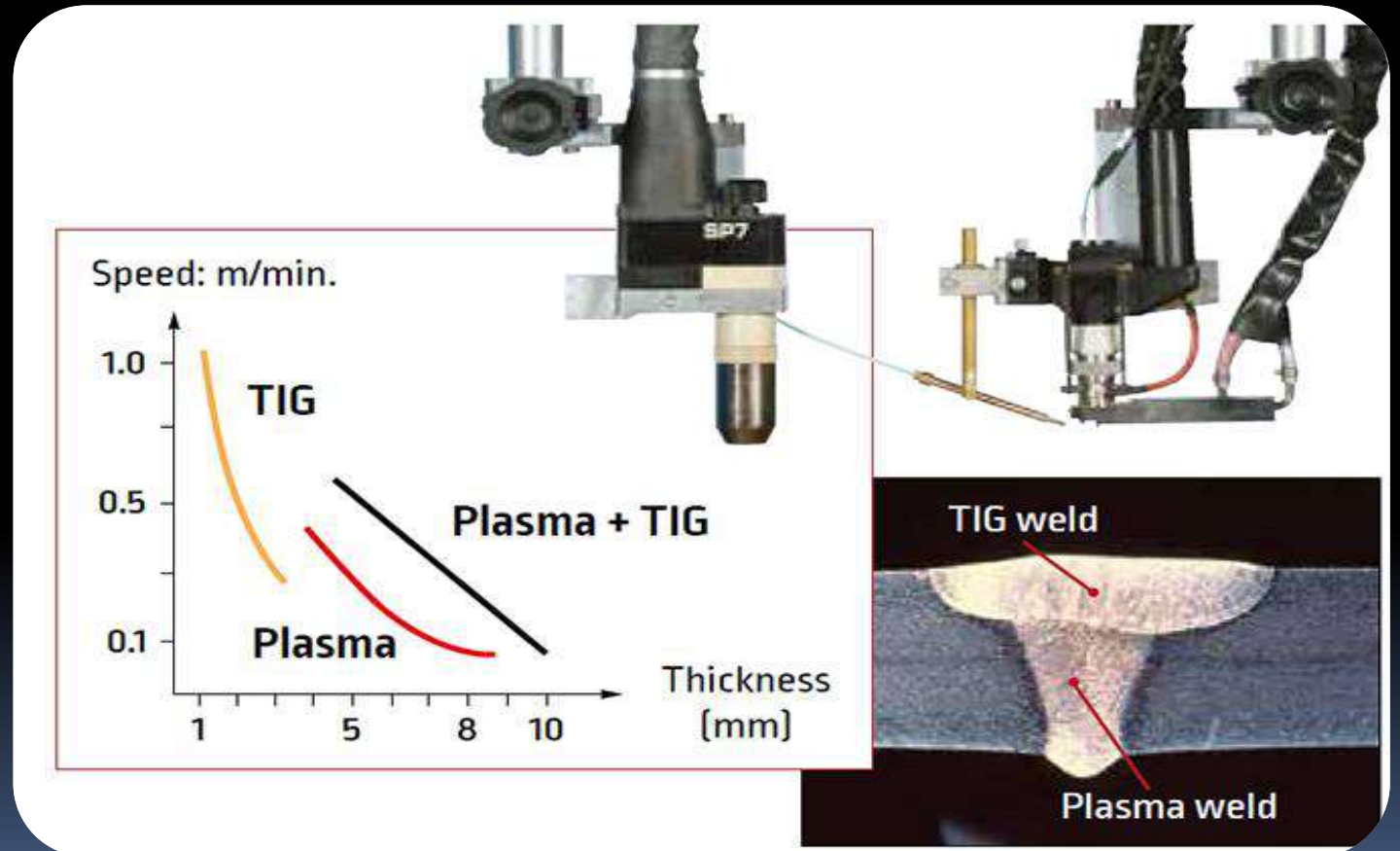
جوشکاری انفجاری Explosive Welding



Bimetal Copper Stainless Steel Plate

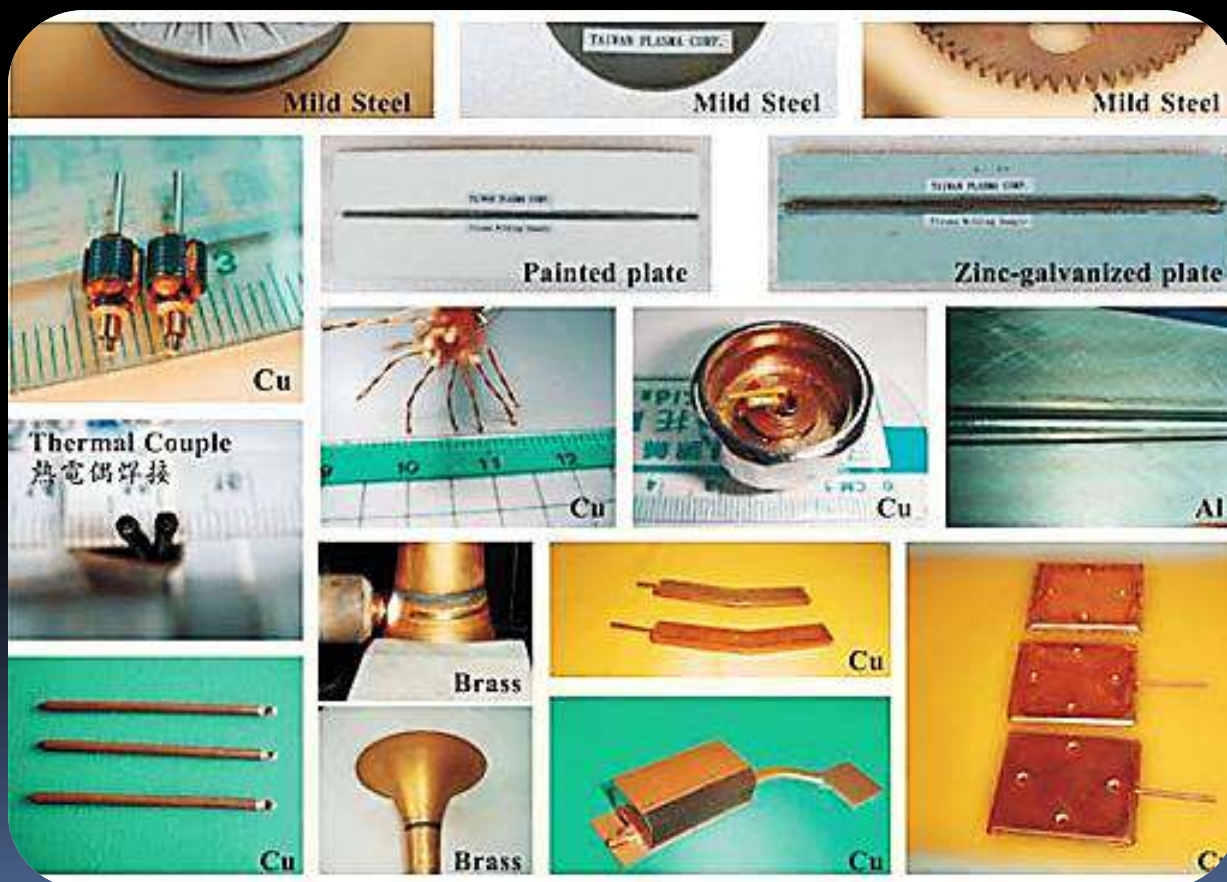


جوشکاری پلاسما PLASMA Welding

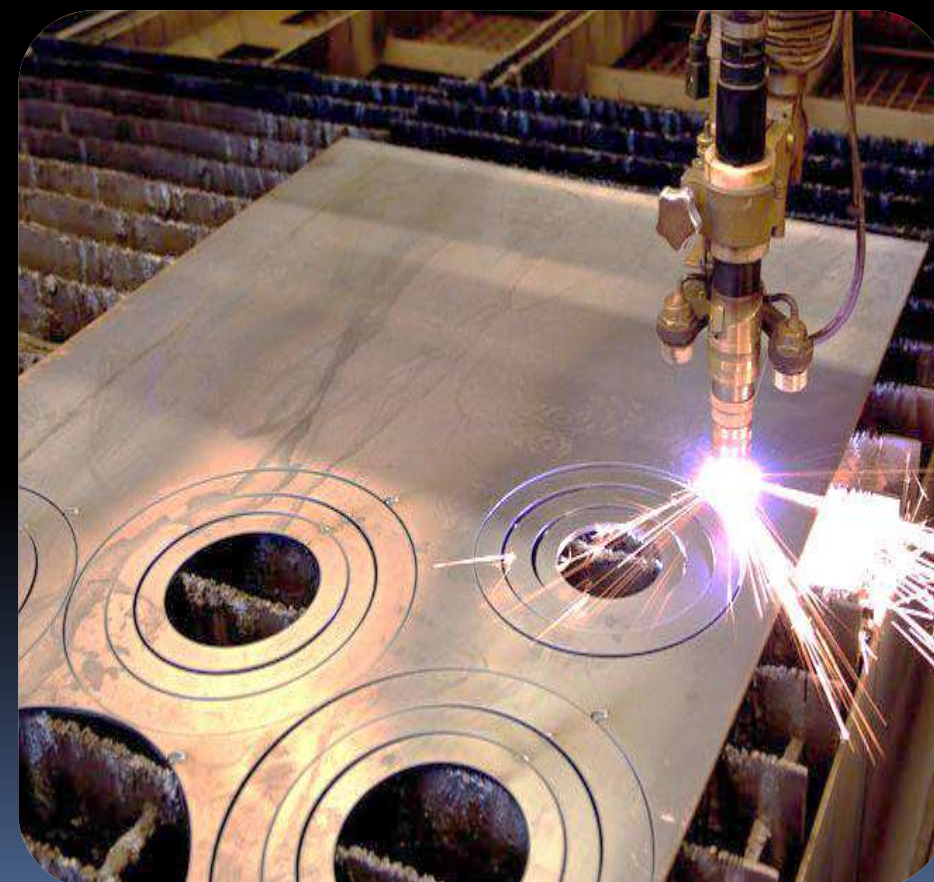


جوشکاری پلاسما PLASMA Welding

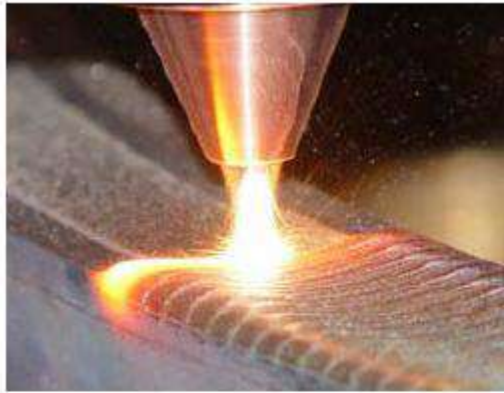
جوشکاری



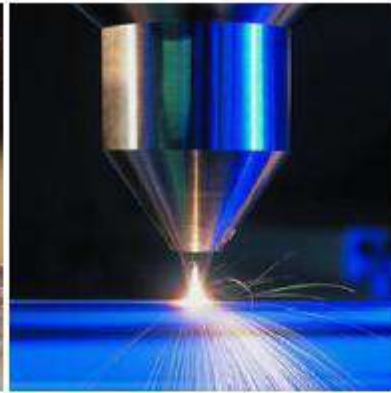
برشکاری



LASER BEAM WELDING جوشکاری لیزر



Laser cladding



CO₂ laser welding of low carbon steel sheet



Nd:YAG laser weld in
6 mm thick Ti-6Al-4V



Repair of turbine blades

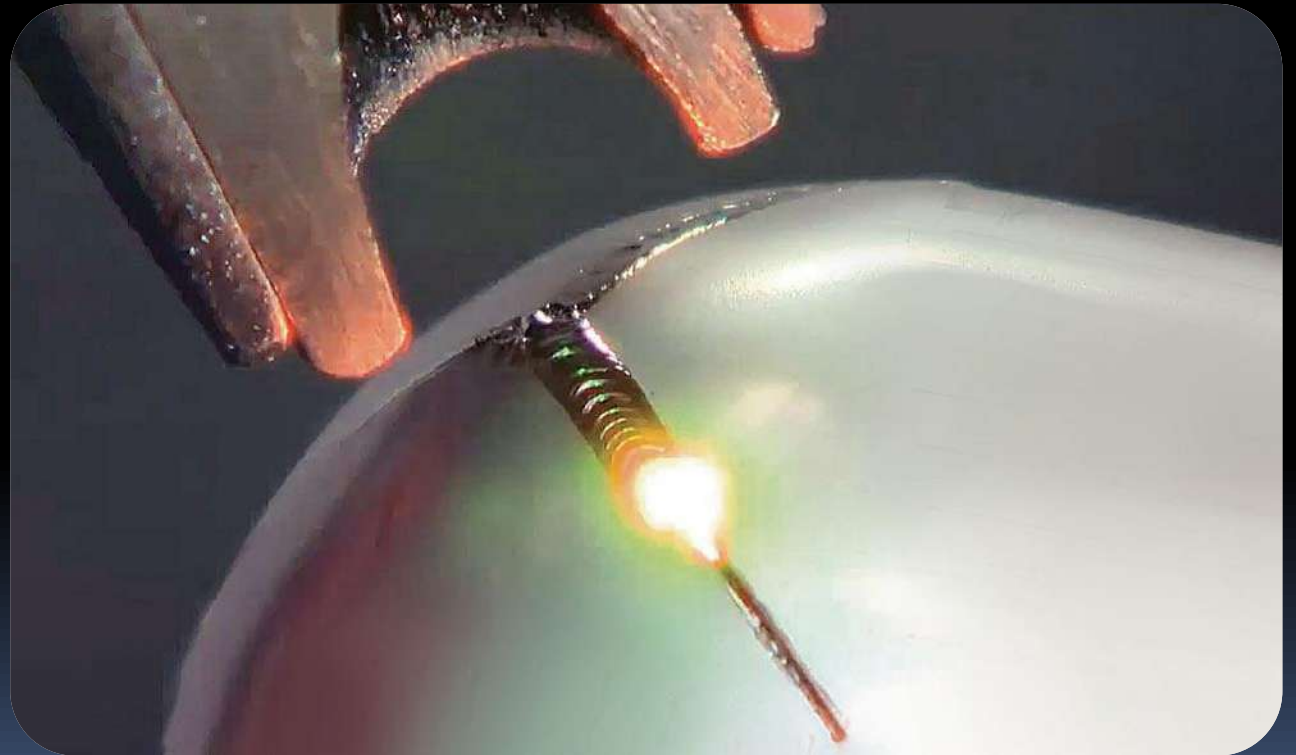
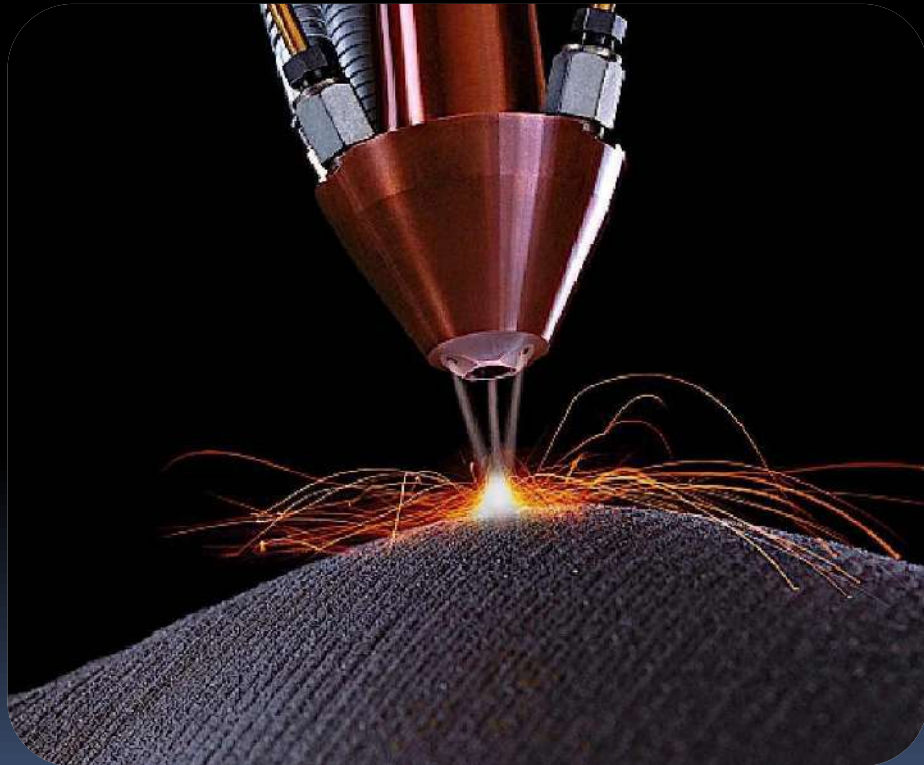
Nd:YAG lasers and solid wire filler metal

Light
Amplification
Stimulated by
Emission of
Radiation

1- Nd:YAG

2- Co₂

جوشکاری لیزر LASER BEAM WELDING



LASER BEAM WELDING جوشکاری لیزر



Tank, Boiler,
and Tube



Pipe



Ship



Aviation

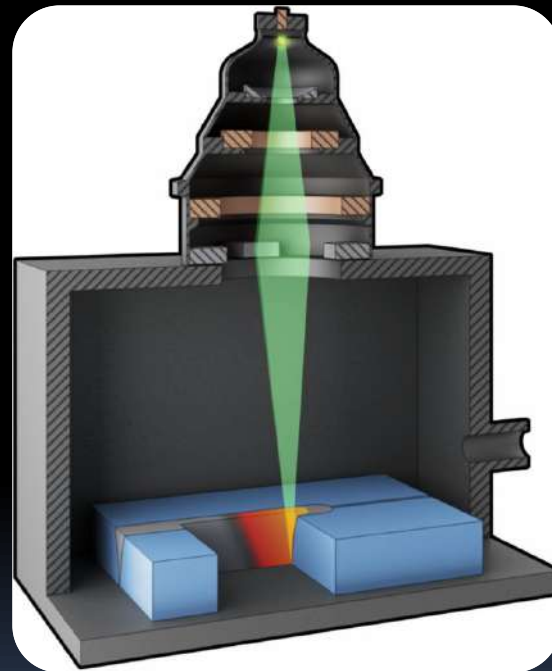
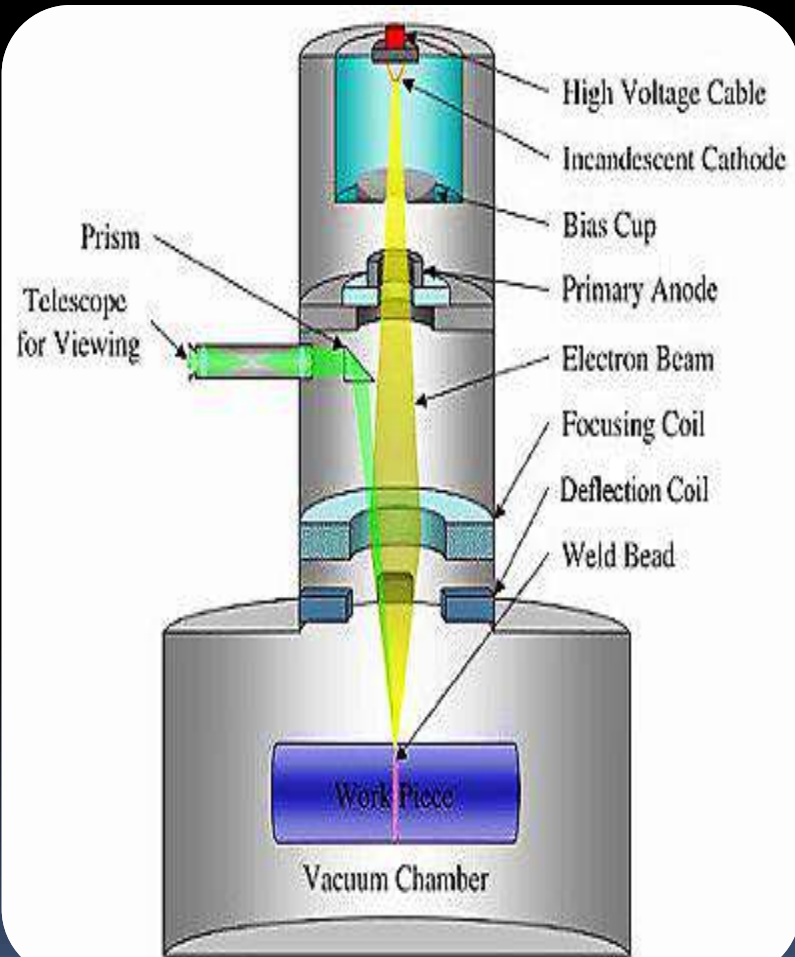


Robotic Welding
Applications



Energy
industry

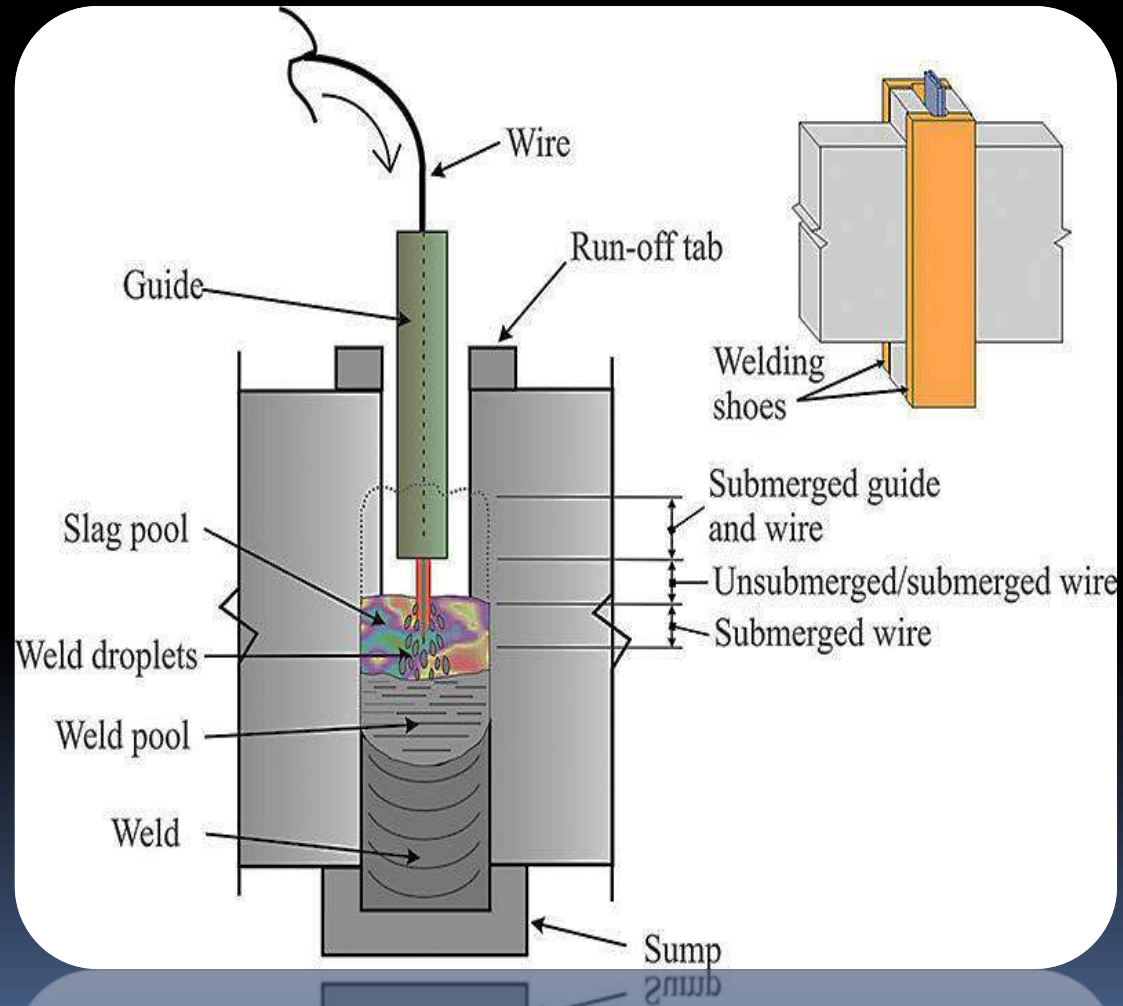
جوشکاری پرتوالکترونی ELECTRON BEAM WELDING



جوشکاری پرتوالکترونی ELECTRON BEAM WELDING



جوشکاری سرباره الکتریکی ELECTRO SLAG WELDING



جوشکاری سرباره الکتریکی ELECTRO SLAG WELDING



(a)



(b)



جوشکاری زائده ای STUD WELDING



Stud Welding Gun

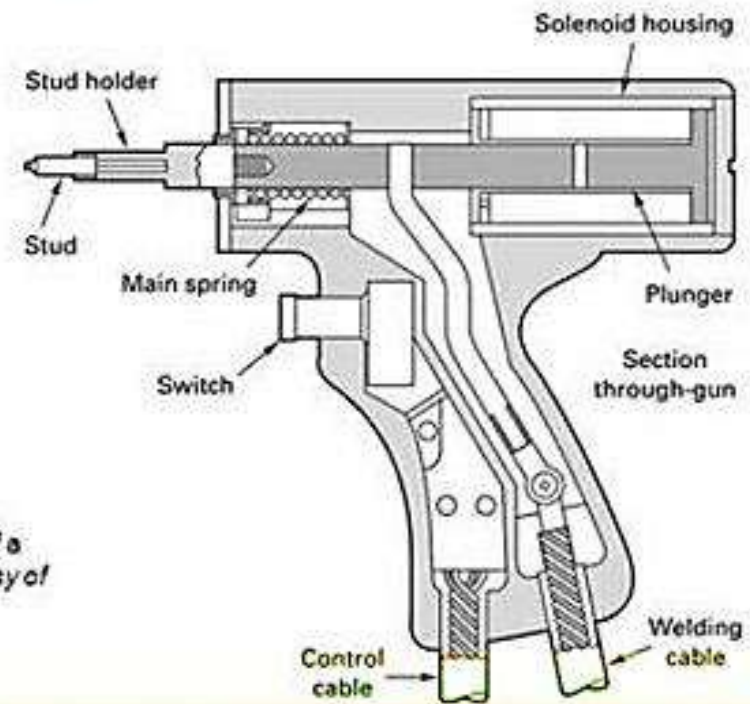
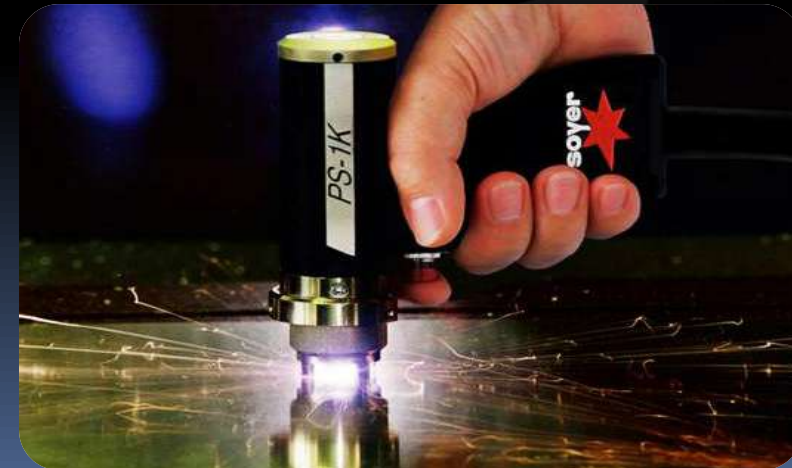
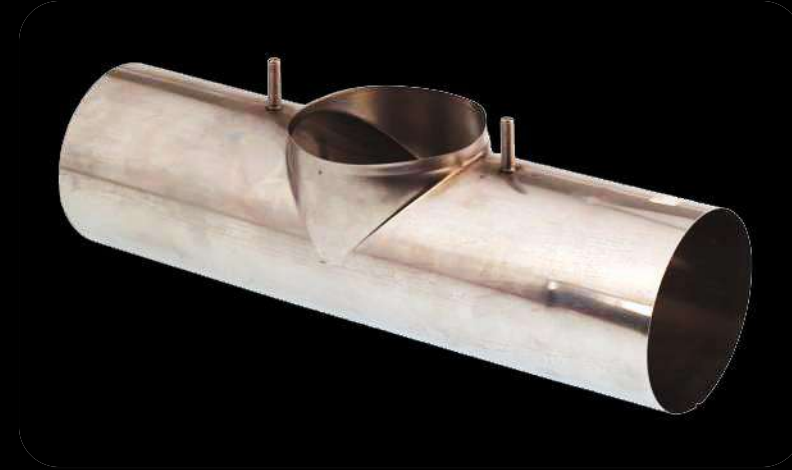
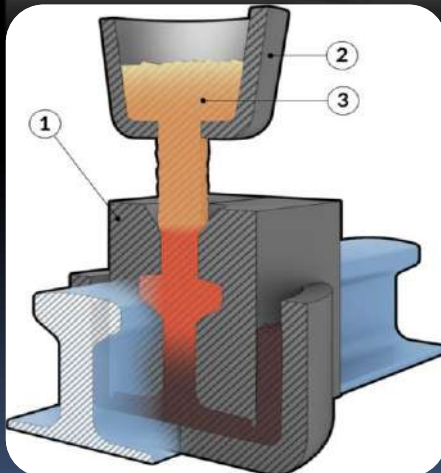


FIGURE 31-16 Diagram of a stud welding gun. (Courtesy of American Machinist.)

جوشکاری زائده ای STUD WELDING

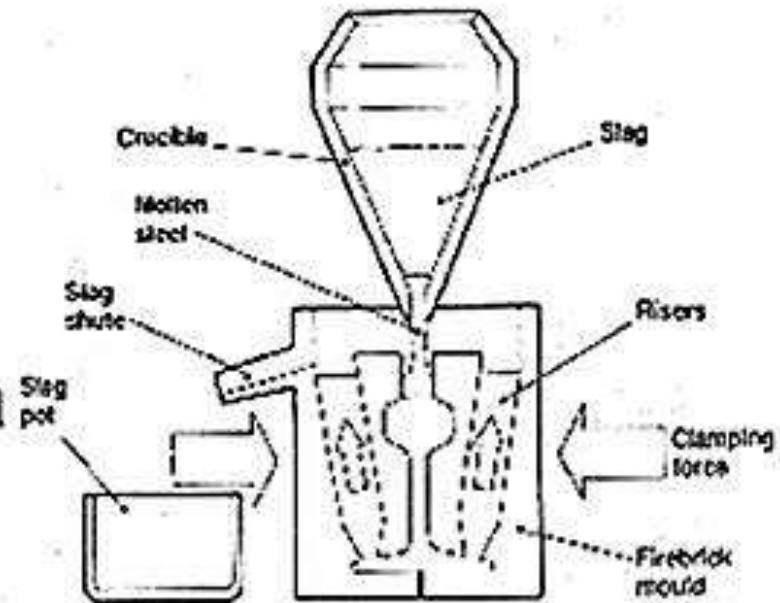


جوشکاری ترمیت THERMIT WELDING

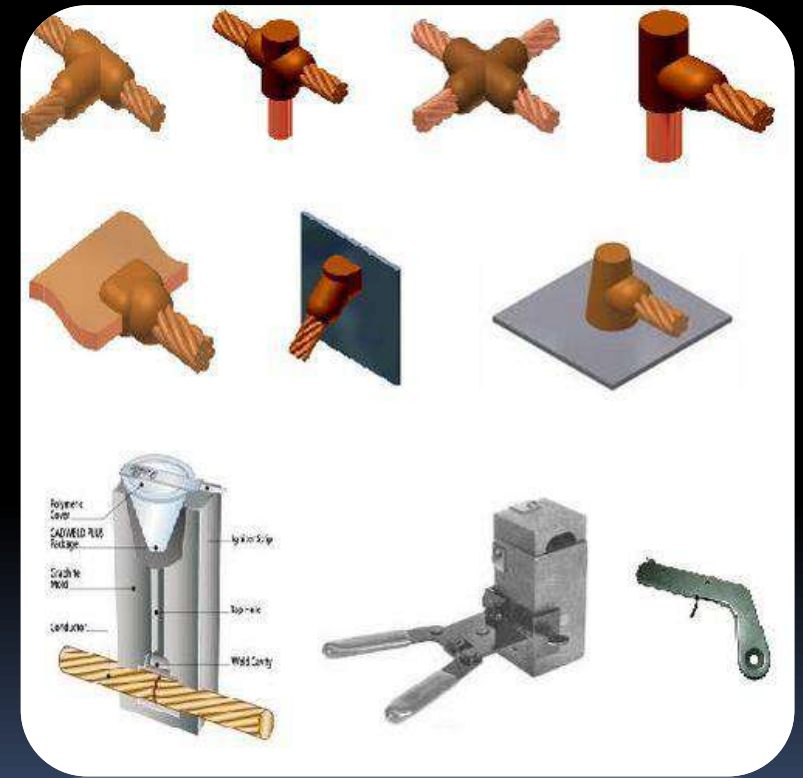


Thermit Welding

- Heat source
 - chemical reaction between thermit mixture components
 - Iron oxide and aluminium powder
 - ignition fuse required
- Fireclay mould
 - shapes joint
 - allows slag removal



جوشکاری ترمیت THERMIT WELDING



بخش پنجم معرفی عیوب و علل بوجود آمدن آنها

تعاریف

- ناپیوستگی (Discontinuity) : هر گونه تغییر در خواص متالورژیکی، مکانیکی یا فیزیکی جسم ناپیوستگی نامیده می شود. یک ناپیوستگی در حقیقت یک انقطاع در ساختار فلز جوش یا فلز پایه است.

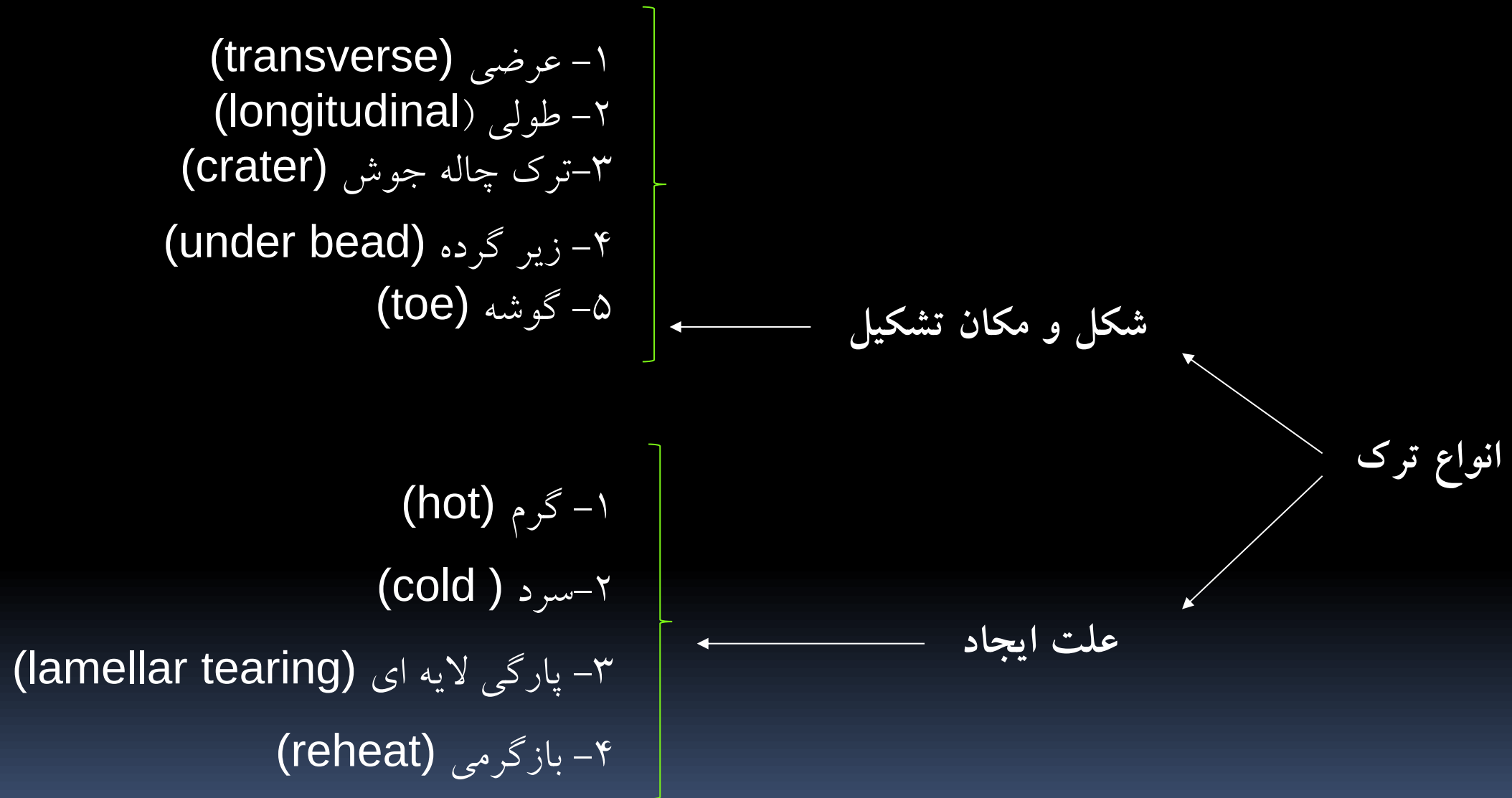
- عیب (Defect) : ناپیوستگی هایی که باعث شود خواص استاندارد قطعه از بین رود، عیب نامیده می شود. عیب نیز یک ناپیوستگی است که به واسطه ویژگی خاصش و یا در اثر تجمع آن در قطعه یا محصول، نمی تواند حداقل **استانداردهای** کاری مورد نیاز را برآورده کند.

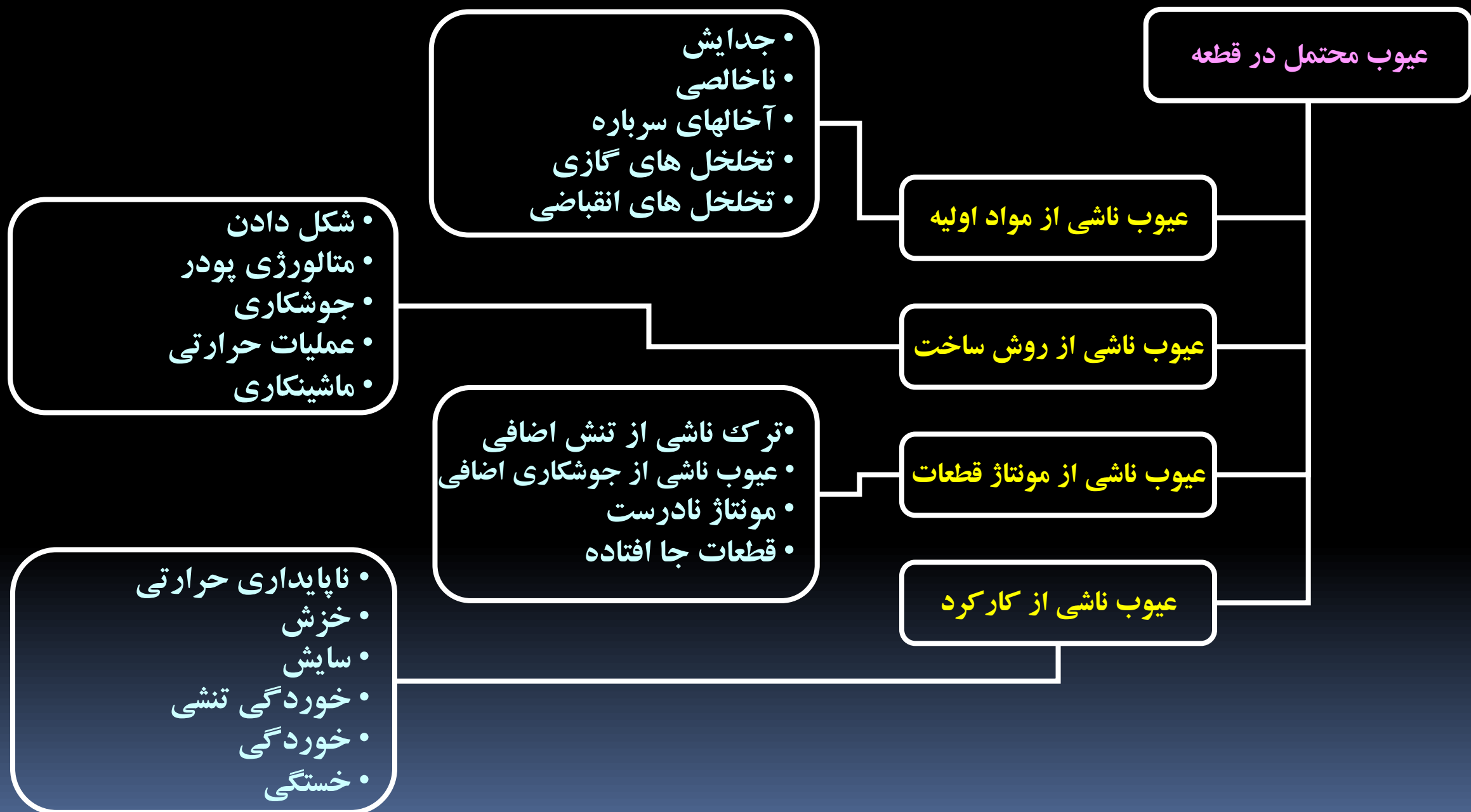
یک ناپیوستگی لزوماً عیب نیست.

CRACK = ترک

بارسیدن موضعی تنش به تنش شکست، موضع مذکور دچار گسست شبکه ای شده و بین اتمهای موجود در آن نقطه از جسم فاصله و جدایی ایجاد شده که این گسست و جدایی را ترک می نامند.

تمامی عیوب موجود در داخل ساختار یک ماده مانند حفرات، ناخالصی ها، ذوب ناقص، نفوذ ناقص در اتصال و...، به خودی خود هیچ مشکلی برای جسم (مثلا جوش) محسوب نمی شوند، فقط زمانی که در اثر اعمال تنش تبدیل به ترک شوند، برای ادامه کارکرد قطعه مشکل ایجاد می کنند. از این رو شاید به نوعی عیب ترک را بتوان بدترین و زیان آورترین نوع عیب خصوصا در جوشکاری نامید.





انواع ترک ها

از نظر مکانیزم تشکیل

ترک گرم

ترک ناشی از رسوب گذاری

ترک سرد

پارگی لایه ای

از نظر محل تشکیل

ترک فلز جوش

ترک HAZ

ترک فلز پایه

از نظر شکل

ترک طولی

ترک عرضی

ترک شعاعی

ترک چاله جوش

ترک شاخه ای

تقسیم بندی عیوب در جوش

عیوب مکانیکی

تغییر شکلها
۱- تنش های پسماند
۲- تغییر شکل های
جوشی

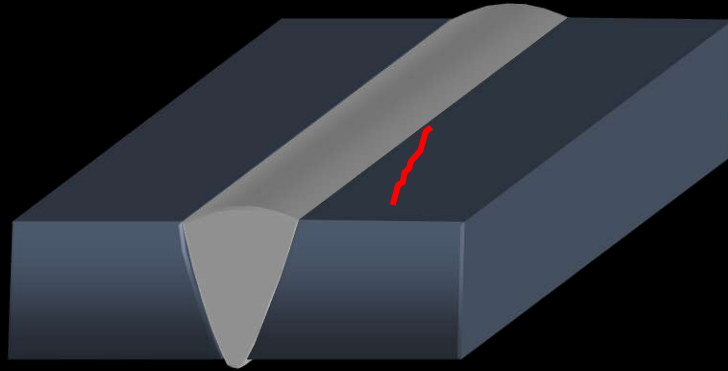
عیوب متالورژیکی

ترکها
۱- ترکهای گرم
۲- ترکهای سرد

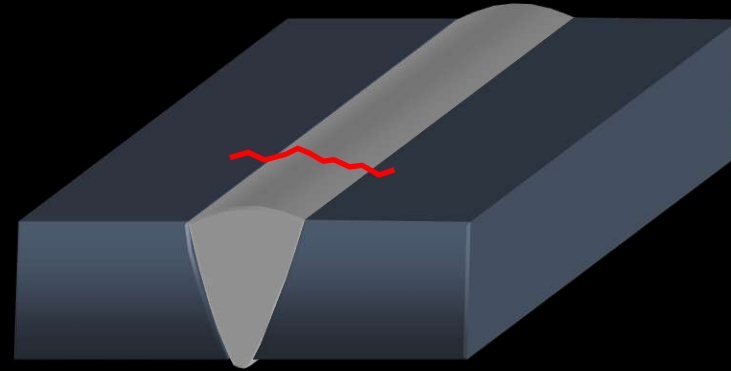
عیوب تکنیکی

۱- حفره
۲- آخال
۳- لکه قوس
۴- بریدگی کنار جوش
۵- نفوذ ناقص
۶- سرریز شدن
و...

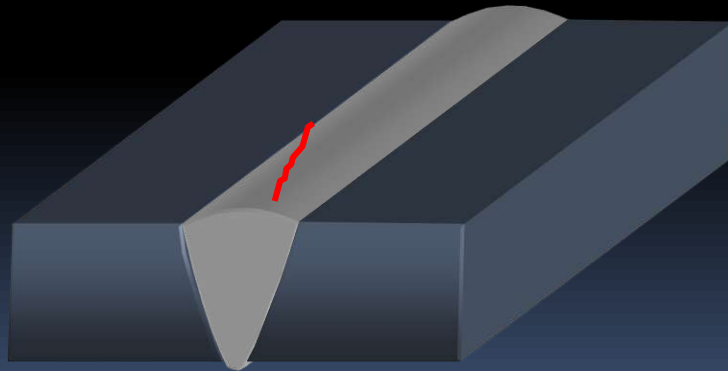
Cracks



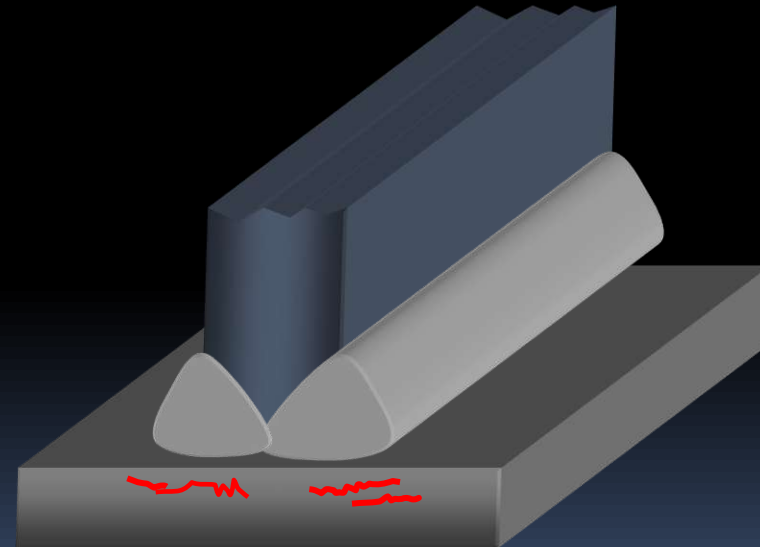
Longitudinal parent metal crack



Transverse weld metal crack

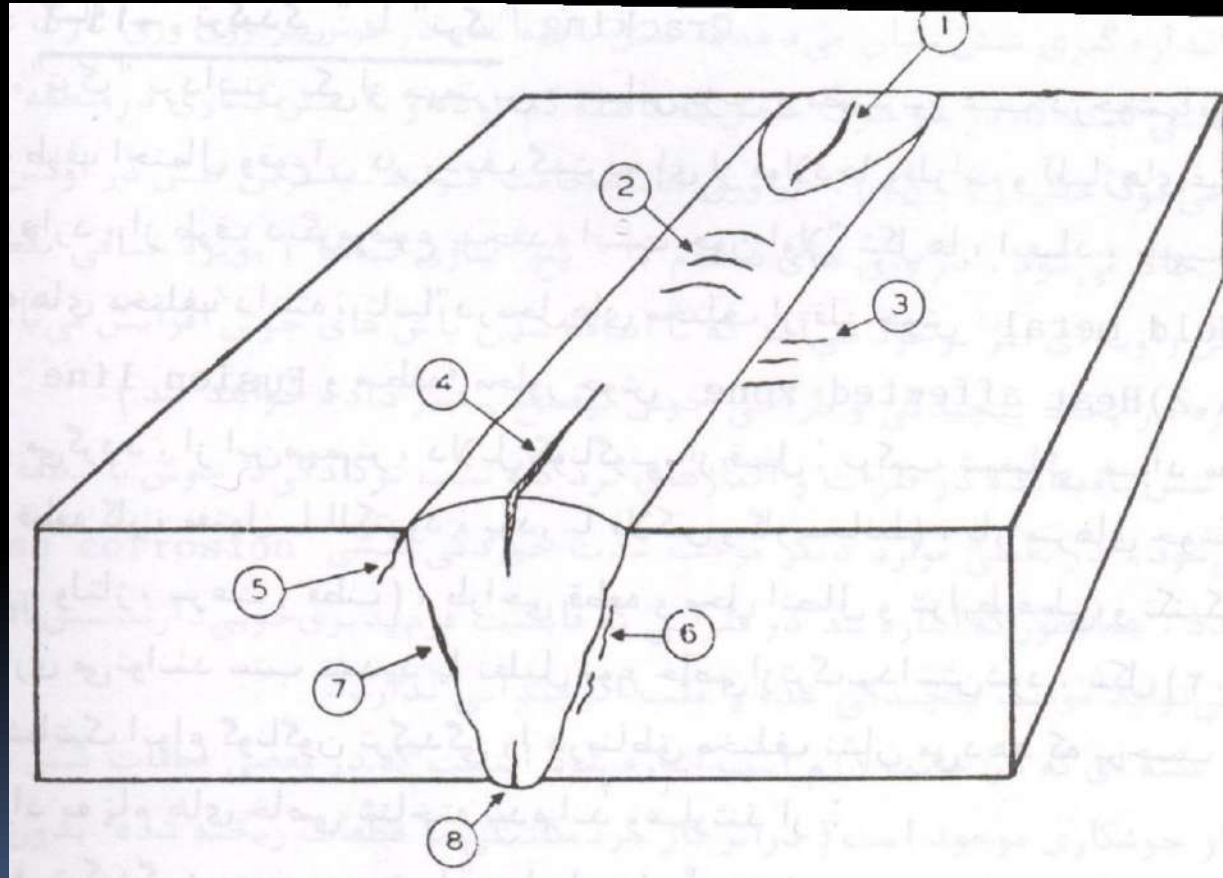


Longitudinal weld metal crack



Lamellar tearing

انواع ترک ها



۱- ترک ها در دهانه انتهایی

۲- ترک عرضی در جوش

۳- ترک عرضی در HAZ

۴- ترک طولی در جوش

۵- ترک زبانه یا گوشه

۶- ترک زیر فلز جوش

۷- ترک در خط ذوب

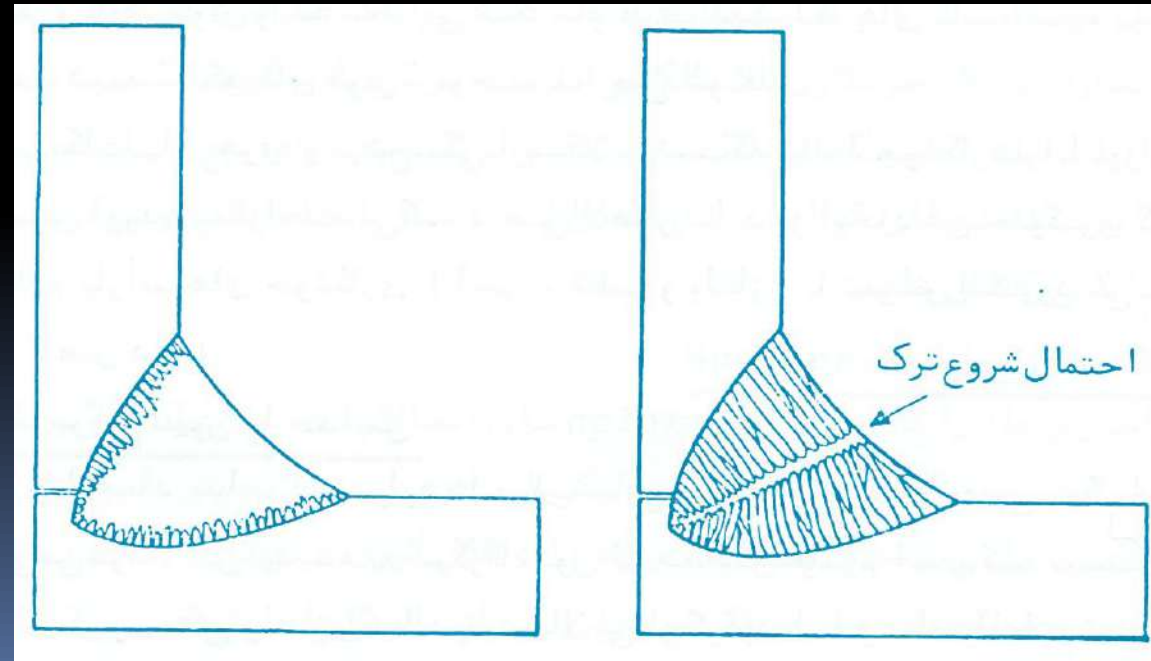
۸- ترک در ریشه فلز جوش

ترک گرم

این ترک حین سرد شدن جوش در زمانی که جوش هنوز گرم است رخ می دهد.

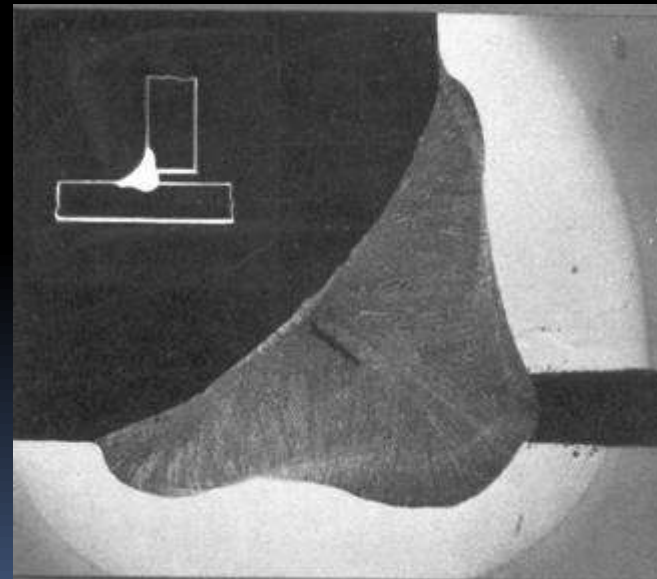
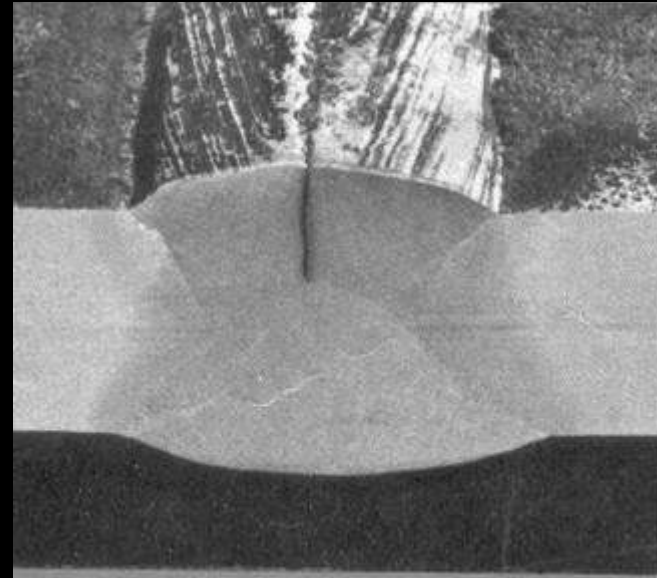
بیشتر ترکهای ایجاد شده در فلز جوش ترک گرم است.

این ترک می تواند ناشی از حضور آخال و عناصر ناخالصی با نقطه ذوب پایین باشد که فاکتور مهار آن را تشدید می کند.



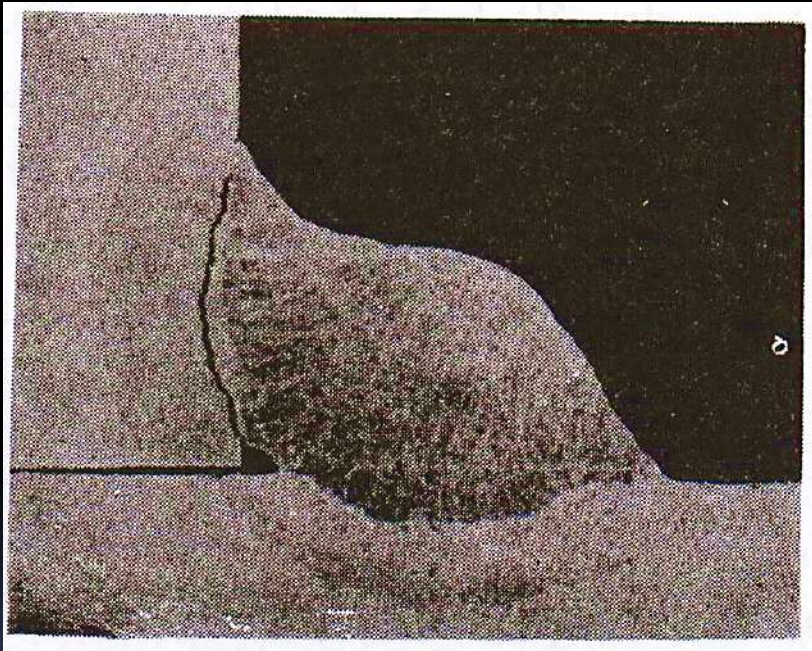
Solidification Cracking

- Causes:
 - Large depth/width ratio of weld bead
 - High arc energy and/or preheat
 - Sulphur, phosphorus or niobium pick-up from parent metal



ترک سرد

در درجه حرارت های پایین و بعد از یک روز یا یک هفته و یا چند هفته می تواند رخ دهد.



۱- ترد و سخت شدن منطقه مجاور جوش

۲- تنش پس ماند

۳- تردی هیدروژنی

۴- نفوذ ناقص (تمرکز تنش)

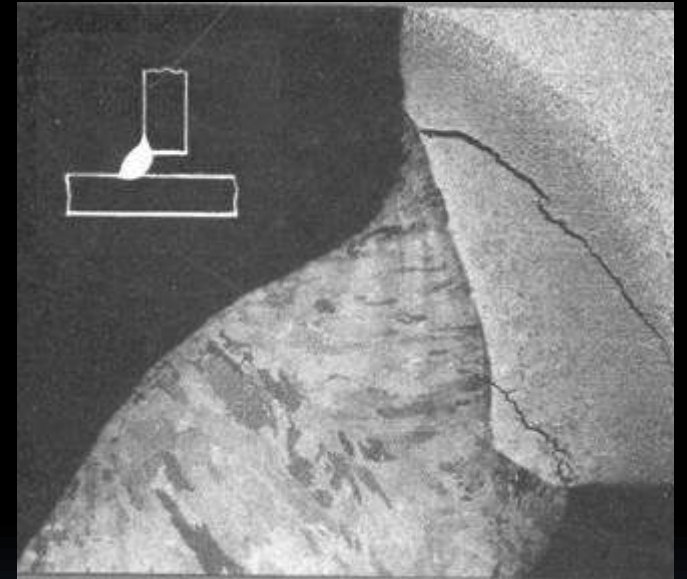
۵- وجود گرده بیش از حد

عوامل ایجاد ترک سرد

Hydrogen Induced HAZ Cracking

■ Causes:

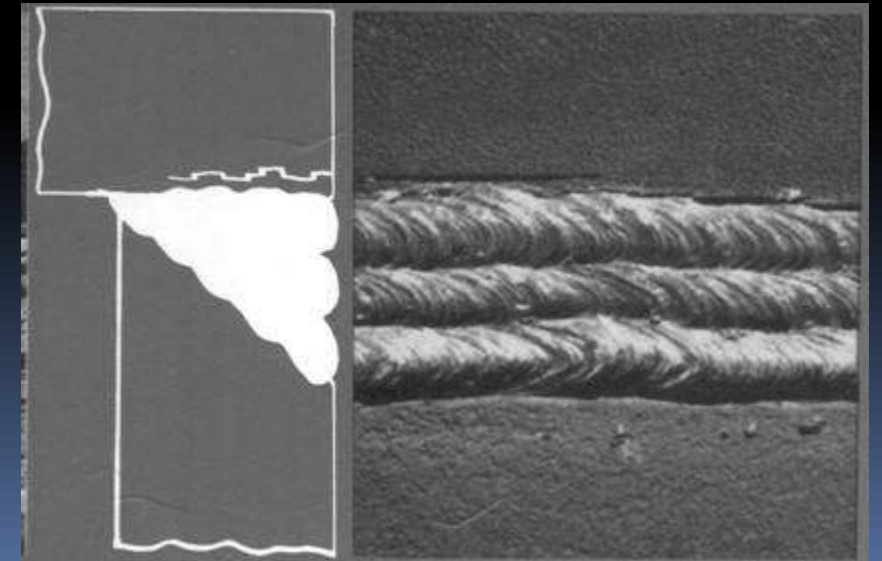
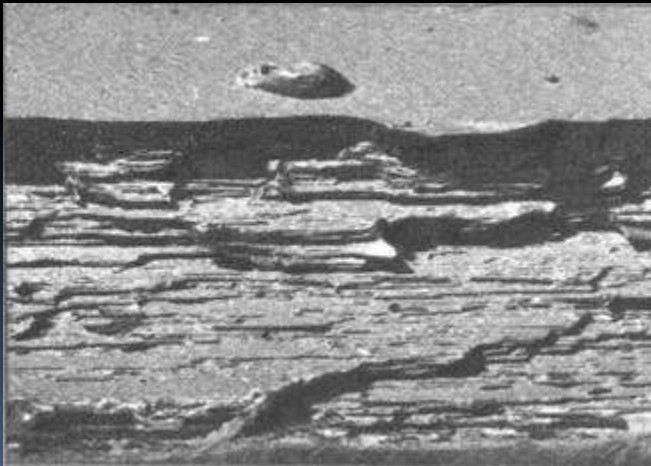
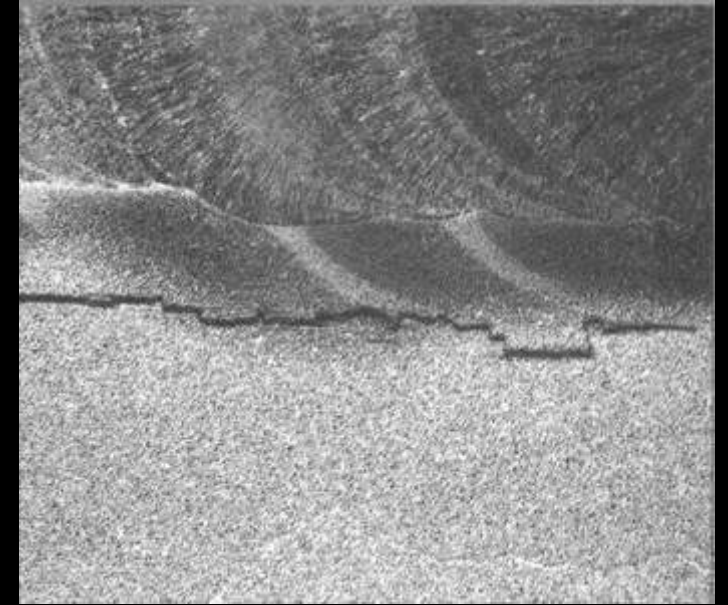
- Hardened HAZ coupled with the presence of hydrogen diffused from weld metal
- Susceptibility increases with the increasing thickness of section especially in steels with high carbon equivalent composition
- Can also occur in weld metal
- Increase welding heat beneficial
- Preheating sometimes necessary
- Control of moisture in consumables and cleanliness of weld prep desirable



Lamellar Tearing

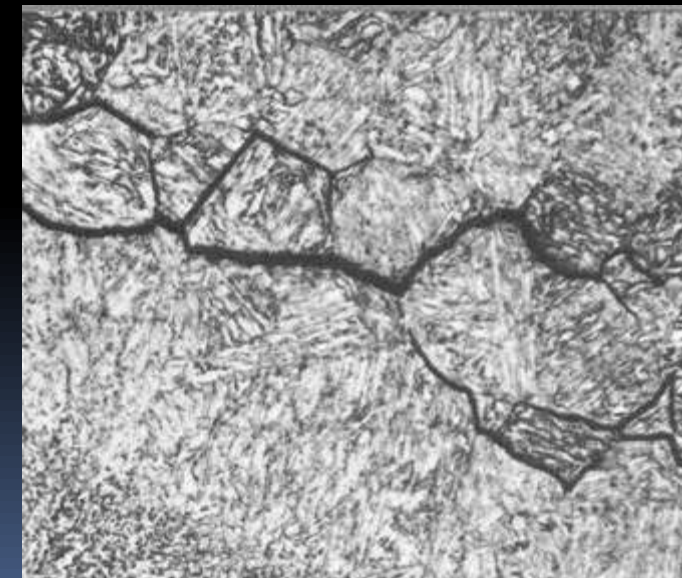
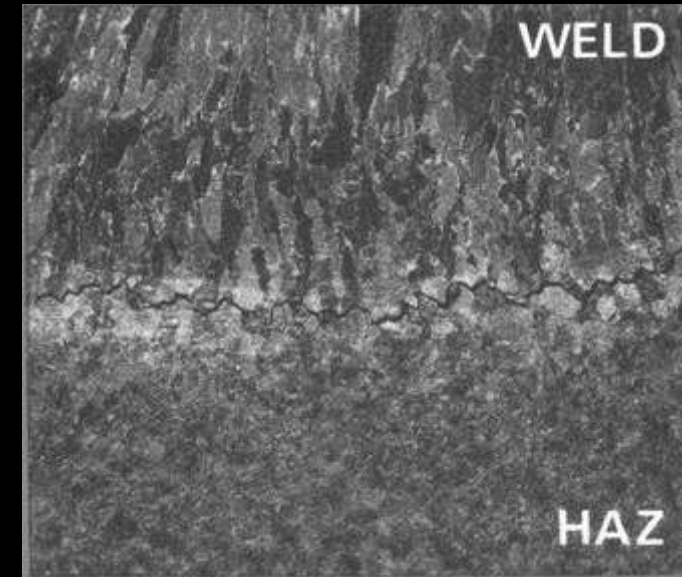
- **Causes:**

- Poor ductility in through-thickness direction in rolled plate due to non-metallic inclusions
- Occurs mainly in joints having weld metal deposited on plate surfaces
- Prior buttering of surface beneficial for susceptible plate

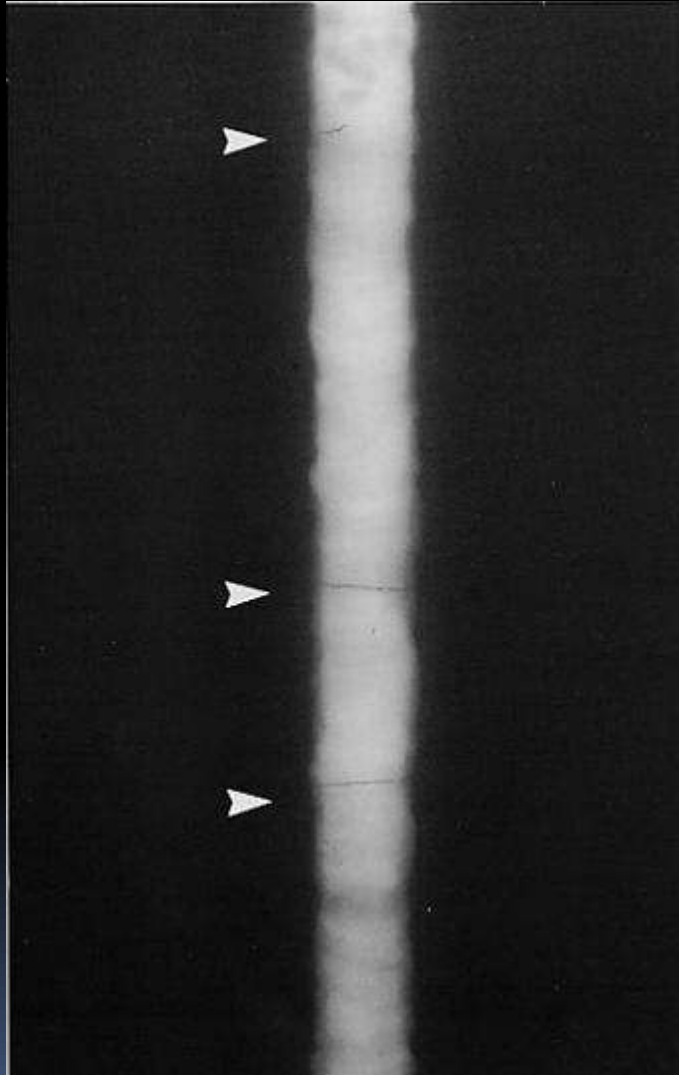


Reheat Cracking

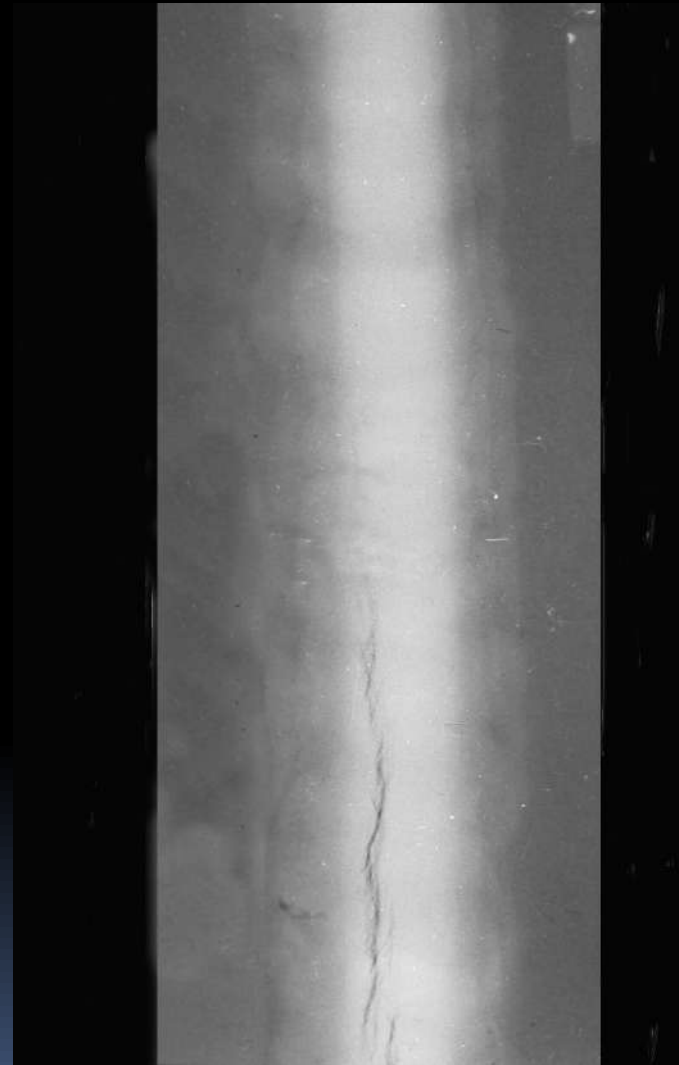
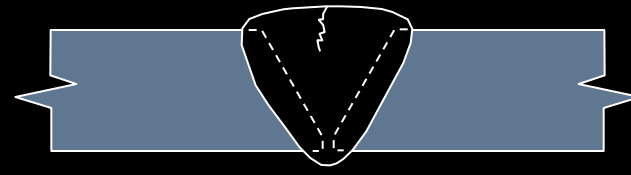
- Occurs in creep resisting and some thick section structural low alloy steels during post weld heat treatment
- **Causes:**
 - Poor creep ductility in HAZ coupled with thermal stress
 - Accentuated by severe notches such as preexisting cracks, or tears at weld toes, or unfused root of partial penetration weld
 - Heat treatment may need to include low temperature soaking
 - Grinding or peening weld toes after welding can be beneficial



X 200



Transverse crack



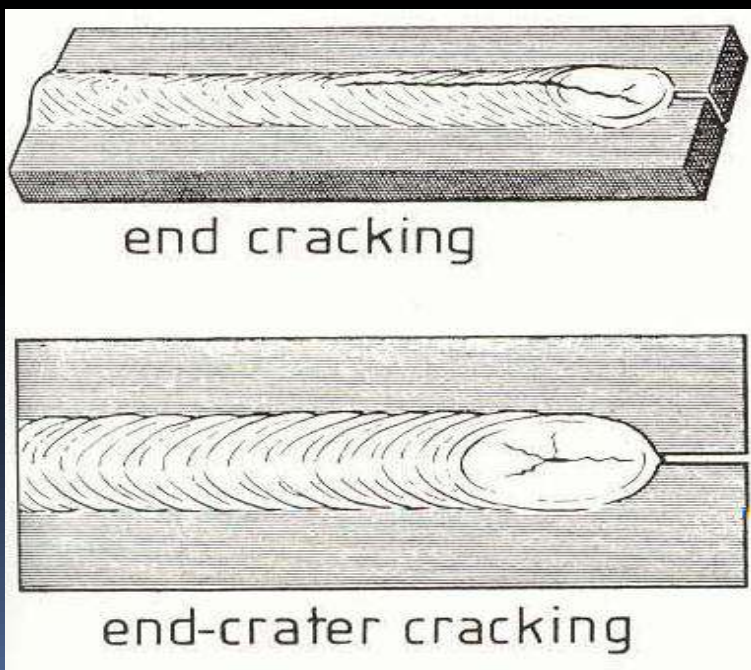
Longitudinal crack

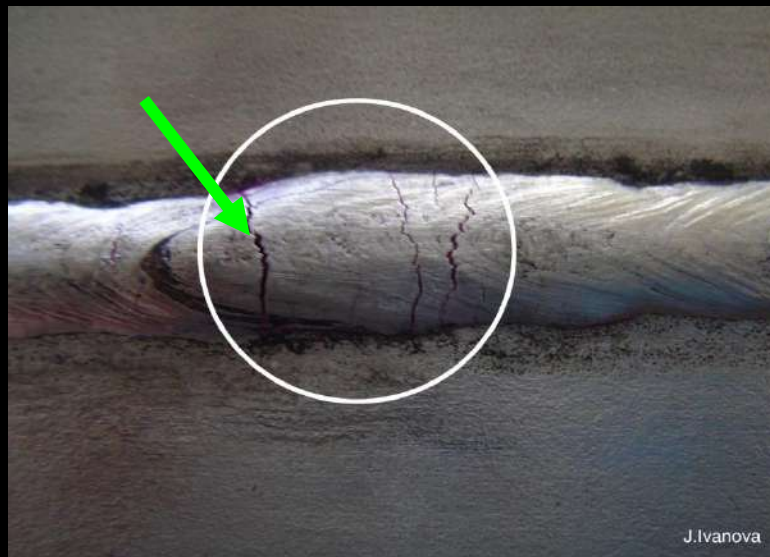
عوامل ایجاد :

۱- عدم مهارت جوشکار ۲- ناخالصی فلز پایه ۳- نامناسب بودن فلز پر کننده از لحاظ ساختار

م탈ورژیکی ۴- عدم کنترل یکی از پارامترهای موثر در فرآیند

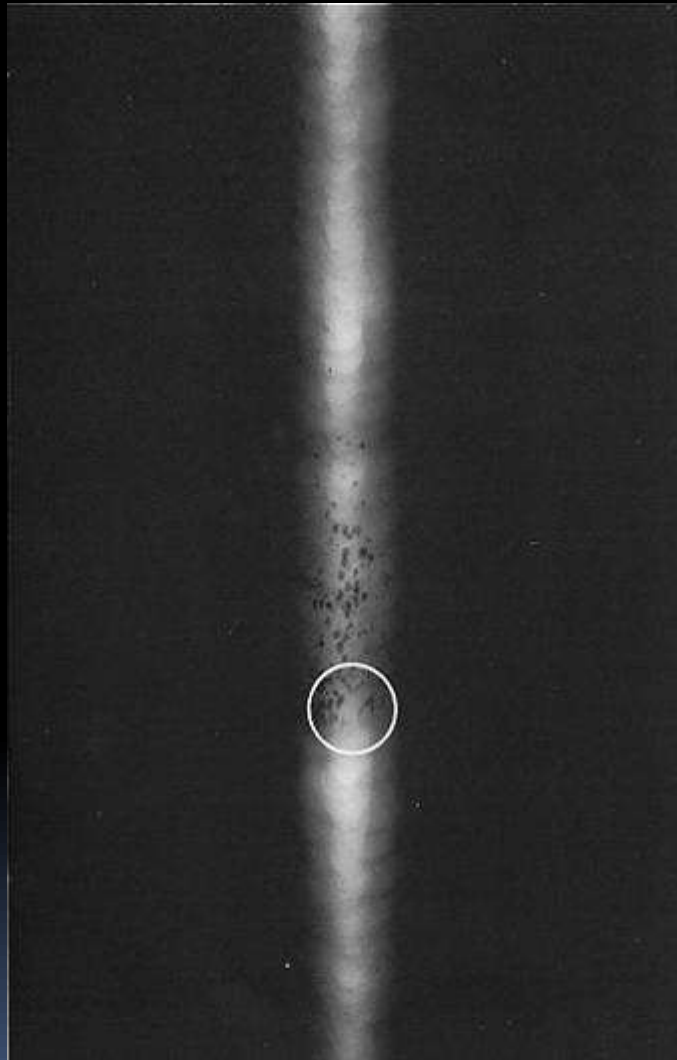
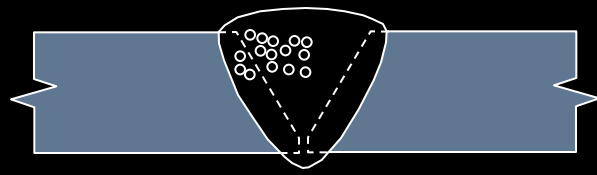
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Crack	>0.5	N.P	N.P	N.P



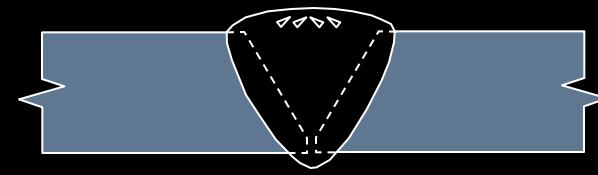


Gas Cavities & surface pore حفرات سطحی





Cluster porosity



Herringbone porosity

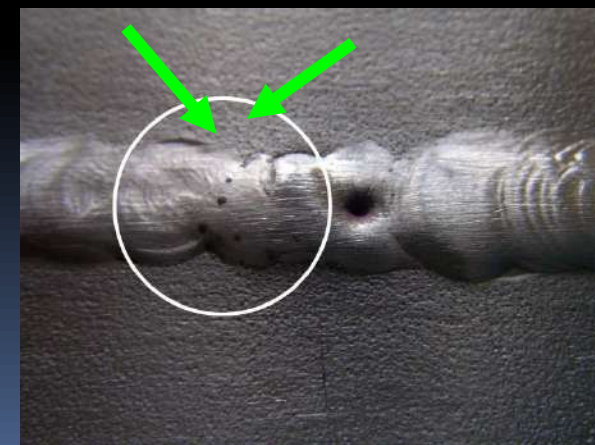
عوامل ایجاد :

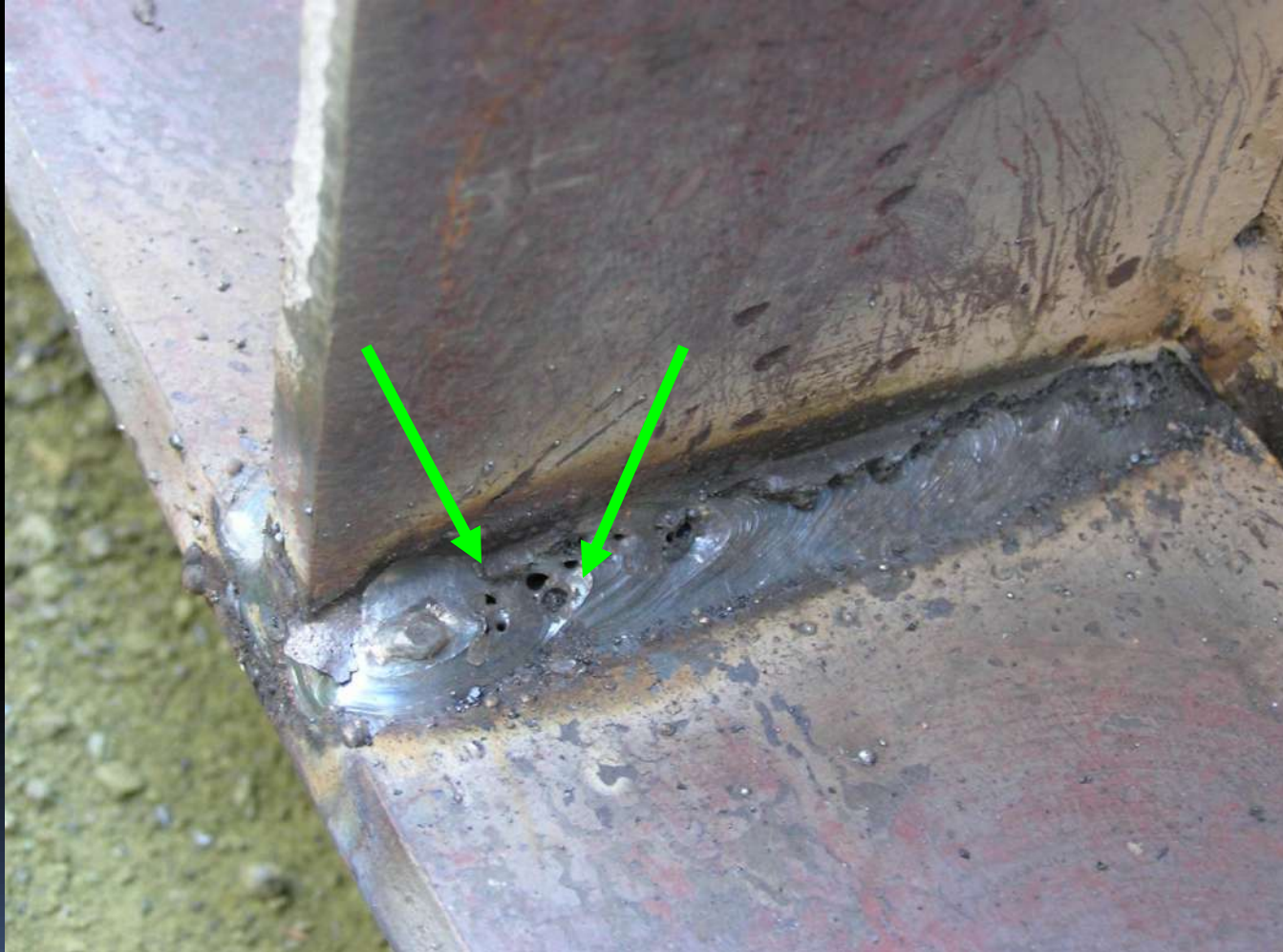
۱- ناخالصی و کثیفی در منطقه مورد جوشکاری و الکتروود

۲- زاویه نامناسب دست نسبت به سطح قطعه کار

۳- عدم حفاظت گازی در فرآیندهای تحت پوشش گاز

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Surface pore	0.5to3	$d < 0.3s$ or $d < 0.3a$	N.P	N.P
	>3	$d < 0.3s$ or $d < 0.3a$ Max3	Max2	N.P



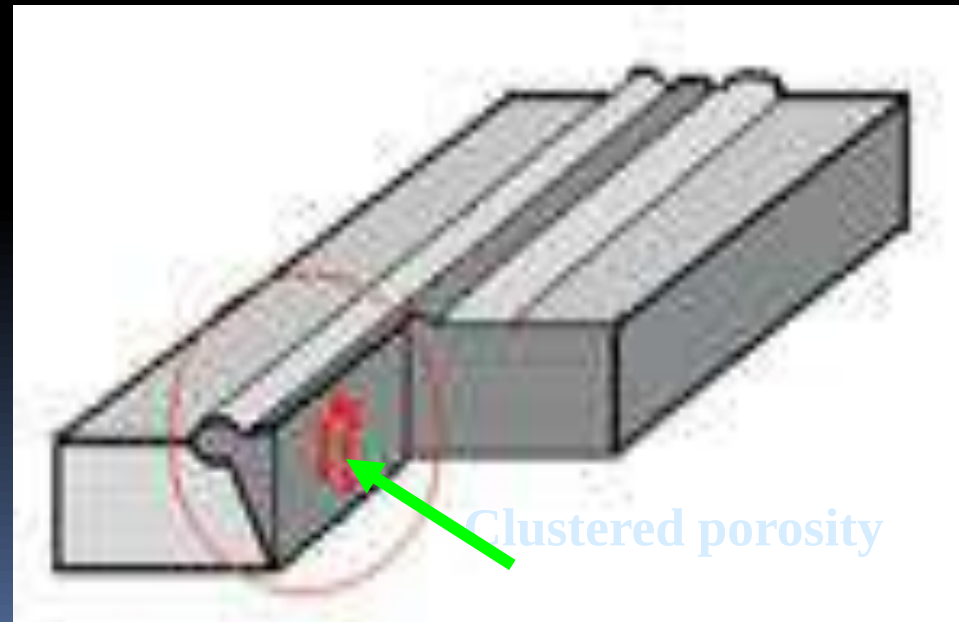


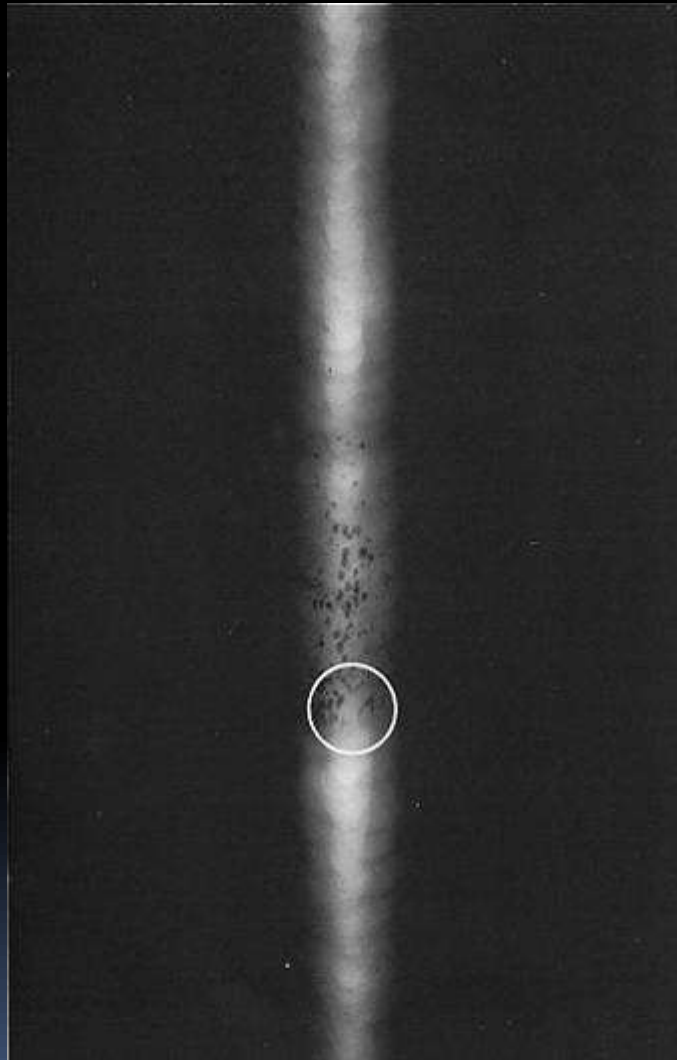
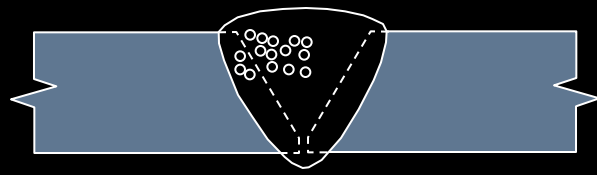
Clustered prosity

عوامل ایجاد:

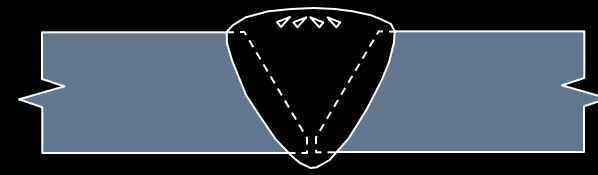
۱- کثیفی درز اتصال ۲- شدت جریان کم ۳- عدم مهارت جوشکار ۴- حبس سرباره

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Clustered (Iocalized) porosity	>0.5	Max4mm	Max3mm	Max2mm





Cluster porosity



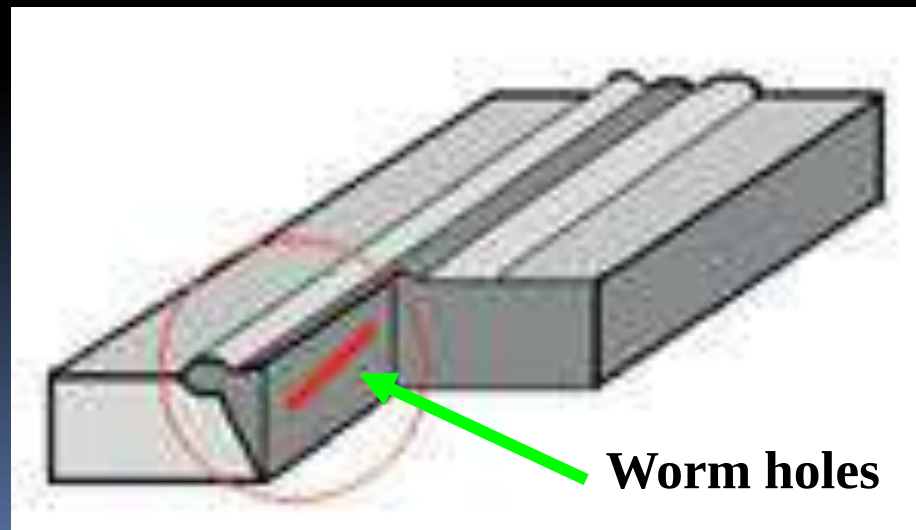
Herringbone porosity

Worm holes

عامل ایجاد:

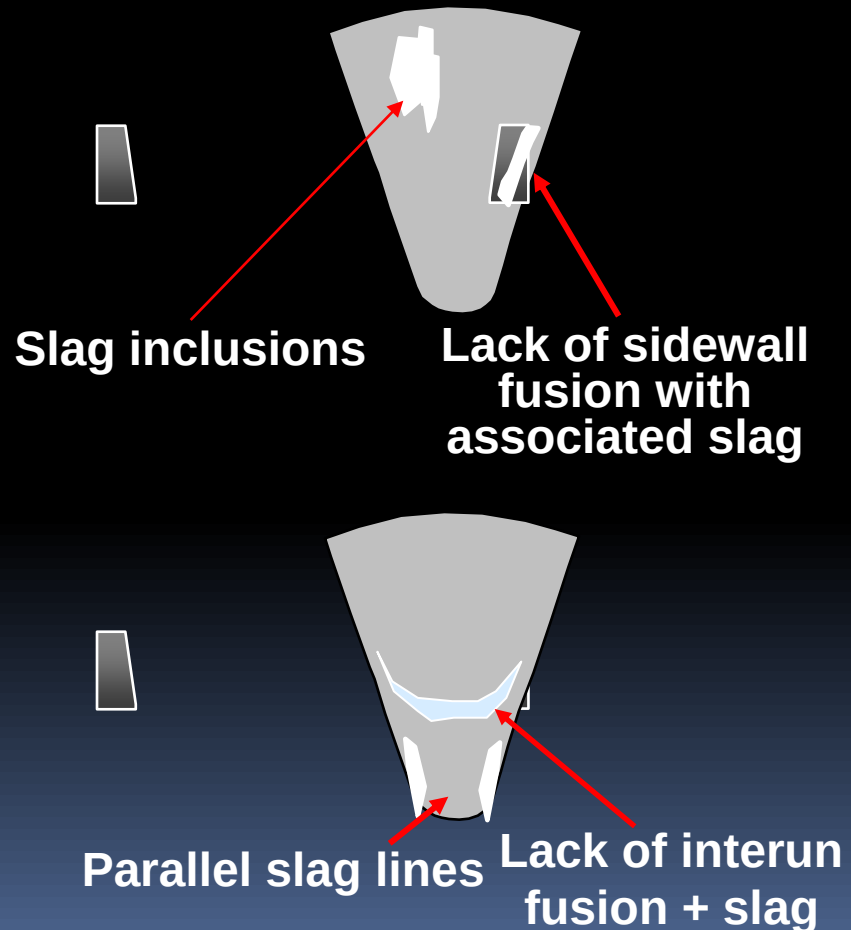
عمدتاً در اثر حبس سرباره و گاز بوجود می آید.

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Elongated cavity wormholes	$>0.5(B.W)$	$h < 0.4s(M4) \quad L < s \quad (75mm)$	$h < 0.3s \quad (Max3mm)$ $L < s \quad (Max50mm)$	$h < 0.2s \quad (max2mm)$ $H < s \quad (Max25mm)$
	$>0.5(F.W)$	$h < 0.4s(M4) \quad L < s \quad (75mm)$	$h < 0.3s \quad (Max3mm)$ $L < s \quad (Max50mm)$	$h < 0.2s \quad (max2mm)$ $H < s \quad (Max25mm)$



Solid Inclusions

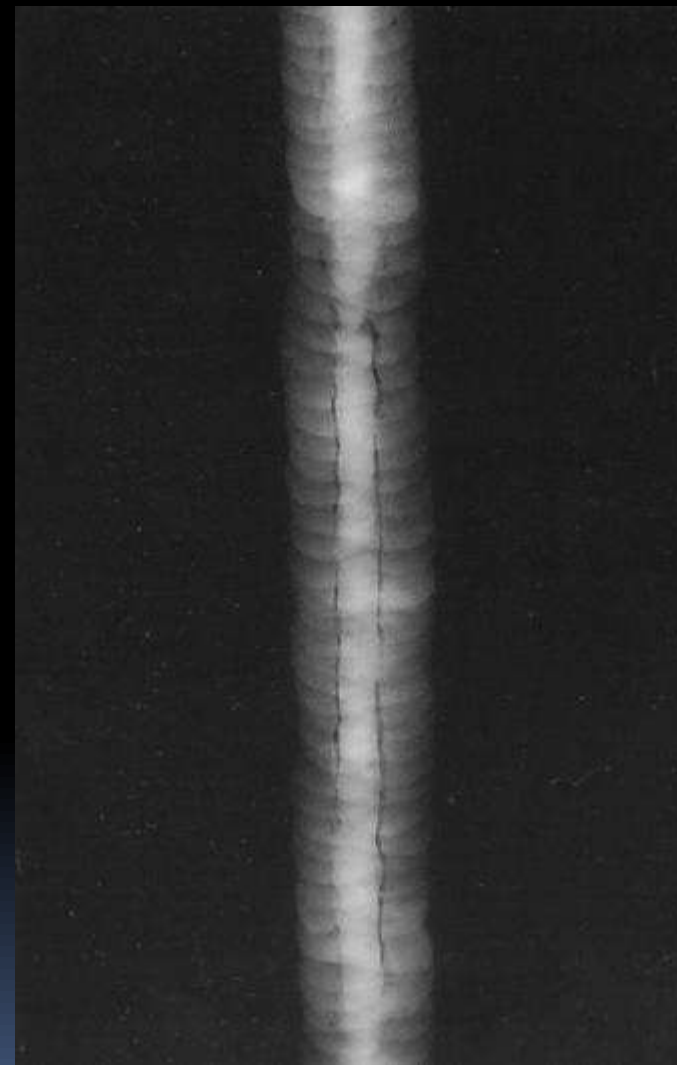
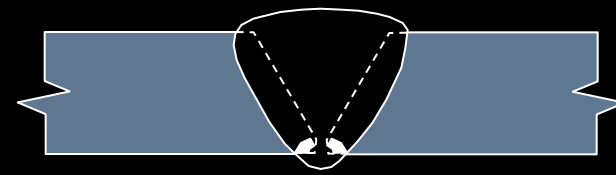
Slag inclusions are defined as a non-metallic inclusion caused by some welding process



- Slag originates from welding flux
- MAG and TIG welding process produce silica inclusions
- Slag is caused by inadequate cleaning
- Other inclusions include tungsten and copper inclusions from the TIG and MAG welding process



Interpass slag inclusions

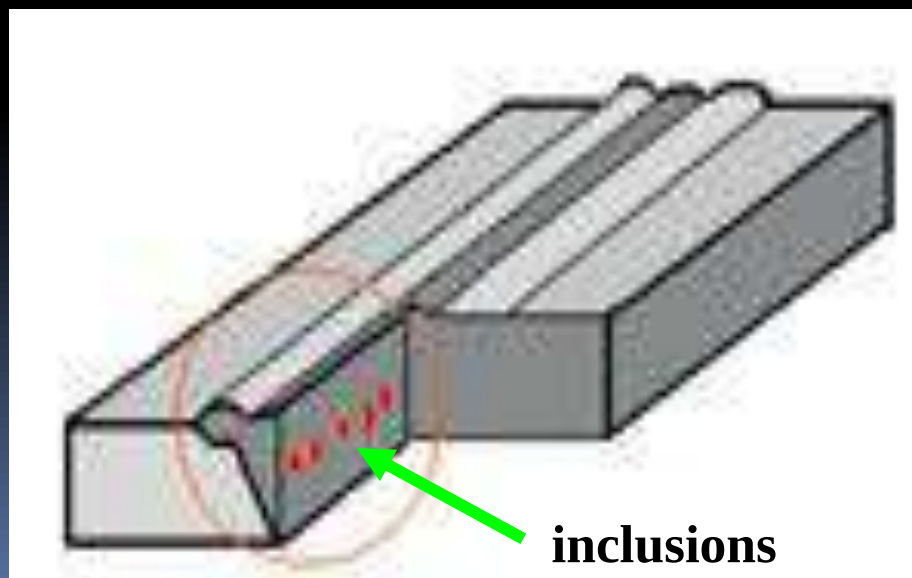


Elongated slag lines

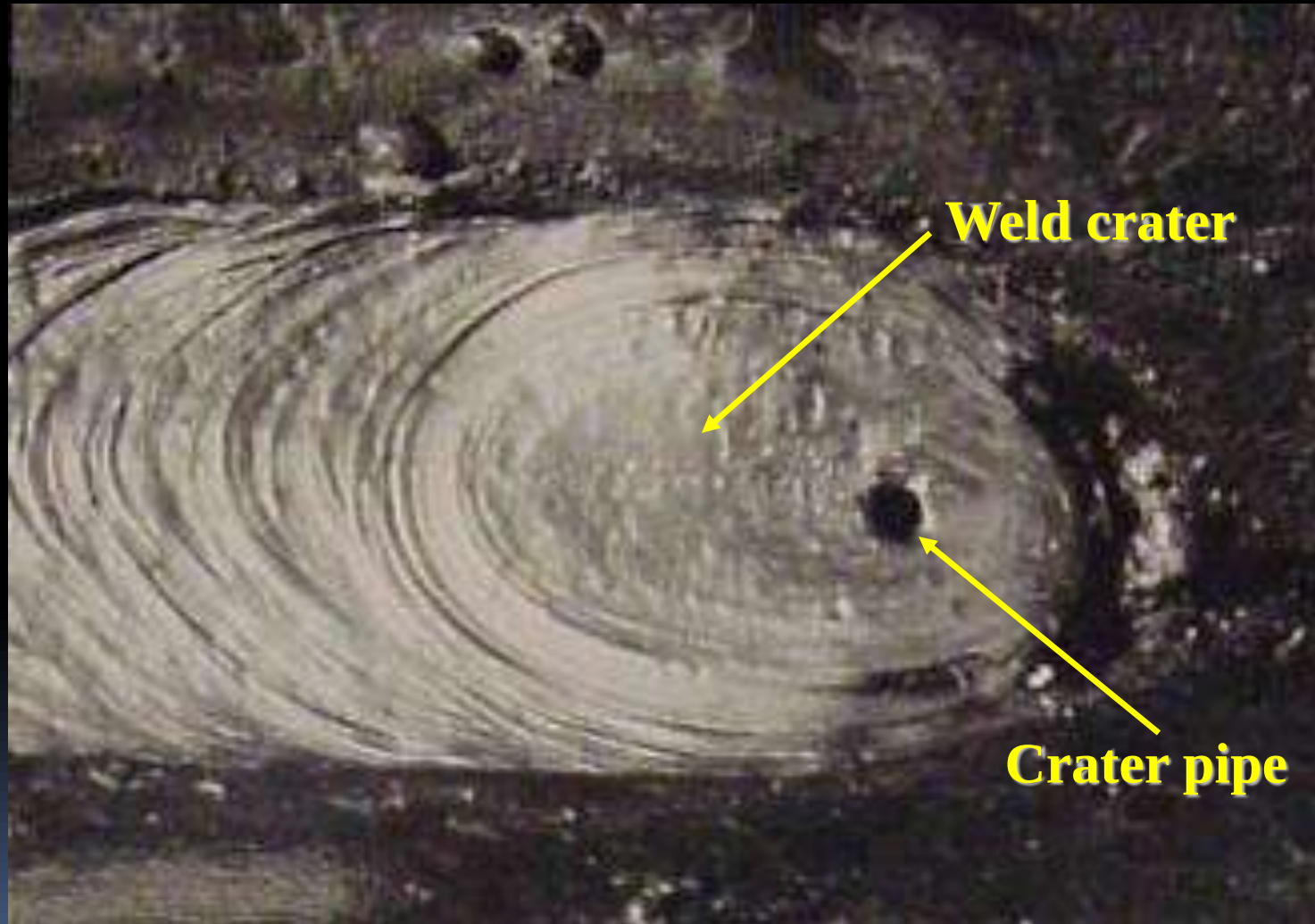
عوامل ایجاد:

۱- آلودگی الکترود و محل جوشکاری ۲- شدت جریان کم

Imperfection	T (mm)	D	C	B
(Solid-Slag-Flux-Oxide) inclusions	$>0.5(B.W)$	$h < 0.4s(m4)$ $L < s \text{ Max } 75\text{mm}$	$h < 0.3s(m3)$ $L < s \text{ Max } 50\text{mm}$	$h < 0.2s(m2)$ $L < s$ $\text{Max } 25\text{mm}$
	$>0.5(F.W)$	$h < 0.4s(m4)$ $L < s \text{ Max } 75\text{mm}$	$h < 0.3s(m3)$ $L < s \text{ Max } 50\text{mm}$	$h < 0.2s(m2)$ $L < s$ $\text{Max } 25\text{mm}$

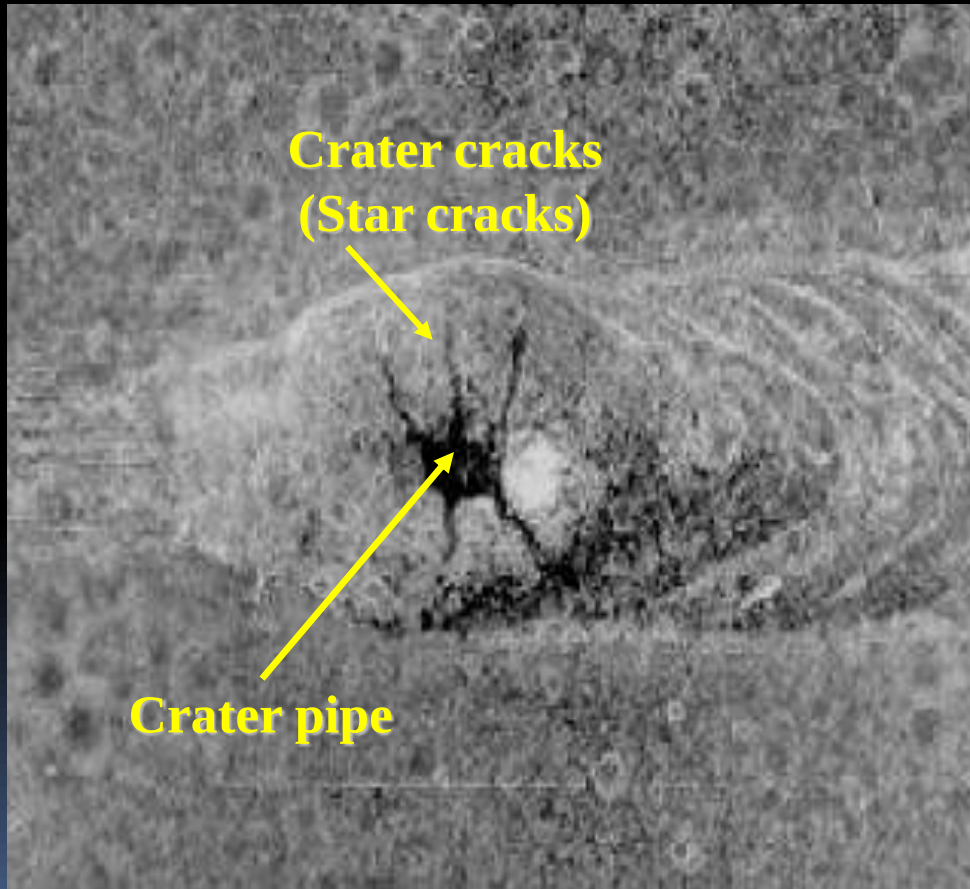


Crater Pipe



Crater Pipe

Crater pipe is a shrinkage defect and not a gas defect, it has the appearance of a gas pore in the weld crater

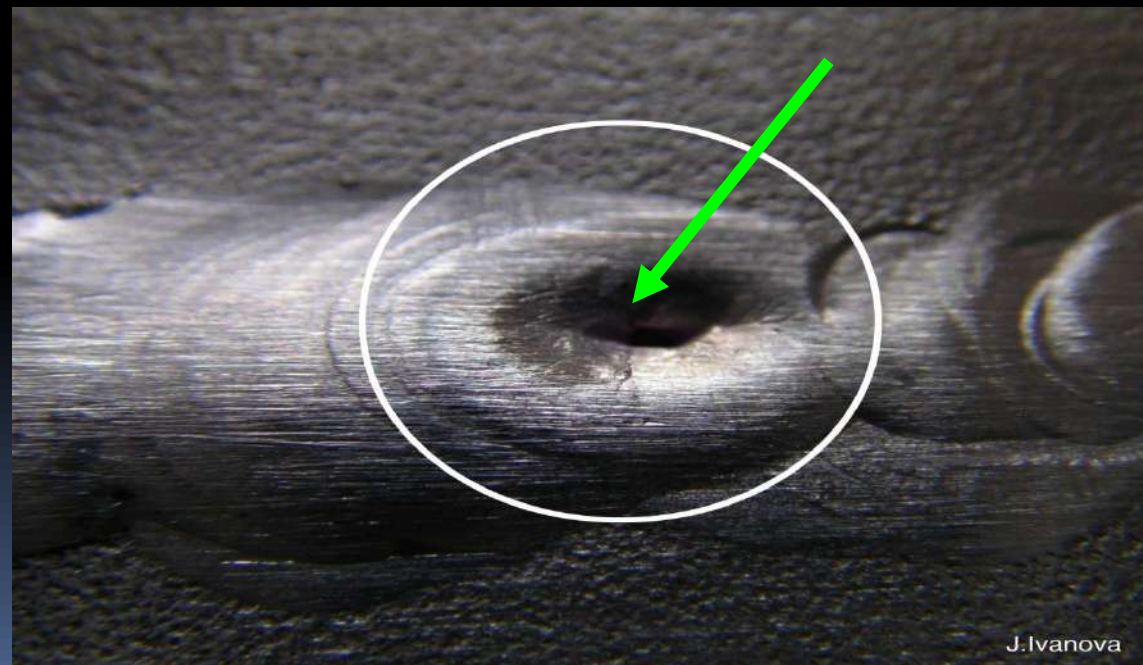


- Too fast a cooling rate
- Deoxidization reactions and liquid to solid volume change
- Contamination

عوامل ایجاد:

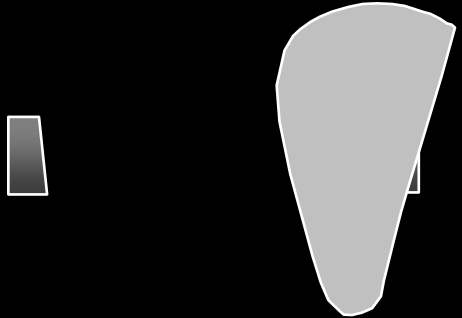
۱- عدم مهارت جوشکار ۲- پر نشدن حوضچه مذاب از فلز پرکننده ۳- کثیفی سطح کار

Imperfection	T (mm)	D	C	B
End crater pore	0.5to3	$b < 0.2t$	N.P	N.P
	>3	$\text{Max}2(h < 0.2t)$	$\text{Max}2(h < 0.1t)$	N.p

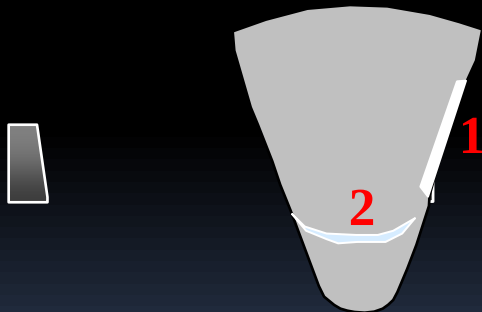


Lack of Fusion

Lack of Fusion



**Incomplete filled groove
+ Lack of sidewall fusion**



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

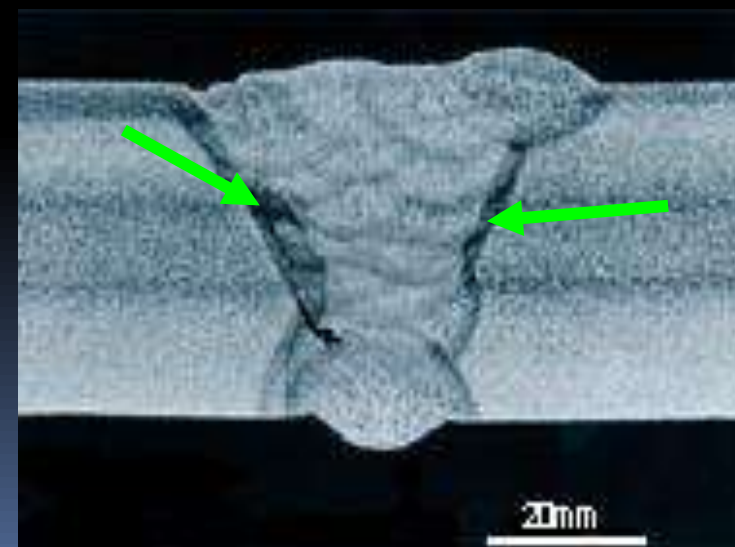
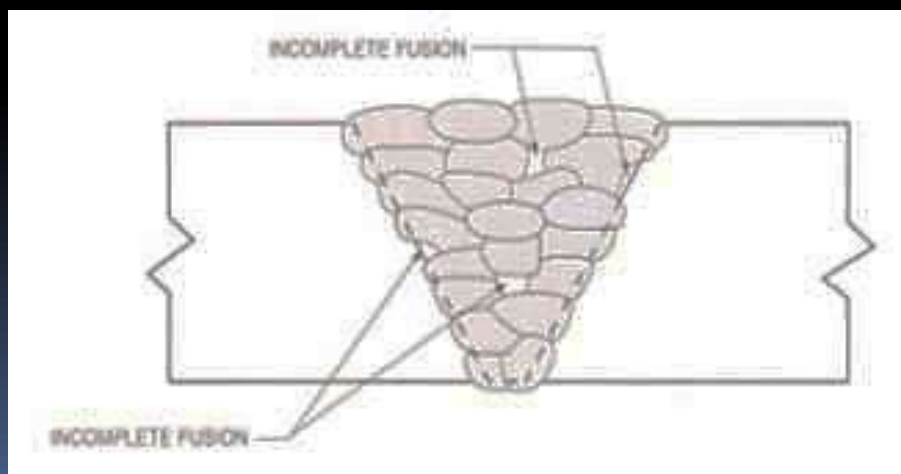
- Poor welder skill
- Incorrect electrode manipulation
- Arc blow
- Incorrect welding current/voltage
- Incorrect travel speed
- Incorrect inter-run cleaning

عوامل ایجاد:

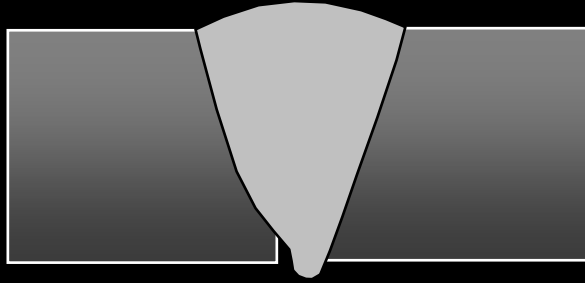
۱- کافی نبودن انرژی ورودی ۲- عدم انتخاب صحیح اندازه و نوع الکترود ۳- مناسب نبودن طرح اتصال

۴- کافی نبودن گاز محافظ در فرآیندها با پوشش گاز ۵- عدم تمیز کاری در بین پاسها

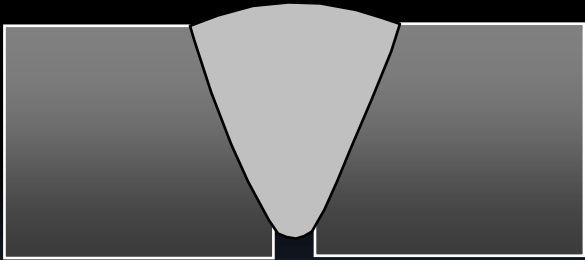
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Lack of fusion(incomplete fusion or micro L.O.F)	>0.5	N.P	N.P	N.P



Weld Root Defects(lop&lof)



Incomplete root fusion



Incomplete root penetration

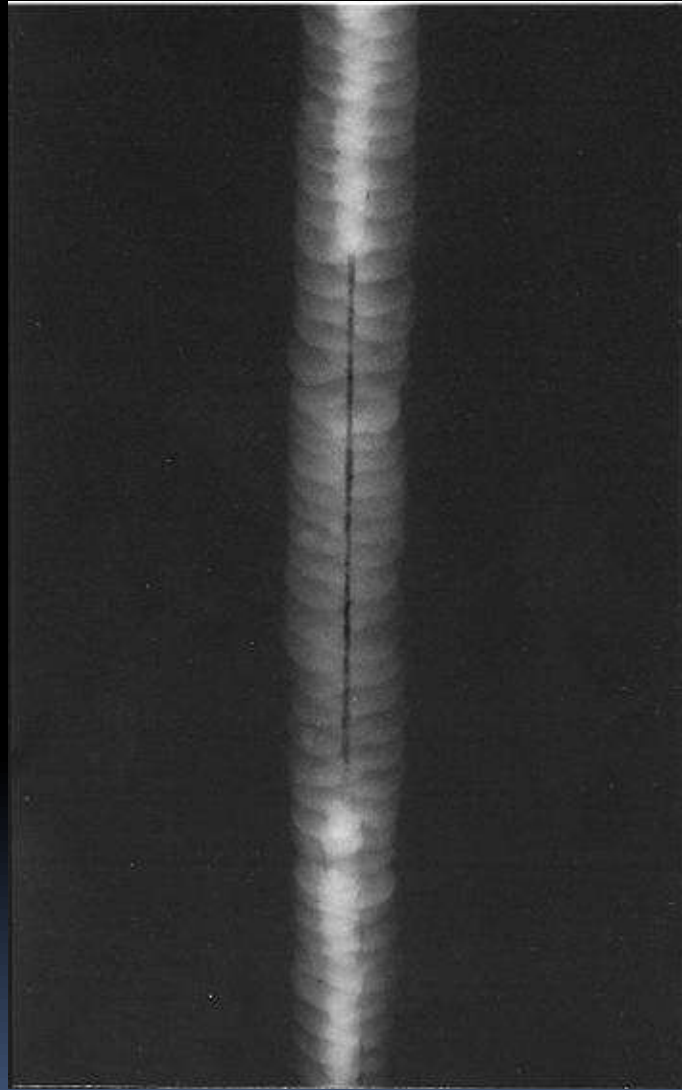
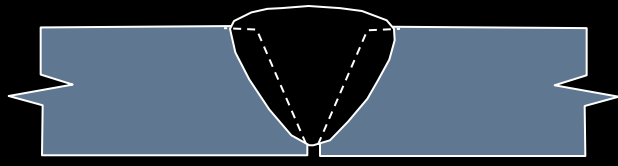
- Low Amps/volts
- Large Root face
- Small Root Gap
- Fast Travel Speed
- Incorrect Electrode Angle
- Contamination
- Arc blow

Weld Root Defects

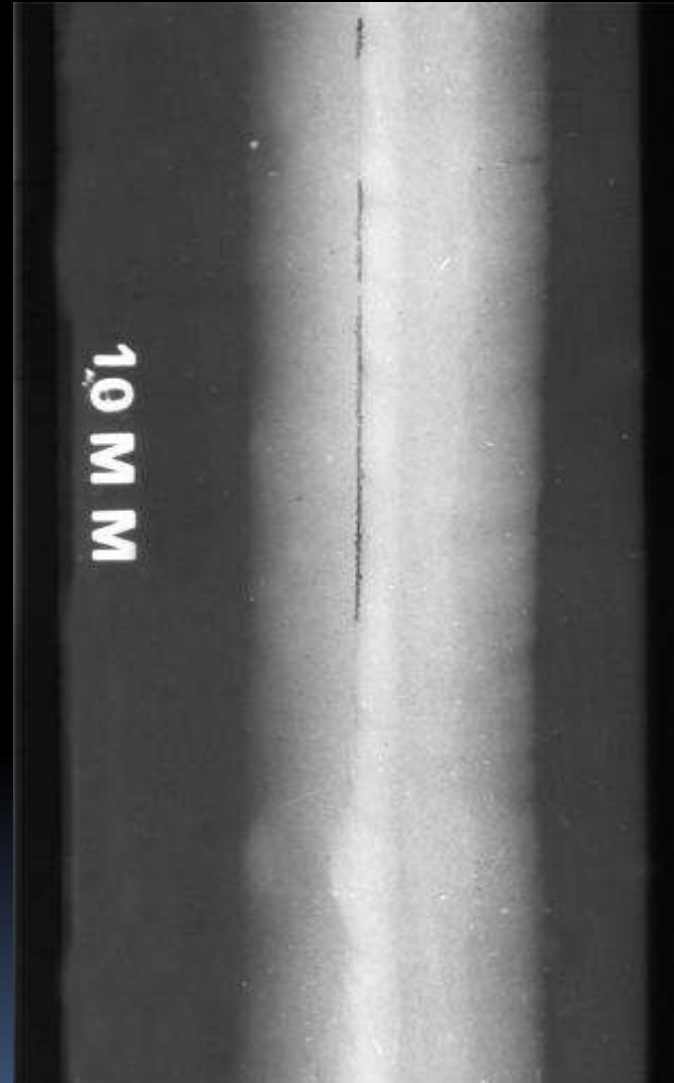
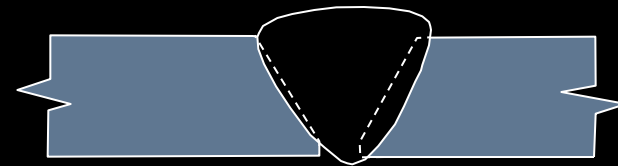


Lack of root fusion

Lack of root Penetration



Lack of root penetration

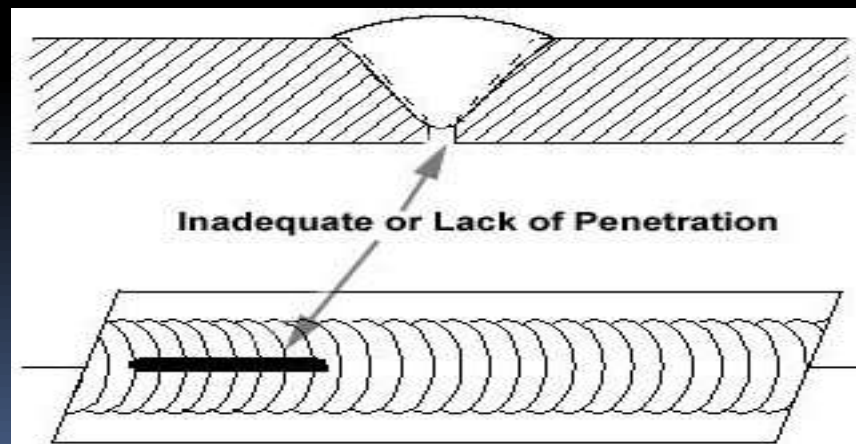


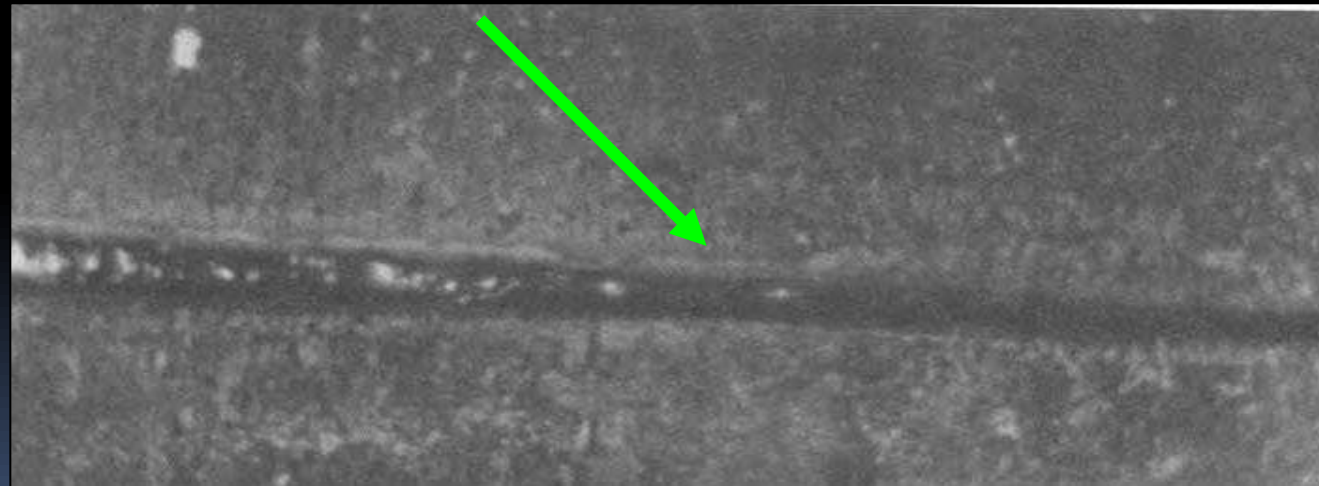
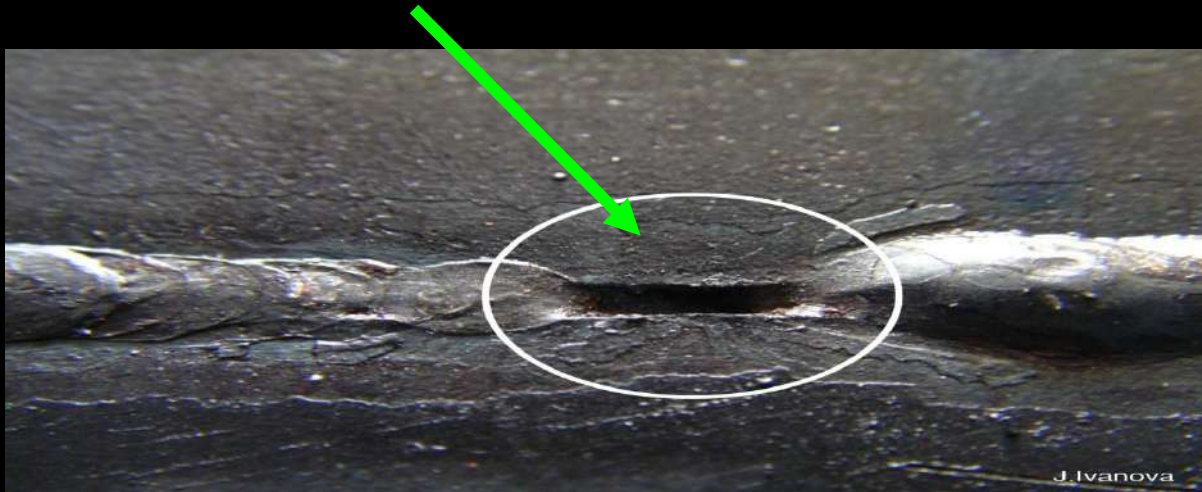
Lack of root fusion

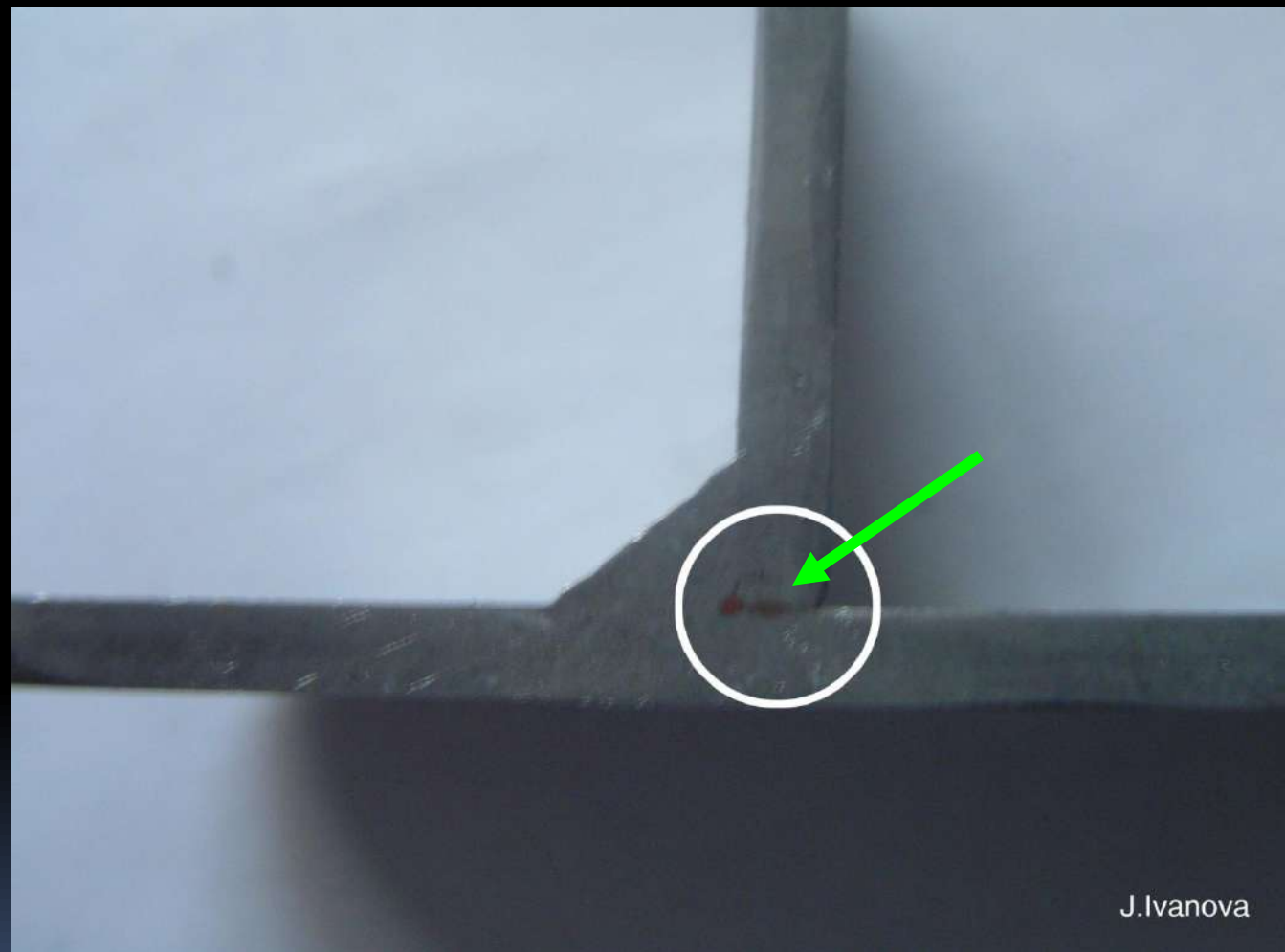
عوامل ایجاد:

۱- پایین بودن شدت جریان ۲- زاویه نامناسب دست ۳- کثیفی درز ۴- کم بودن زاویه پخ

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Incomplete root penetration	>0.5	$h < 0.2t$ Max2	N.P	N.P



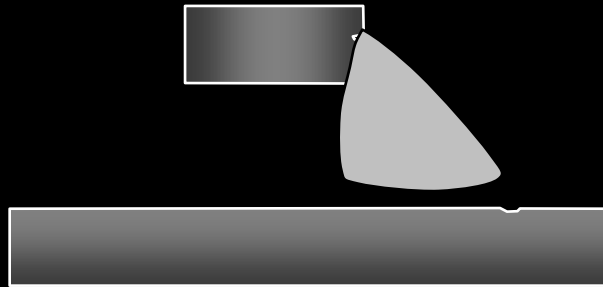




J.Ivanova

Cap & Root Undercut

An irregular groove at the toe of a weld run in the parent metal

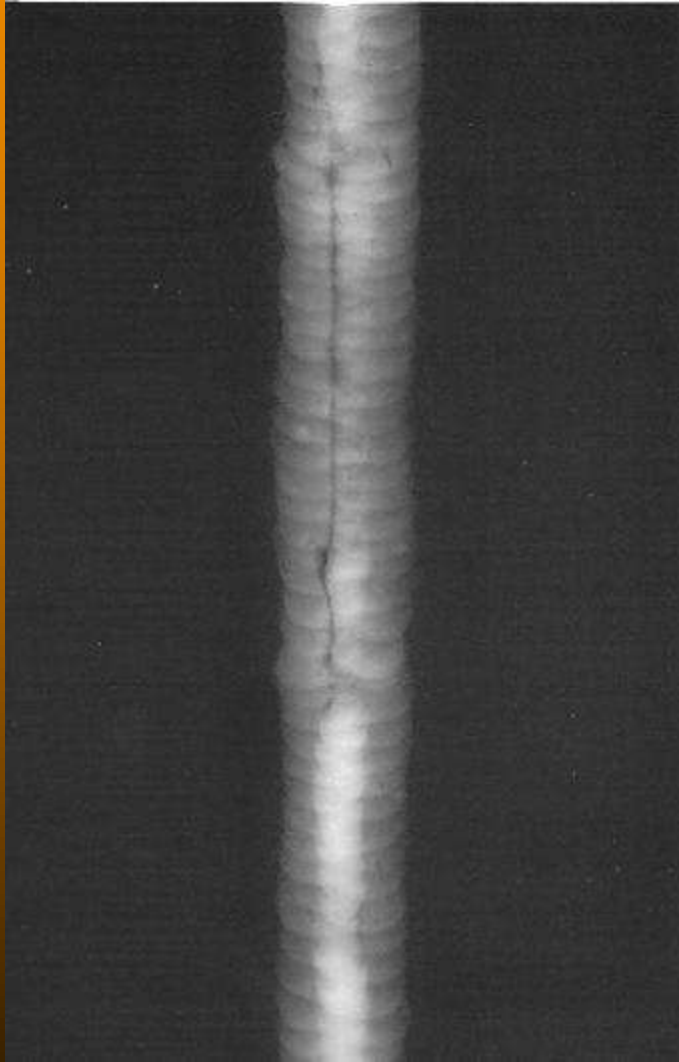
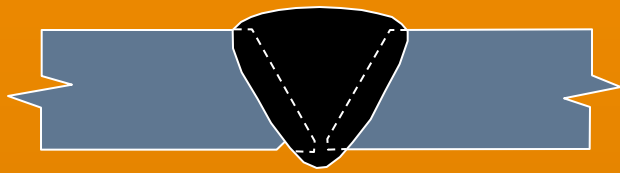


- Excessive amps/volts
- Excessive travel speed
- Incorrect electrode angle
- Excessive weaving
- Incorrect welding technique
- Electrode too large

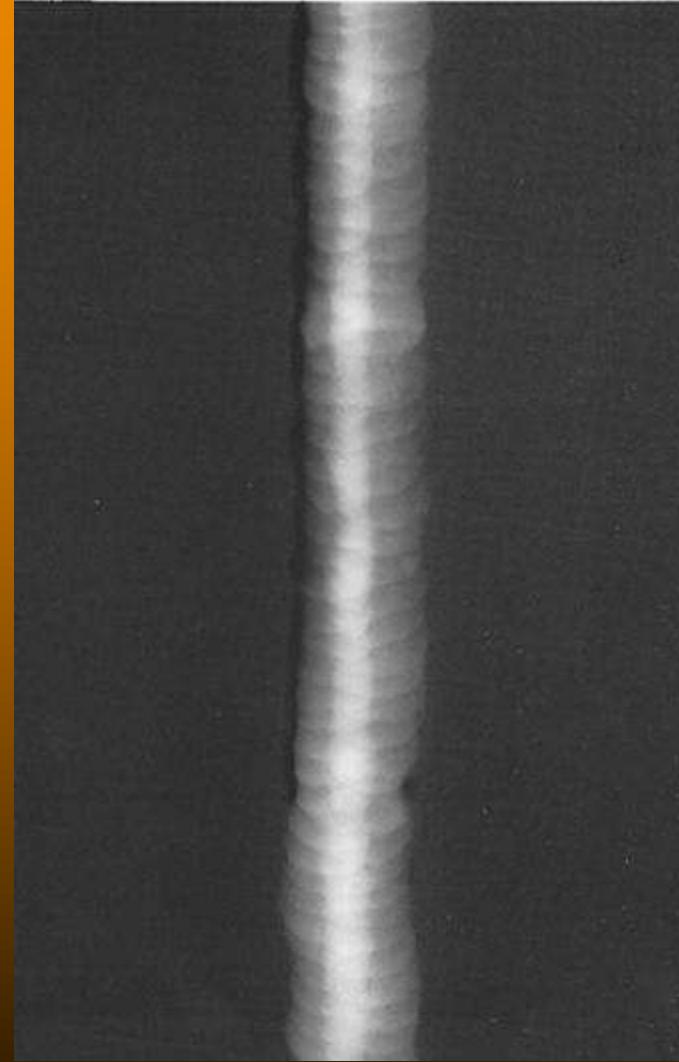
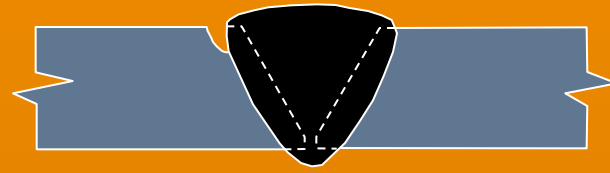
Cap Undercut



Intermittent Cap Undercut



Root undercut

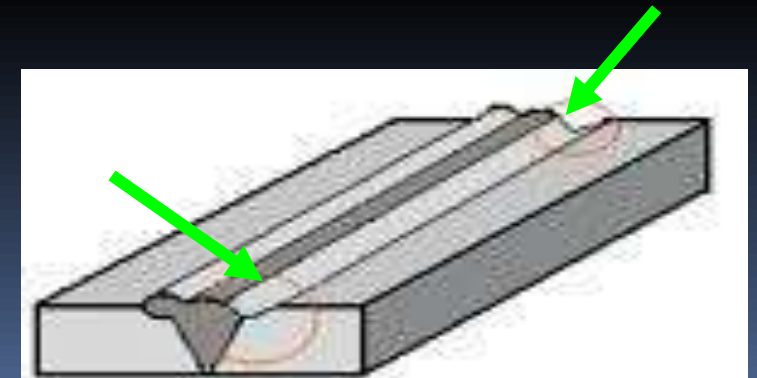
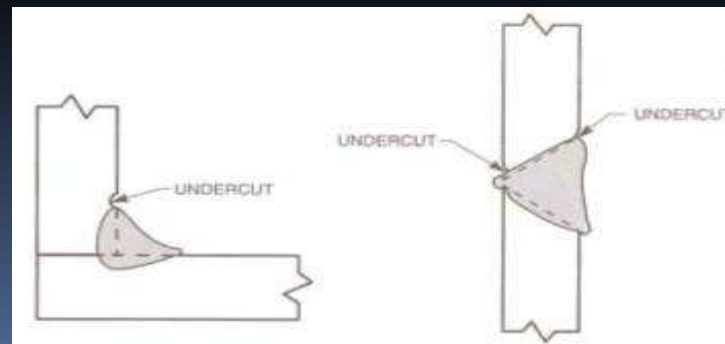
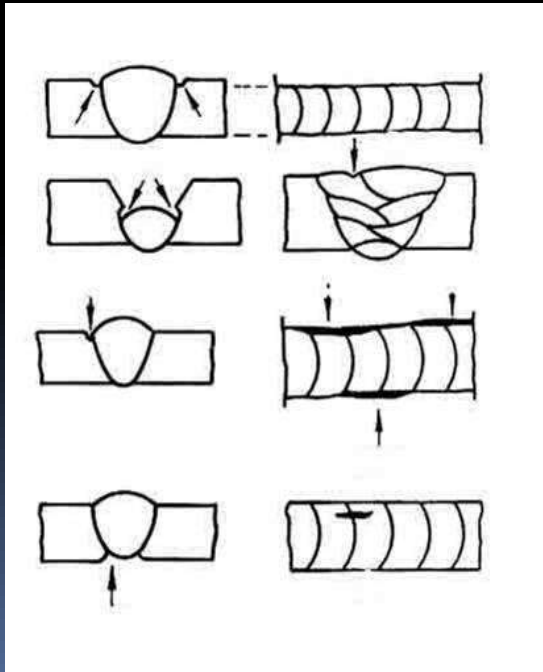


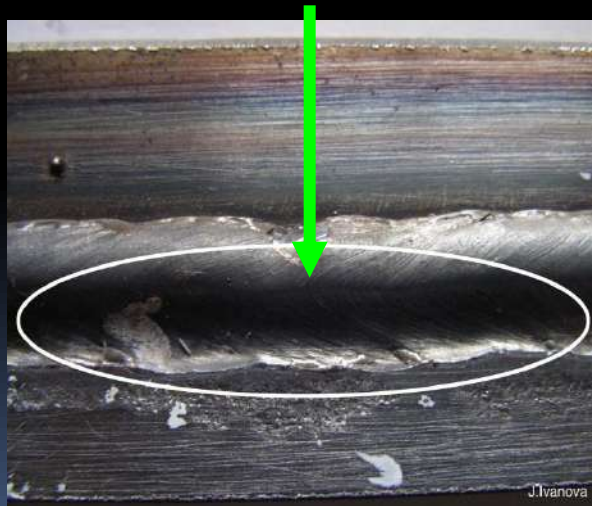
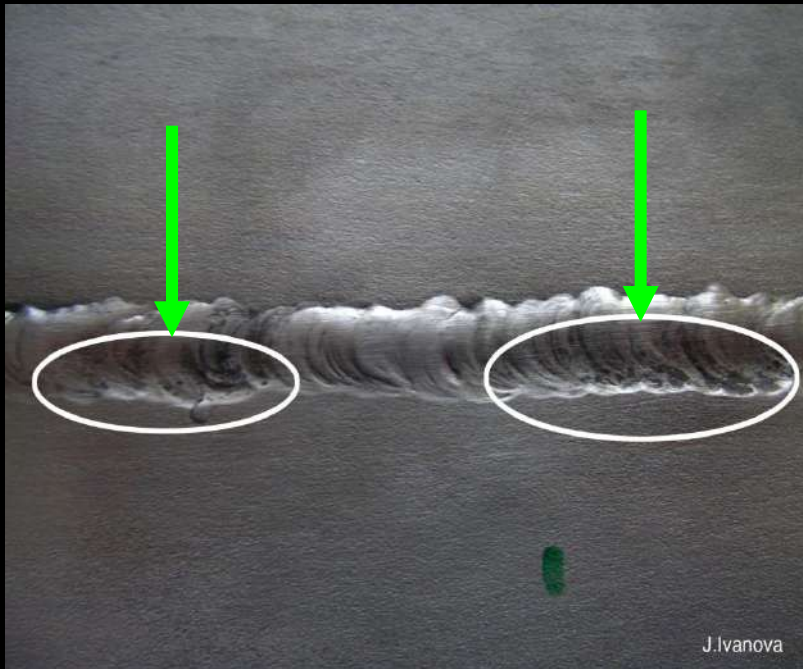
Cap undercut

عوامل ایجاد

۱- بالا بودن شدت جریان ۲- زاویه نامناسب و سرعت زیاد ۳- کالیبره نبودن دستگاه جوشکاری ۴- زیاد بودن طول قوس

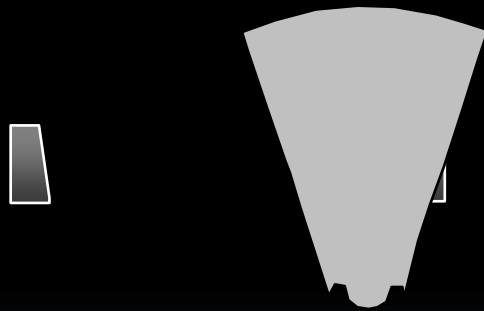
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Continuous/Intermittent undercut	0.5to3	$h < 0.2t$	$h < 0.1t$	N.P
	> 3	$\text{Max}1(h < 0.2t)$	$\text{Max}0.5(h < 0.1t)$	$\text{Max}0.5$





Weld Root Defect(Shrinkage groove)

A shallow groove caused by contraction in the weld metal along each side of the penetration bead



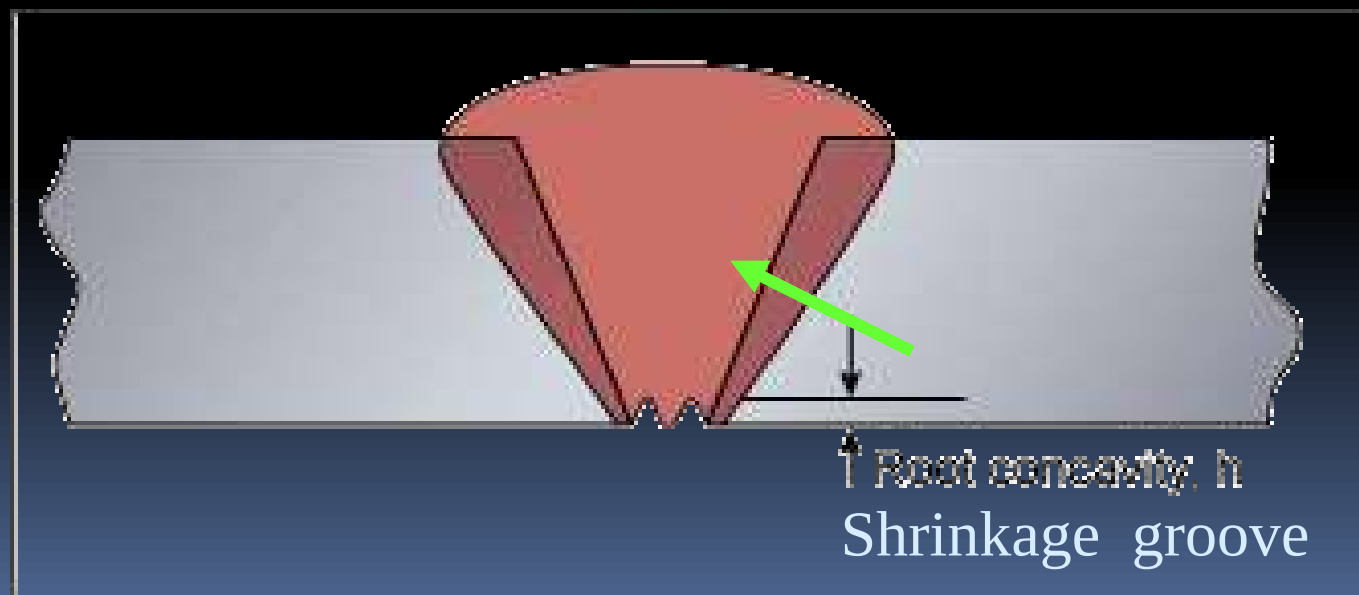
Shrinkage groove

- Insufficient weld metal deposited in the root pass
- Too fast a cooling rate during the application of the root bead pass
- Poor welding technique

عوامل ایجاد:

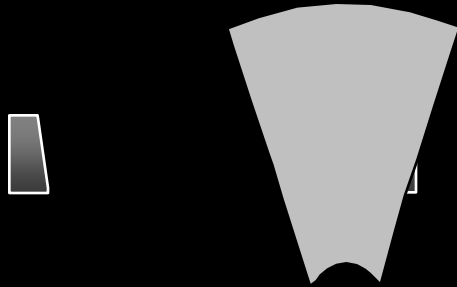
۱- مهارت ناکافی جوشکار در اضافه نمودن سیم جوش ۲- حرکت نامناسب دست

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Shrinkage groove	0.5to3	$h < 0.1t + 0.2\text{mm}$	$h < 0.1t$	N.P
	>3	$h < 0.2t(\text{Max}2)$	$h < 0.1t(\text{Max}1)$	$h < 0.05t$ Max0.5



Weld Root Defect(root concavity)

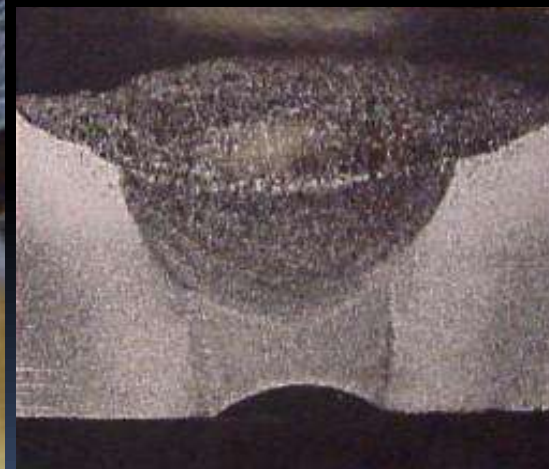
A shallow groove, which may occur in the root of a butt weld



Concave root

- Root faces too large
- Root gap too large
- Excessive back purge pressure during TIG welding
- Excessive root bead grinding before the application of the second pass

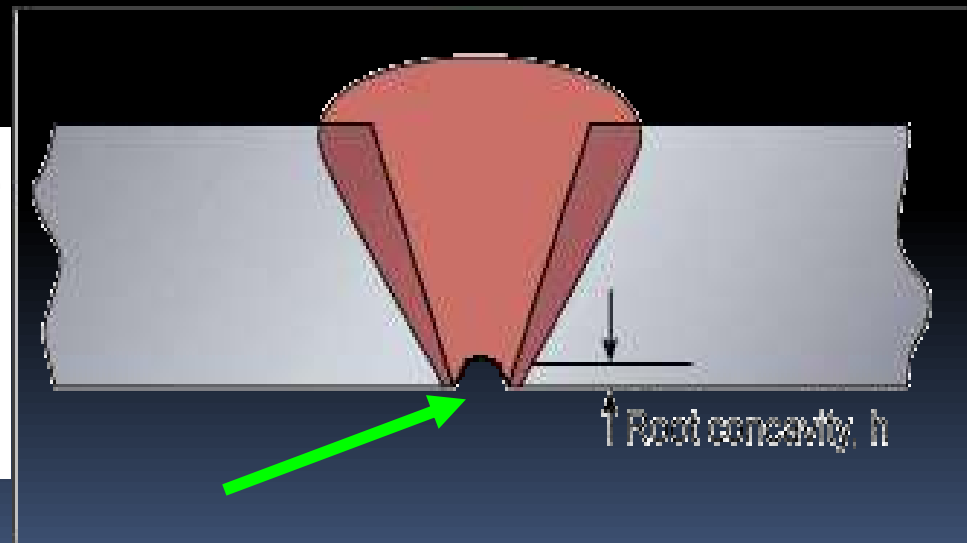
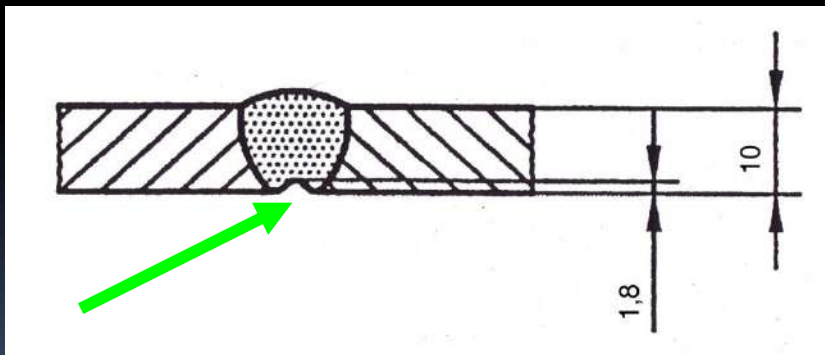
Weld Root Defect



عوامل ایجاد:

۱- استفاده از الکترود با قطر بالا ۲- شدت جریان بیش از اندازه ۳- زاویه پخ زیاد

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Root concavity	0.5 to 3	$h < 0.1t + 0.2\text{mm}$	$h < 0.1t$	N.P
	> 3	$h < 0.2t$ (2mm)	$h < 0.1t$ (1mm)	$h < 0.05t$ (0.5mm)

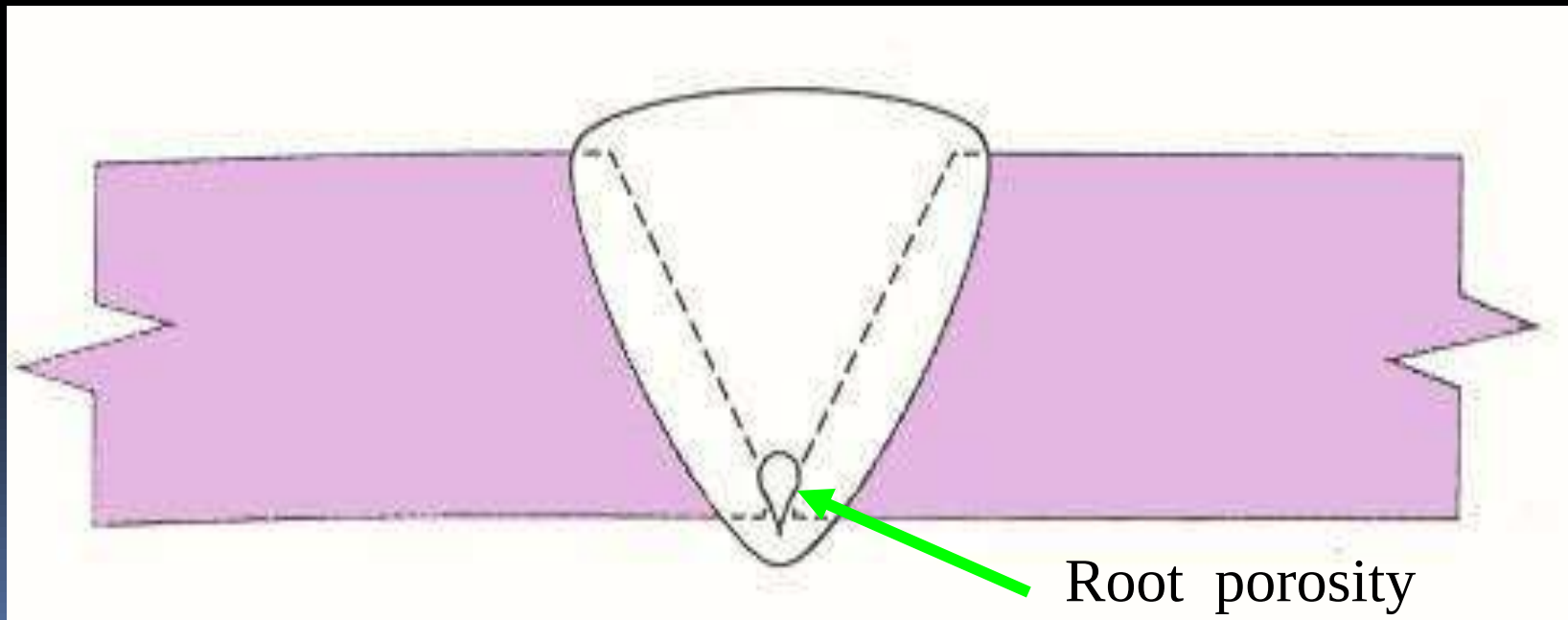


Root porosity

عوامل ایجاد:

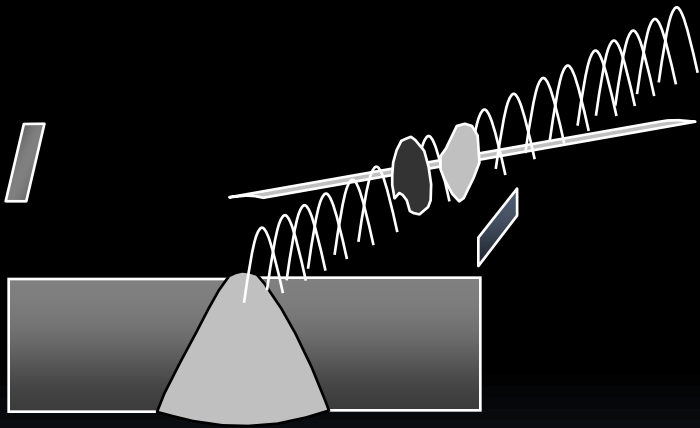
۱- آلودگی الکترود ۲- عدم حفاظت گازی در فرآیندهای تحت پوشش گاز محافظ ۳- کم بودن فاصله دو قطعه نسبت بهم ۴- آلودگی سطح فلز پایه

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Root porosity	>0.5	Locally permitted	N.P	N.P



Weld Root Defect(burn through)

A localized collapse of the weld pool due to excessive penetration resulting in a hole in the root run

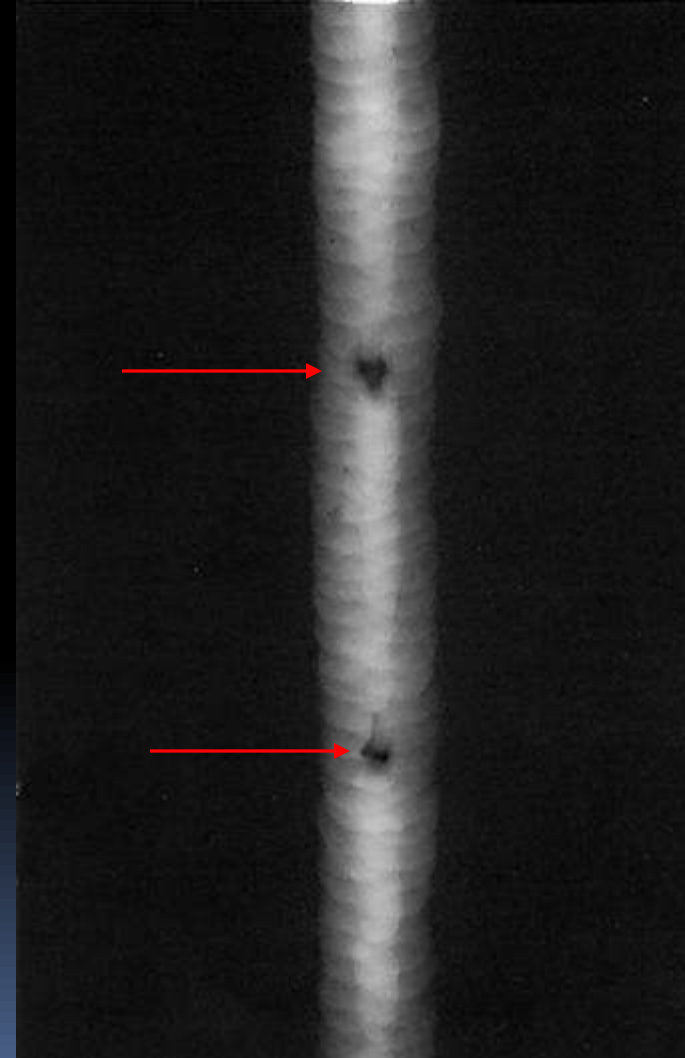
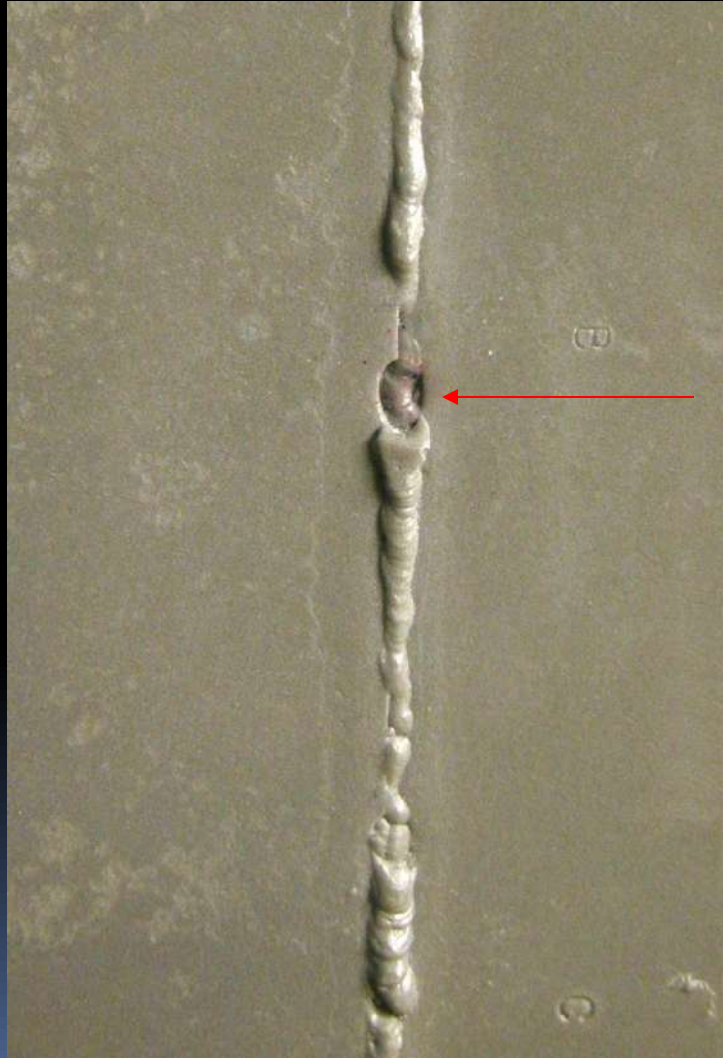


Burn through

- High Amps/volts
- Small Root face
- Large Root Gap
- Slow Travel Speed

Weld Root Defect

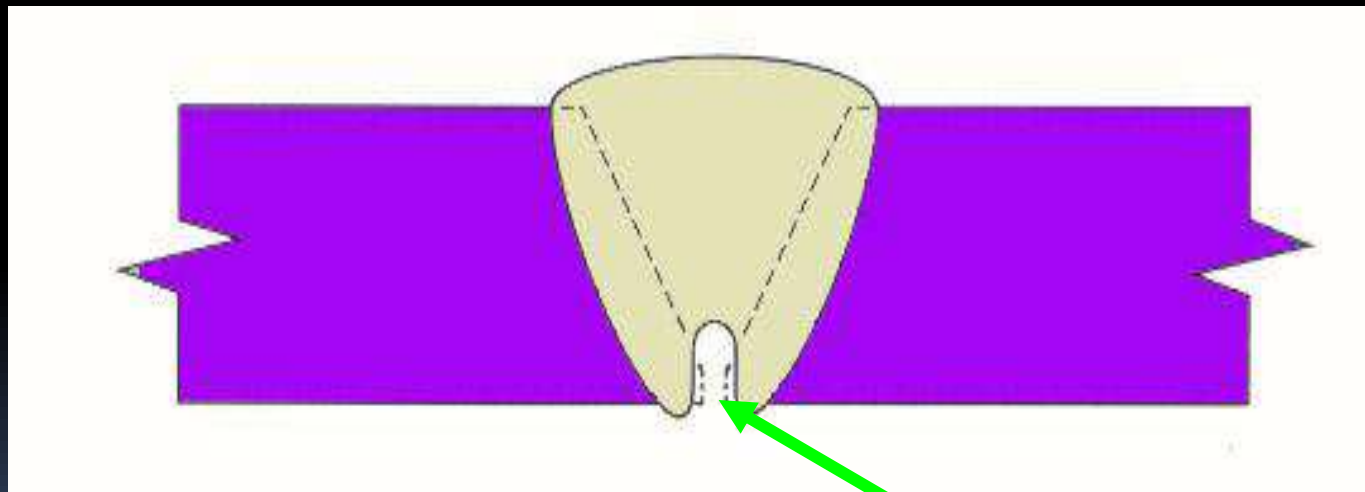
Burn Through



عوامل ایجاد:

۱- در اثر انحراف قوس همراه با طول قوس بلند ۲- بالا بودن شدت جریان

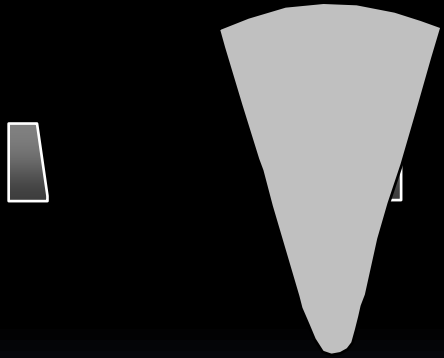
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Burn through	>0.5	N.P	N.P	N.P



Burn through

Weld Root Defect(excessive penetration)

Root penetration bead in excess in accordance with the relevant specification being used



Excessive root penetration

- Root faces too small
- Root gap too large
- Excessive amps/volts
- Slow travel speed

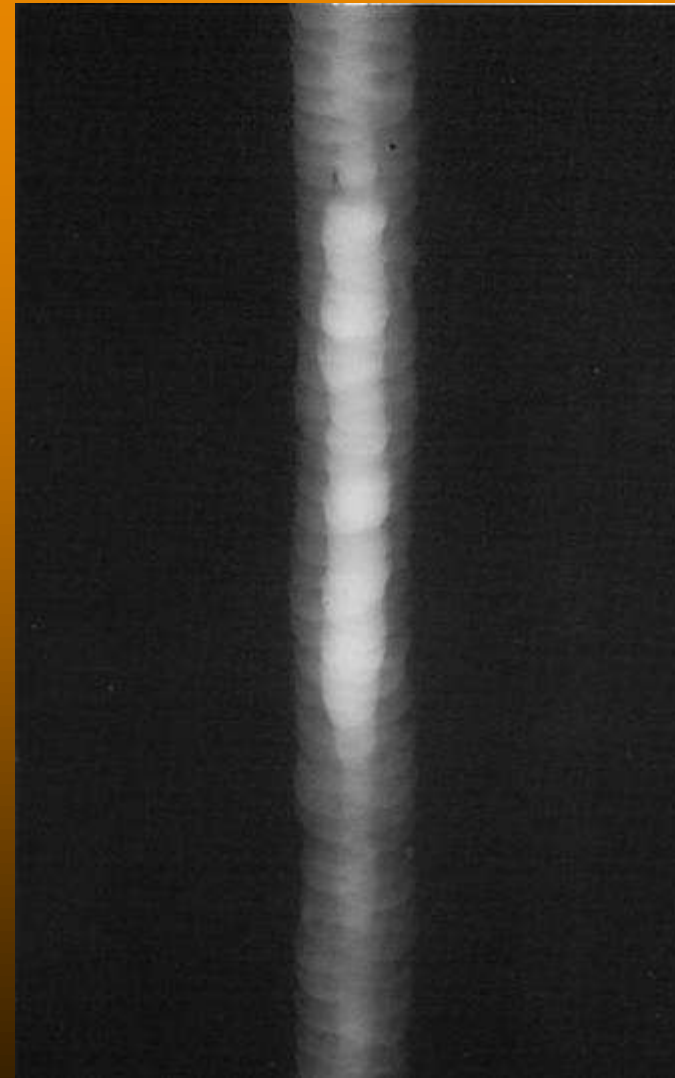
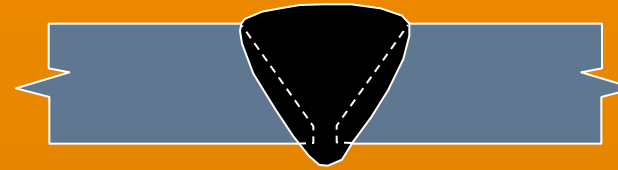
Weld Root Defect



**Excessive root
penetration**



Concave root



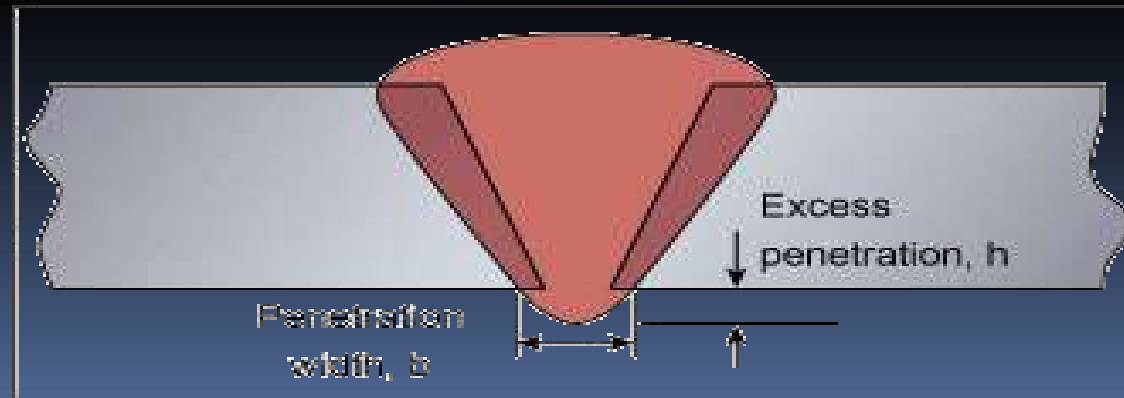
Excess root penetration

عوامل ایجاد:

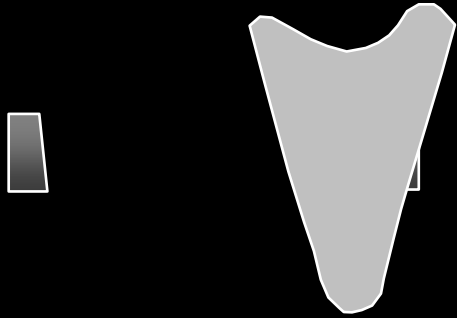
۱- آماده سازی نامناسب لبه (فاصله زیاد بین دو قطعه ، زاویه زیاد پخ)

۲- عدم مهارت جوشکار در حرکت دست ۳- تنظیم شدت جریان جوشکاری ۳- تمرکز حرارت بیش از حد

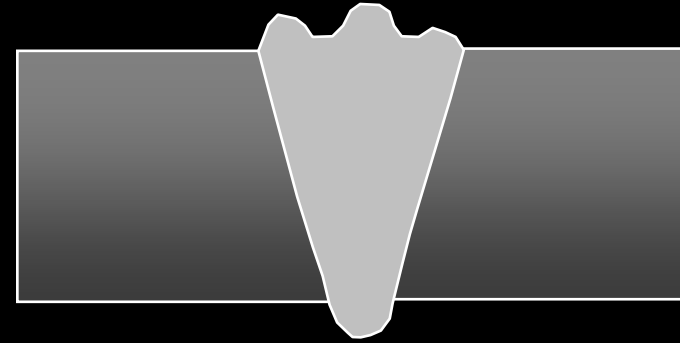
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Excess penetration	0.5 to 3	$h < 0.6b + 1 \text{ mm}$	$h < 0.3b + 1 \text{ mm}$	$h < 0.1b + 1 \text{ mm}$
	> 3	$h < 1.0b + 1 \text{ (5)}$	$h < 0.6b + 1 \text{ (4)}$	$h < 0.2b + 1 \text{ (3)}$



Weld Profile Defects(excessive&under fill)

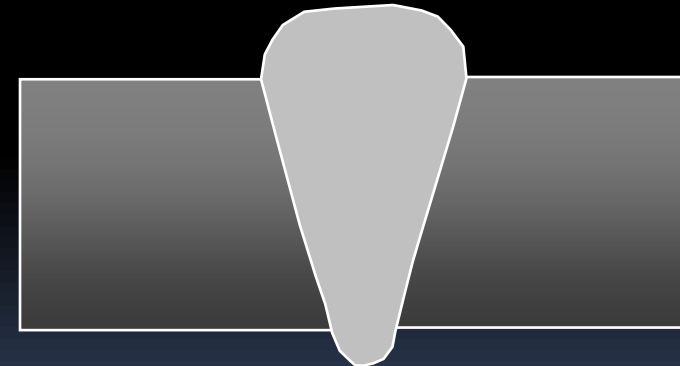


Incomplete filled groove

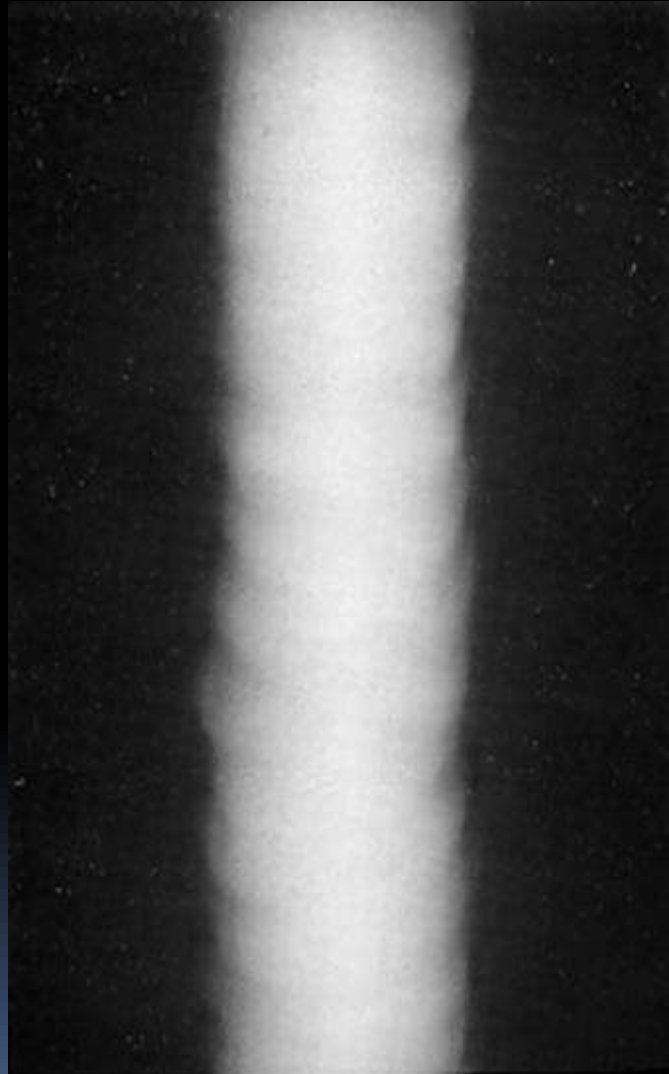
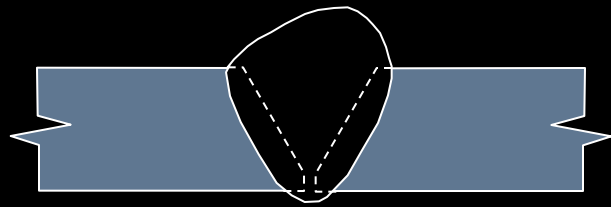


Poor cap profile

Poor cap profiles and excessive cap reinforcements may lead to stress concentration points at the weld toes and will also contribute to overall poor toe blend



Excessive cap height



Excess cap reinforcement



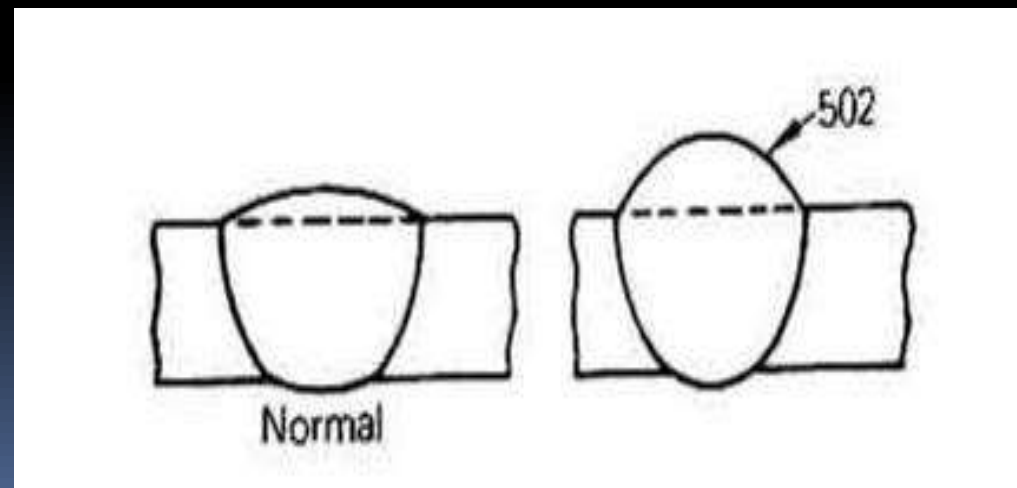
Incomplete filled groove

Excess Weld metal

عوامل ایجاد:

۱- حرکت آرام دست جوشکار یا اضافه شدن بیش از اندازه سیم جوش

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Excess weld metal (b.w)	>0.5	$H < 0.25b + 1 (\text{Max } 10)$	$h < 0.15b + 1 (\text{Max } 7)$	$h < 0.1b + 1$ Max 5mm

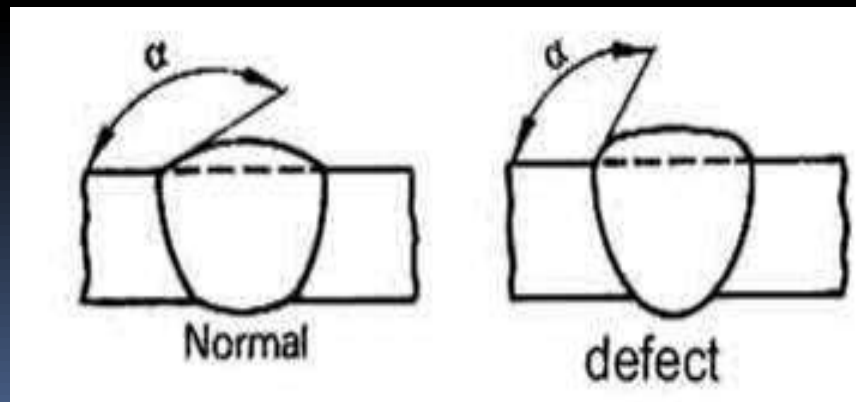


Incorrect weld toe

عوامل ایجاد:

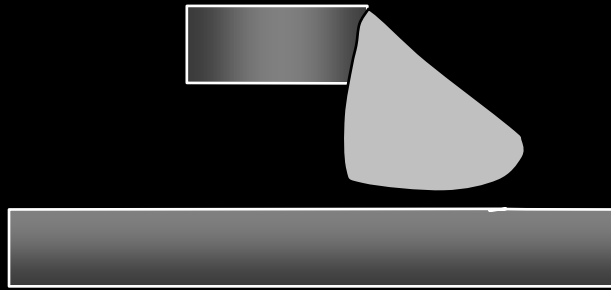
۱- عدم مهارت جوشکار در اضافه نمودن سیم جوش ۲- شیب بیش اندازه قطعه کار

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Incorrect weld toe	$>0.5(B.W)$	$\alpha > 90$	$\alpha > 110$	$\alpha > 150$
	$>0.5(F.W)$	$\alpha > 90$	$\alpha > 110$	$\alpha > 110$



Overlap

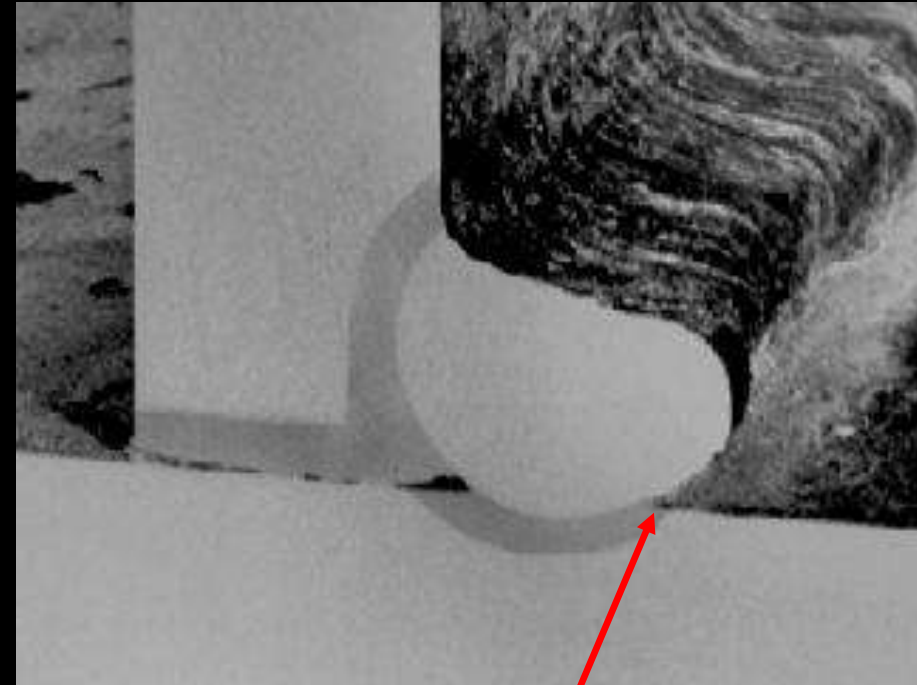
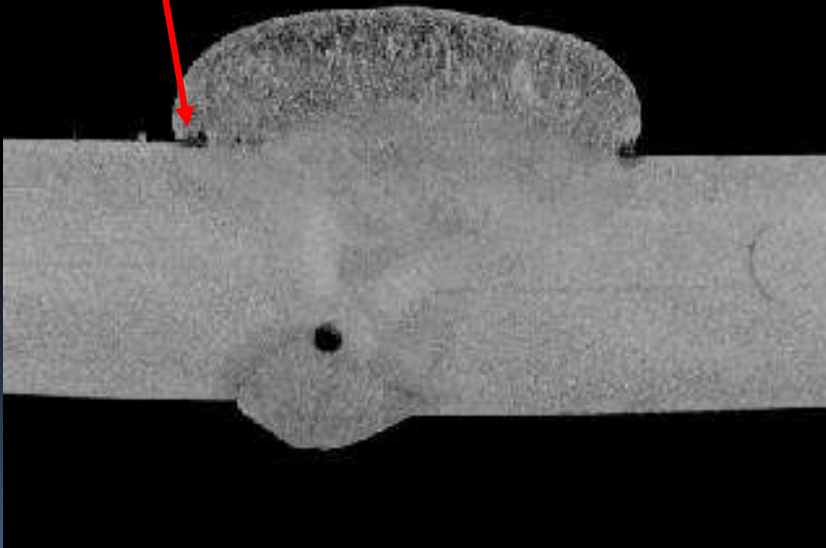
An imperfection at the toe or root of a weld caused by metal flowing on to the surface of the parent metal without fusing to it



- Contamination
- Slow travel speed
- Incorrect welding technique
- Current too low

Overlap

**Toe Overlap
Butt weld**

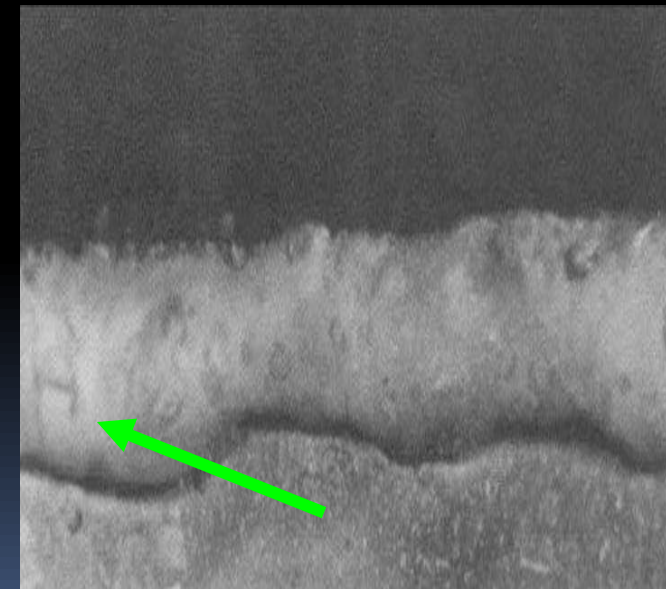
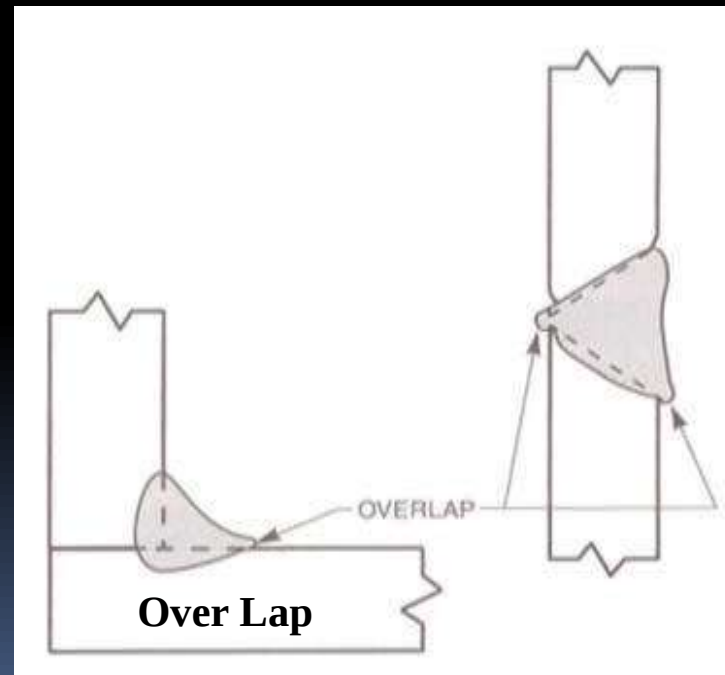
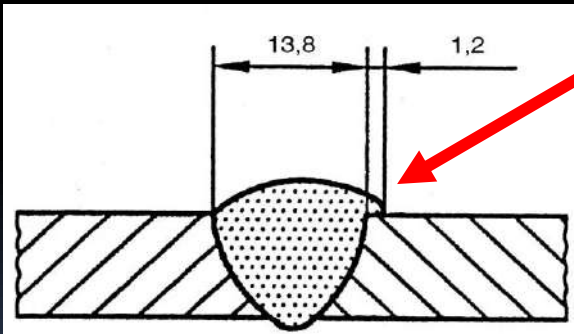


**Toe Overlap
Fillet weld**

عامل ایجاد:

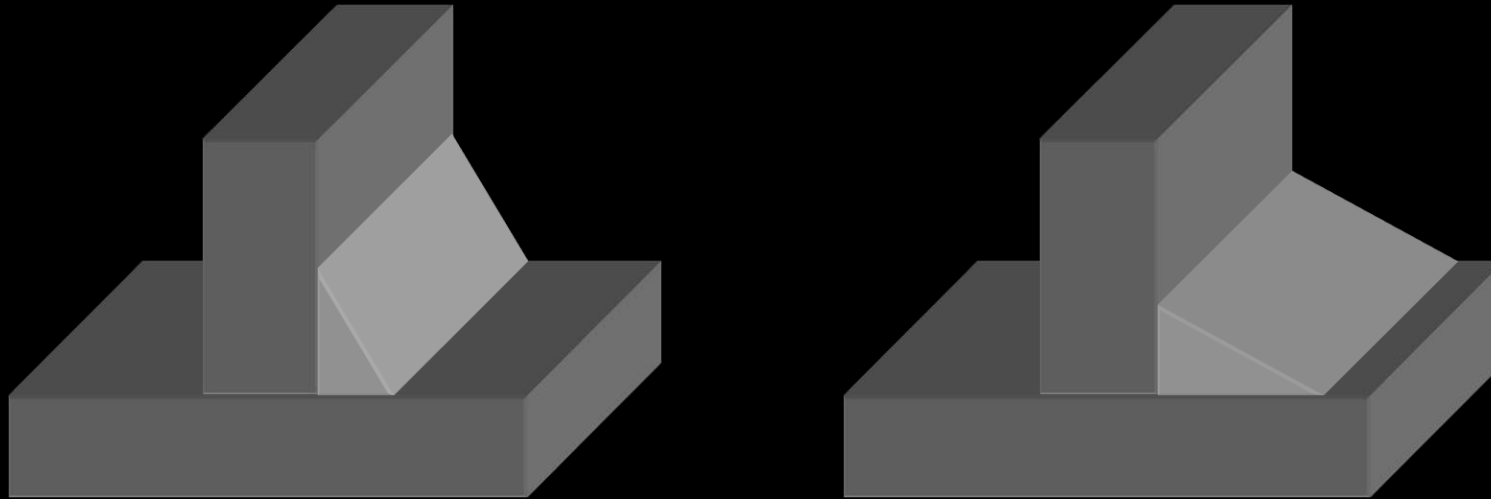
۱- در اثر اضافه کردن سیم جوش بدون رعایت زاویه مناسب دست ۲- امپر پایین ۳- سرعت دست کم

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Overlap	>0.5	$h < 0.2b$	N.P	N.P



Unequal Leg Lengths

A variation of leg lengths on a fillet weld

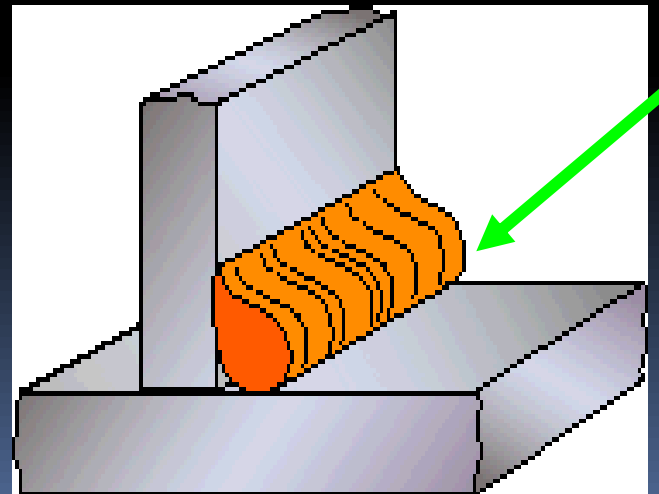
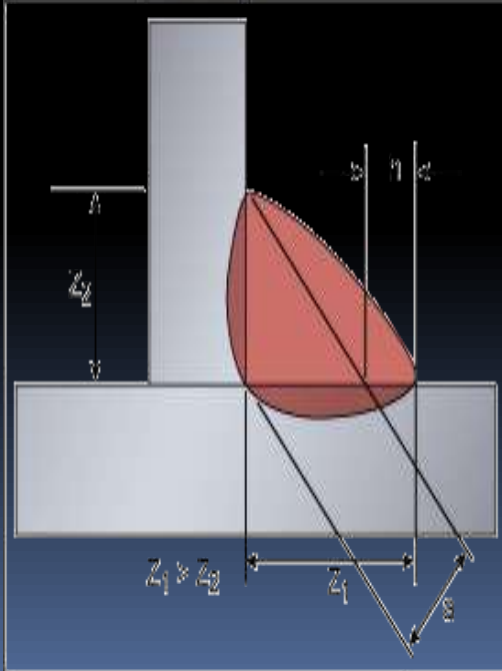


Note: Unequal leg lengths on a fillet weld may be specified as part of the design, in which case it will not be considered as a defect.

عوامل ایجاد:

۱- رعایت نکردن زاویه نامناسب الکتروود نسبت به قطعه کار

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Excessive asymmetry of fillet weld	>0.5	$h < 0.2a + 2\text{mm}$	$h < 0.15a + 2\text{mm}$	$h < 0.15a + 1.5\text{mm}$

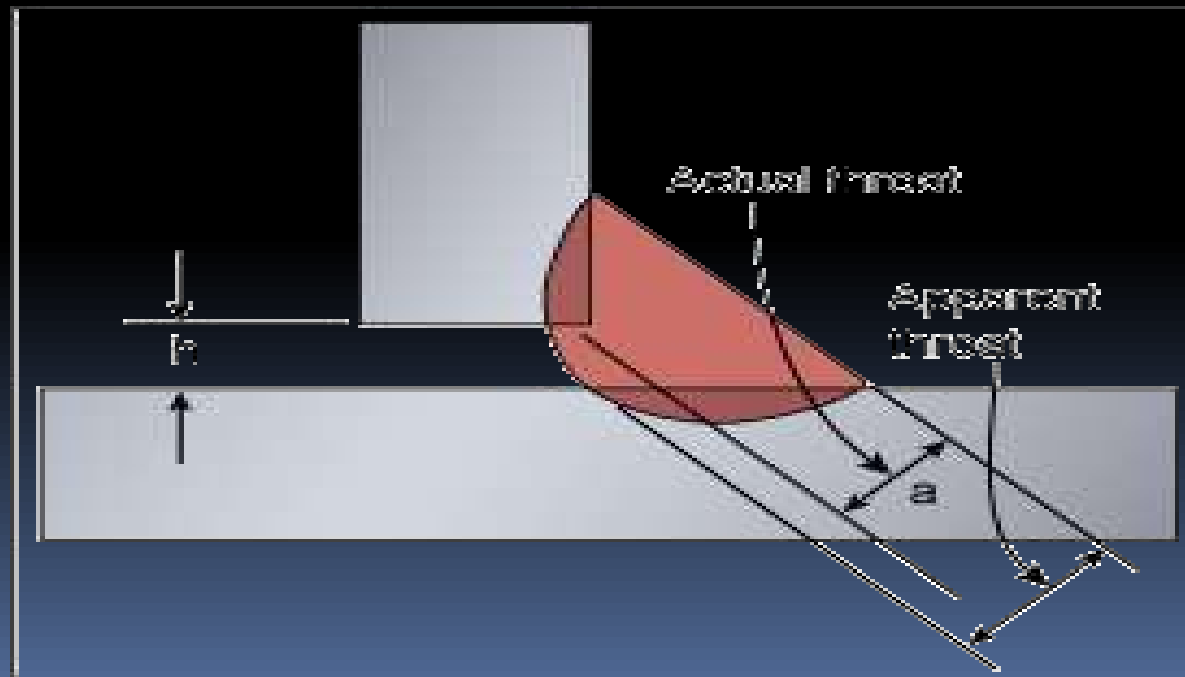


Incorrect root gap(f.w)

عامل ایجاد:

در اثر عدم مونتاژ صحیح بوجود می آید.

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Incorrect root gap for fillet welds	0.5to3	$h < 0.5a + 0.5\text{mm}$	$h < 0.3a + 0.3\text{mm}$	$h < 0.2a + 0.2\text{mm}$
	> 3	$h < 0.3a + 0.5\text{mm (M4)}$	$h < 0.2a + 1\text{mm (M3)}$	$h < 0.1a + 1\text{mm (M2)}$

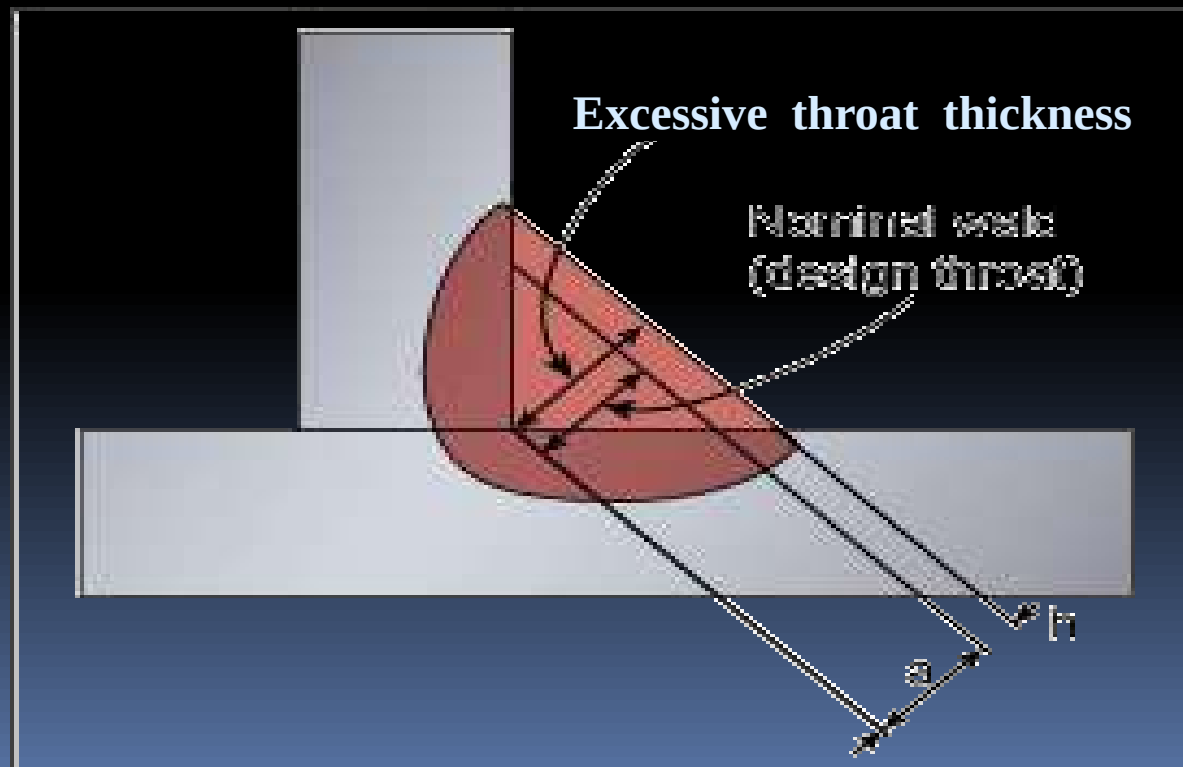


Excessive throat thickness

عوامل ایجاد:

۱- سرعت حرکت کم ۲- شدت جریان کم

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Excessive throat thickness	>0.5	Unlimited	$h < 0.2a + 1\text{mm}$ Max 4mm	$h < 0.15a + 1\text{mm}$ (Max 3mm)



Weld Profile Defects(poor restart)

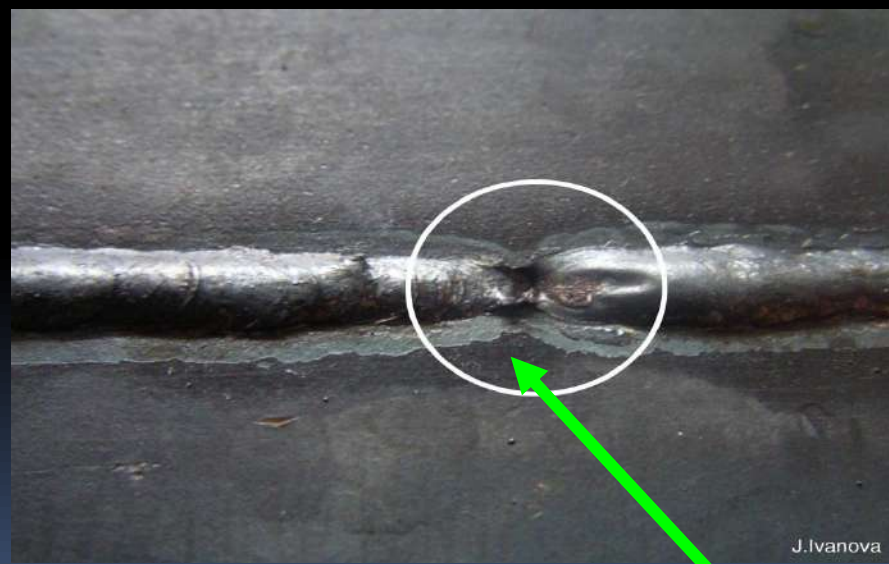
Poor stop/starts



عوامل ایجاد:

۱- عدم مهارت جوشکار ۲- زاویه نامناسب دست جوشکار ۳- شدت جریان کمتر ۴- سرعت حرکت زیادتر

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Poor restart	>0.5	Permitted	N.P	N.P



Arc strike



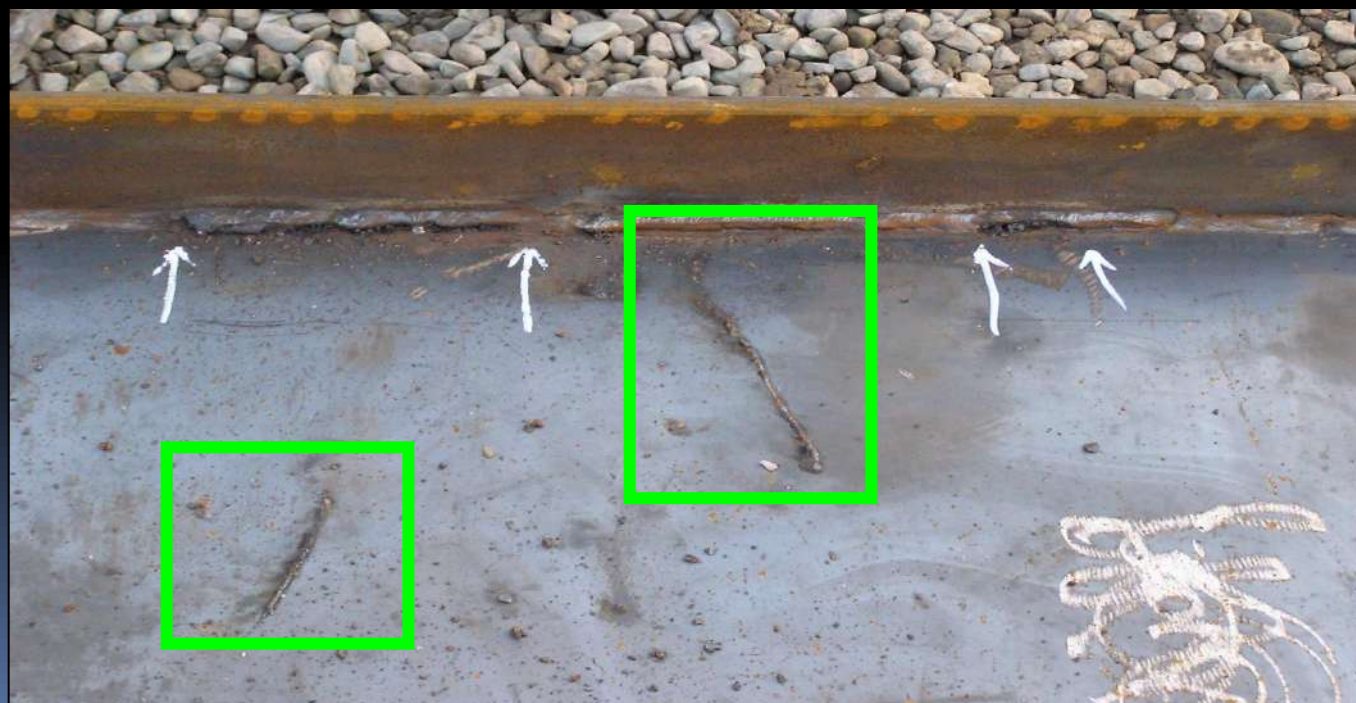
Arc strike

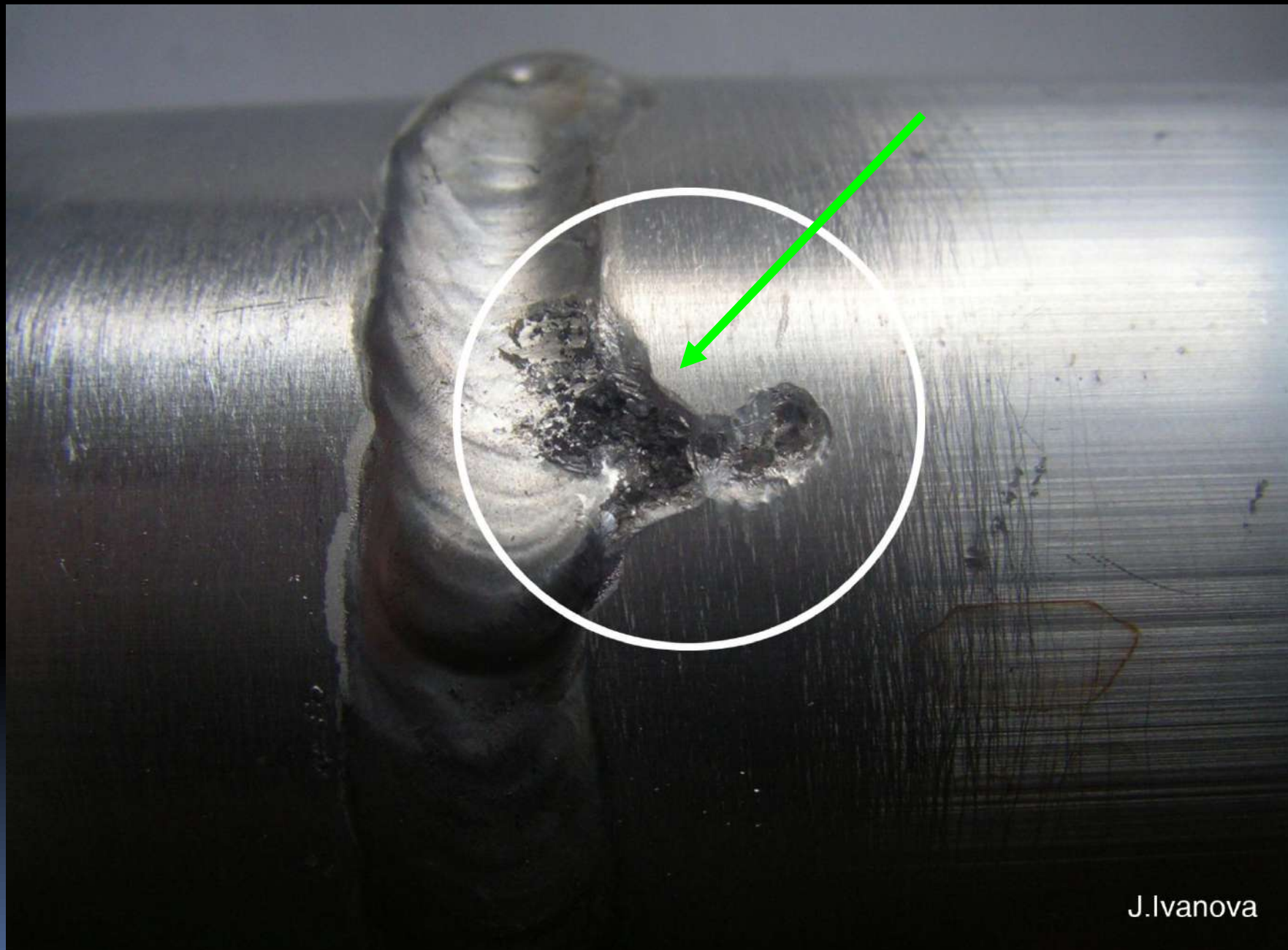
- Accidental striking of the arc onto the parent material
- Faulty electrode holder
- Poor cable insulation
- Poor return lead clamping

عامل ایجاد:

۱- عدم مهارت جوشکار ۲- عدم عایق بندی کابل اتصال

Imperfection	T (mm)	D	C	B
Stray arc	>0.5	Permitted	N.P	N.P





J.Ivanova

spatter

Spatter



- Excessive current
- Damp electrodes
- Contamination
- Incorrect wire feed speed
when welding with the MAG
welding process
- Arc blow

عوامل ایجاد:

۱-بالا بودن بیش از حد شدت جریان جوشکاری ۲- تنظیم نبودن جریان گاز محافظ

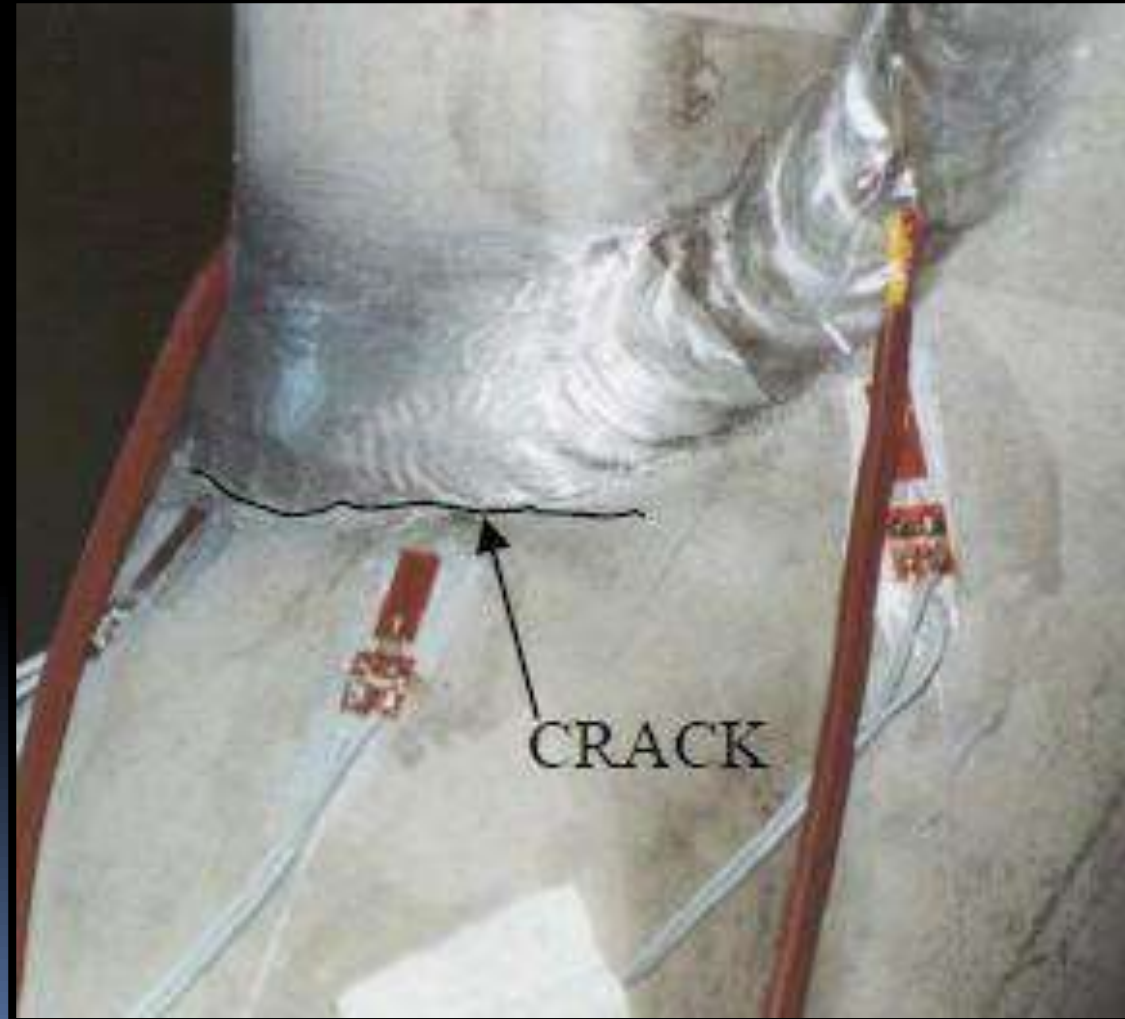
Imperfection	T (mm)	D	C	B
Spatter	>0.5	Acceptance	depends on application , o.g material, corrosion protection	



J.Ivanova

تصاویری از عیوب جوش

ترک crack



ترک crack



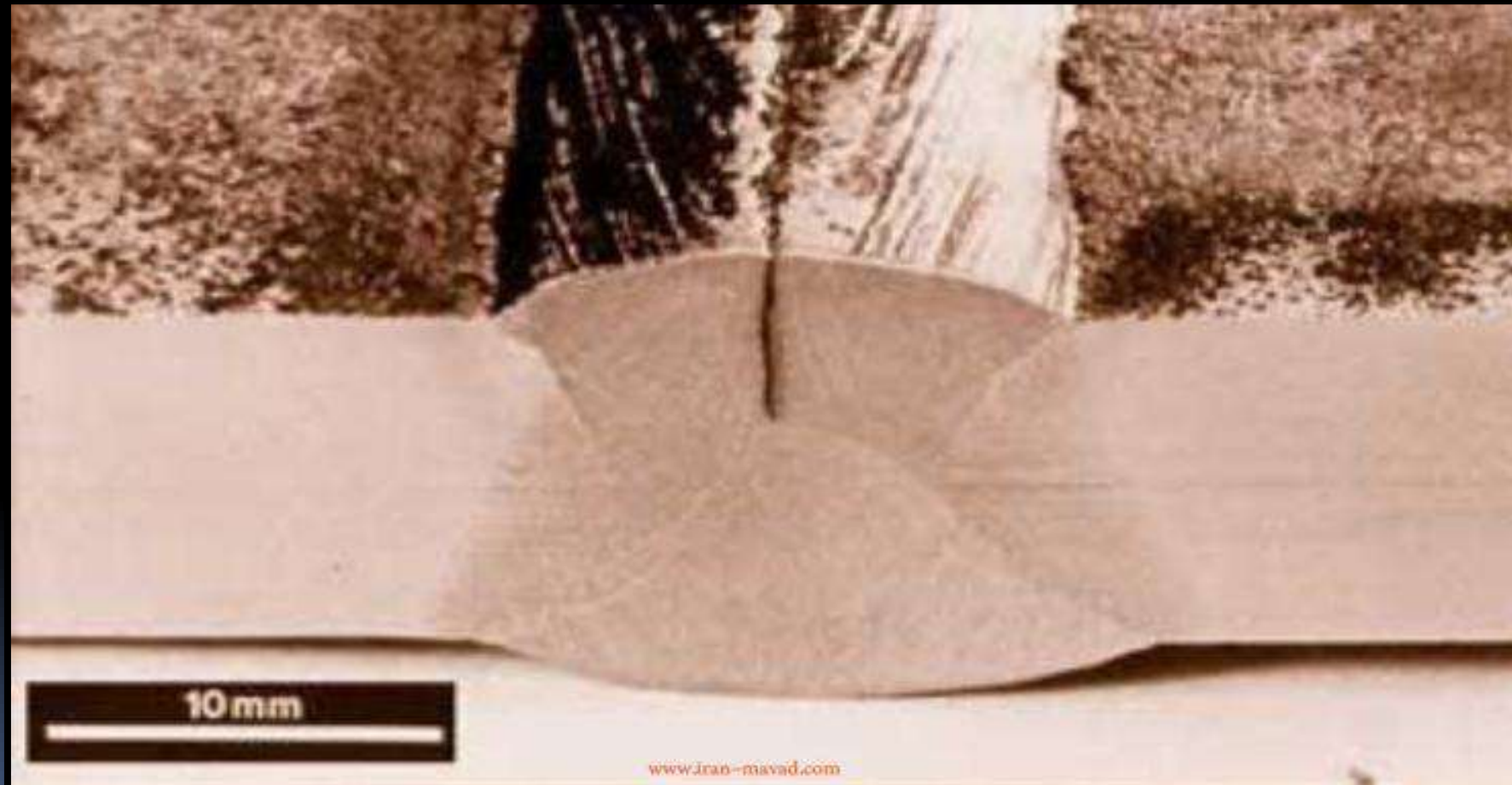
ترک crack



ترک crack



ترک crack



ترک crack



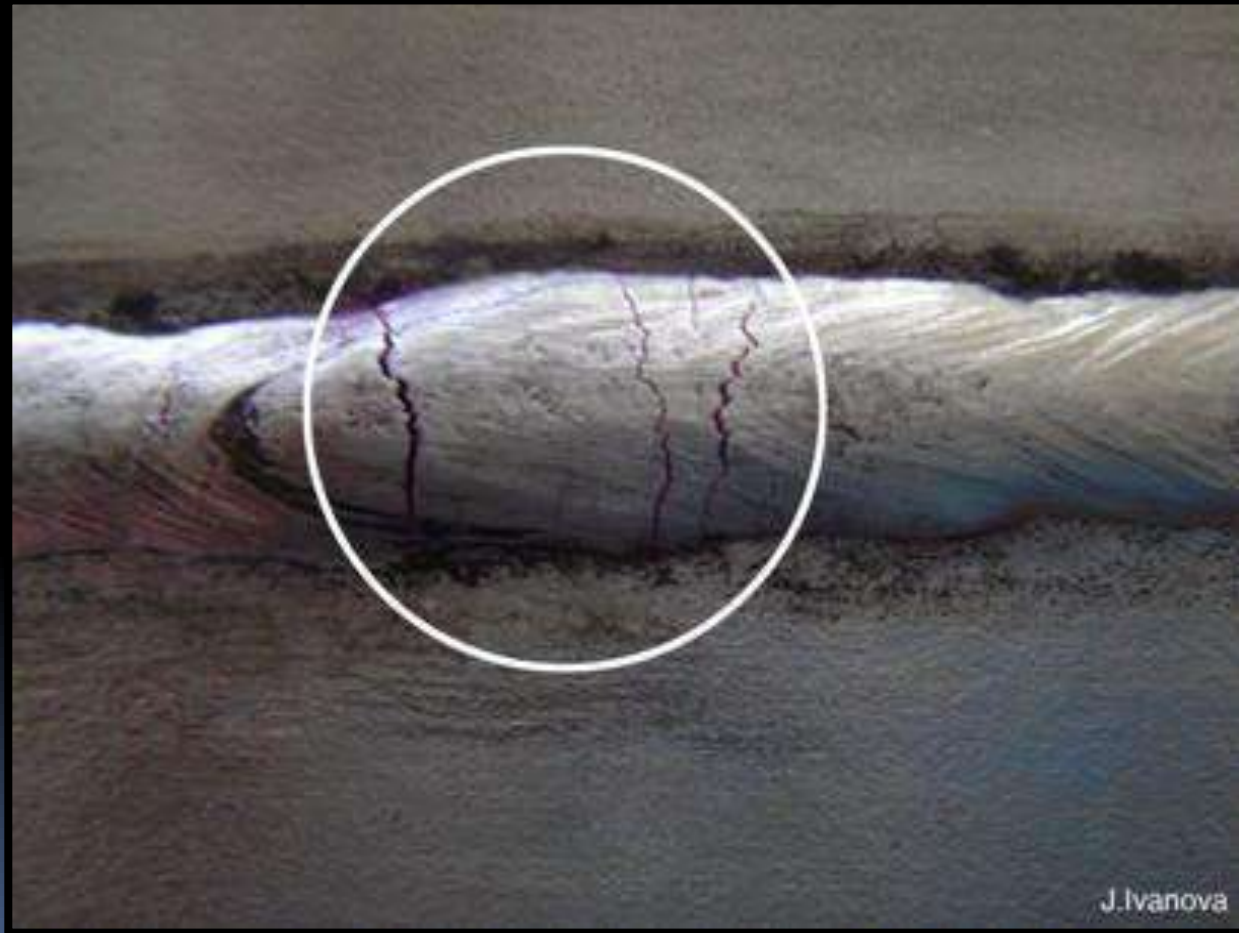
ترک crack



ترک crack



ترک crack



J. Ivanova

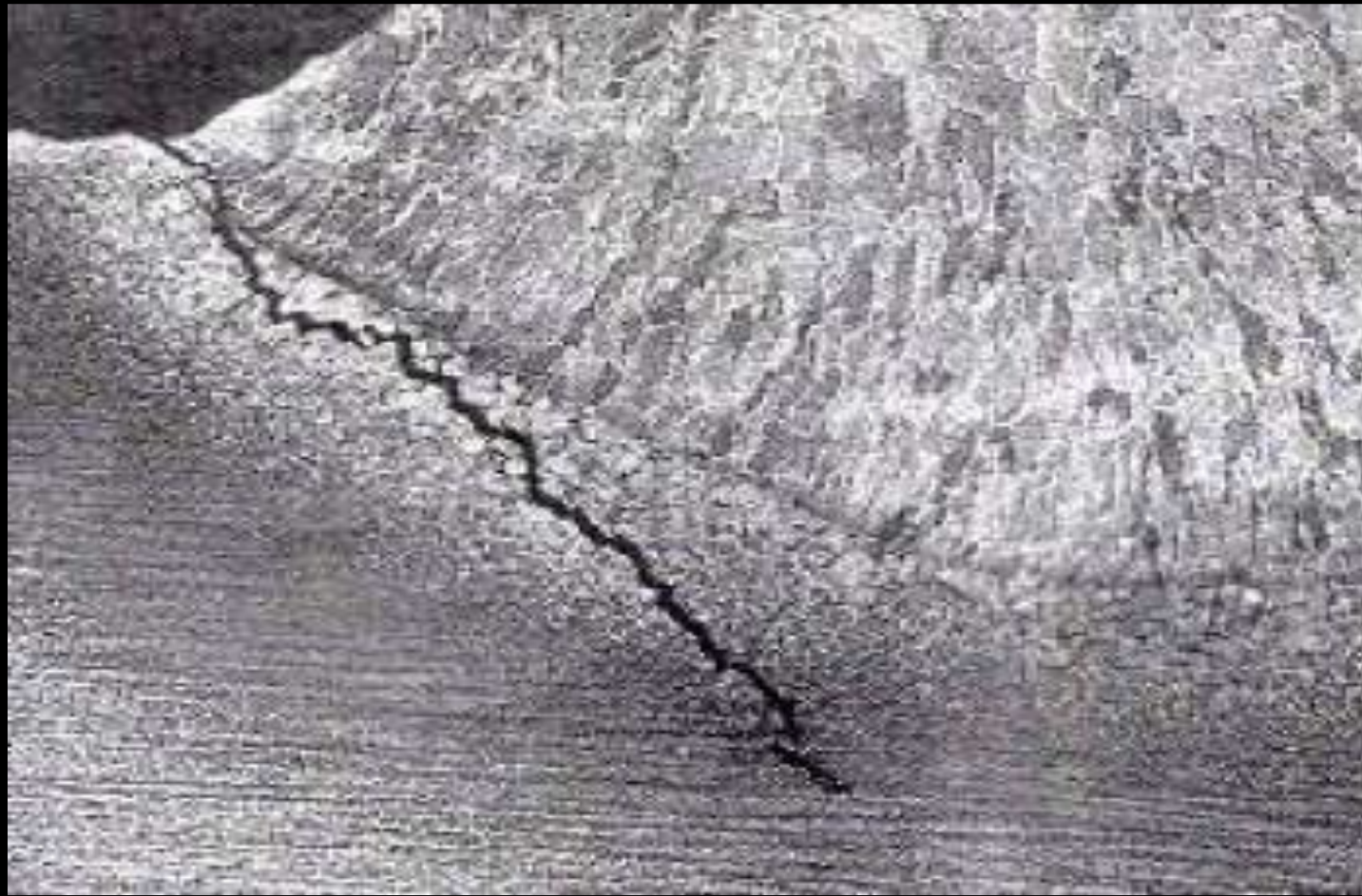
ترک crack



ترک crack



ترک پنجه جوش Toe Crack



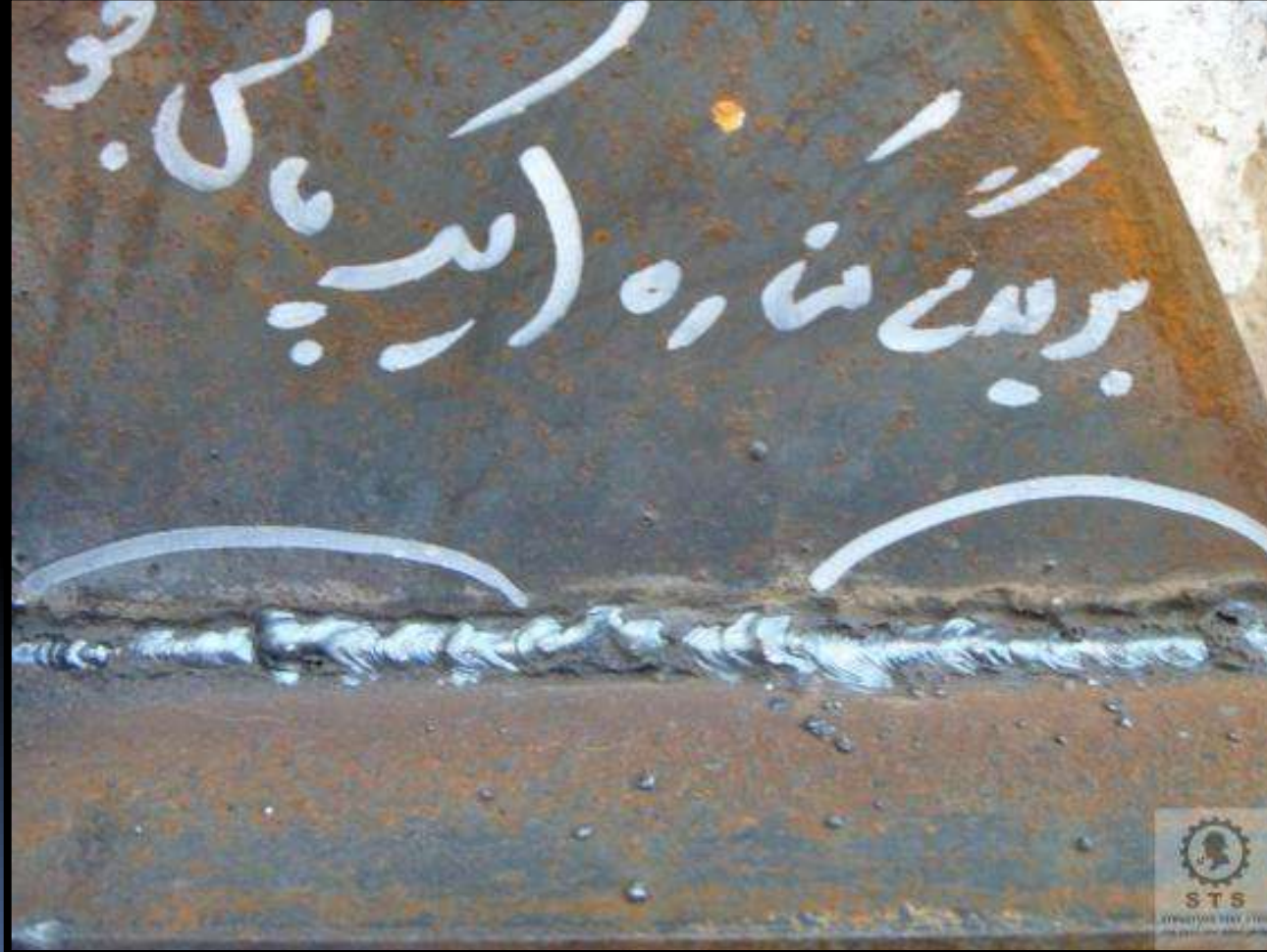
porosity حباب گازی



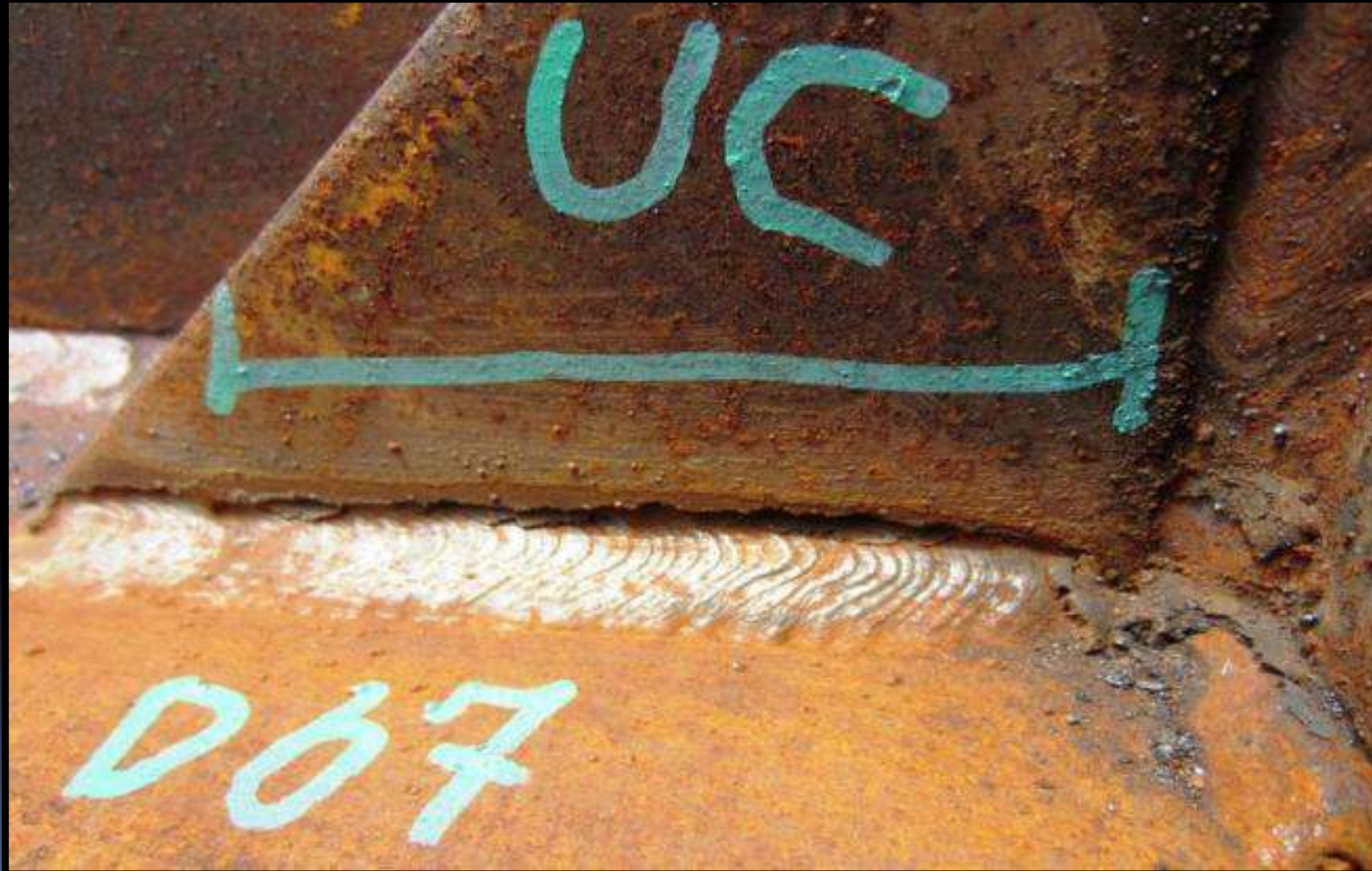
porosity حباب گازی



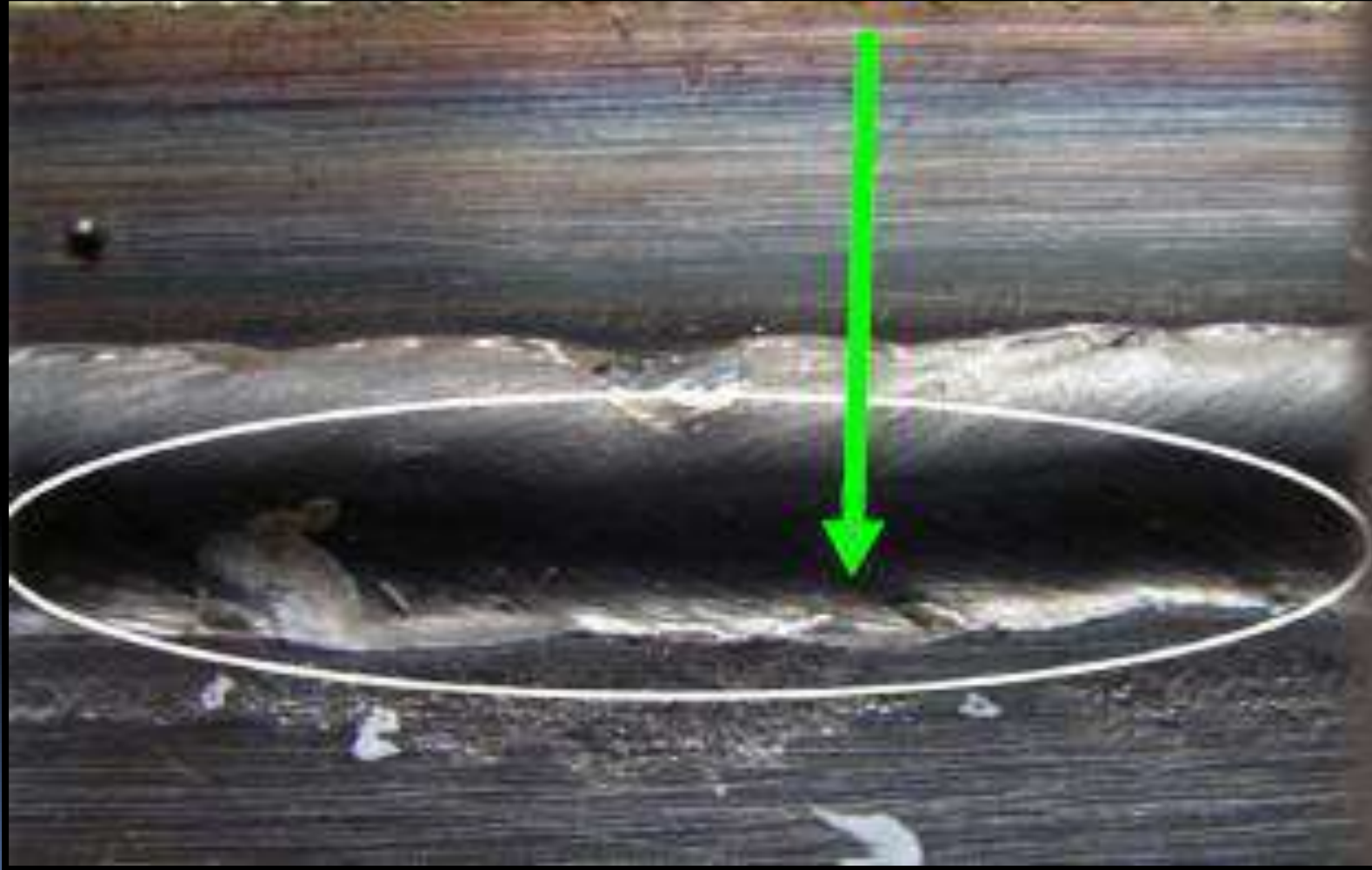
سوختگی کناره جوش undercut



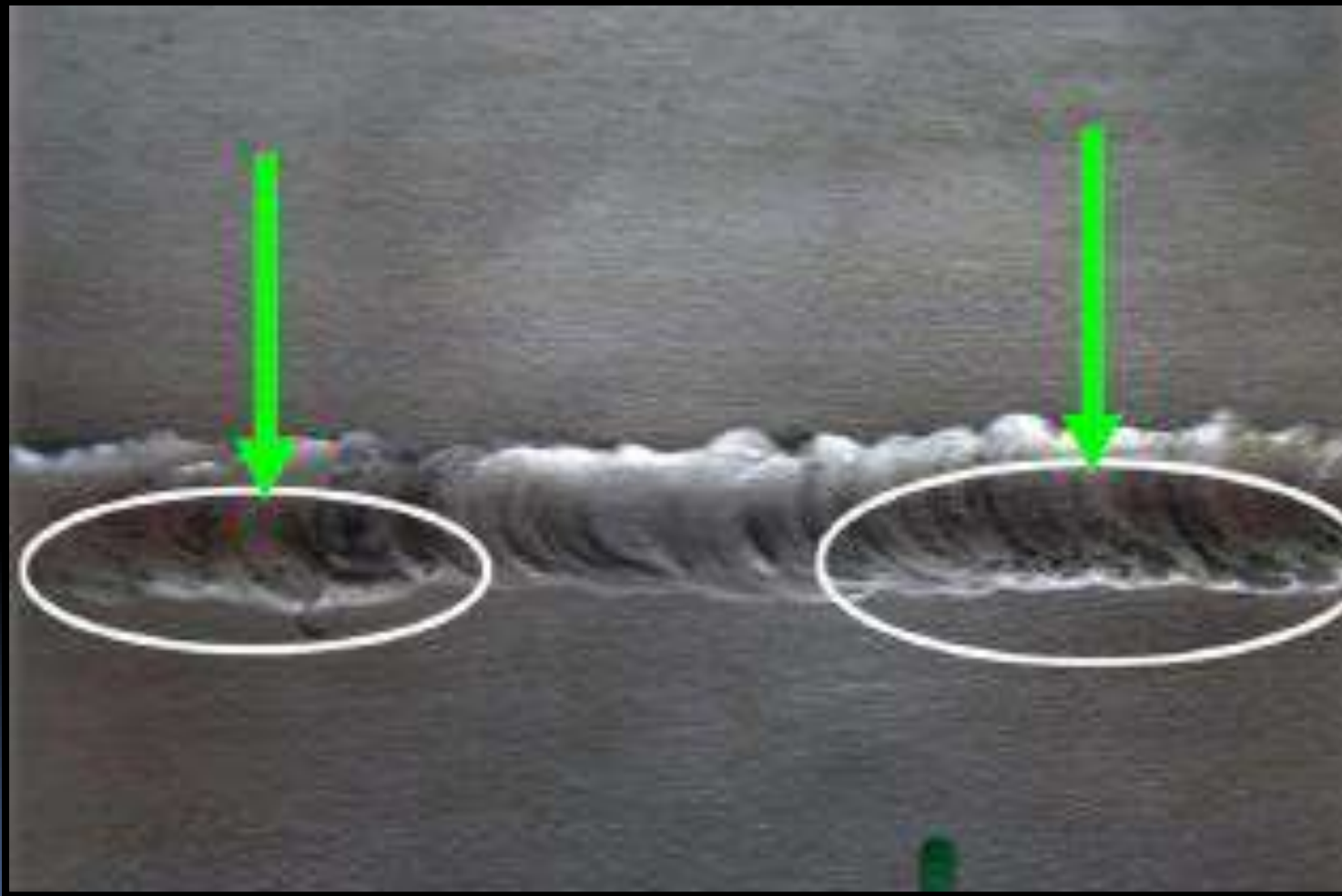
سوختگی کناره جوش undercut



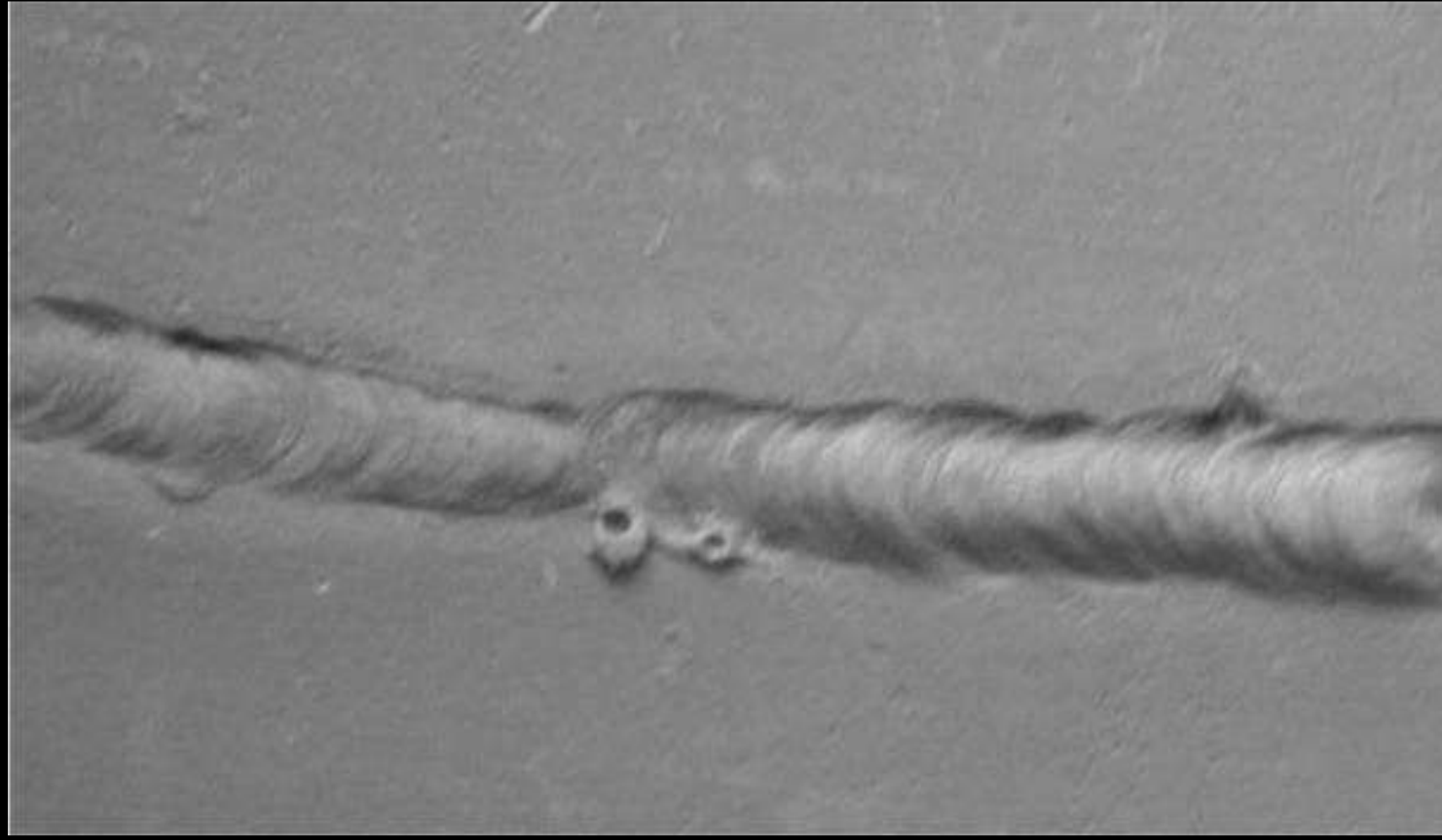
سوختگی کناره جوش undercut



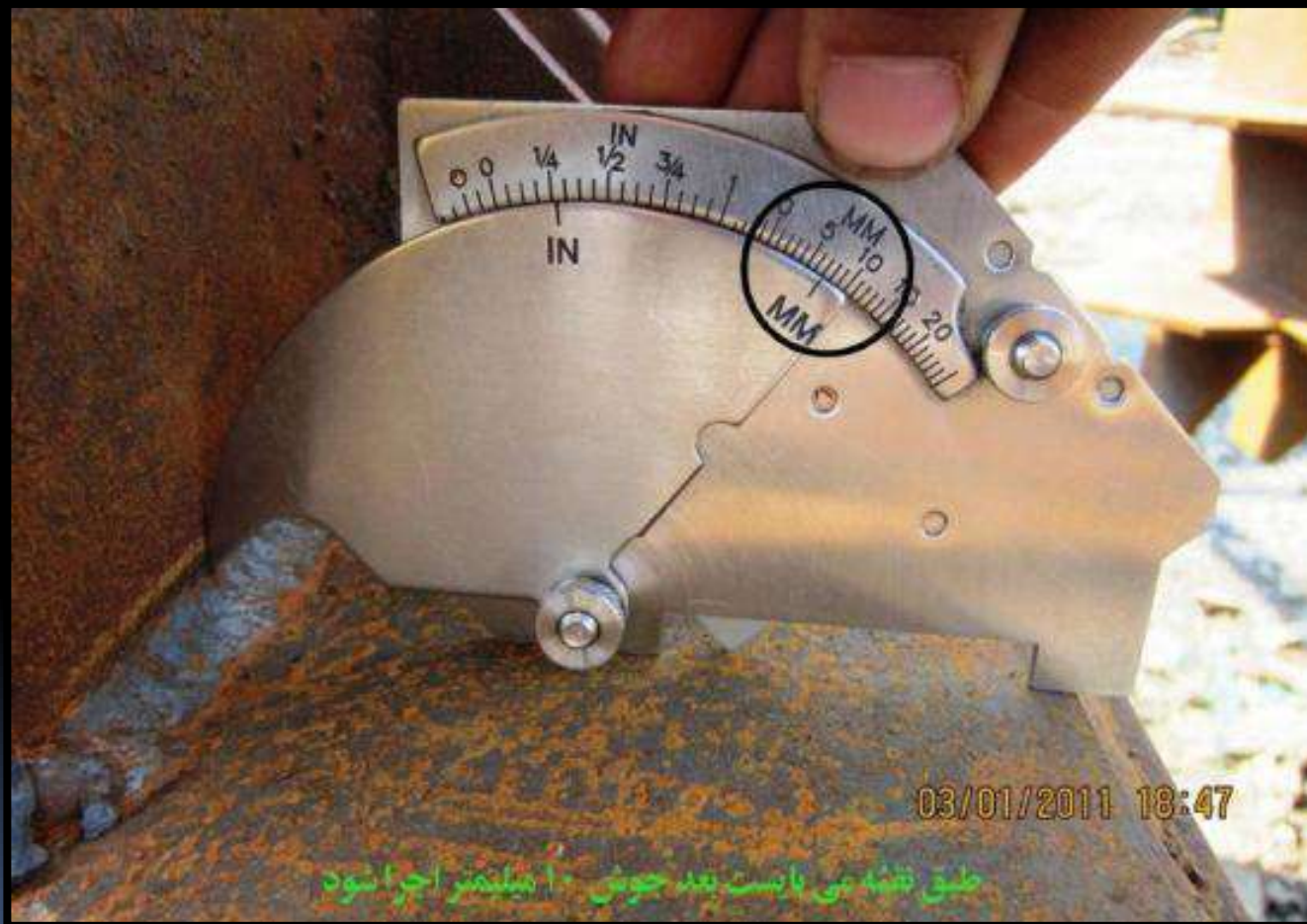
سوختگی کناره جوش undercut



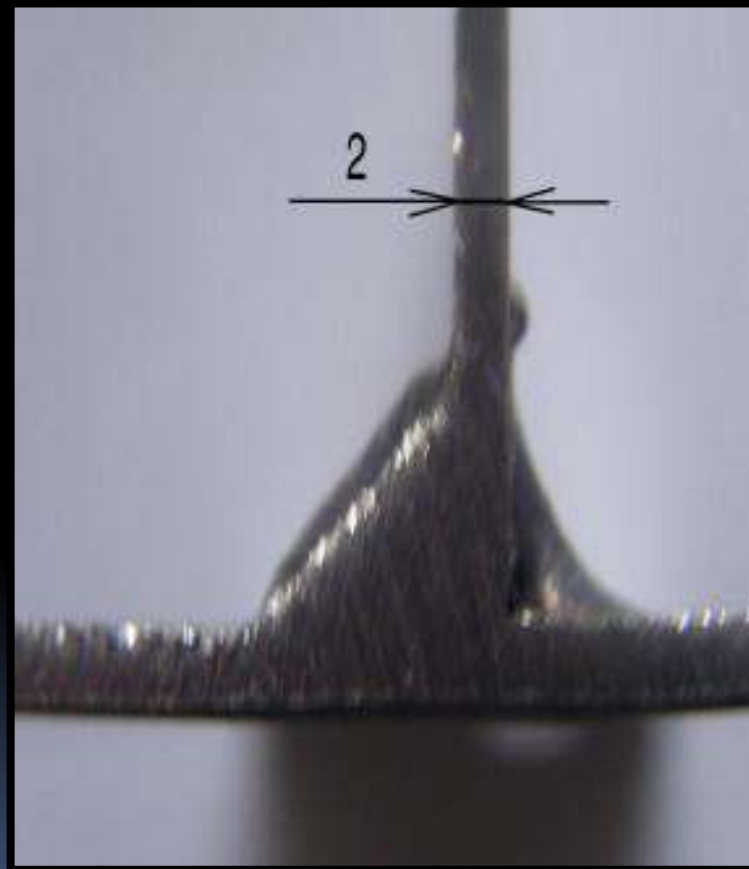
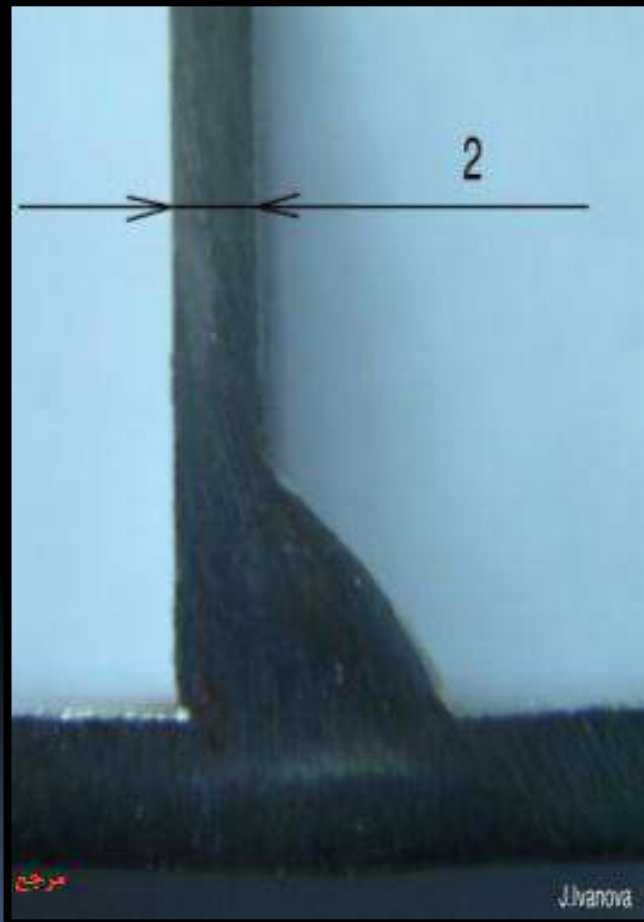
سوختگی کناره جوش undercut



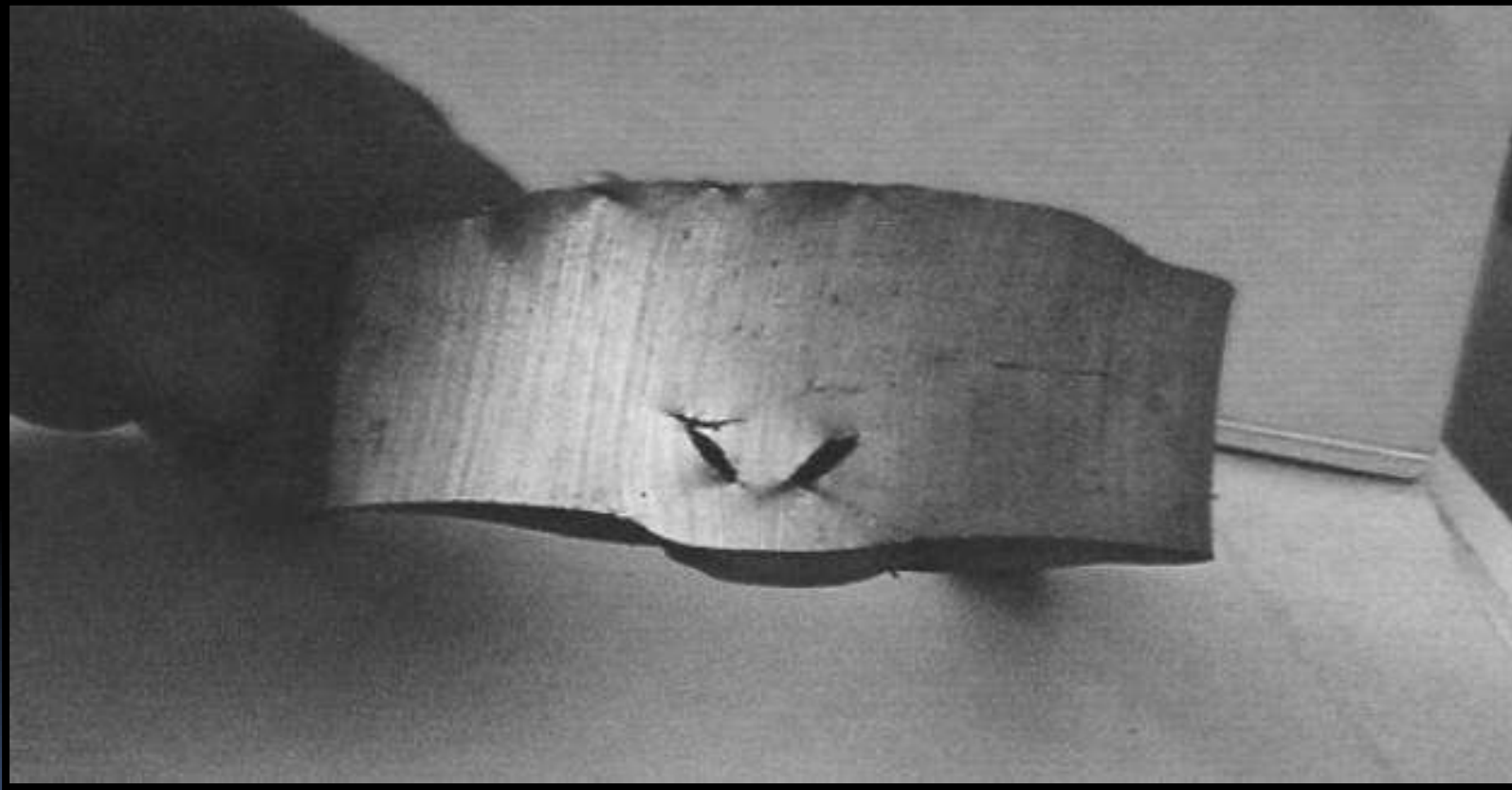
ساق جوش کوچک یا بعد جوش نامساوی



ساق جوش کوچک یا بعد جوش نامساوی



حبس گل جوش یا سرباره ناخالصی slag



حبس گل جوش یا سرباره ناخالصی slag



سرفتن فلز جوش بر روی فلز پایه یا لوجه overlap



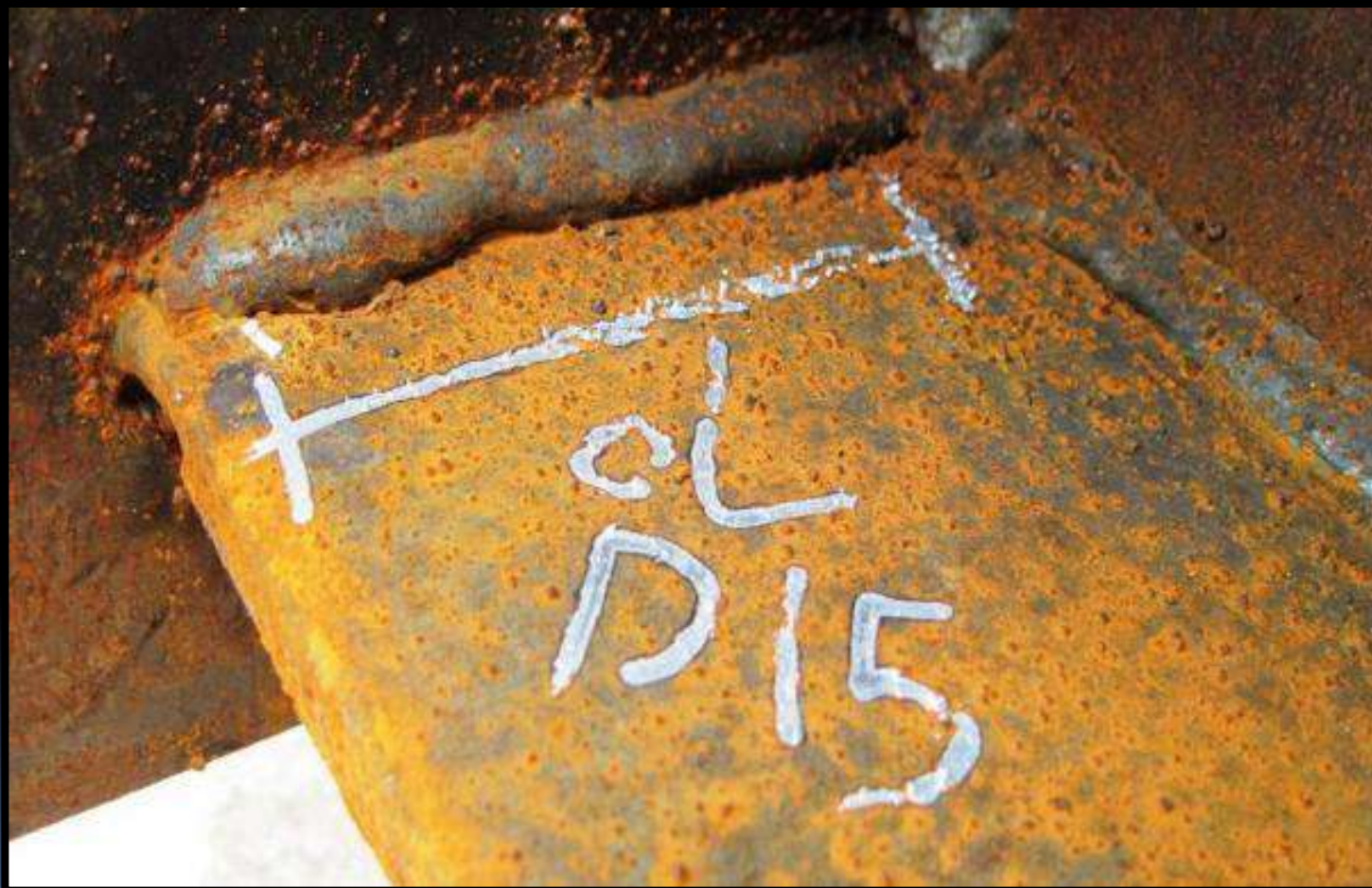
سرفتن فلز جوش بر روی فلز پایه یا لوجه overlap



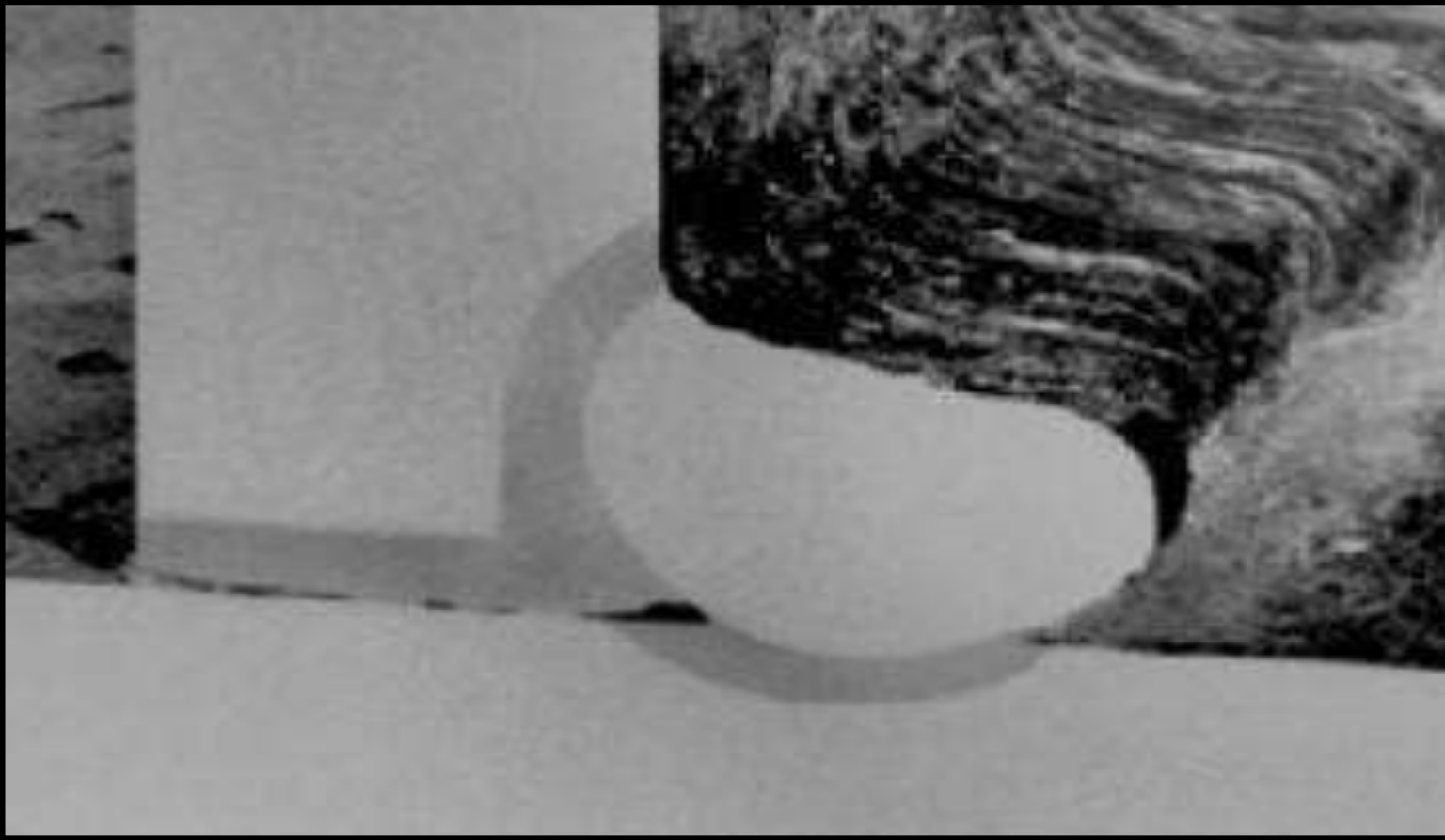
سرفتن فلز جوش بر روی فلز پایه یا لوجه overlap



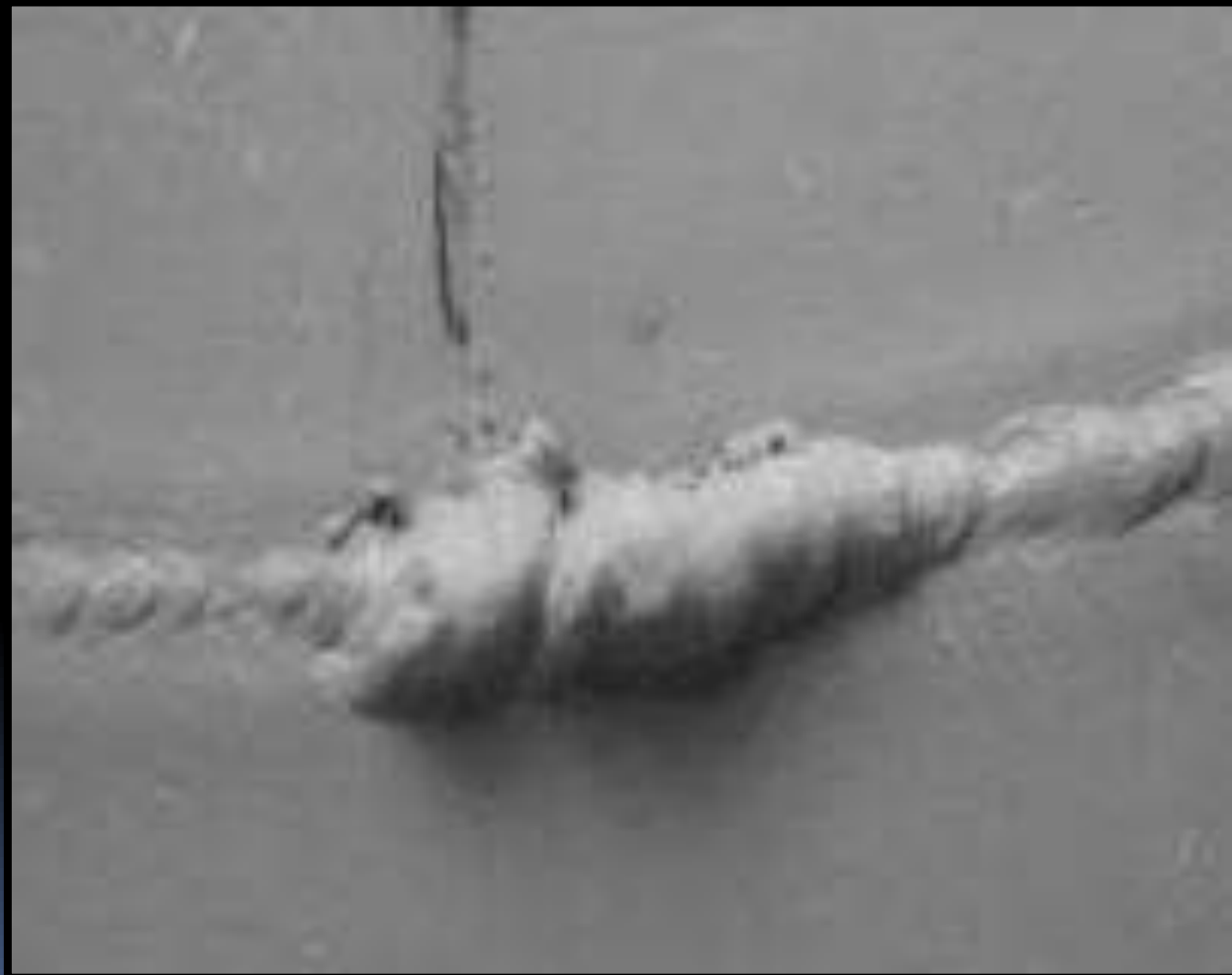
سرفتن فلز جوش بر روی فلز پایه یا لوجه overlap



سرفتن فلز جوش بر روی فلز پایه یا لوجه overlap



شهره کردن Sagging



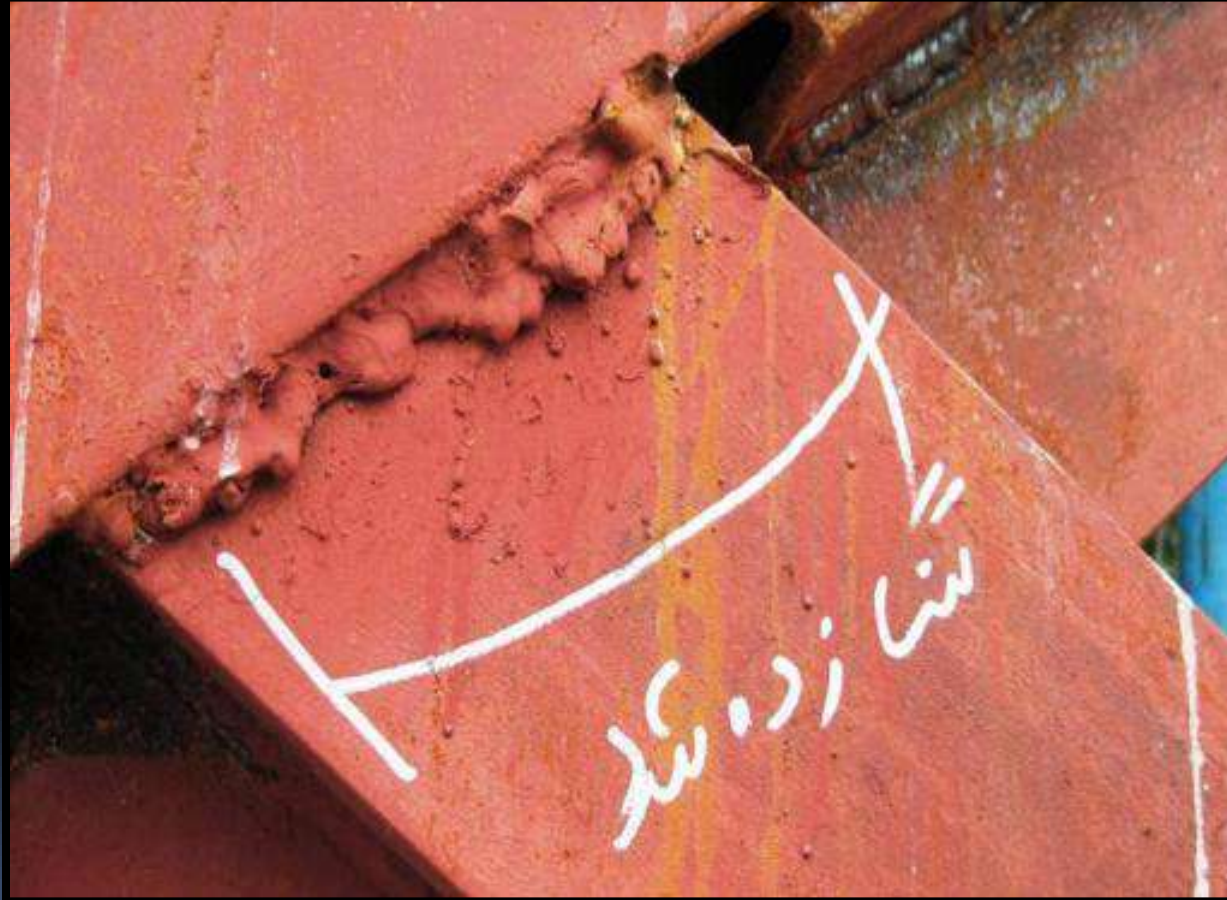
شهره کردن Sagging



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



ظاهر نامناسب جوش



عدم ذوب کافی LOF



نقوذ ناقص يا L.O.P



نقوذ ناقص یا L.O.P



نقوذ ناقص يا L.O.P



نقوذ ناقص یا L.O.P

Defective Root Penetration



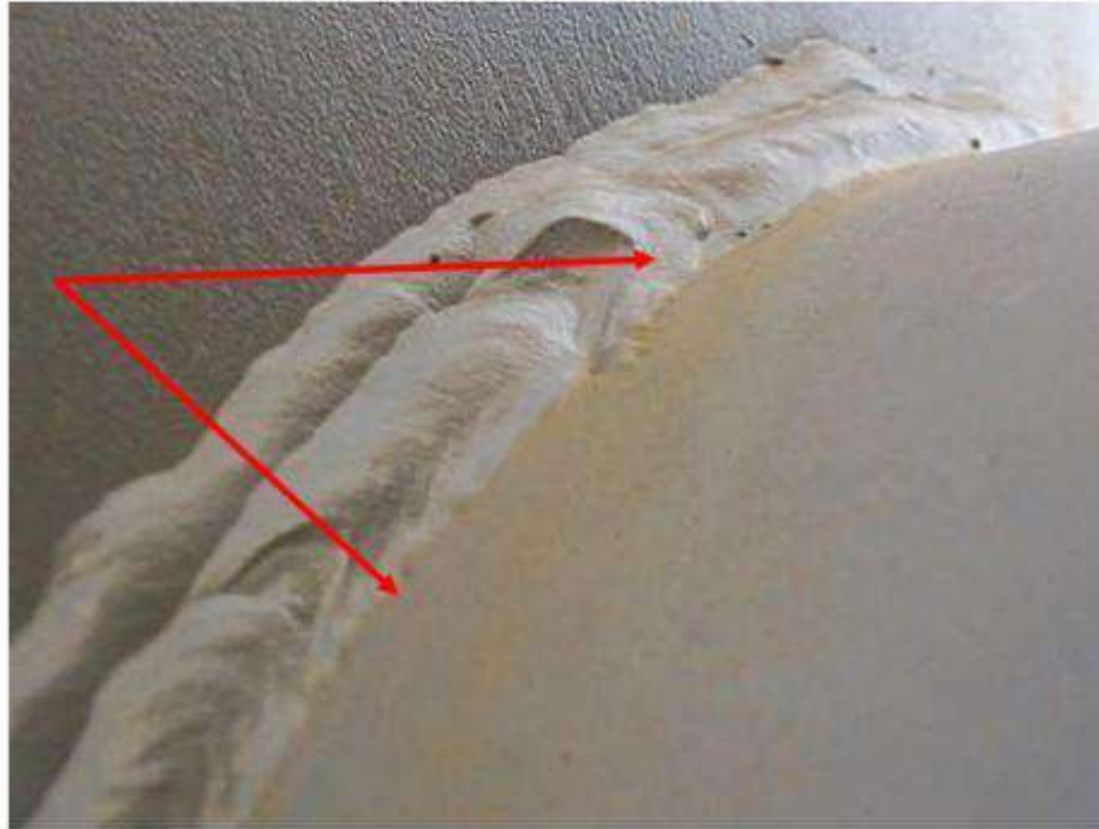
Lack of Penetration In concrete

جرقه یا پاشش یا ترشح Spatter



شروع ضعیف poor restart

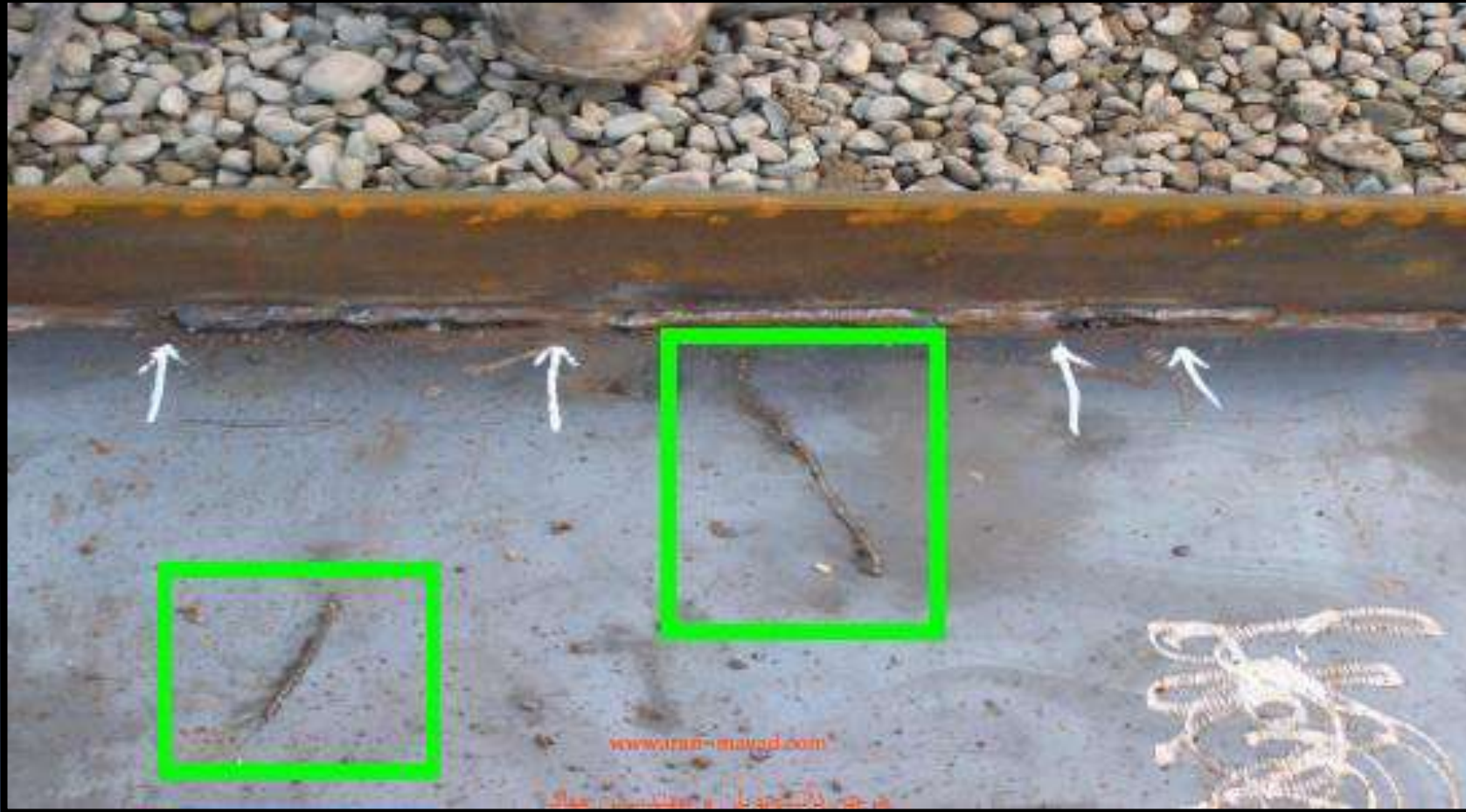
Poor restarts



شروع ضعیف poor restart



لکه قوس Arc Strike



لکه قوس Arc Strike



لکه قوس Arc Strike



عدم پرشدگی شیار under fill



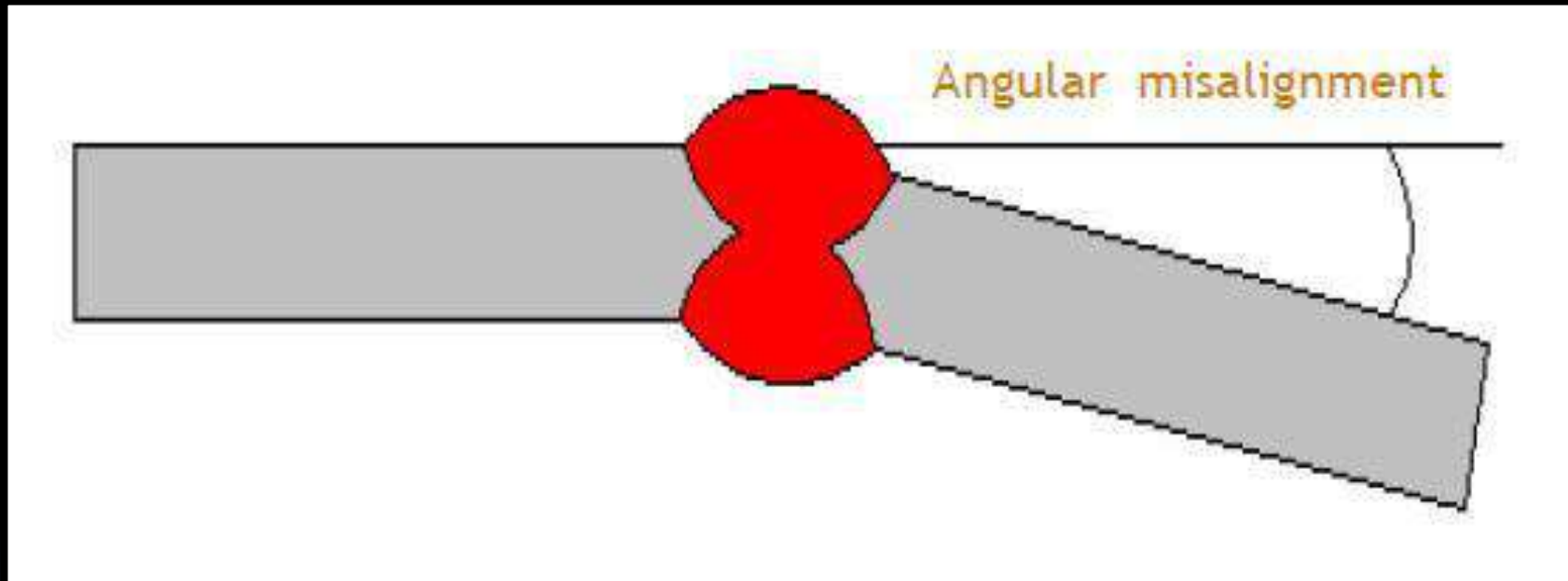
عدم پرشدگی شیار under fill



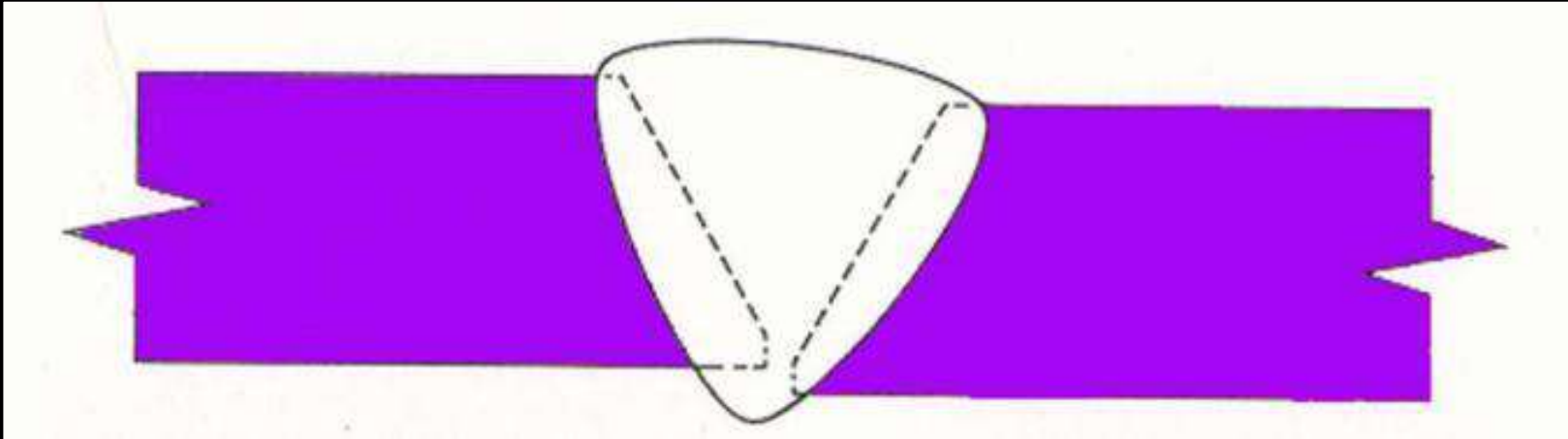
عدم پرشدگی شیار under fill



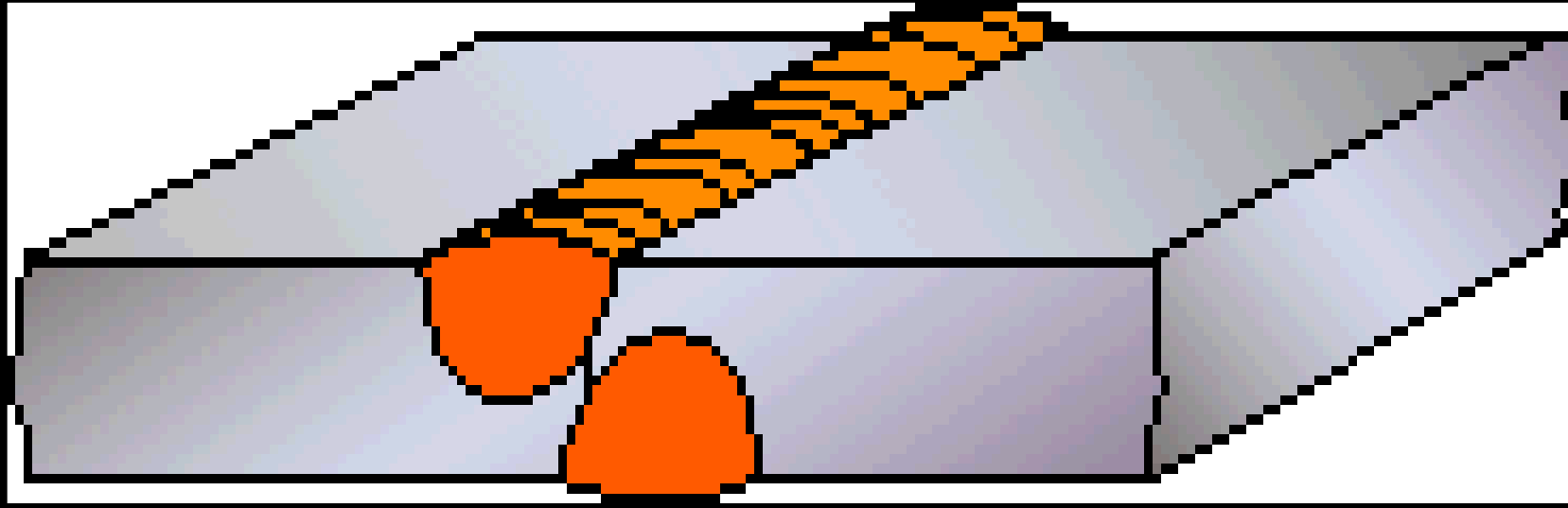
عدم تقارن زاویه ای



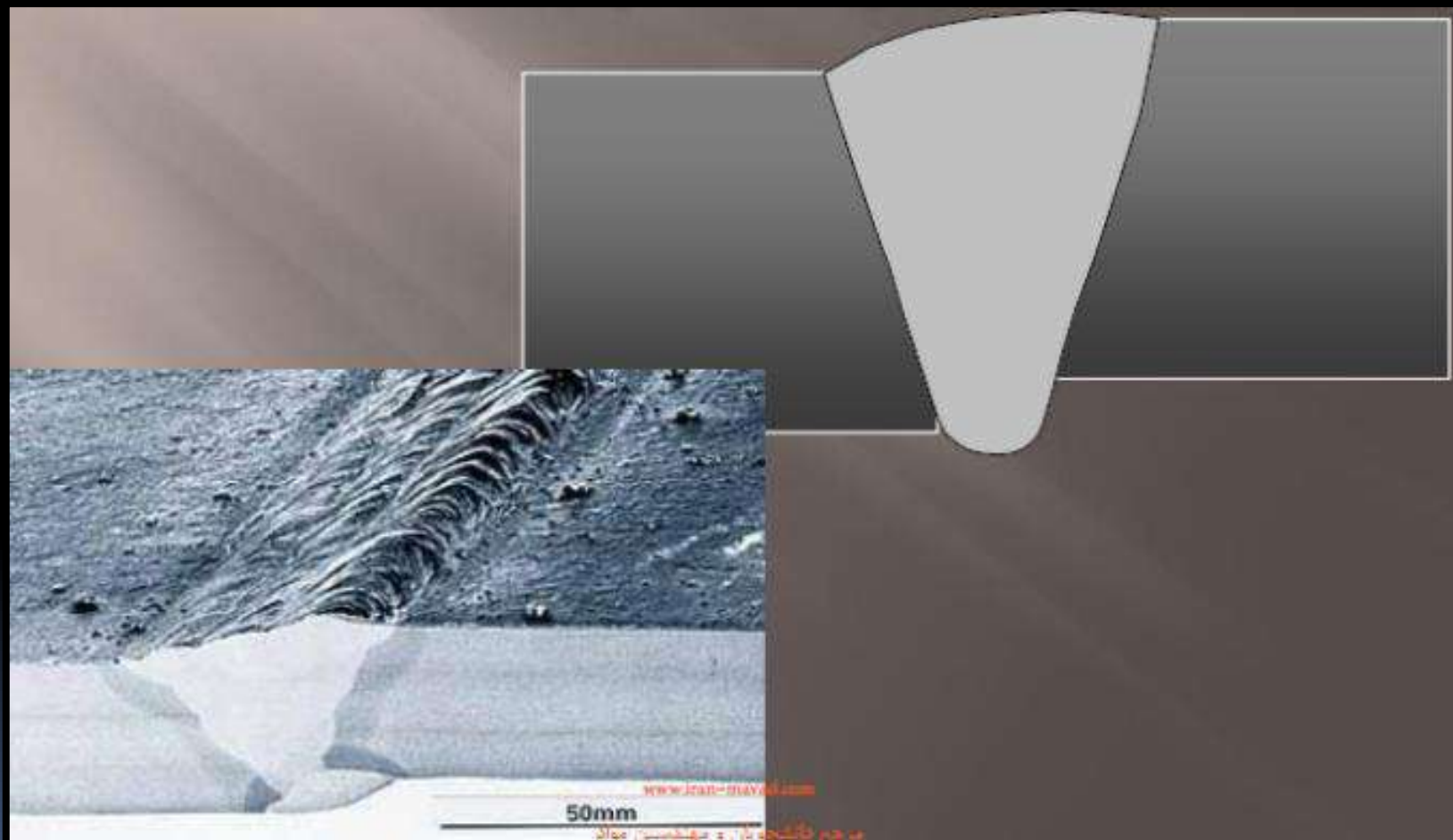
عدم تقارن خطی Linear misalignment



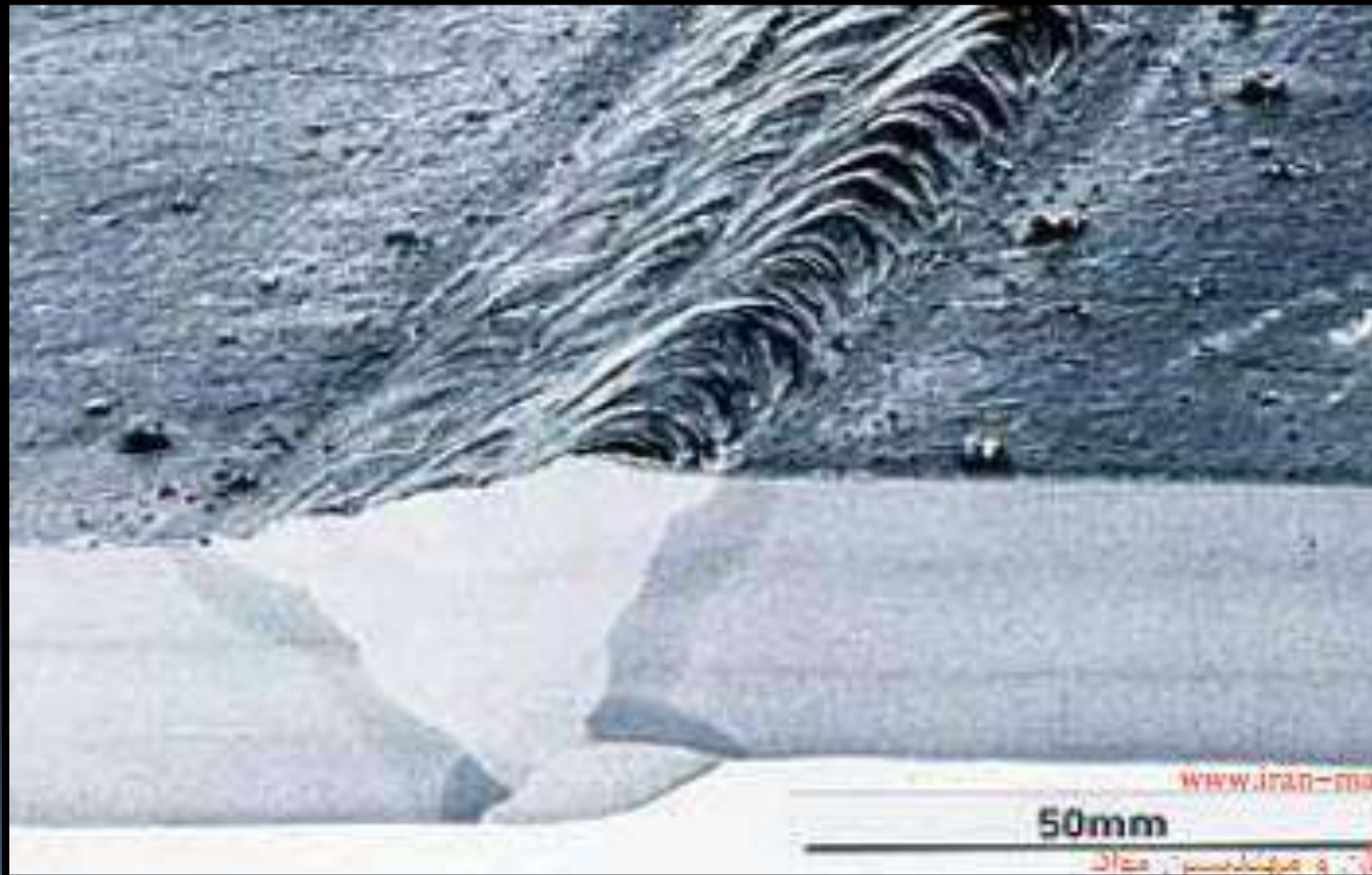
عدم تقارن خطی Linear misalignment



عدم هم ترازی liner misalignment



عدم هم ترازی liner misalignment



تقر یا انقباض ریشه جوش

root concavity



J.Ivanova

تقعر یا انقباض ریشه جوش

root concavity



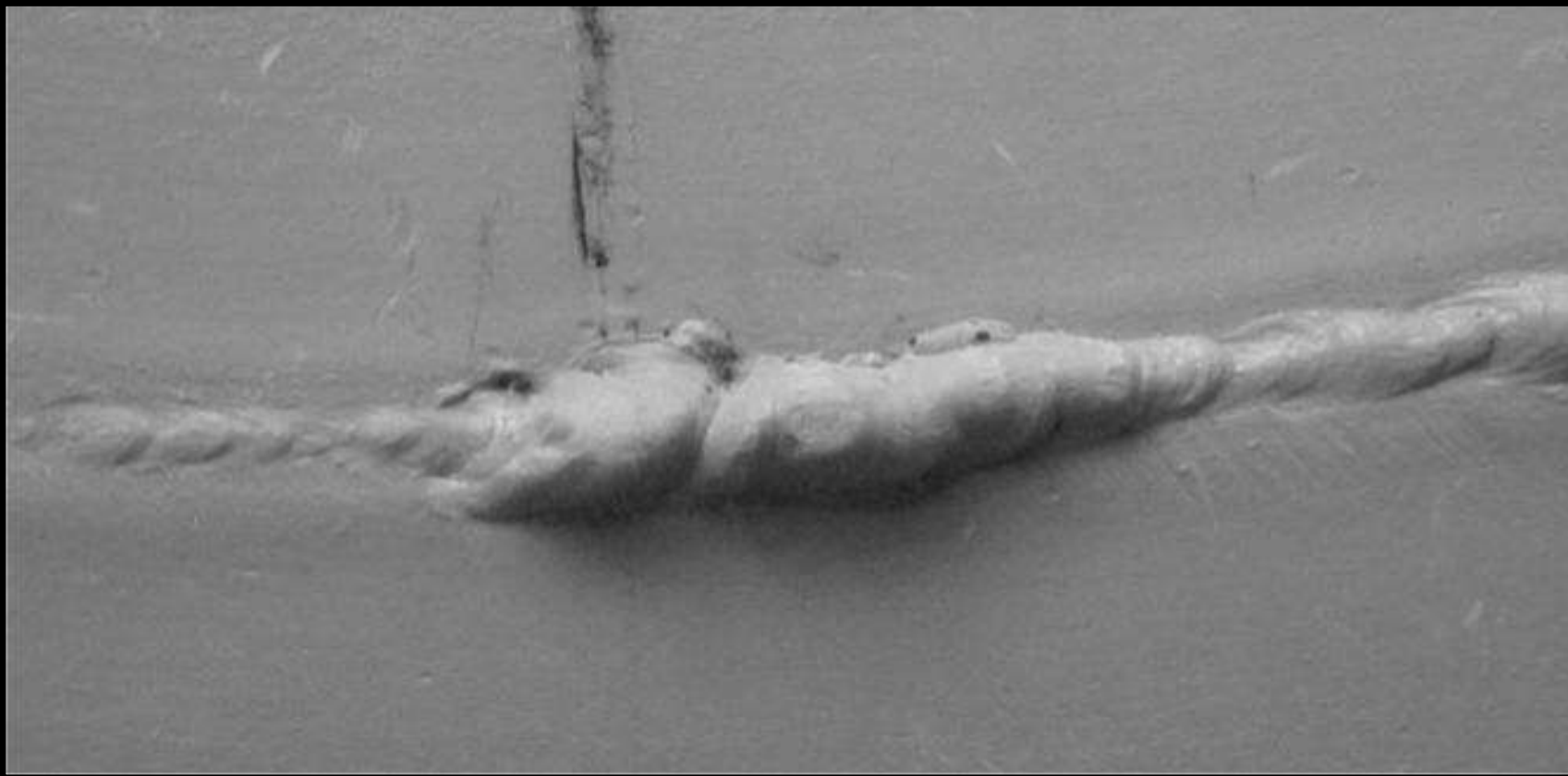
تقر یا انقباض ریشه جوش

root concavity

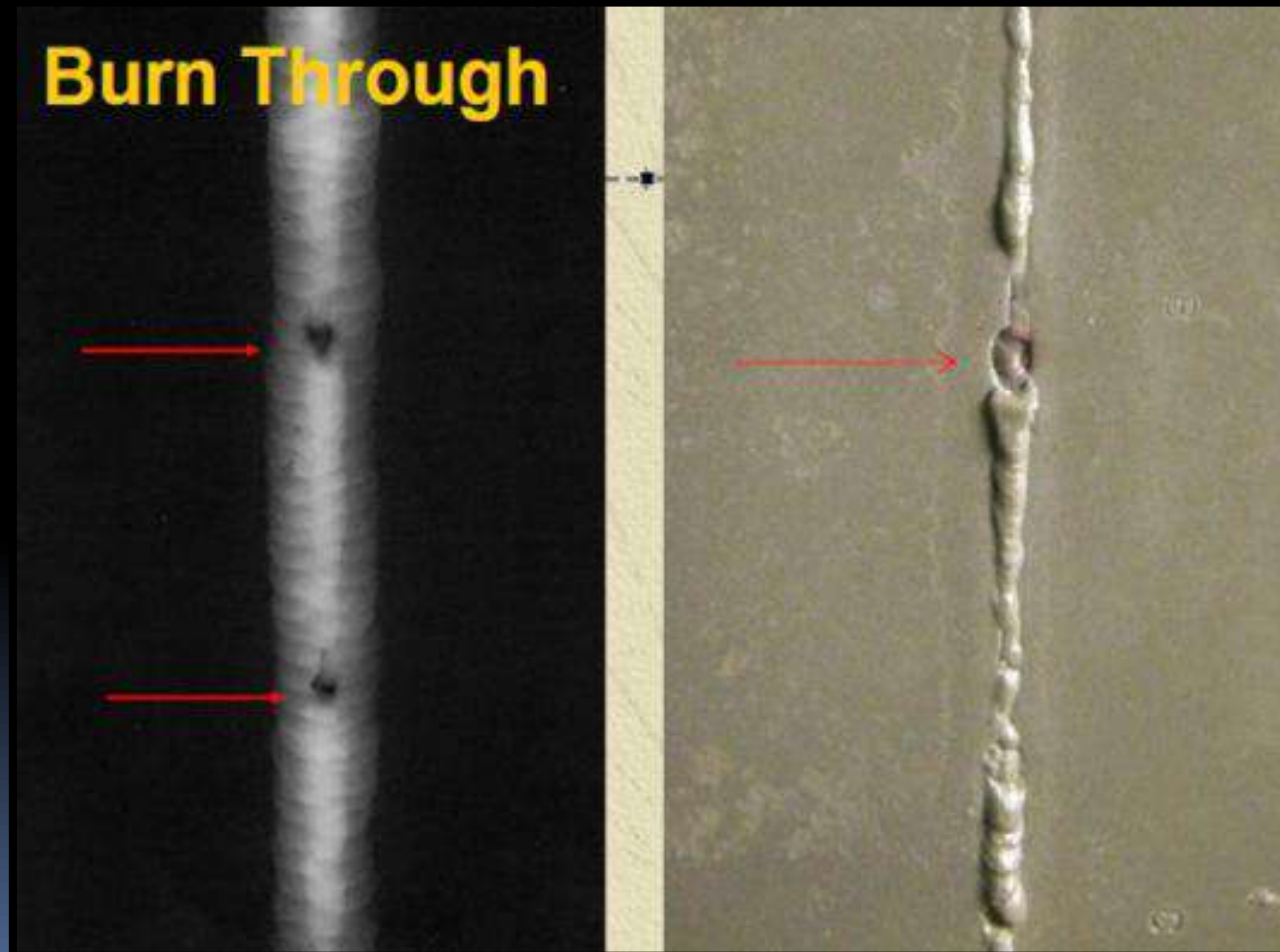


نفوذ بیش از اندازه جوش در ریشه جوش

excess root penetration



سوختگی ریشه یا سوختگی داخلی burn through



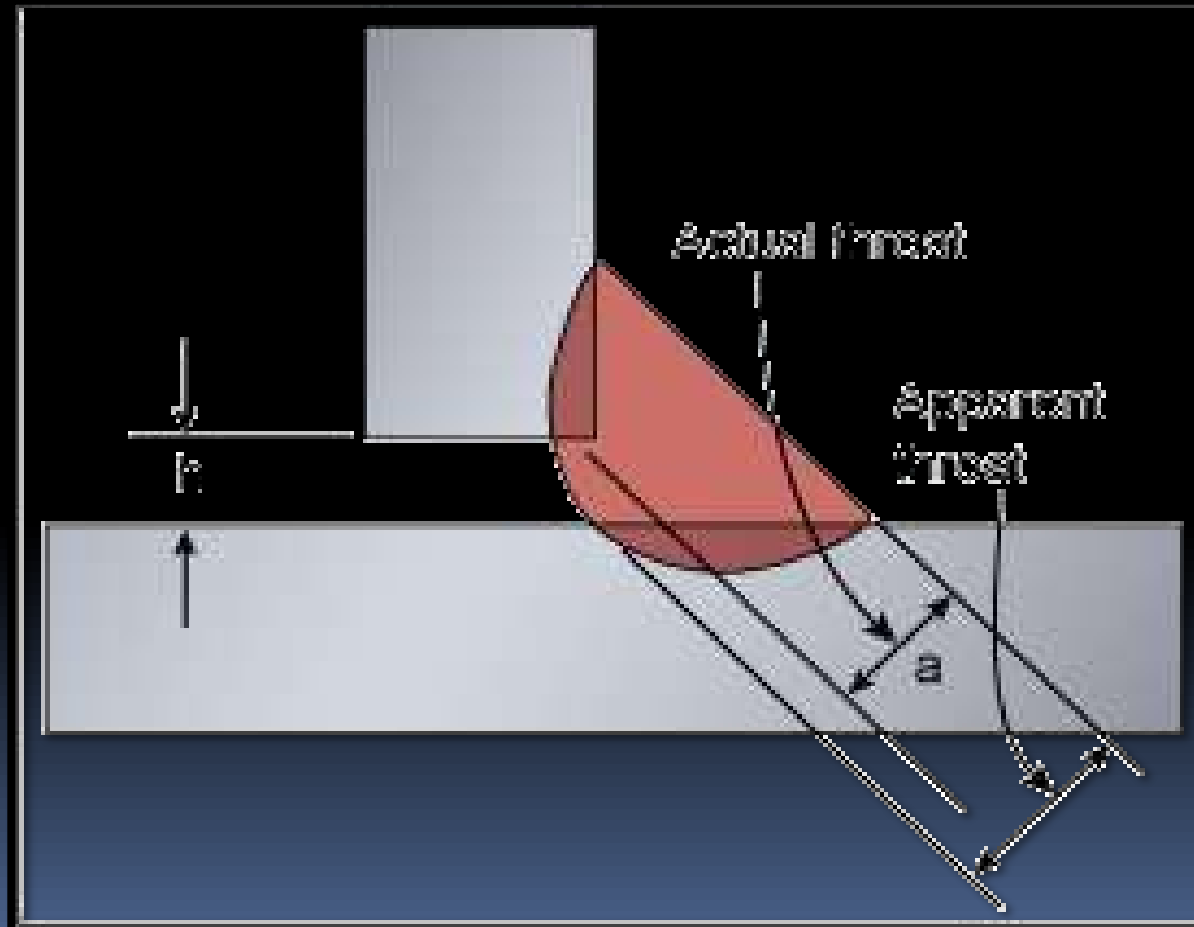
سوختگی ریشه یا سوختگی داخلی

burn throgh

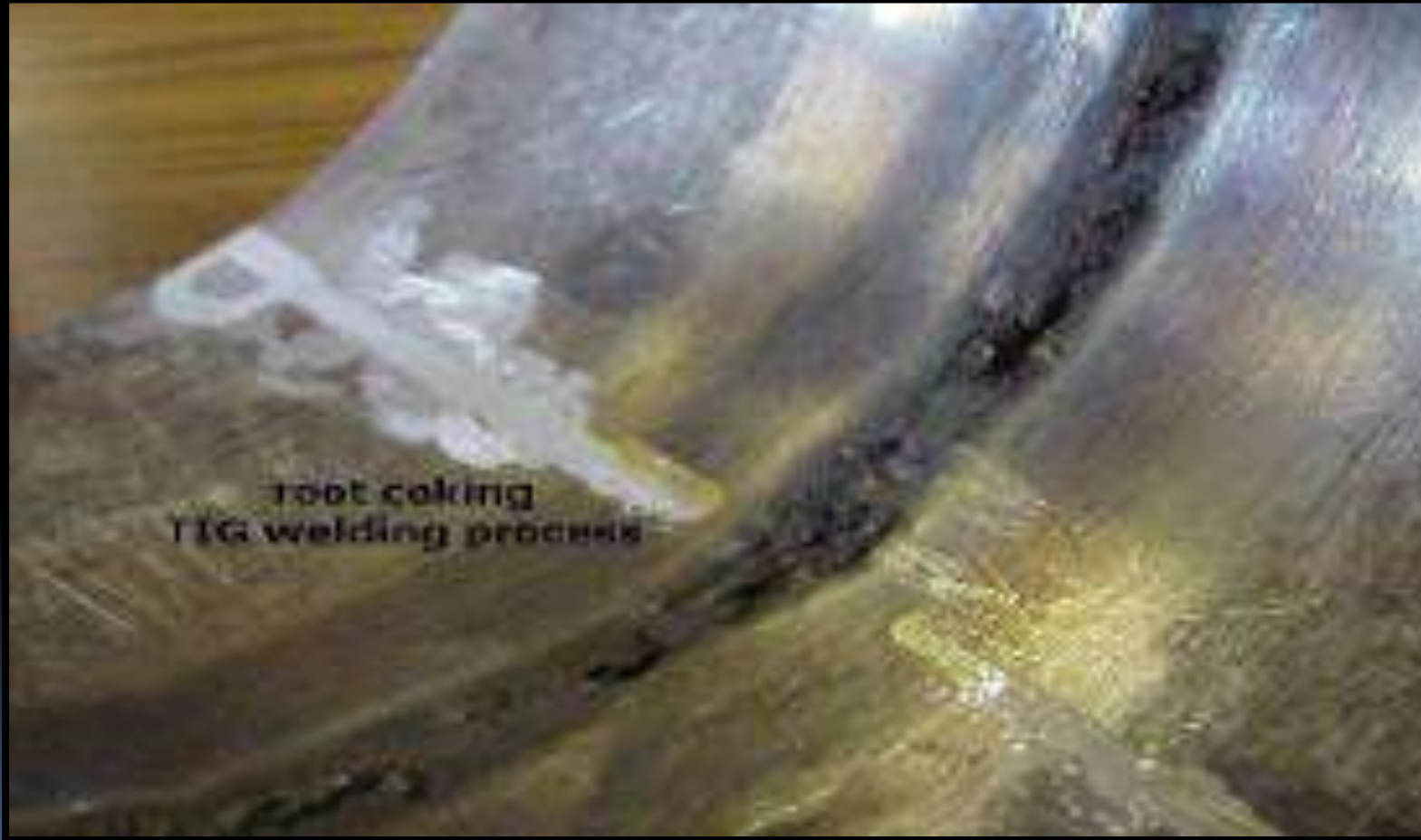


بازشدگی ناصحیح ریشه

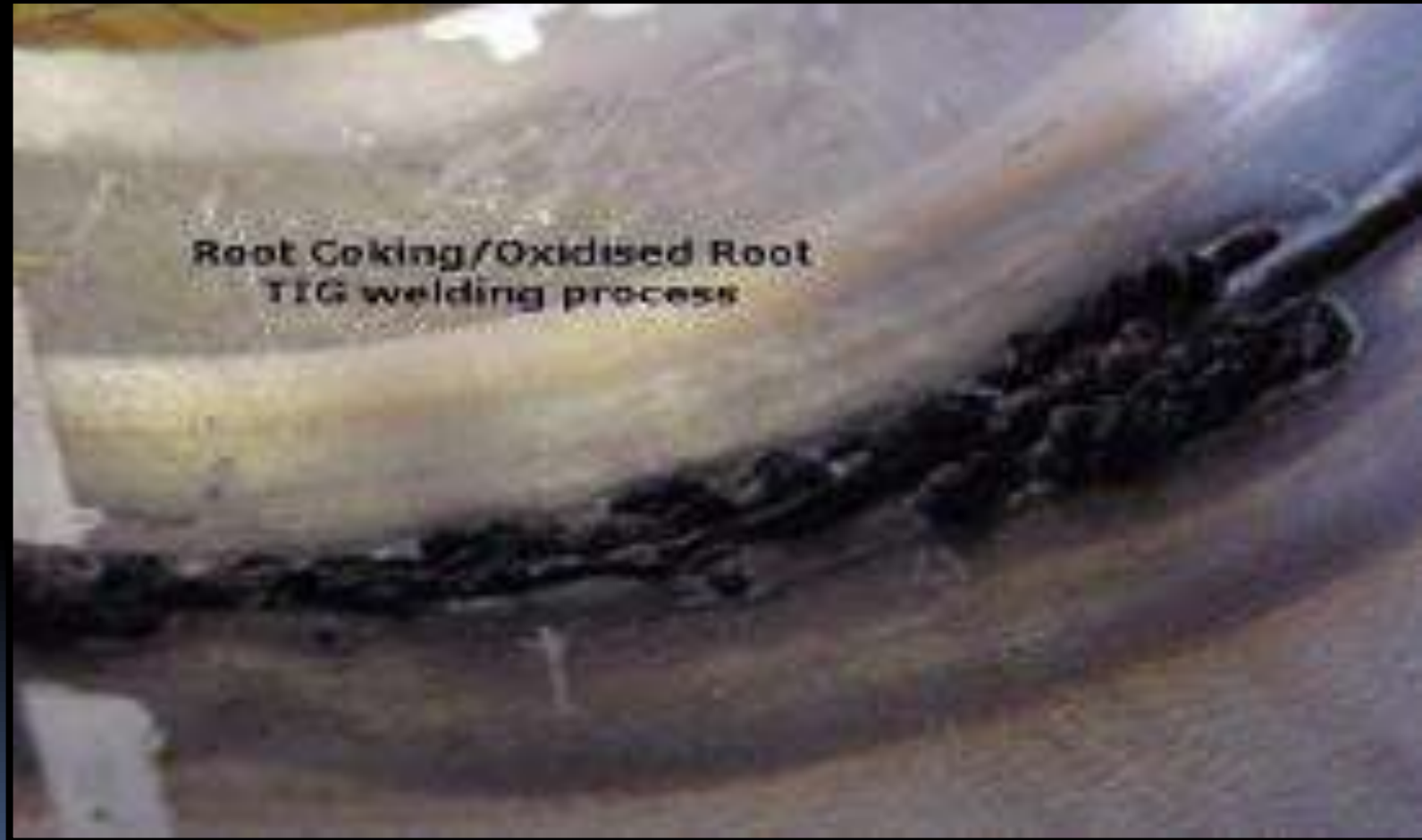
Incorrect root gap(F.W



Oxidized root (root coking)

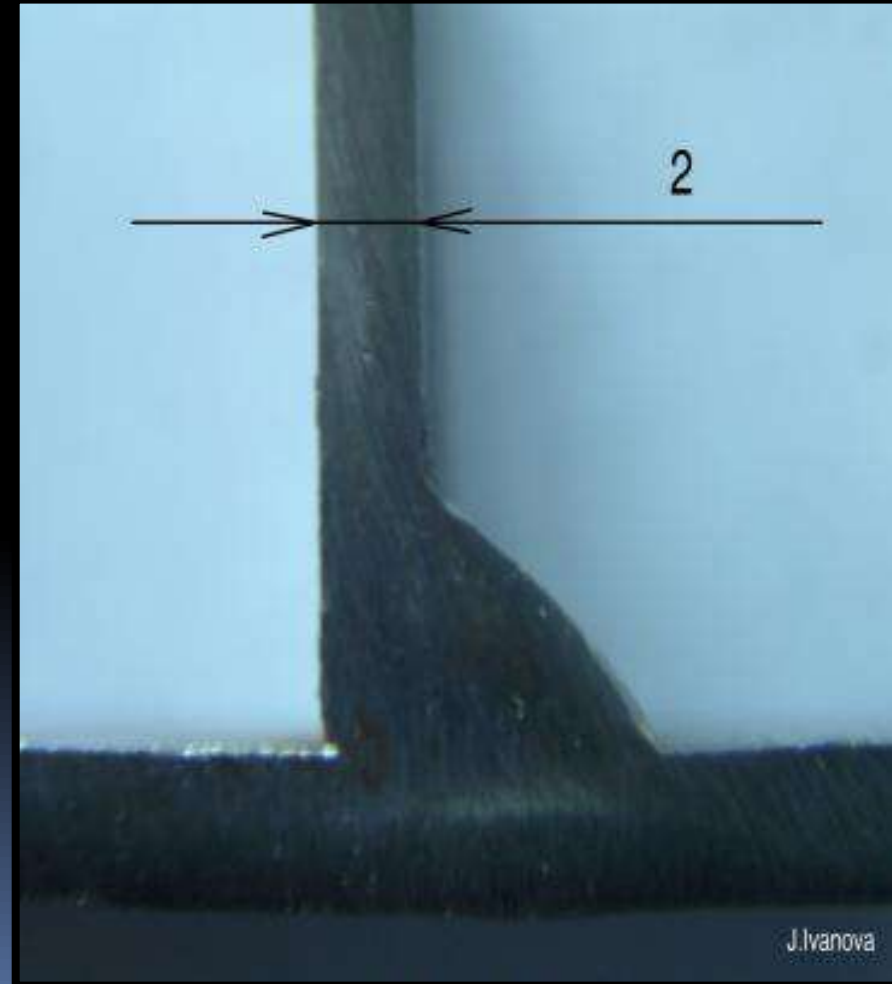
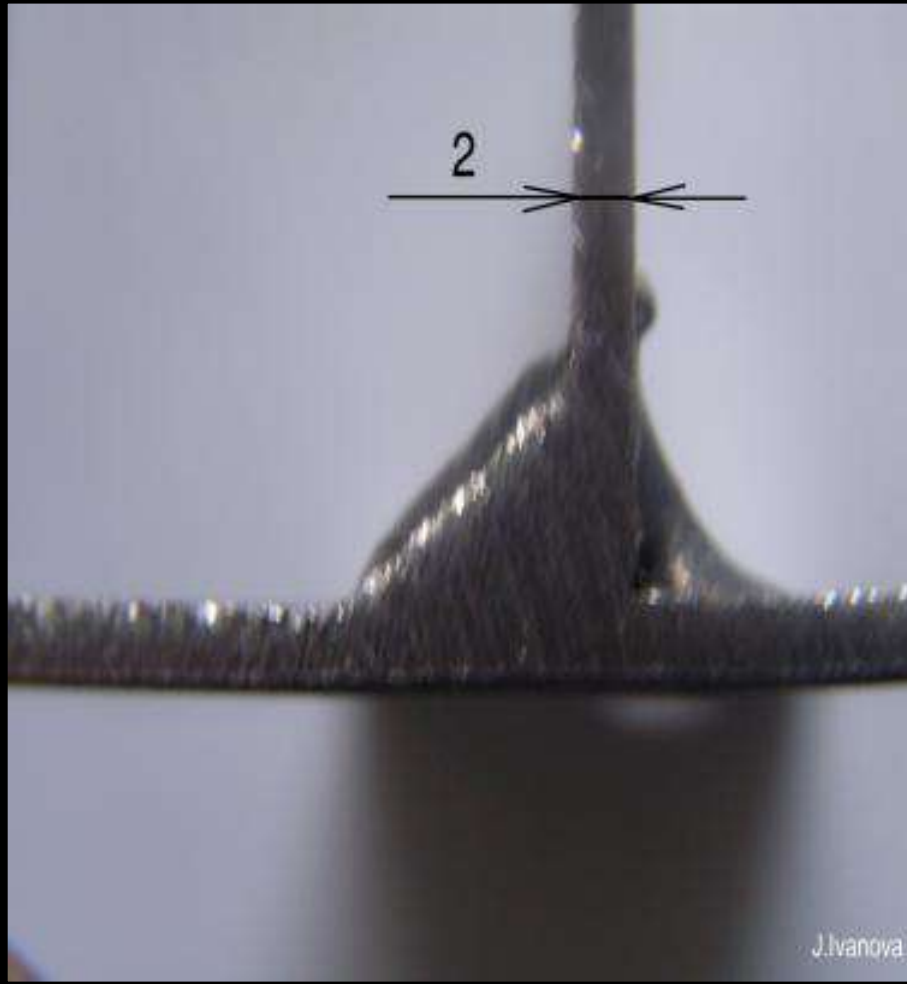


Oxidized root (root coking)



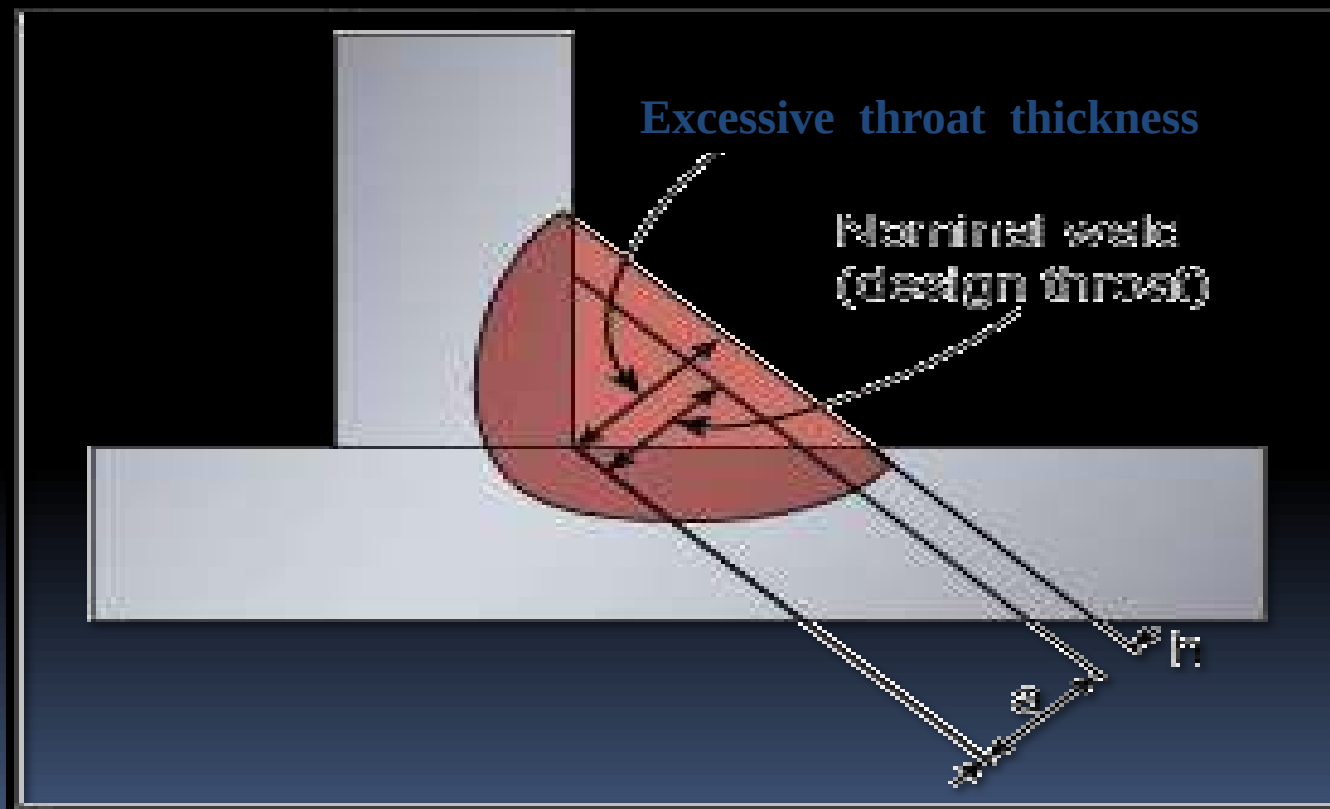
بعد جوش نا موثر یا گلویی جوش ناکافی

insufficient throat thickness



گلوئی اضافی جوش

Excessive throat thickness



زاویه نامناسب گرده جوش incorrect weld toe

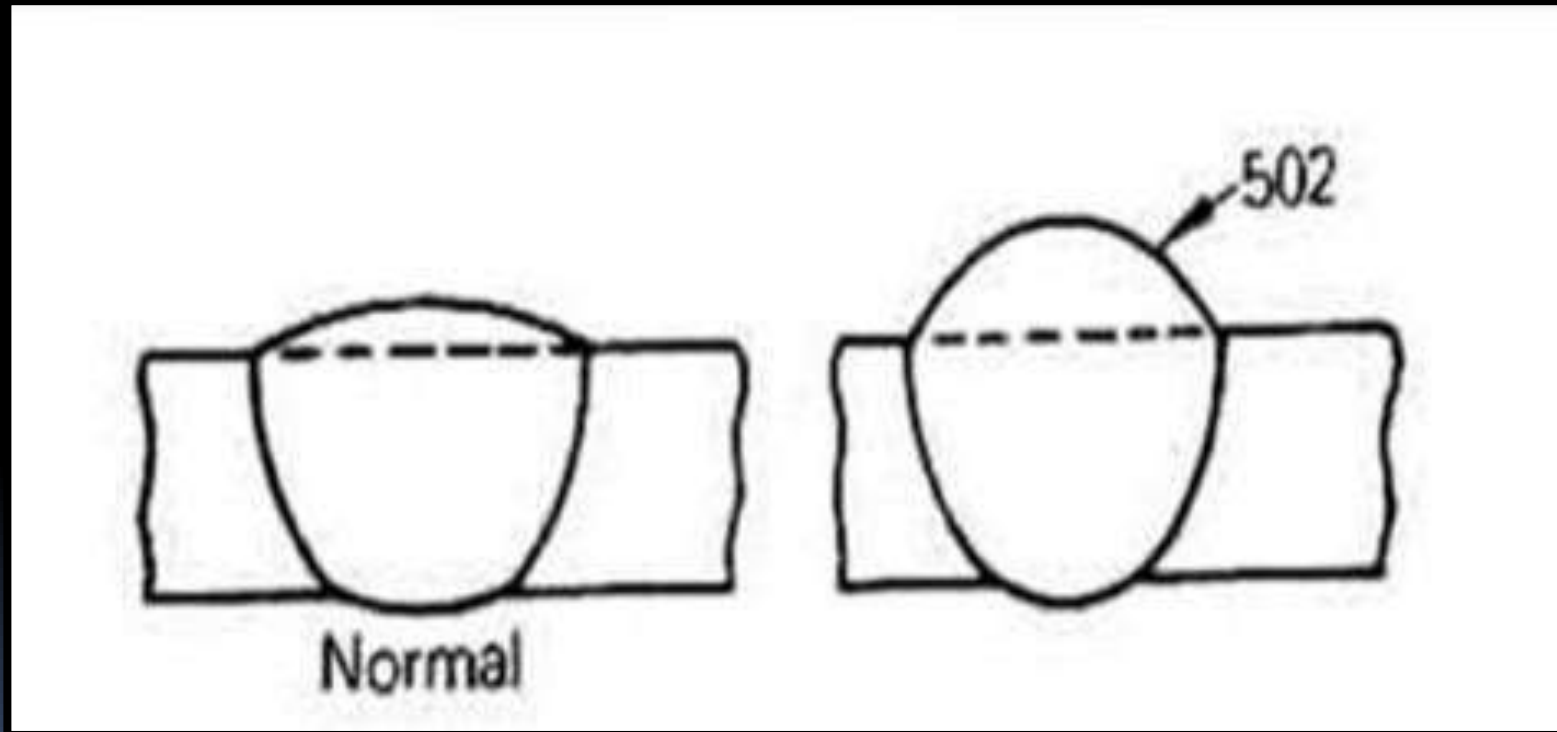


زاویه نامناسب گرده جوش incorrect weld toe



فلز جوش اضافی یا نفوذ اضافی

excess weld metal



فلز جوش اضافی یا نفوذ اضافی excess weld metal



excessive concavity



excessive concavity



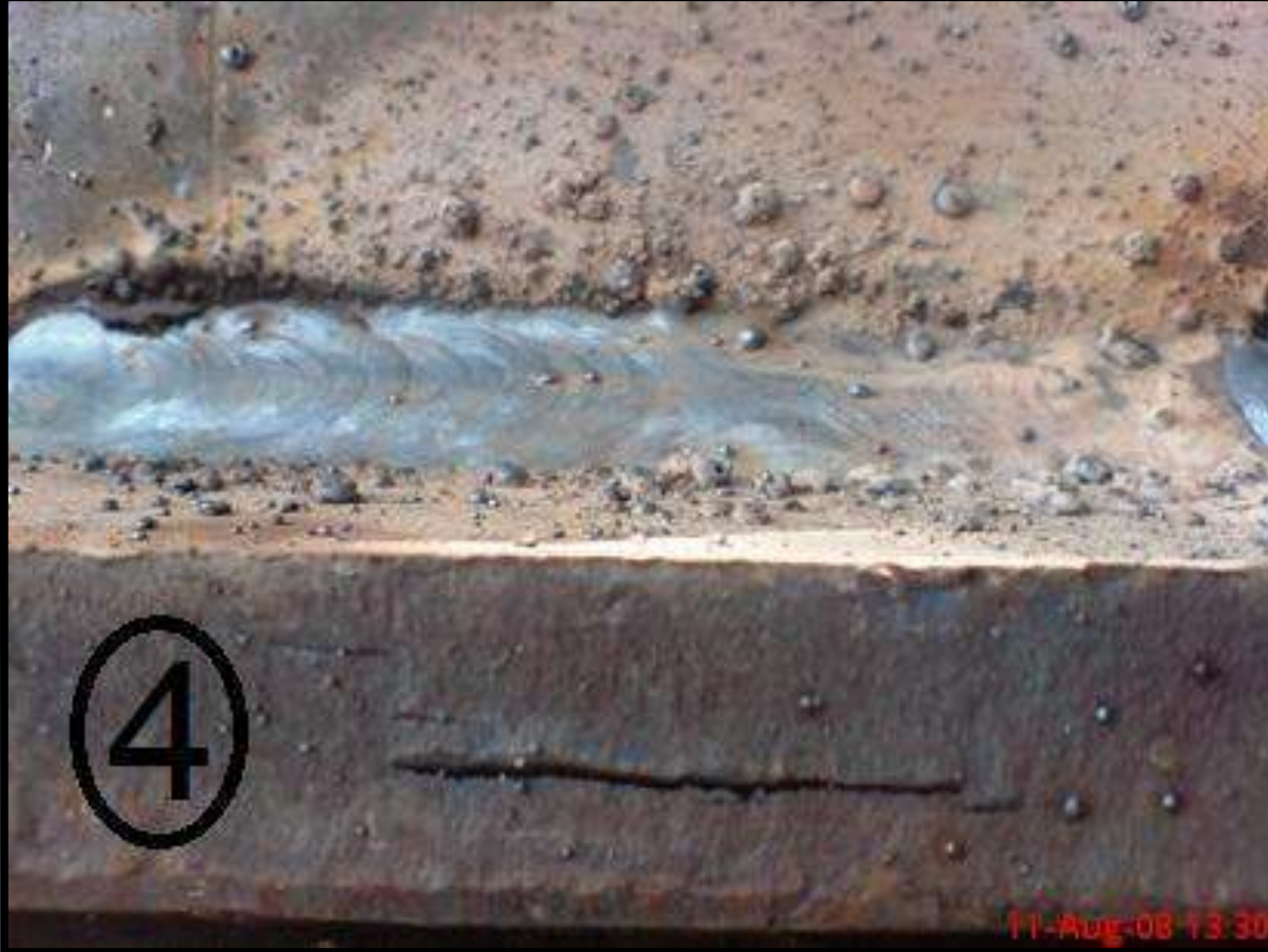
تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



لورق یا ورقه شدن lamination



تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



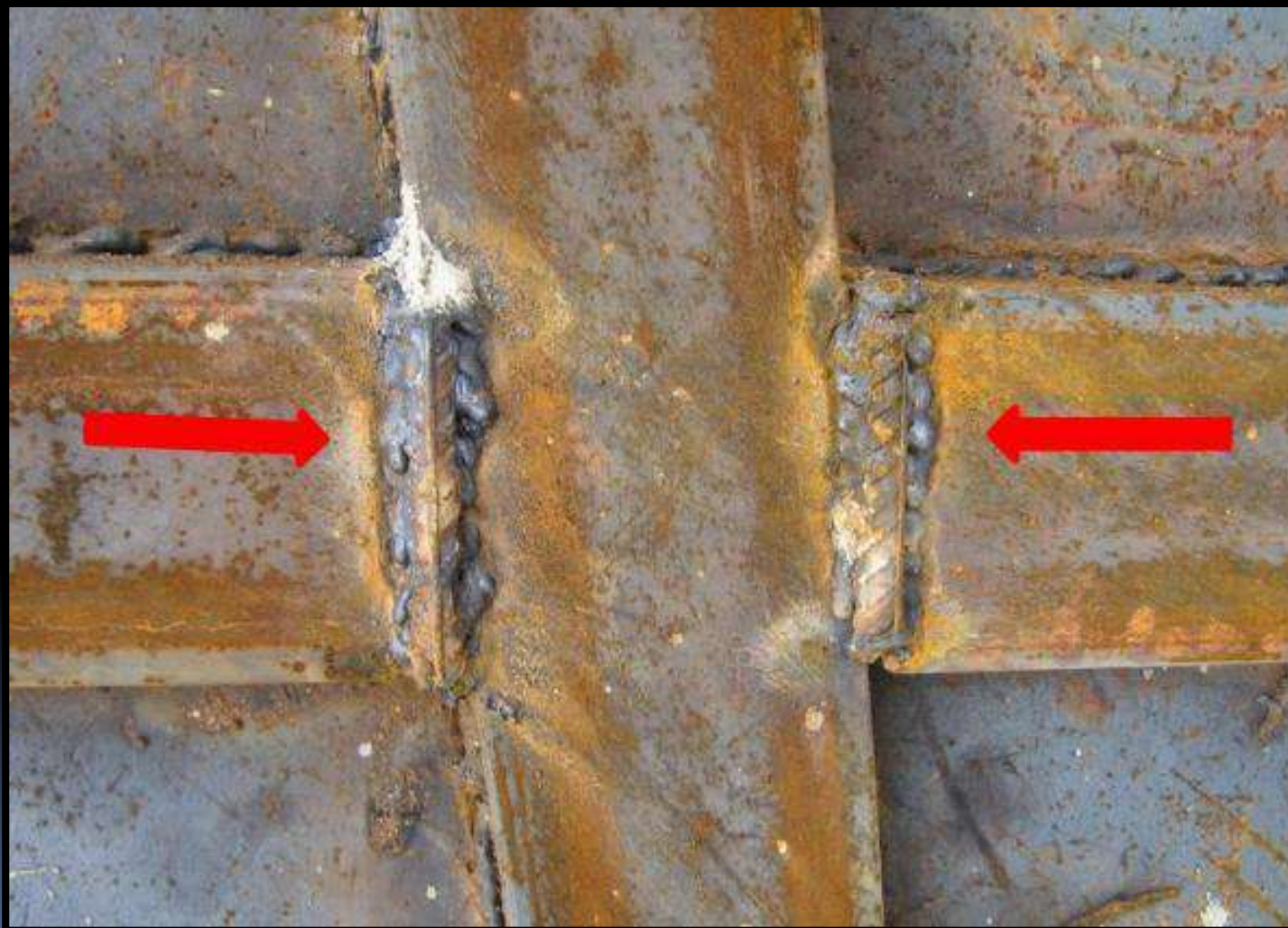
تورق یا ورقه ورقه شدن lamination



استفاده از میلگرد به عنوان پرکننده filler



استفاده از میلگرد به عنوان پرکننده filler



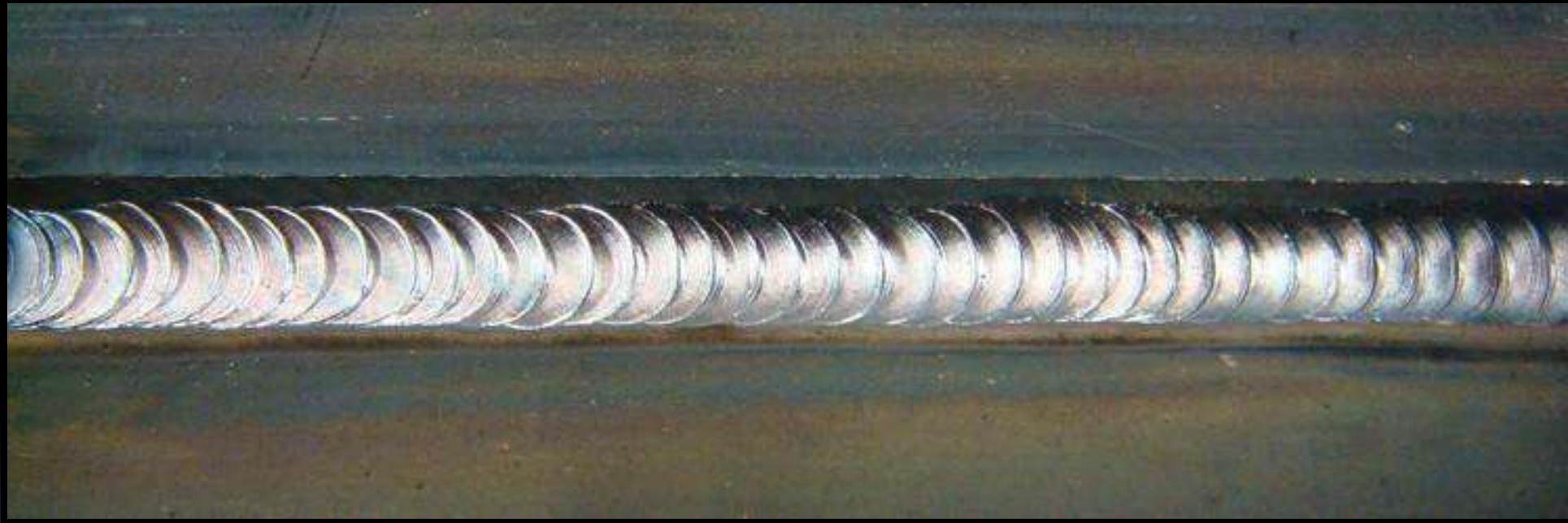
عدم آماده سازی مناسب درز اتصال در جوش شیاری



نصب با خال جوش تنها



یک خط جوش سالم و بی عیب





نمای چند خط جوش معیوب

جوش نرمال - جوش آرام - جوش سریعی



علت انواع خطاها

1. خطای جوشکار

- تنظیم آمپر
- تنظیم ولتاژ
- تنظیم سرعت حرکت دست
- تنظیم زاویه دست
- تنظیم قطبیت
- انتخاب تکنیک حرکت الکتروود
- انتخاب مکان مناسب

2. خطای طراحی

نقص در طراحی ، نقشه ها ، مواد و مصالح نامناسب

3. خطای تجهیزات

استفاده از تجهیزات نامناسب و بدون کالیبره

نتیجه گیری

✓ مقدار قابل توجهی از عیوب مربوط به عدم مهارت جوشکار است .

پس با انتخاب جوشکار ماهر و کنترل مواد مصرفی می توان حجم وسیعی از ایرادات (تکنیکی) را برطرف نمود .

بخش ششم آماده سازی طرح

اتصال و برشکاری

CUTTING

انواع فرایندهای آماده سازی لبه ای

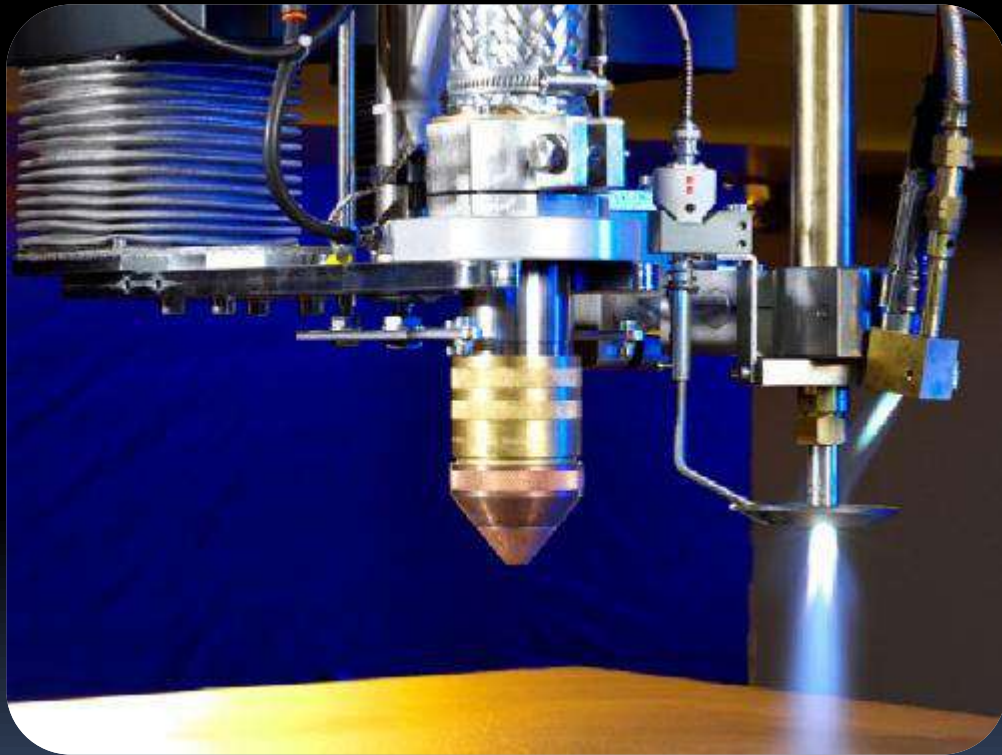
- ماشینکاری و برشکاری مکانیکی
- رویه برداری و برشکاری با گاز و شعله
- رویه برداری و برشکاری با قوس و پلاسما
- برشکاری لیزر و الکترون بیم
- برشکاری با جت آب
- و غیره

برشکاری به صورت مکانیکی ساده ترین و ارزان ترین روشهای برشکاری است.

برشکاری قوسی

- برشکاری قوس پلاسما PAC
- برشکاری قوس کربنی با هوا CAC-A
- برشکاری قوس با الکتروود روپوش دار SMAC
- برشکاری قوس فلزی با گاز محافظ GMAC
- برشکاری قوس تنگستن با گاز خنثی GTAC
- برشکاری قوس اکسیژن AOC
- برشکاری قوس کربنی CAC

موارد مهم در انتخاب فرایند برشکاری

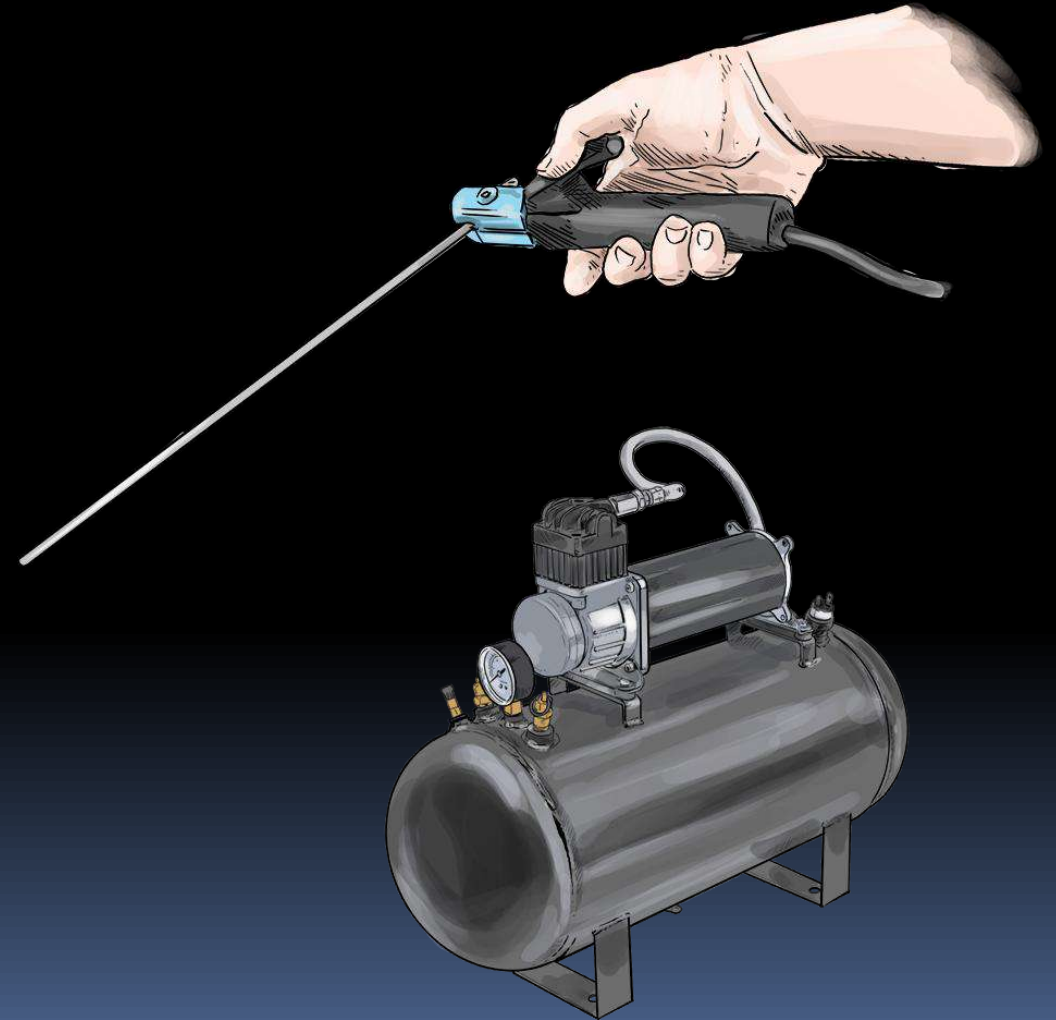
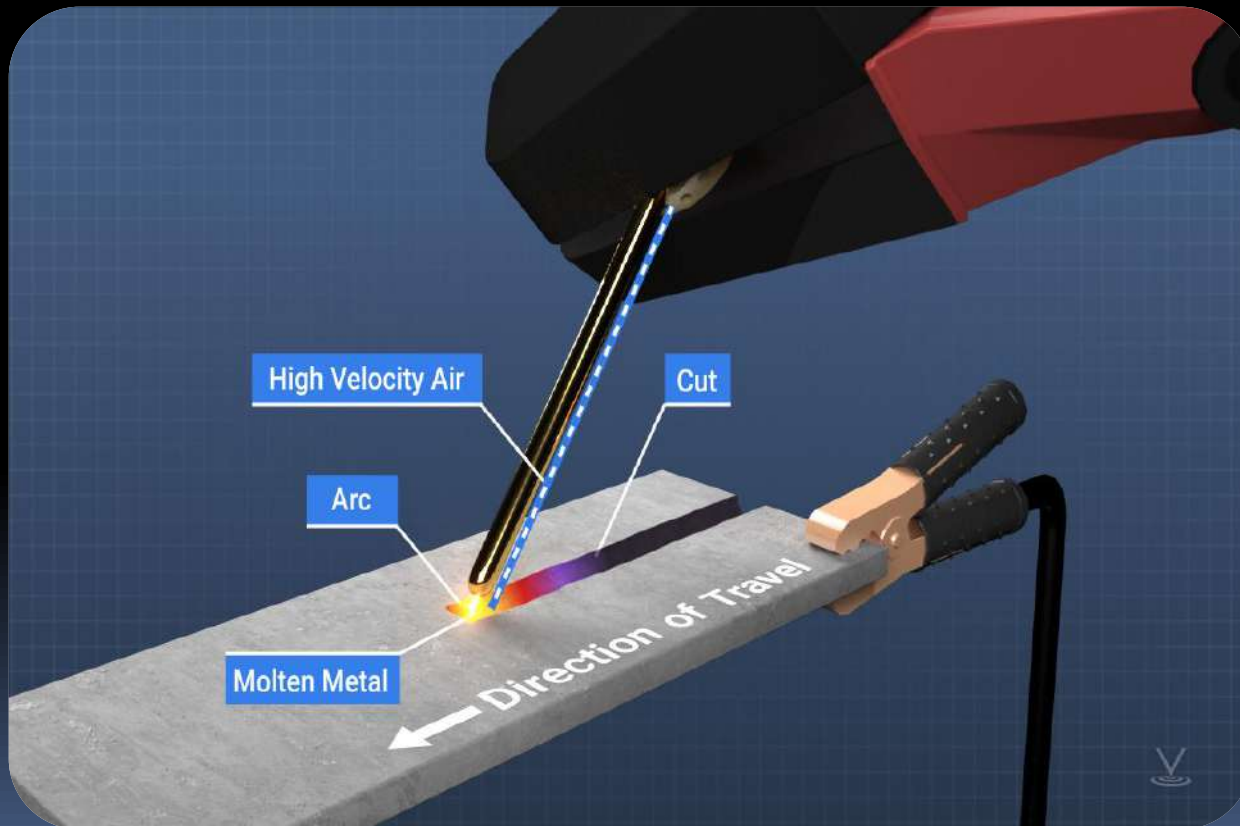


- خواص برشکاری ماده مورد نظر
- کیفیت برش
- اقتصاد و هزینه
- ضخامت مواد
- و غیره

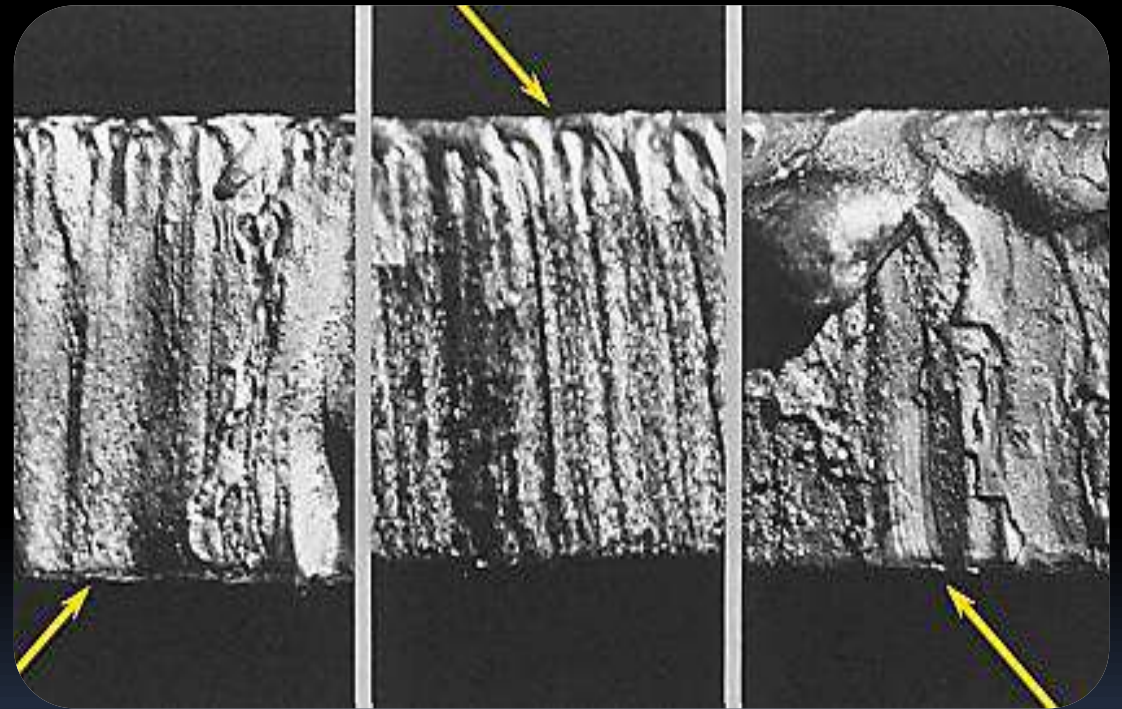
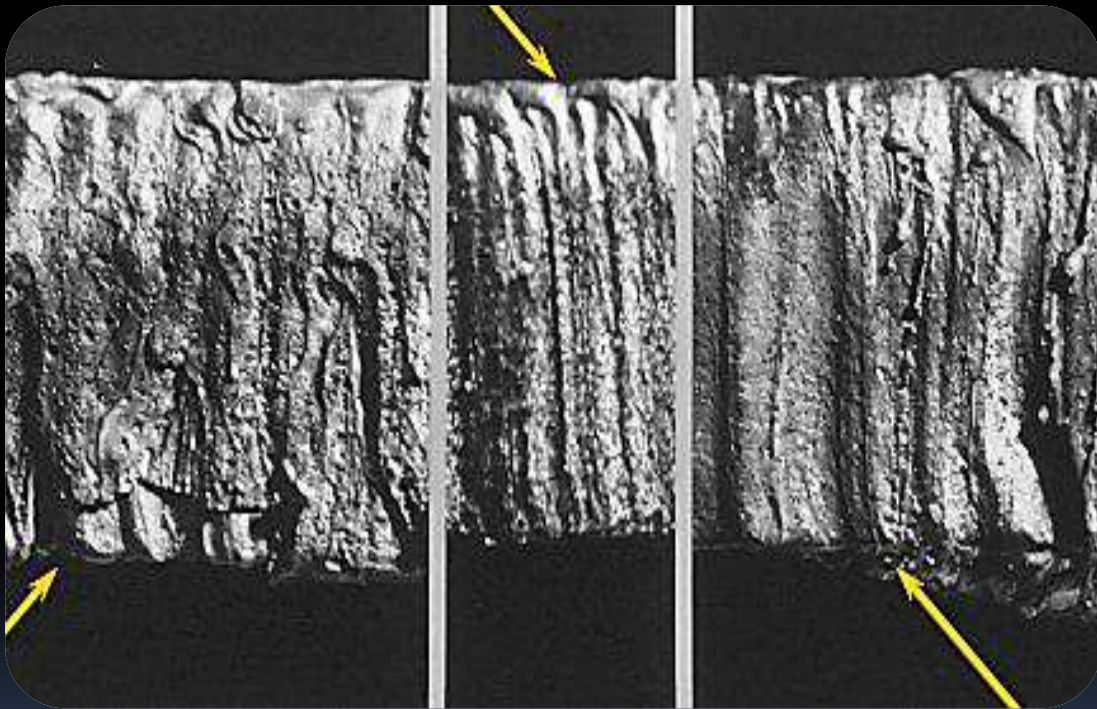
برشکاری CUTTING



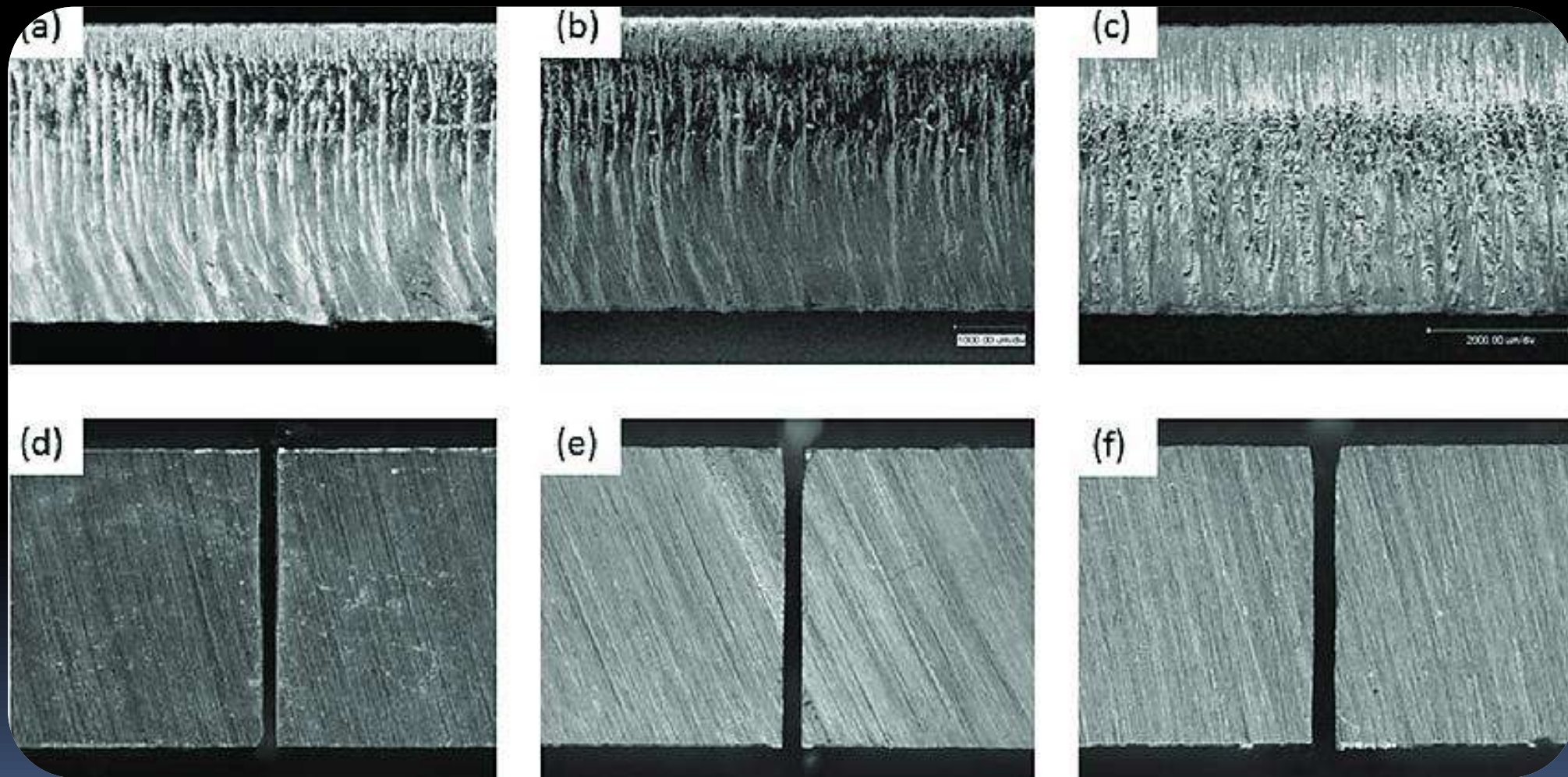
برشکاری قوس کربنی با هوا Air carbon cutting Gouging



کیفیت برشکاری CUTTING



کیفیت برشکاری CUTTING



بخش هفتم معرفی بازرس به محل ساخت پروژه و تشکیل
جلسات بازرسی و معرفی و جاری ساختن مستندات و
استانداردهای پروژه

نامه معرفی دستگاه نظارت از سوی کارفرما به کارخانه زده میشود و بازرس جهت هماهنگی و چگونگی روند اجرای بازرسی ها و تشکیل جلسه ای با نماینده پیمانکار در محل ساخت پروژه حضور میابد .

کارهایی که در این جلسه صورت می پذیرد عبارتند از:

- دستور العمل بازرسی ها (ITP) از سوی نظارت به مدیریت کنترل کیفیت پیمانکار ارائه میگردد.
- مدیریت کنترل کیفیت نیز (QCTM) جاری در کارخانه را جهت بررسی به دستگاه نظارت ارائه میدهد
- پس از بررسی (ITP) و (QCTM) توافقات لازم جهت جاری شدن (ITP) دستگاه نظارت انجام و به تایید طرفین میرسد و امضاء میگردد

INSPECTION AND TEST PLAN
FOR
STEEL STRUCTURE FABRICATION

مهمترین نقاط بازرسی در (Inspection Test Pelan)

Hold Point سطحی از بازرسی است که بازرس کارفرما (خریدار) باید مطابق با (Request For Inspection) جهت بازرسی دعوت شود.

تا زمانی که بازرس کارفرما (خریدار) حضور نیابد و بازرسی صورت نگرفته باشد ادامه مرحله بعدی فعالیت برای پیمانکار (سازنده) مجاز نمی باشد.

در واقع دعوت و حضور بازرس کارفرما (خریدار) جهت بازرسی فعالیت ضروری می باشد و در صورت عدم حضور بازرس کارفرما (خریدار) آن فعالیت برای پیمانکار (سازنده) تایید نمی شود.

مهمترین نقاط بازرسی در (Inspection Test Pelan)

Hold Point سطحی از بازرسی است که بازرس کارفرما (خریدار) باید مطابق با (Request For Inspection) جهت بازرسی دعوت شود و چنانچه بازرس کارفرما (خریدار) طبق زمان مشخص شده در RFI حضور نیابد ادامه مرحله بعدی فعالیت برای پیمانکار (سازنده) مجاز می باشد.

Hold Point از اهمیت و حساسیت ویژه ای برخوردار است ولی در **Witness Point** چنانچه بازرس به دلایلی حضور نیابد پیمانکار (سازنده) می تواند به فعالیت خود ادامه دهد

Review این ایستگاه جهت بررسی مدارک می باشد و گروه اجرایی می توانند به کار اجرایی خود ادامه دهند و در نهایت بایستی که مدارک مربوطه را جهت بازنگری ارائه دهند.

➡ WPS and PQR Definition

WPS (Welding Procedure Specification)

دستورالعمل جوشکاری سندی است که تمام جزئیات فرآیند جوشکاری را شامل میشود و در حقیقت مدرکی است که الزامات اجرای عملیات جوشکاری را مشخص می کند و جوشکاری خارج از حدود آن مجاز نمی باشد.

PQR (Procedure Qualification Record)

گزارش تأیید صلاحیت جوشکار در حقیقت تأییدیه، پشتوانه و اعتبار WPS بوده و بیان کننده صحت WPS بوده که از طریق انجام تستها و آزمایشات لازم تهیه می گردد. به طور کلی تأیید دستورالعمل جوشکاری با هدف اطمینان از سازگار بودن فلز پایه، فلز پر کننده، فرآیند جوشکاری و تکنیکهای جوشکاری صورت می گیرد.

➡ Welding Procedure Specification (ASME)

Welding Variables (QW 250)

متغیرهای ضروری (Essential Variables) : متغیرهای ضروری متغیرهایی هستند که بر خواص مکانیکی جوش تأثیر می گذارند و هرگونه تغییر خارج از محدوده مشخص شده در WPS، ضرورت تأیید مجدد آن را در پی خواهد داشت. متغیرهای اساسی هر فرآیند جوشکاری تا حد زیادی به طبیعت آن فرآیند بستگی خواهد داشت.

متغیرهای تکمیلی (Supplementary Variables) : متغیر تکمیلی متغیری است که در صورت نیاز به تست ضربه متغیر اساسی محسوب شده و در غیر اینصورت با آن مانند متغیر غیر ضروری رفتار می گردد.

متغیرهای غیرضروری (Nonessential Variables) : متغیرهای ضروری متغیرهایی هستند که اگر تغییر نمایند نیازی به تأیید مجدد WPS نیست.

QW 252 through QW 265 : Variables for each Welding Process

برگزاری آزمون ارزیابی جوشکاران (WQT)

- در این مرحله با توجه به مهارت جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری از آنها مطابق با استاندارد و طرح اتصال های پروژه آزمون گرفته میشود و در صورت تایید میتوانند در روند جوشکاری پروژه مشغول به کار شوند.
- روشهای آزمون به صورت زیر خواهد بود
- بازرسی چشمی (VT)
- بازرسی التراسونیک (UT)
- بازرسی رادیوگرافی (RT)
- ارسال نمونه به آزمایشگاه جهت تستهای مخرب (DT)

بخش هشتم

انواع بازرسی های مورد نیاز در پروژه و نظارت بر مراحل ساخت قطعات

- بازرسی های قبل فرایند
- بازرسی های حین فرایند
- بازرسی های بعد فرایند

بخش نهم تست های غیر مخرب (NDT)



NDT



NON-DESTRUCTIVE TESTING



آزمون غیرمخرب

آزمونی که بر روی مواد، قطعات و دستگاه ها به منظور ارزیابی خواص و یا سالم و معیوب بودن آنها انجام شود، بدون آنکه بر کارکرد نهایی آنها اثر نامطلوب داشته باشد

چرا NDT؟

کاهش حوادث - حفظ جان انسانها



چرا NDT؟

کاهش حوادث - حفظ جان انسانها



چرا NDT؟

کاهش حوادث - حفظ جان انسانها



چرا NDT؟

کاهش حوادث - حفظ جان انسانها



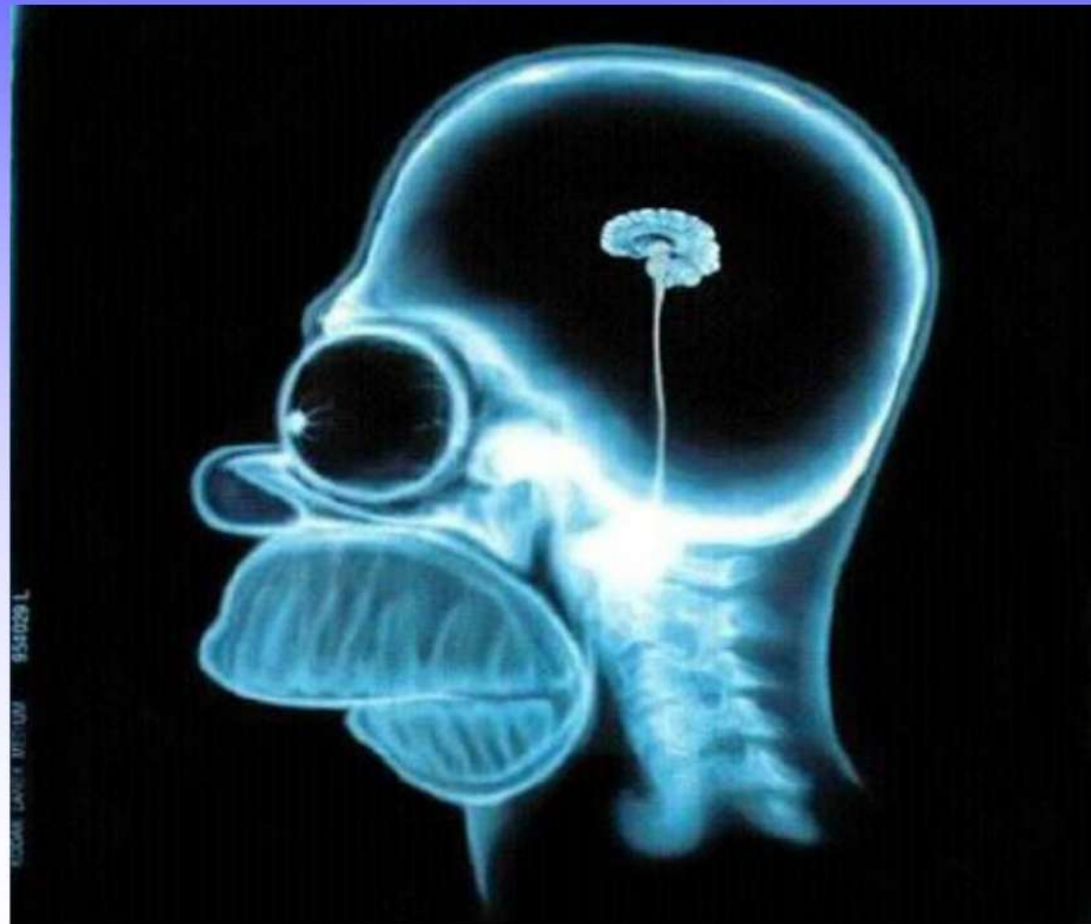
چرا NDT؟

کاهش حوادث - حفظ جان انسانها



چرا NDT؟

گاہش حوادث - حفظ جان انسانہا



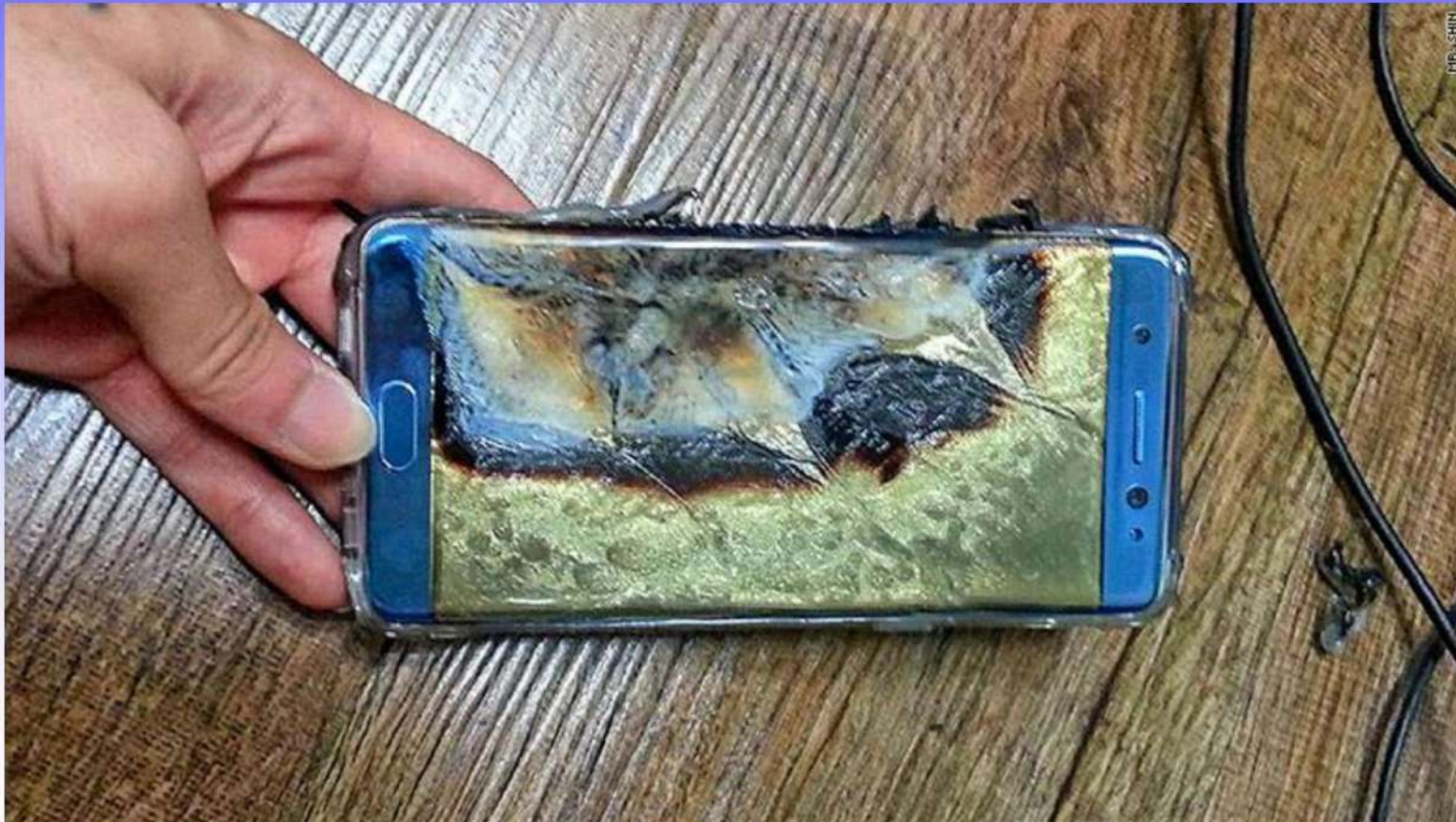
چرا NDT؟

افزایش بهره وری و کارایی - کاهش هزینه ها



چرا NDT؟

افزایش بهره وری و کارایی - کاهش هزینه ها



چرا NDT؟

افزایش بهره وری و کارایی - کاهش هزینه ها



چرا NDT؟

افزایش بهره وری و کارایی - کاهش هزینه ها



چرا NDT؟

افزایش بهره‌وری و کارایی - کاهش هزینه‌ها



چرا NDT؟

اندازه گیری خواص و ویژگیها



کاربرد NDT در صنایع

• نفت، گاز، پتروشیمی

• شیمیایی

• هوافضا

• تولید انرژی

• حمل و نقل

• الکترونیک

• ساخت انواع سازه

• پزشکی

• تحقیق و توسعه

.....

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

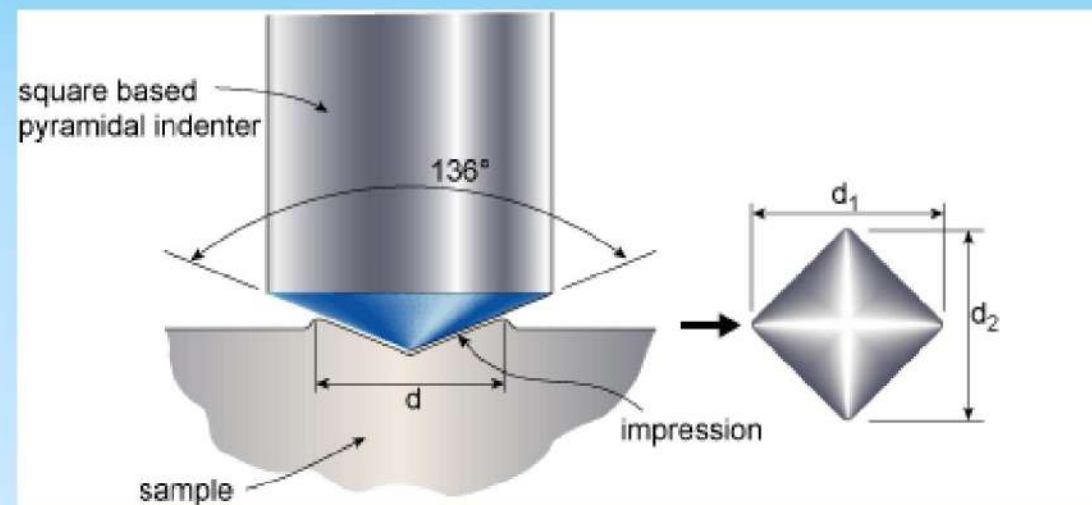
الف) مخرب: آزمونهایی که در عملکرد نهایی قطعه اختلال ایجاد کند مانند آزمون کشش-خمش- فشار-ضربه-خستگی- متالوگرافی و ...

انواع آزمون

ب) غیرمخرب: هر آزمون جهت بررسی خواص و وجود عیب در مواد و قطعات که روی عملکرد نهایی آنها تاثیری نداشته باشد.

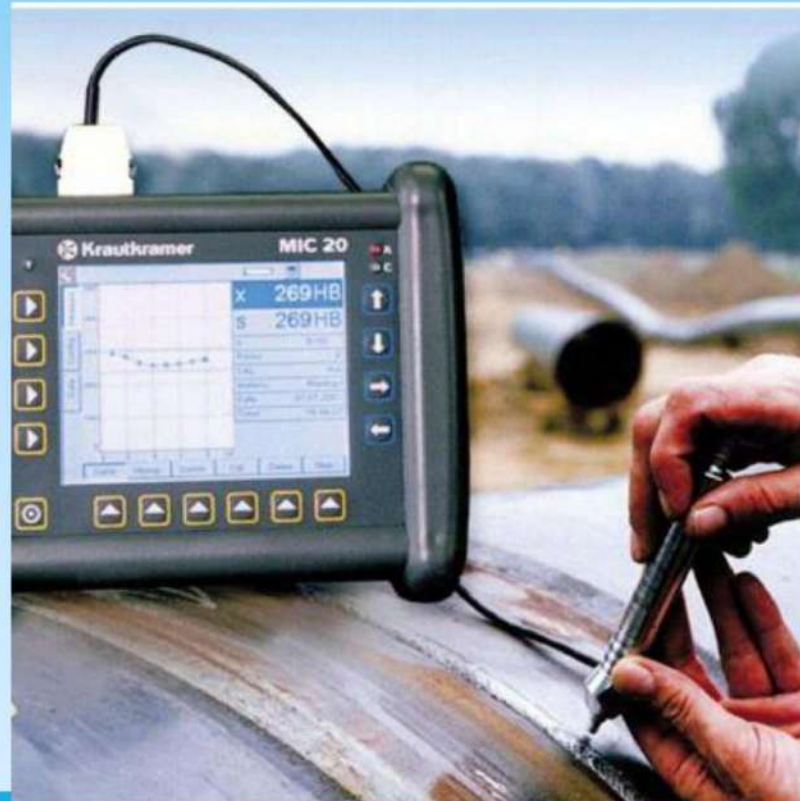
مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

- سختی سنجی آزمون مخرب ست یا غیر مخرب؟



مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

- سختی سنجی آزمون مخرب است یا غیر مخرب؟



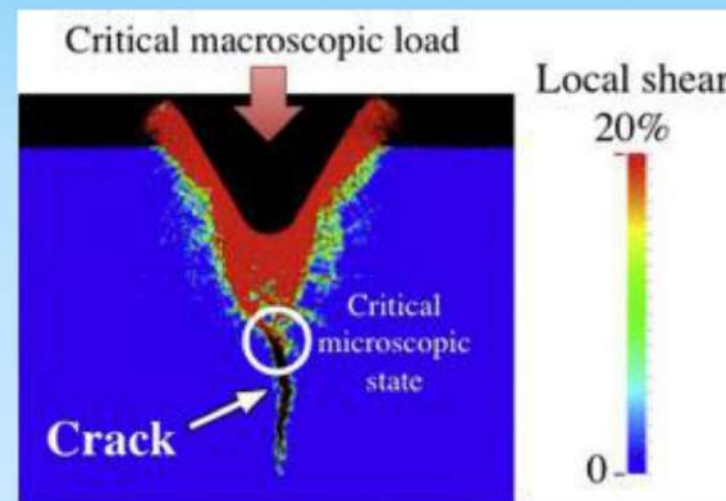
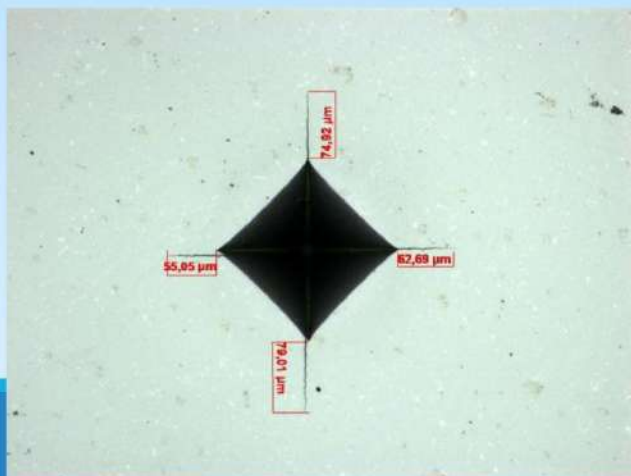
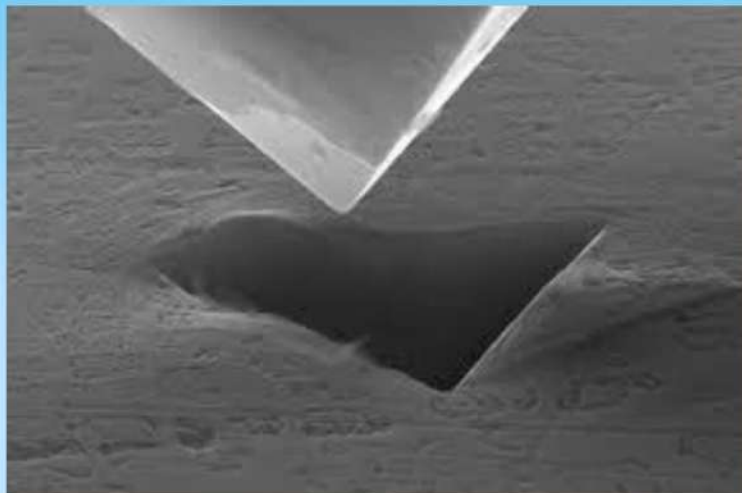
مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

- سختی سنجی آزمون مخرب ست یا غیر مخرب؟



مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

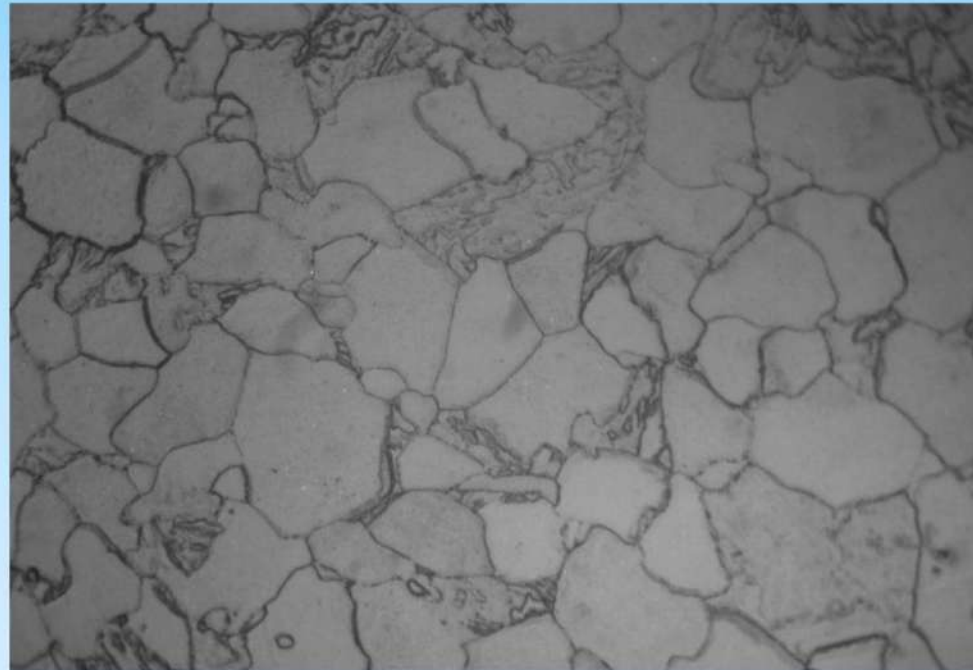
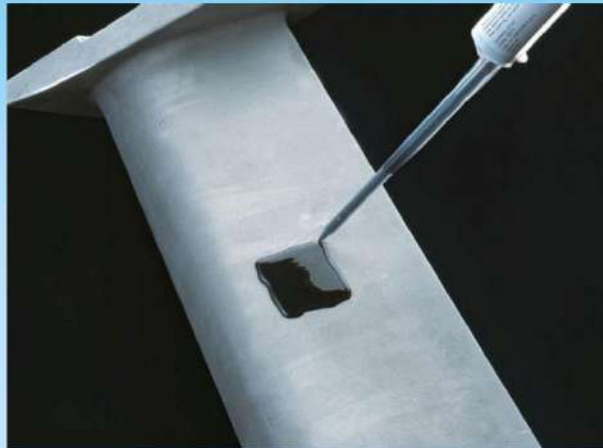
- میکرو سختی سنجی آزمون مخرب ست یا غیر مخرب؟





مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

- آزمون رپلیکا (Replica Test) مخرب است یا غیر مخرب؟



مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

• آزمون غیر مخرب

- Non-Destructive Test (NDT)
- Non-Destructive Inspection (NDI)
- Non-Destructive Evaluation (NDE)

• آزمون غیر مخرب به صورت کمی

- اندازه عیوب
- شکل عیوب
- محل عیوب
- اندازه گیری خواص

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

پیشرفت در
NDT



تشخیص عیوب با سائز کوچکتر

- آیا در صورت وجود عیب در مواد و قطعات، آنها باید از سیکل تولید خارج شوند؟

$$k_c = m\sigma (\pi a)^{0.5}$$

• مکانیک شکست

$$da/dN = A(\Delta k)^B$$

• تخمین عمر خستگی

- ترکیب محاسبات و تجربه ← استاندارد

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

(۱) تعیین وجود عیوب و اندازه و محل آنها

(۲) ارزیابی خواص مواد و قطعات: خواص فیزیکی، مکانیکی و ...

- مستقیم: اندازه گیری مقاومت الکتریکی، سختی، مدول الاستیک (روش التراسونیک) و ...
- غیر مستقیم: تعیین اندازه دانه یا رسوبات با اندازه گیری مقاومت الکتریکی و تعیین تنش تسلیم، تعیین درصد گرافیت چدن با آزمون التراسونیک و تعیین خواص مکانیکی ماده

کاربرد آزمونهای
غیر مخرب

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

۳) تعیین میزان تنش یا کرنش در قطعه

- استفاده از Strain gage

- استفاده از XRD برای اندازه گیری تنش پسماند

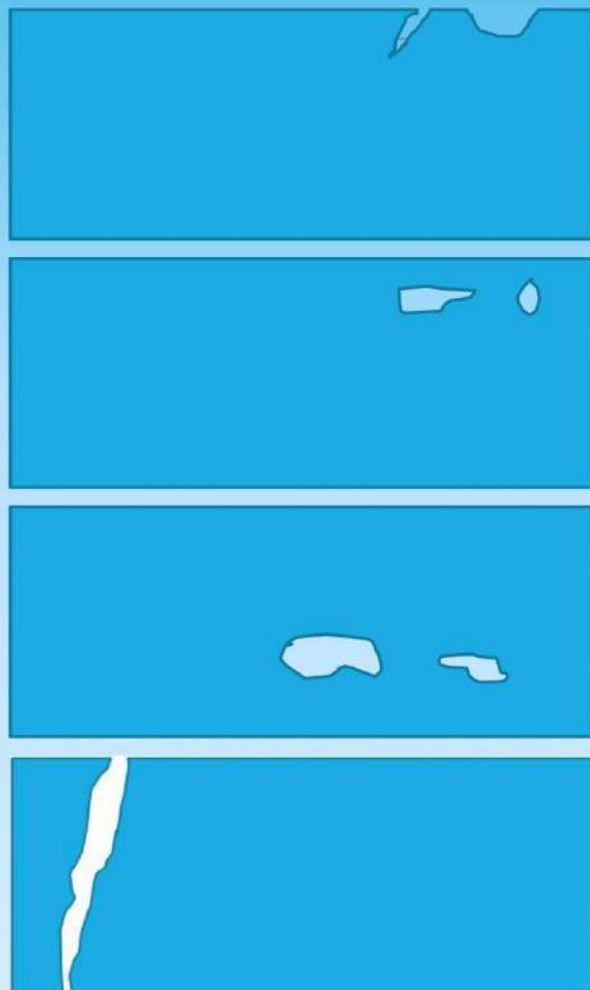
۴) اندازه گیری ابعادی (ابعاد، ضخامت، زبری، میزان تخت بودن)

۵) تعیین ترکیب شیمیایی

کاربرد آزمونهای
غیر مخرب



مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب



(۱) سطحی

(۲) زیرسطحی

(۳) عمقی

(۴) راه به در

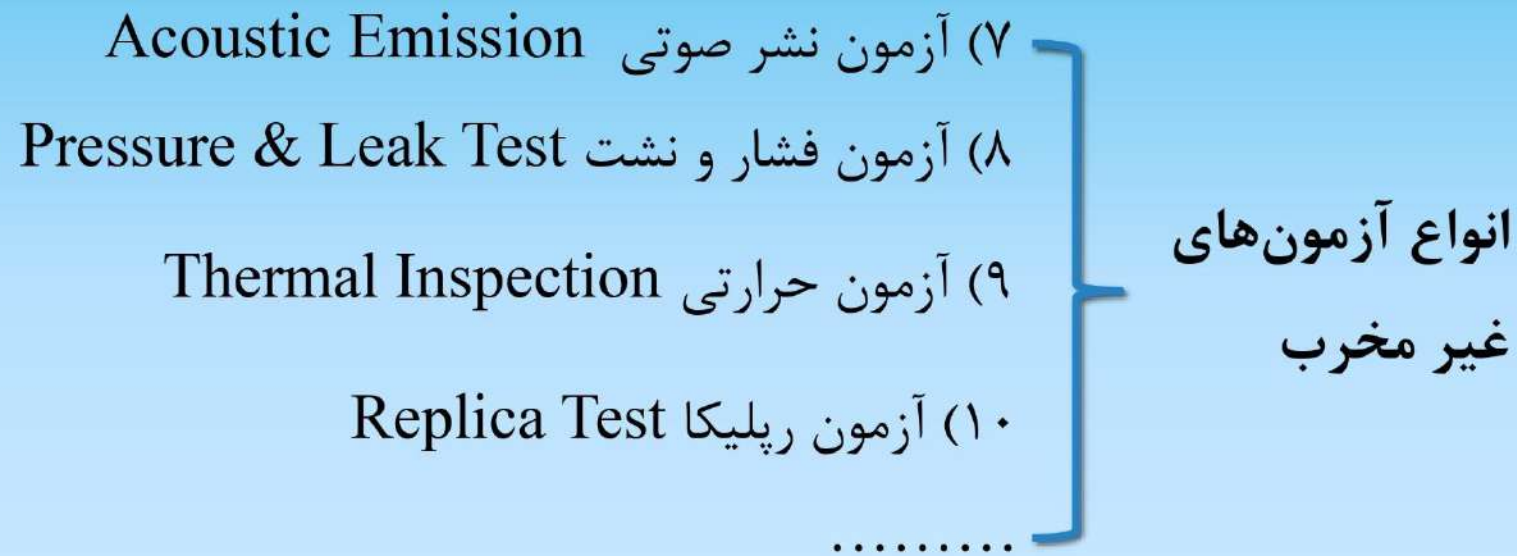
دسته بندی عیوب

از دیدگاه محل قرارگیری

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب

- 
- انواع آزمونهای غیر مخرب
- (۱) بازرسی چشمی (VT) Visual Test
 - (۲) آزمون مایعات نافذ (PT) Liquid Penetrant Test
 - (۳) آزمون ذرات مغناطیسی (MT) Magnetic Particle Test
 - (۴) آزمون جریان ادی (ET) Eddy Current Test
 - (۵) آزمون اولتراسونیک (UT) Ultrasonic Test
 - (۶) آزمون رادیوگرافی (RT) Radiography Test

مقدمه ای بر آزمونهای غیر مخرب



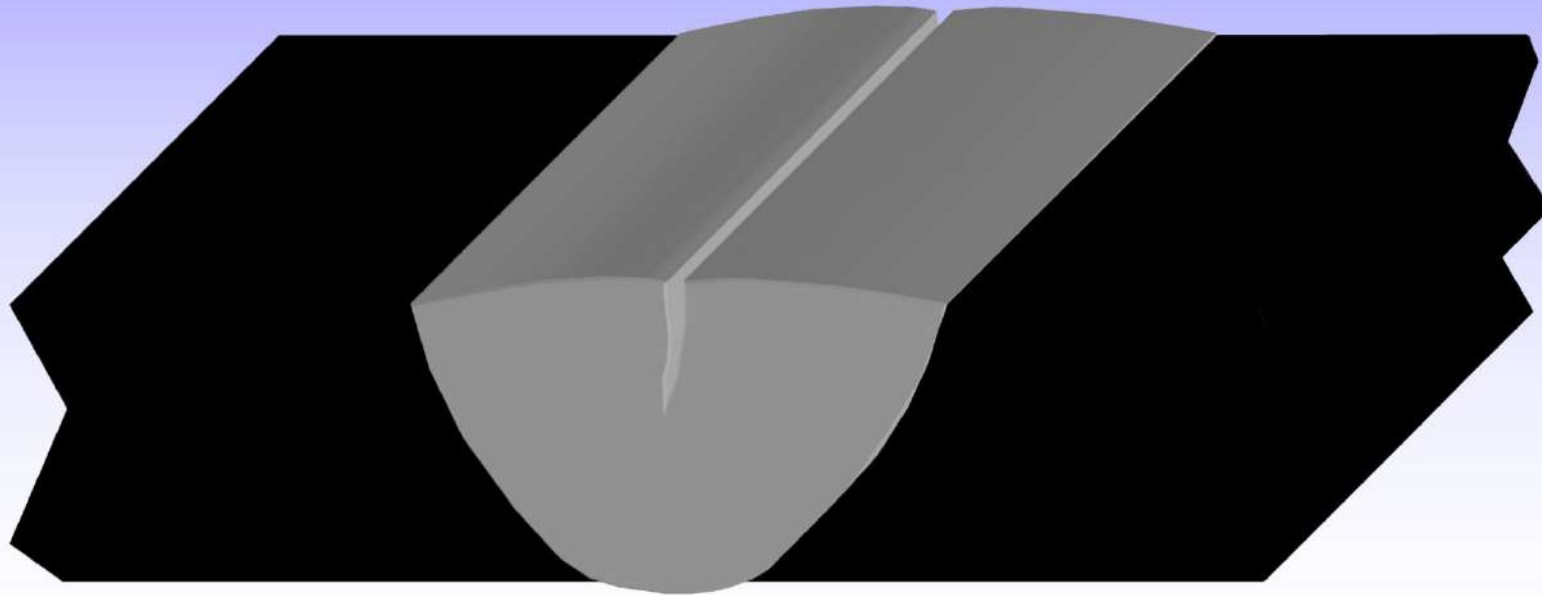
Visual Inspection



Dye Penetrant Inspection

Step 1. Pre-Cleaning

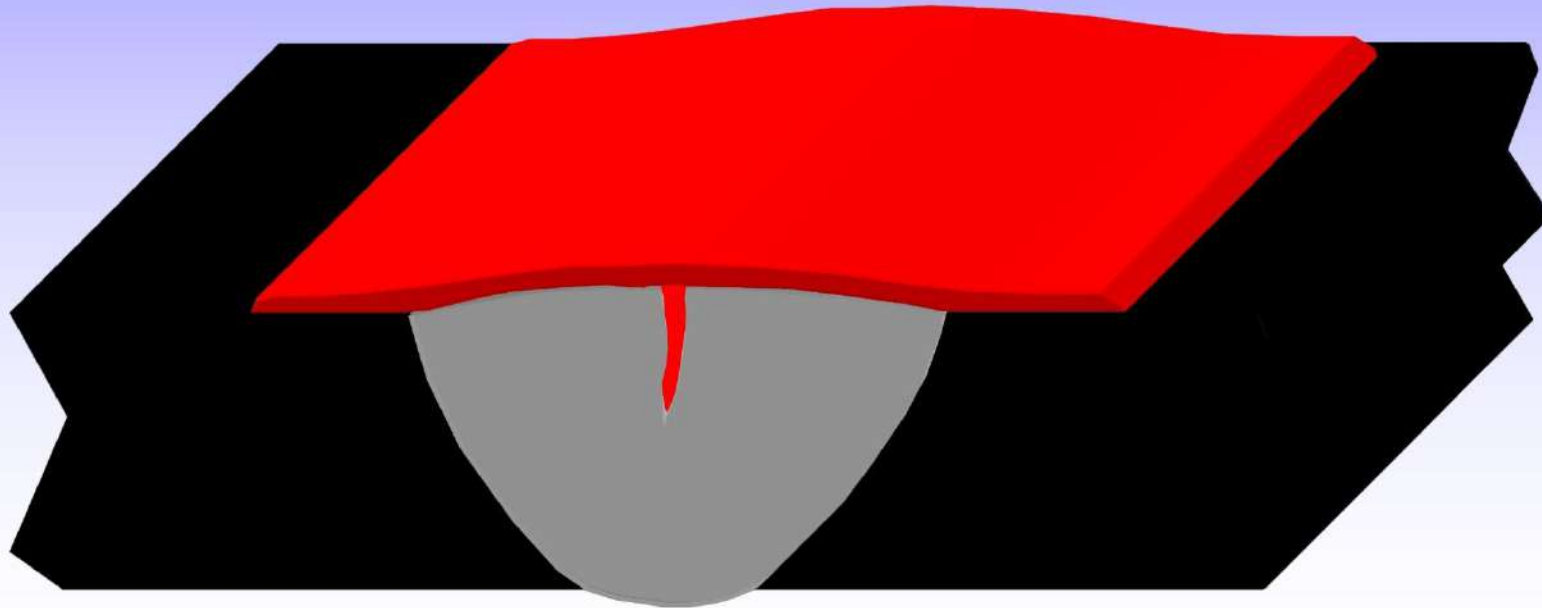
Cleaning preparation is very important on this method.
Usually solvent removal is been used



Dye Penetrant Inspection

Step 2. Apply penetrant

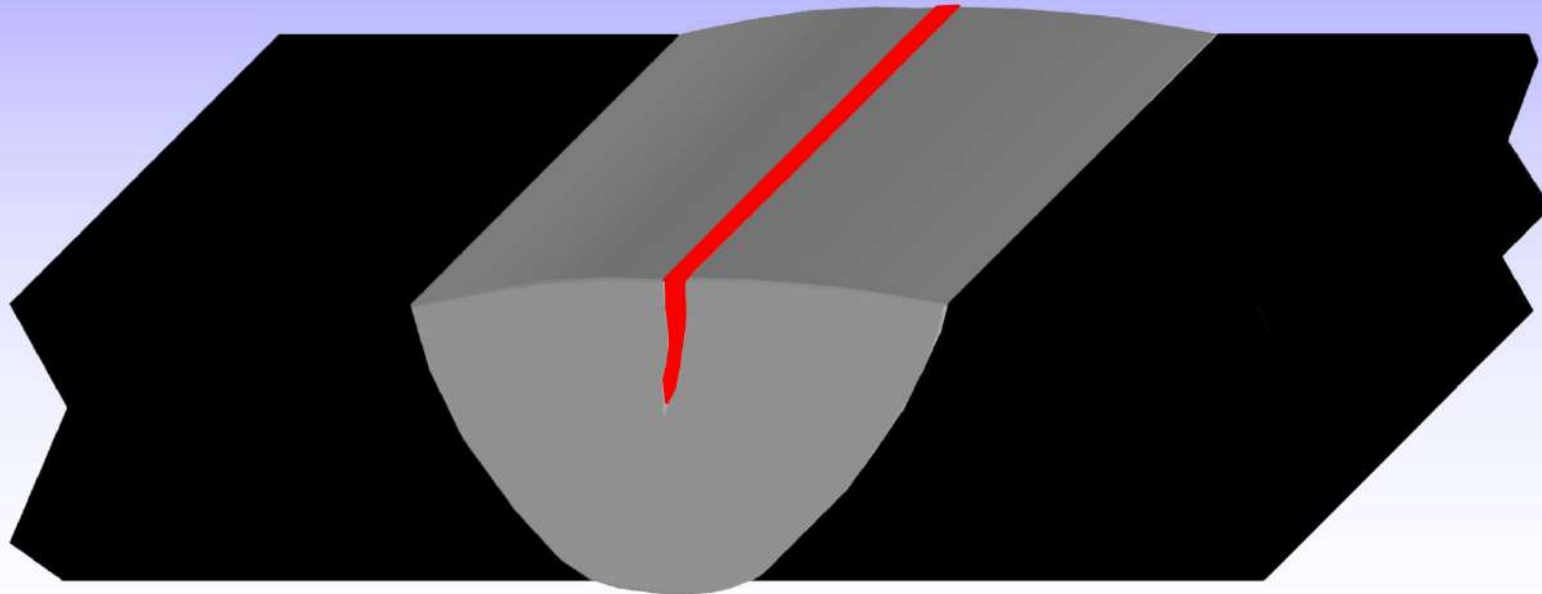
After the application of the penetrant the penetrant is normally left on the components surface for approximately 15 minutes (dwell time). The penetrant enters any defects that may be present by capillary action



Dye Penetrant Inspection

Step 3. Clean off penetrant

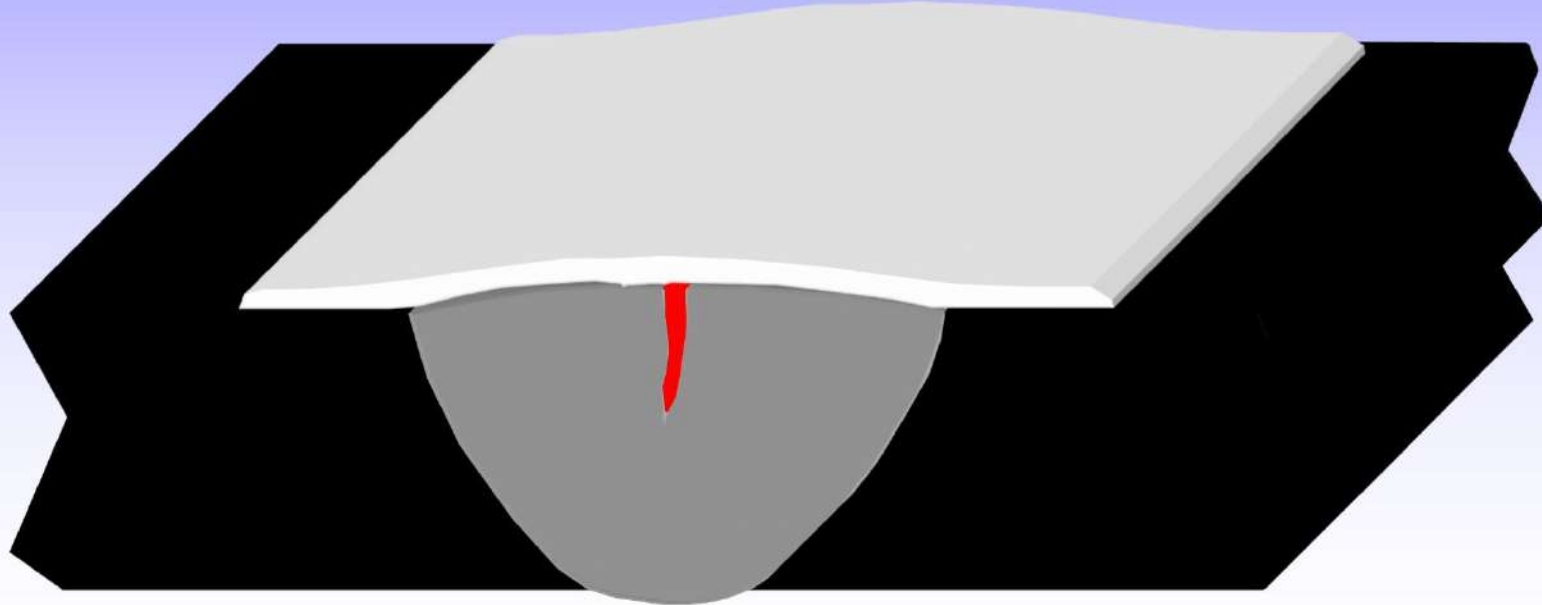
After sufficient penetration time (dwell time) has been given, excess removal penetrant stage take place. A dampened lint free tissue with solvent is used to clean the excess penetrant.



Dye Penetrant Inspection

Step 3. Apply developer

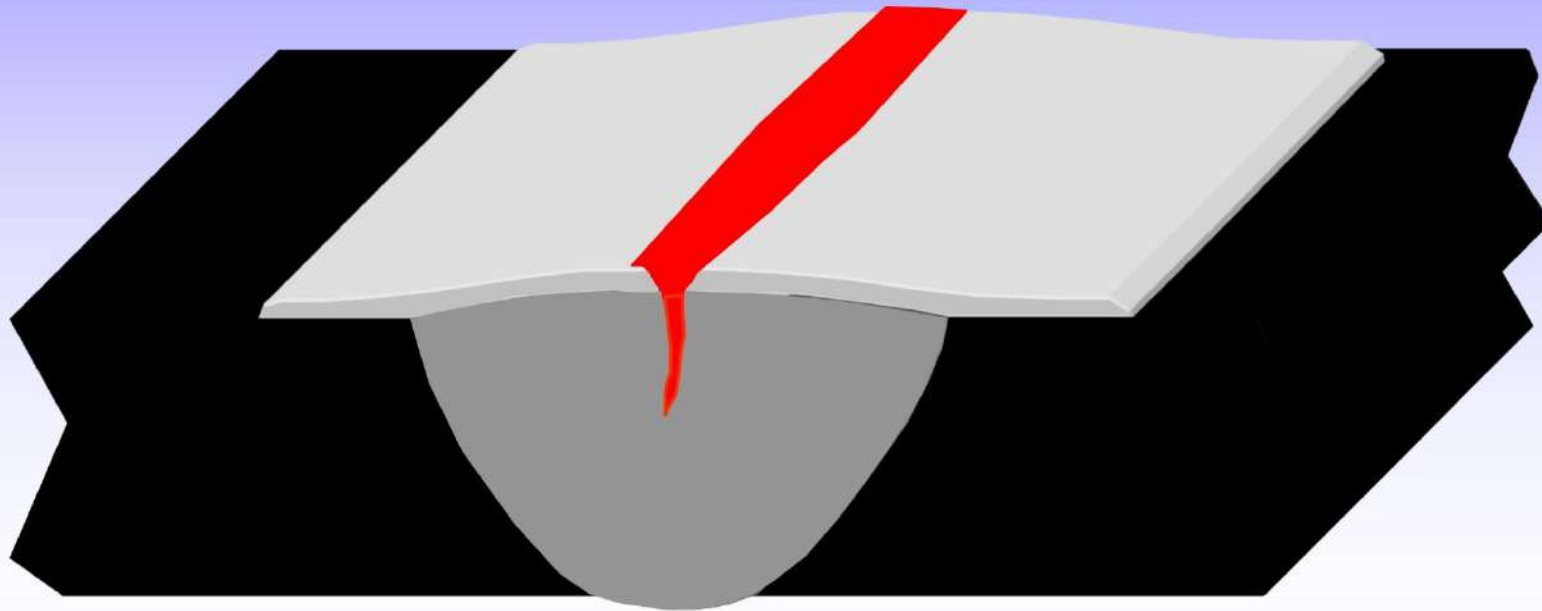
After the excess penetrant is been removed, a thin layer of developer is applied. A penetrant drawn out by reversed capillary action.



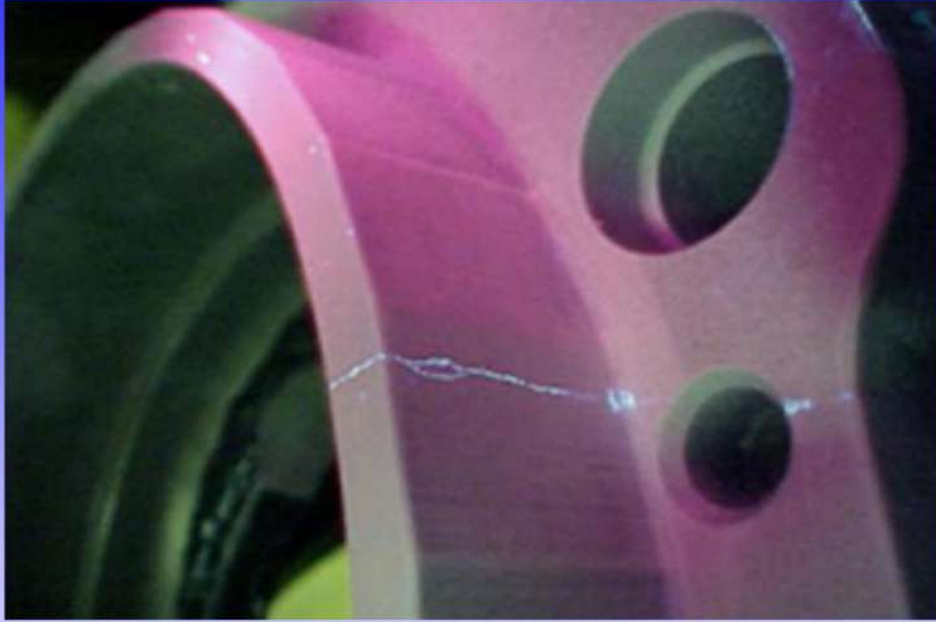
Dye Penetrant Inspection

Step 4. Inspection / development time

Inspection should take place immediately after the developer has been applied .Any defects present will show as a bleed out during development time.



Dye Penetrant Inspection



Dye Penetrant Inspection

Fluorescent Penetrant



**Bleed out viewed
under a UV-A light
source**



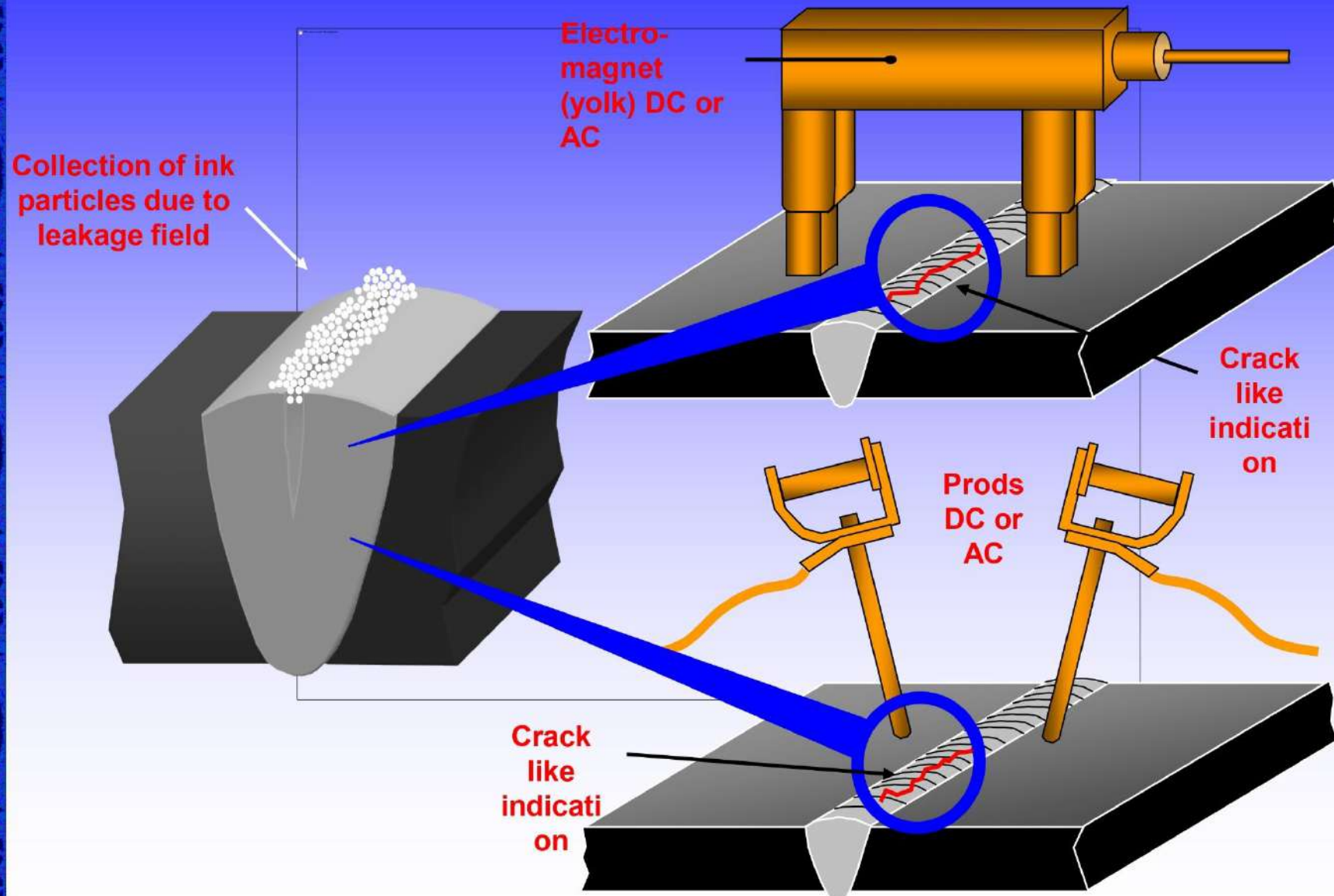
**Bleed out viewed
under white light**

Colour Contrast Penetrant

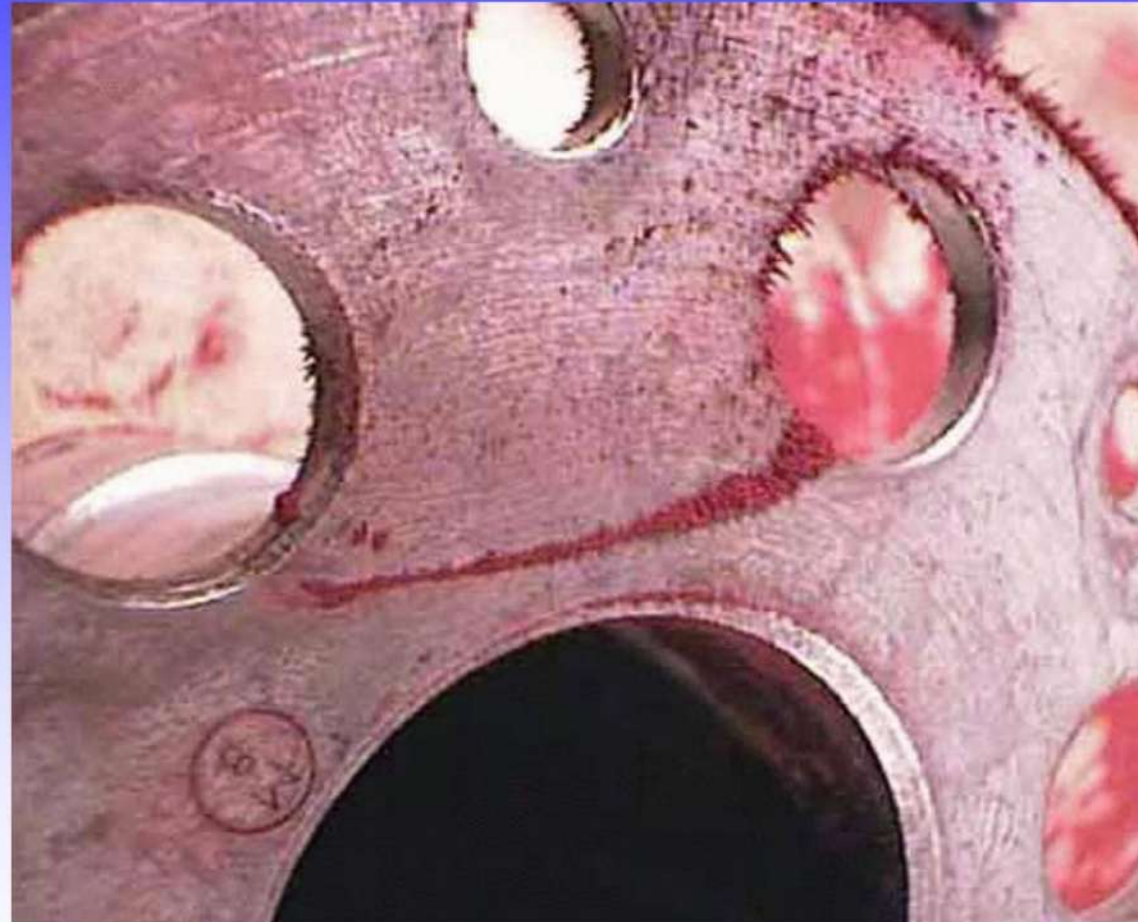
Magnetic Particle Inspection



Magnetic Particle Inspection



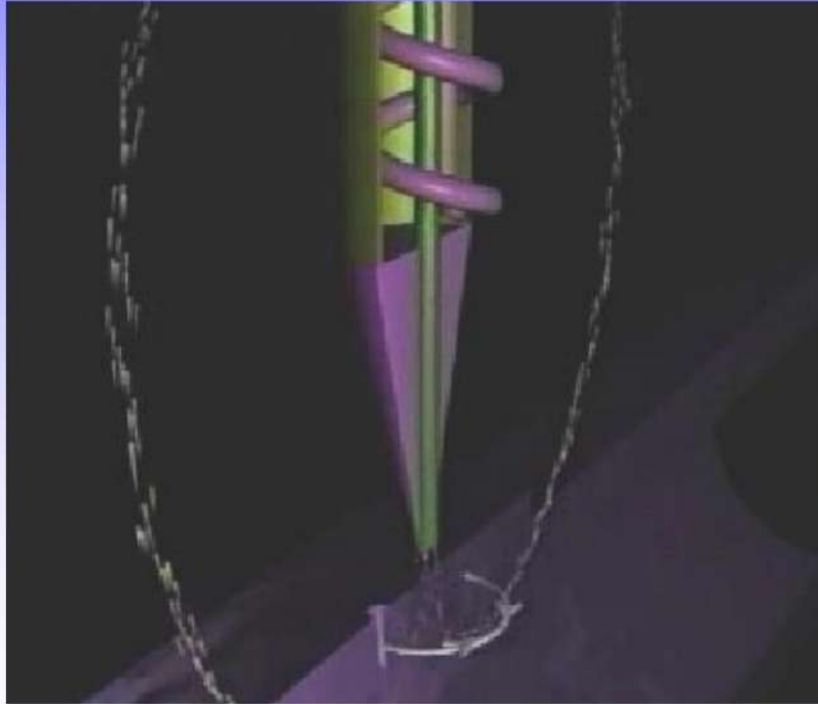
Magnetic Particle Inspection



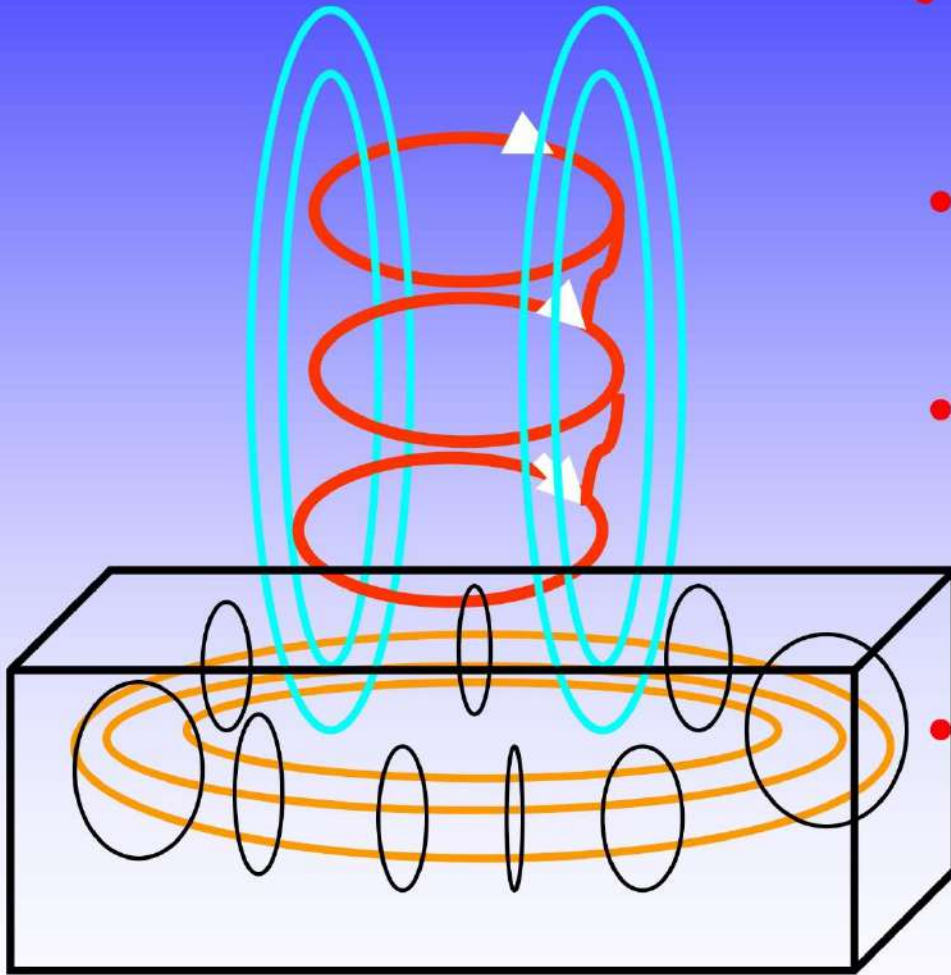
Colour contrast Penetrant

Eddy Current Testing

- An alternating current is passed through a coil



Eddy Current Testing



- An alternating current is passed through a coil
- A.C. generates an alternating field
- Alternating field generates eddy currents in conductors
- Eddy currents generate opposing field which modifies current in coil

Eddy Current Testing



Defects will interrupt the eddy current

Interruption in the coil current is displayed on the set

Eddy Current Testing



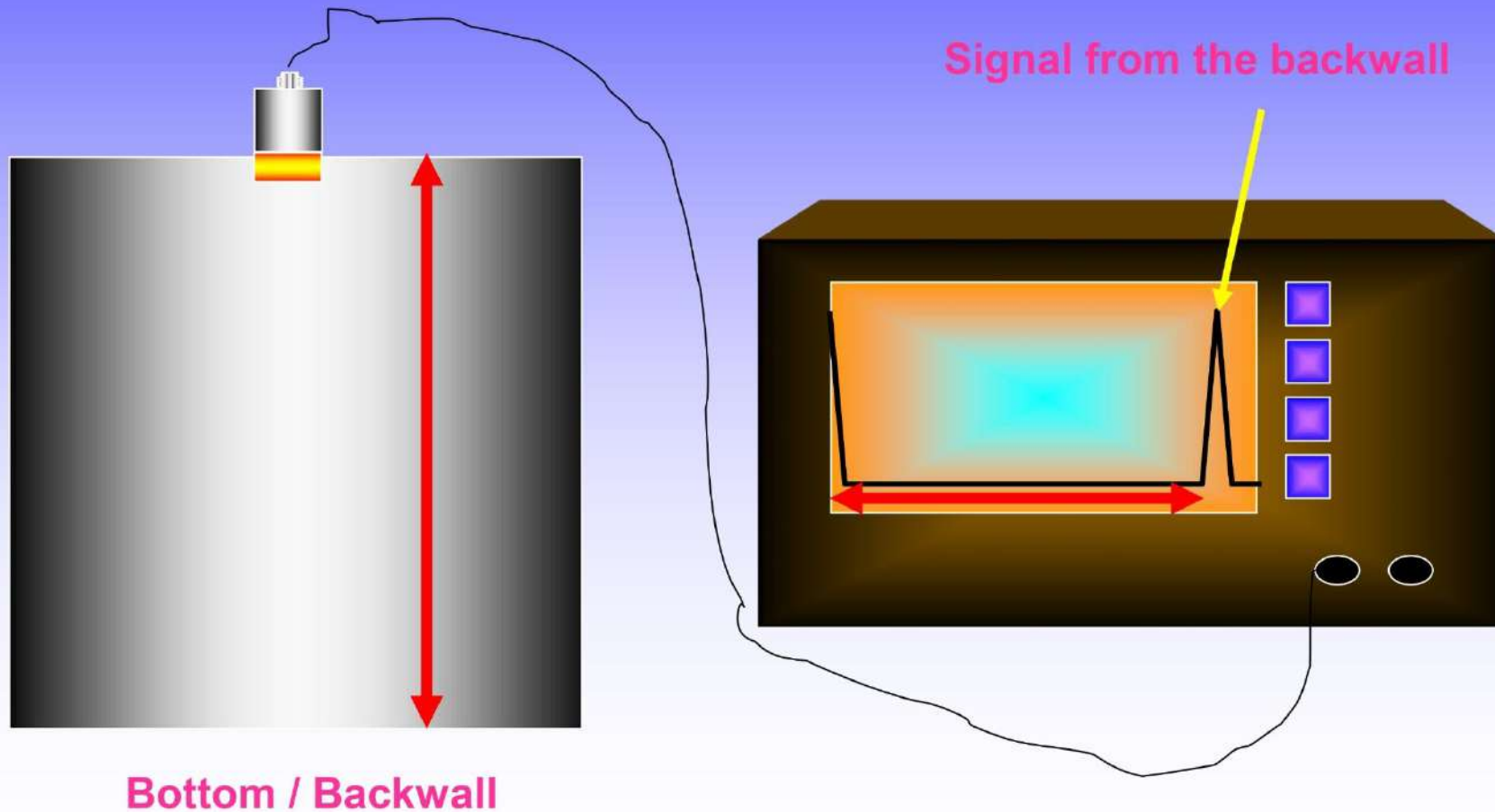
Ultrasonic Testing



Basic Principles of Ultrasonic Testing

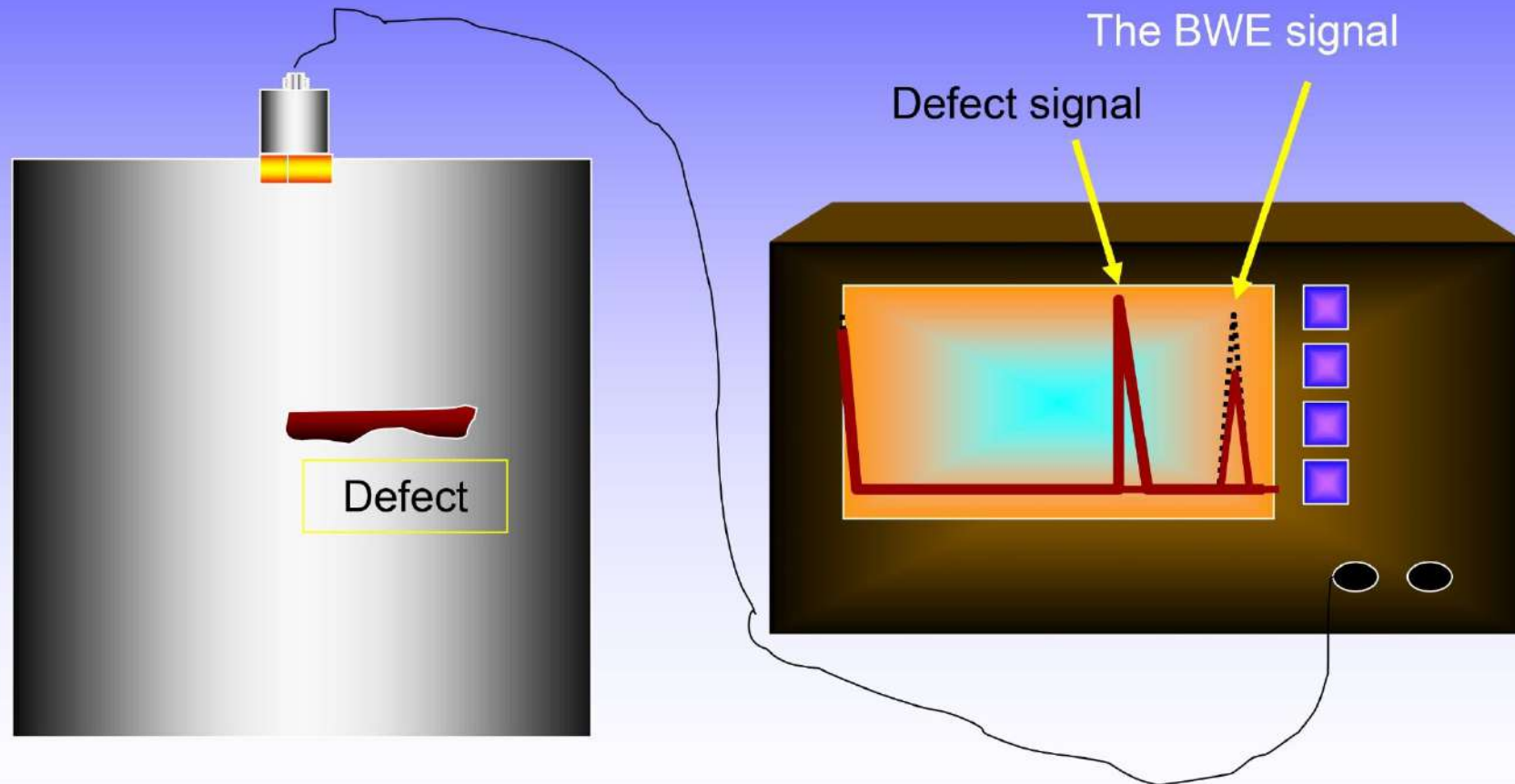
The distance the sound travels can be displayed on the screen

The screen can be calibrated to give accurate readings of the distance



Basic Principles of Ultrasonic Testing

The presence of a Defect in the material shows up on the screen of the flaw detector with a less distance than the bottom of the material

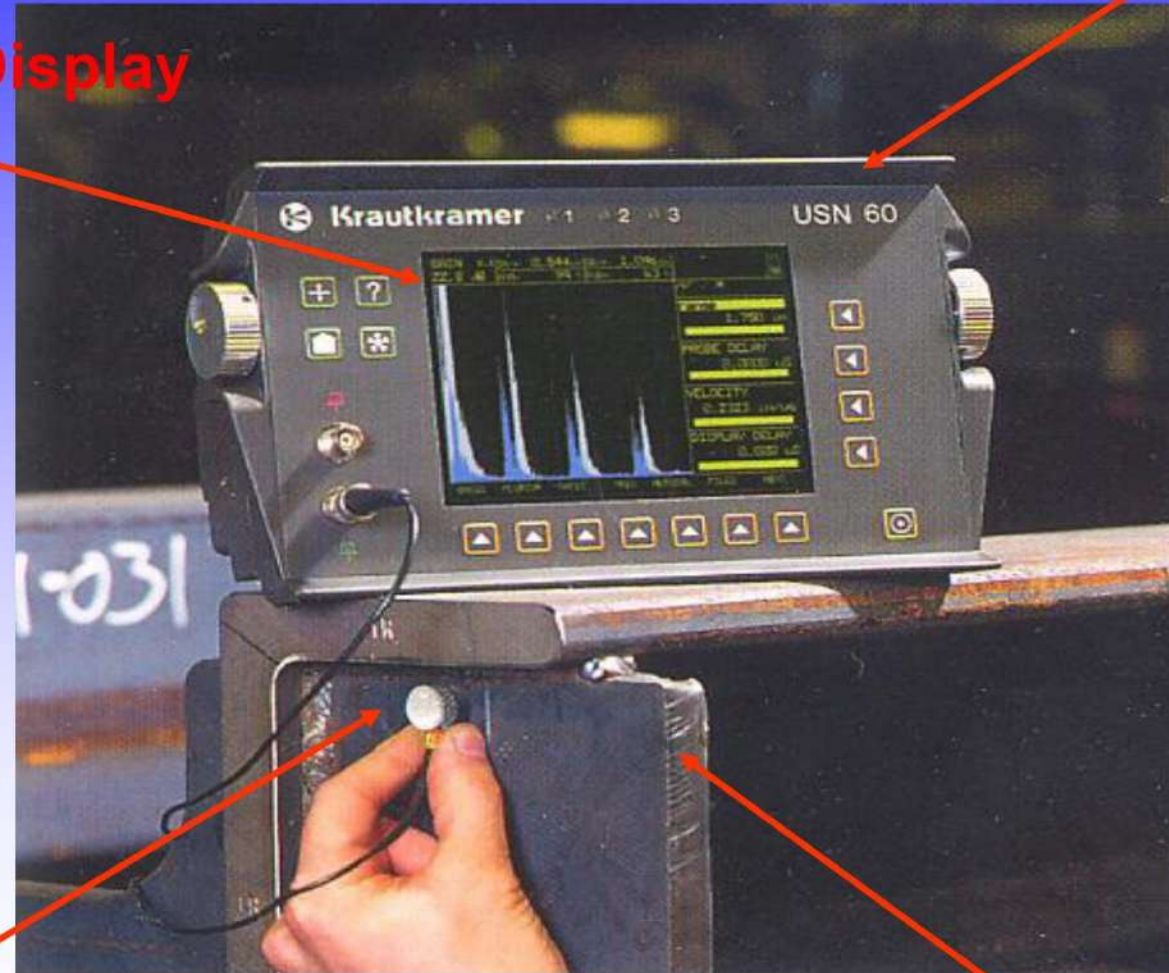


Ultrasonic Inspection

Pulse echo
signals

A scan Display

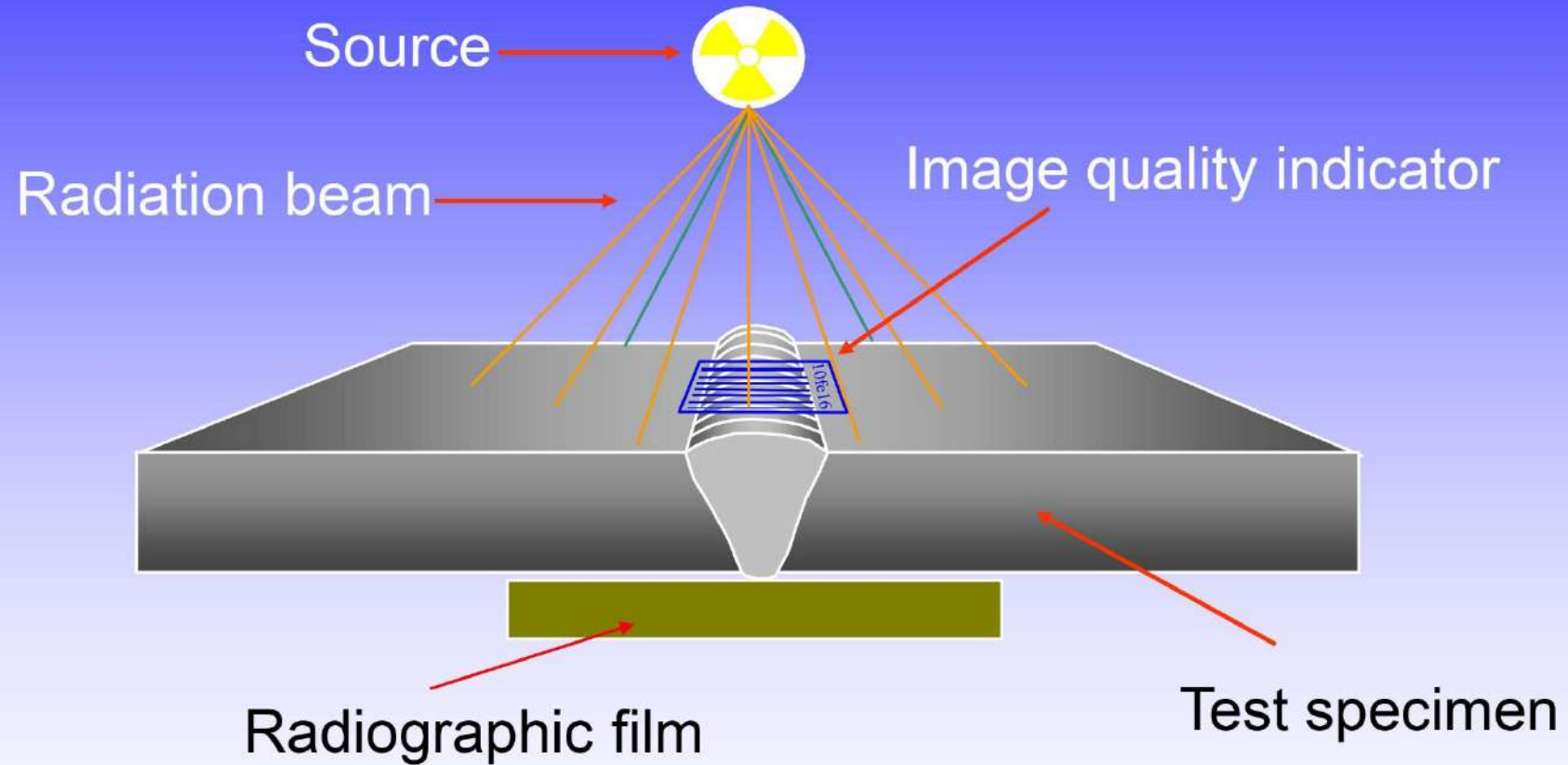
UT Set, Digital



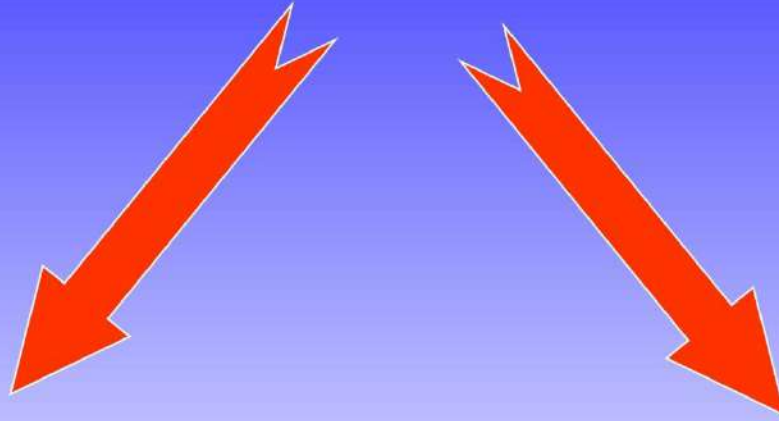
Compression probe

Thickness checking the material

Radiographic Inspection



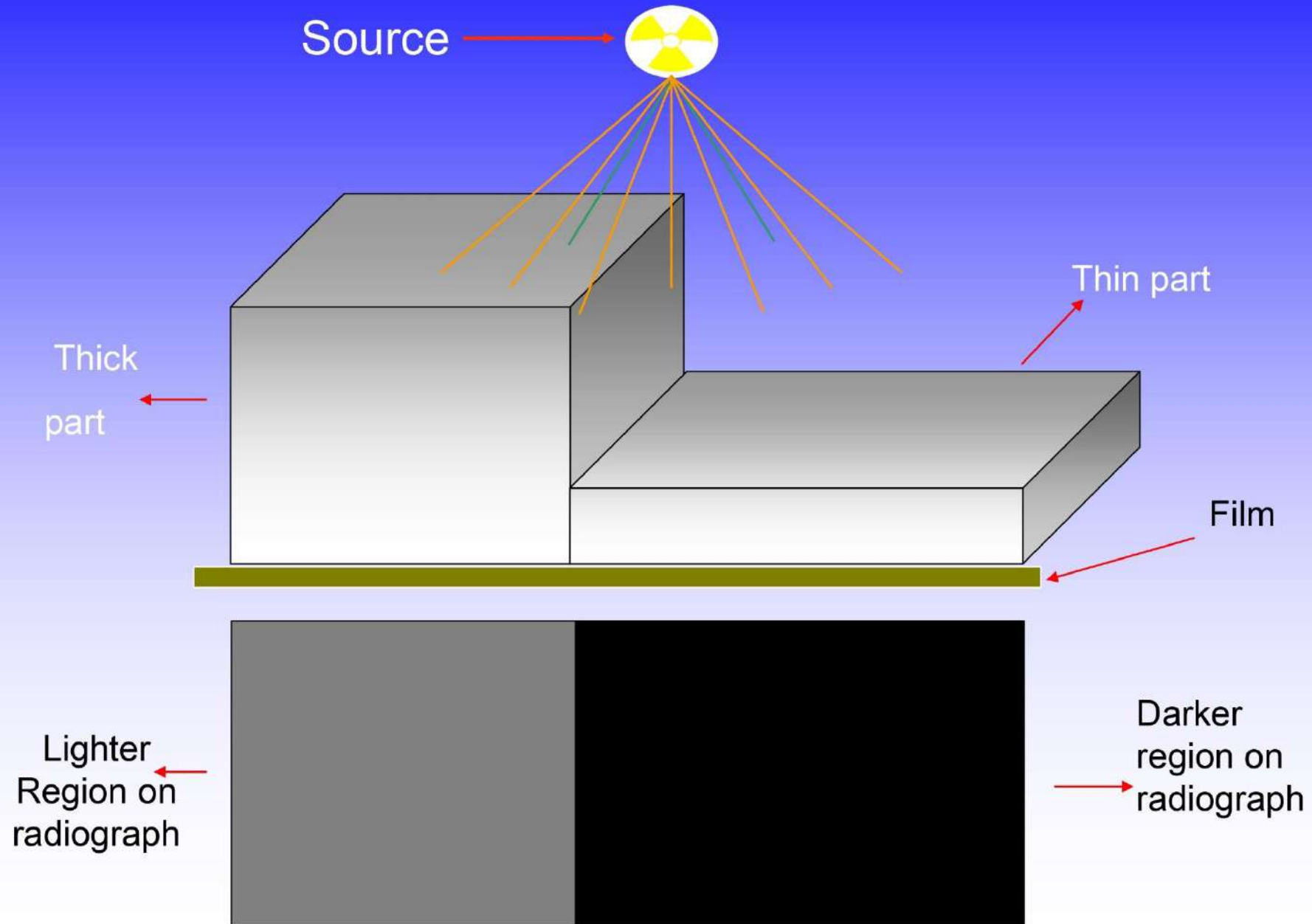
Industrial Radiography



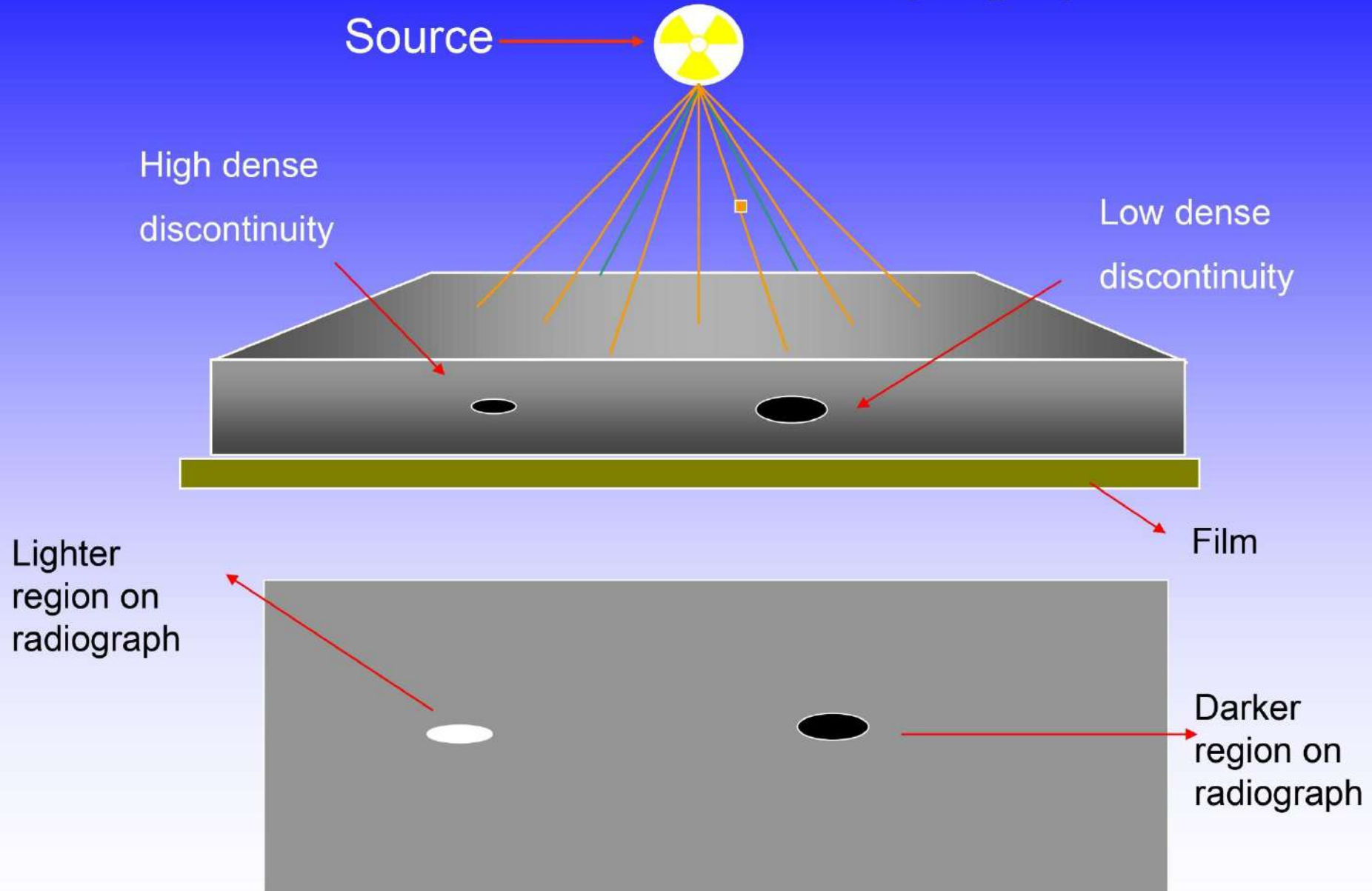
- X - Rays
Electrically generated

- Gamma Rays
Generated by the decay
of unstable atoms

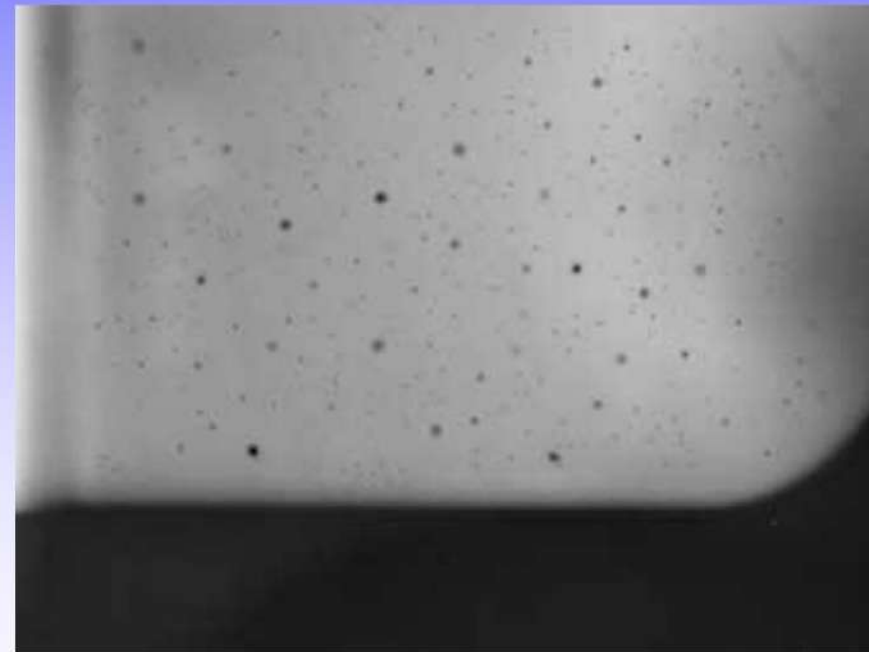
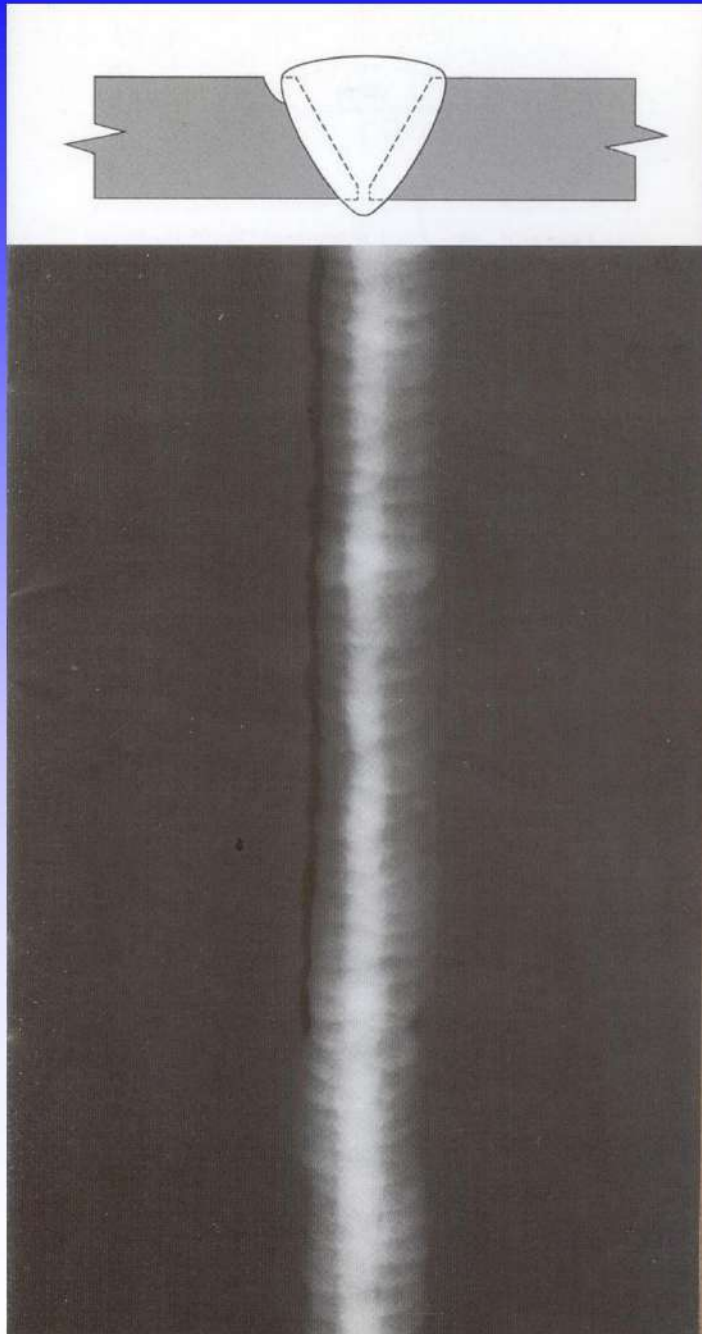
The basis of radiography



The basis of radiography



Defects on Radiography Film



آزمون مایع نافذ (Liquid Penetrant Test: PT)

- (۱) مشاهده‌ی زنگ زدگی قطعات کوئنچ شده توسط آهن‌گران
 - (۲) اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰: بازرسی چرخ ترامواها
 - (۳) ۱۹۳۰-۱۹۴۰: تولید انواع مایعات نافذ رنگی
 - (۴) سال ۱۹۴۲: استفاده از مایعات نافذ فلورسنتی
- تاریخچه

آزمون مایع نافذ (PT)

کلیات روش:

- کاربرد برای شناسایی عیوب سطحی

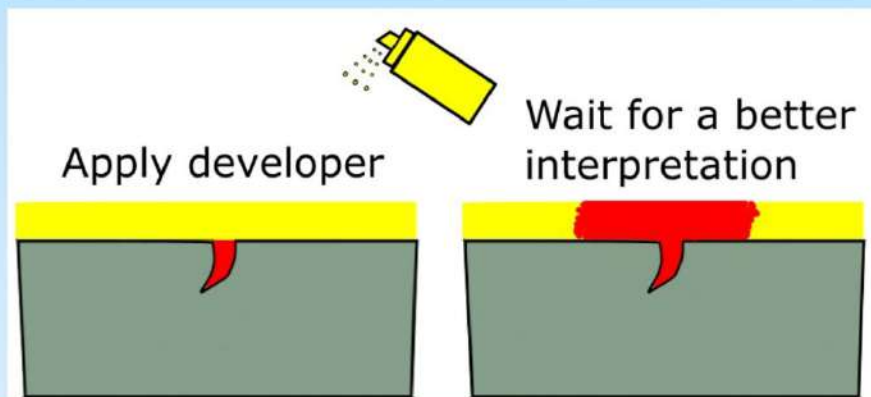
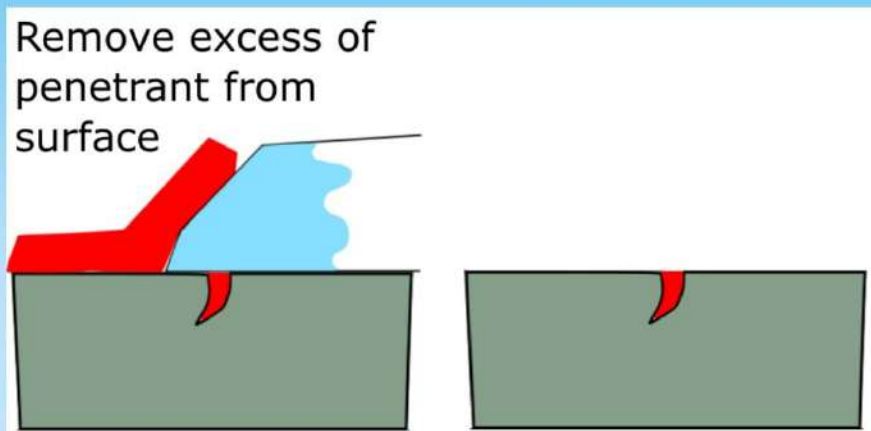
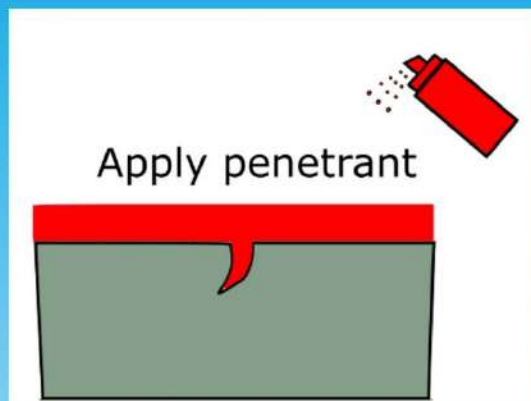
- اسپری مایع نافذ روی سطح

- نفوذ مایع داخل ترک‌های سطحی

- برداشتن مایع اضافی

- اعمال آشکار ساز

- مشاهده اثر حاصل از عیوب



آزمون مایع نافذ (PT)

کلیات روش:

• اسپری‌های مورد استفاده:

Cleaner •

Penetrant •

Developer •



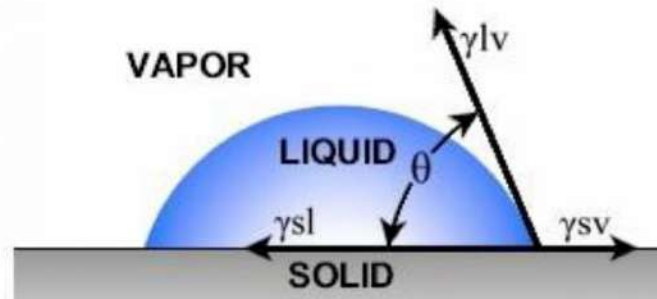
آزمون مایع نافذ (PT)

ورود مایع نافذ به داخل عیوب:



اساس نفوذ مایع در عیوب ← ترشوندگی سطح قطعه
توسط مایع نافذ

$$\gamma^{sv} = \gamma^{sl} + \gamma^{lv} \cos \theta$$



θ is the contact angle

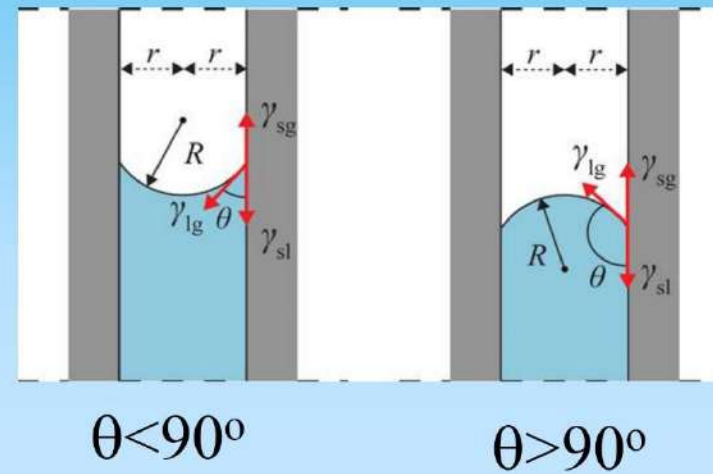
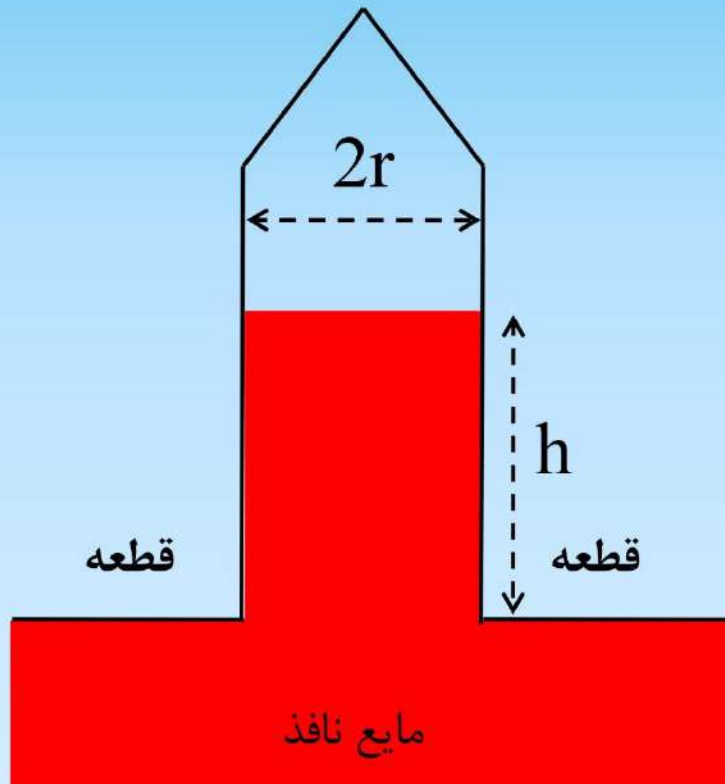
γ^{sl} is the solid/liquid interfacial free energy

γ^{sv} is the solid surface free energy

γ^{lv} is the liquid surface free energy

آزمون مایع نافذ (PT)

ورود مایع نافذ به داخل عیوب:

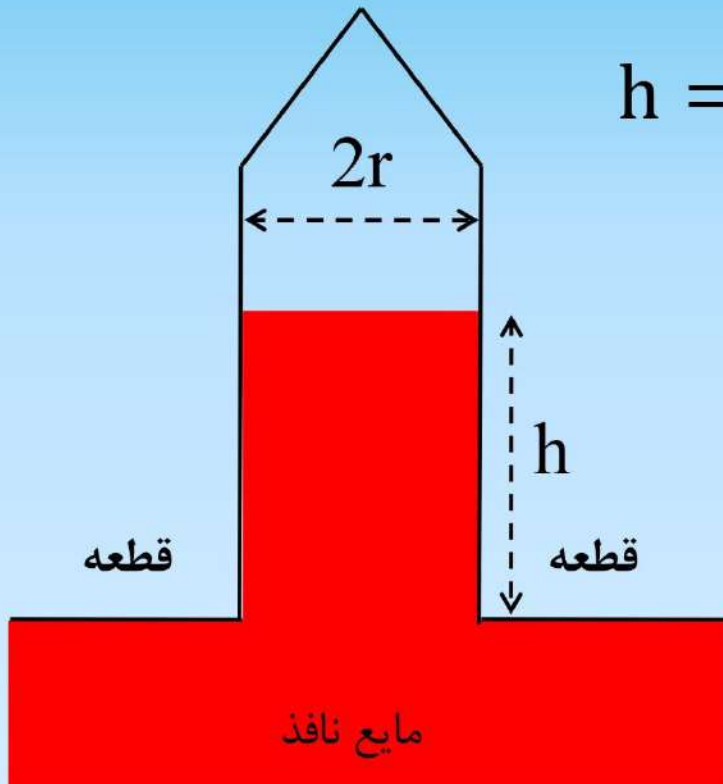


$$\begin{aligned}
 F_w &= \pi r^2 h \times \rho \times g \downarrow \\
 F_c &= 2\pi r \times \gamma_{lv} \times \cos \theta \uparrow \\
 F_c &= F_w \quad \longrightarrow \quad h = \frac{2\gamma_{lv} \cos \theta}{\rho g r}
 \end{aligned}$$

آزمون مایع نافذ (PT)

ورود مایع نافذ به داخل عیوب:

$$h = \frac{2\gamma_{lv} \cos\theta}{\rho g r}$$



• h تابع

- انرژیهای سطحی (ترشوندگی)
- دانسیته مایع نافذ
- شعاع عیب

• نقش سیالیت مایع نافذ

آزمون مایع نافذ (PT)

- 
- مراحل روش:
- (۱) آماده‌سازی سطح
 - (۲) اعمال مایع نافذ
 - (۳) توقف جهت ورود مایع نافذ به ناپیوستگی‌های سطحی
 - (۴) برداشتن مایع نافذ اضافی از روی سطح قطعه
 - (۵) اعمال آشکارساز
 - (۶) بازرسی سطح و تفسیر نتایج
 - (۷) تمیزکاری نهایی قطعه

آزمون مایع نافذ (PT)



هدف: برداشتن آلودگی‌های سطحی شامل لایه‌های اکسیدی، رنگ، ترکیبات روغنی و حتی آب

تسهیل ورود مایع به داخل عیب

افزایش ترشوندگی سطح

شیمیایی: NaOH , H_2SO_4

حلالی: استون، پرکلرو اتیلن

- غوطه‌وری
- اسپری
- حمام بخار
- حمام التراسونیک

مکانیکی: سنباده، آب و بخار آب با فشار زیاد

شستشو و خشک کردن نهایی

اهمیت

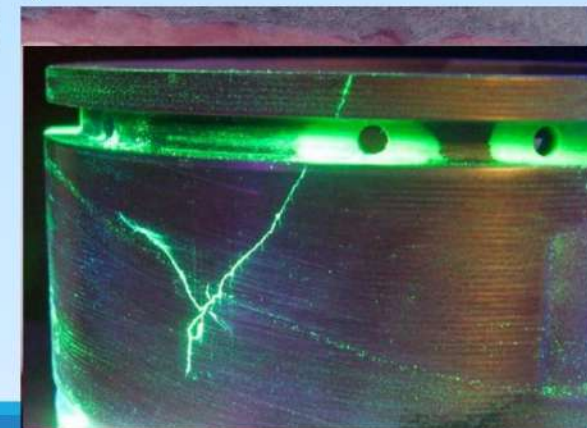
روشها

آماده‌سازی
سطحی

آزمون مایع نافذ (PT)

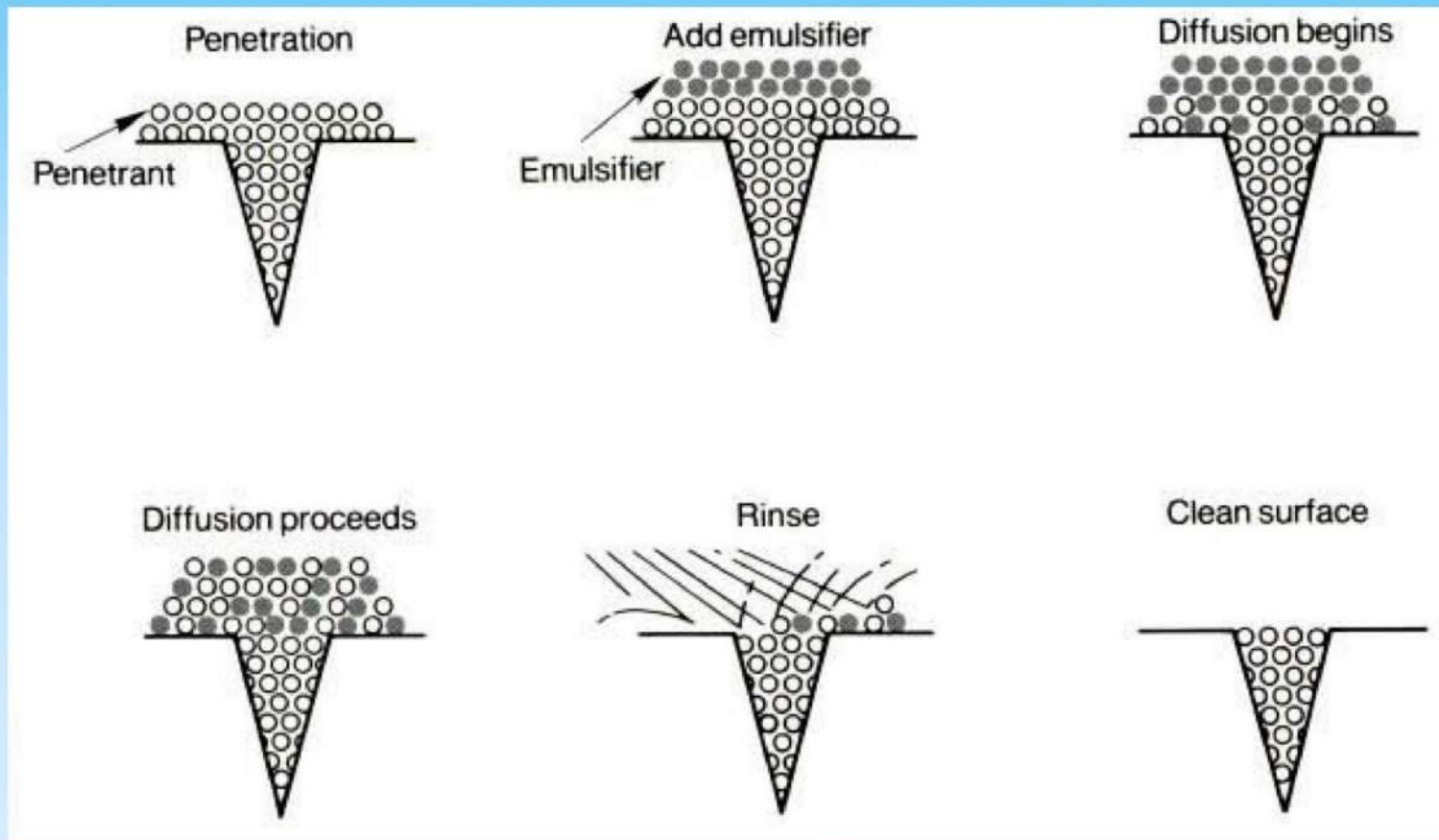


- کاربرد برای عیوب با عمق کم و دهانه باز



آزمون مایع نافذ (PT)

•Post Emulsifiable Penetrant



آزمون مایع نافذ (PT)



آزمون مایع نافذ (PT)

• اعمال مایع نافذ روی سطح

- قابلیت ترکندگی مناسب سطح قطعه
 - سیالیت مناسب
 - دمای پایداری بالا ($>50^{\circ}\text{C}$)
 - شدت رنگ و یا فلورسنس زیاد در مقدار کم مایع نافذ
 - قابلیت حذف آسان از روی سطح
 - عدم خورنده و یا سمی بودن
 - قابلیت حل کردن مواد روغنی از روی سطح
- خواص مایعات نافذ

آزمون مایع نافذ (PT)



آزمون مایع نافذ (PT)



آزمون مایع نافذ (PT)

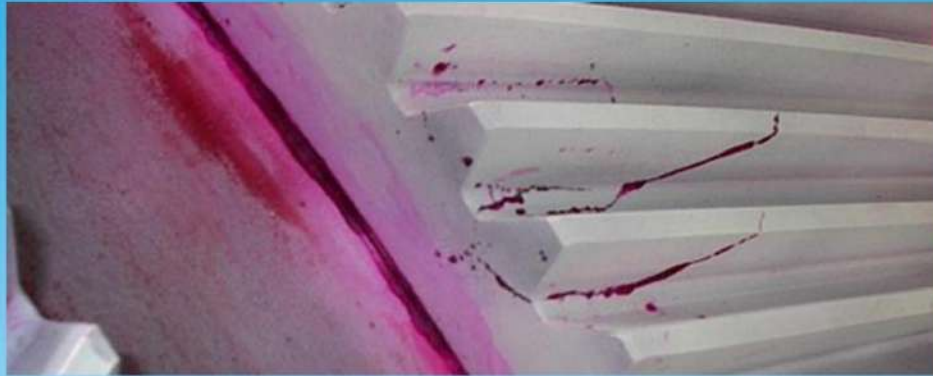
• بازرسی سطح

علائم نادرست (False Indications): علایمی هستند که ناشی از وجود نقص در قطعه نیستند بلکه بدلیل اشتباه در انجام فرایند بازرسی ایجاد شده اند.

علائم صحیح (True Indications): علایمی هستند که ناشی از وجود نقص در قطعه هستند.

انواع علائم روی سطح

روش تشخیص؟



آزمون مایع نافذ (PT)

• بازرسی سطح



خطوط پیوسته:

ترک، Cold Shut
Forging Lap

انواع علائم صحیح



آزمون مایع نافذ (PT)

• بازرسی سطح



خطوط پیوسته:

ترک، Cold Shut،
Forging Lap

خطوط غیر پیوسته

• روش تشخیص؟

انواع علائم صحیح

آزمون مایع نافذ (PT)

• بازرسی سطح



خطوط پیوسته:

ترک، Cold Shut،
Forging Lap

خطوط غیر پیوسته

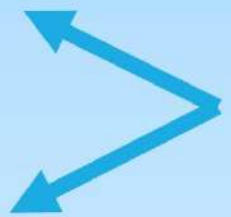
• روش تشخیص؟

دایره‌های کوچک:

حفره، تخلخل و آخال

انواع علائم صحیح

آزمون مایع نافذ (PT)

- تمیزکاری نهایی
- 
- جلوگیری از خوردگی
- عملیات پوشش دهی یا رنگ

آزمون مایع نافذ (PT)

قابلیت انجام روی انواع مواد (عدم نیاز به رسانا (ET) و مغناطیسی بودن قطعه (MT))

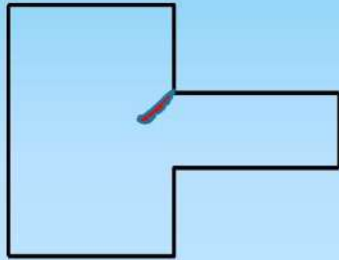
قابل انجام روی قطعات با هندسه پیچیده

حساسیت بالا برای تشخیص عیوب سطحی کوچک

سریع و مناسب برای قطعات بزرگ

سادگی در اجرا و آموزش

مزایا



آزمون مایع نافذ (PT)



آزمون ذرات مغناطیسی (MT) Magnetic Particles Test

۱۹۱۷: تجمع برآمده‌ها اطراف عیوب حین تراشکاری فولادها در میدان مغناطیسی

۱۹۲۸-۱۹۲۹: اولین آزمون MT بر روی فولادها

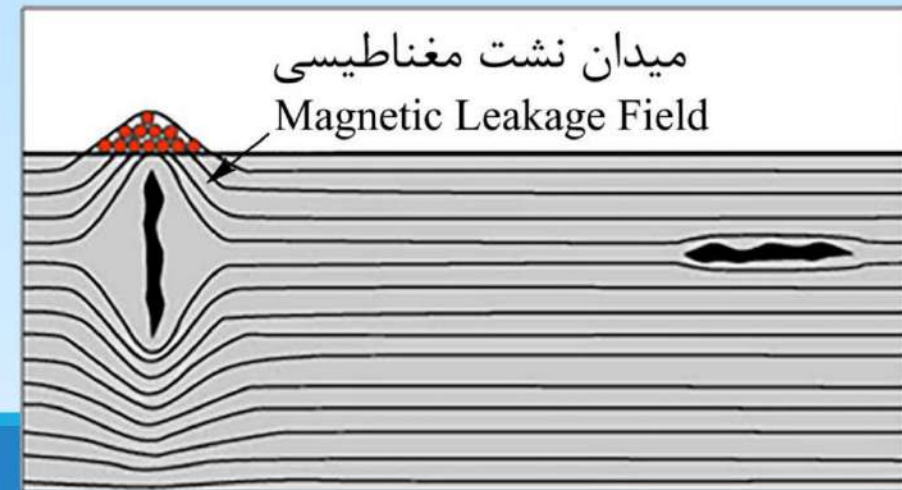
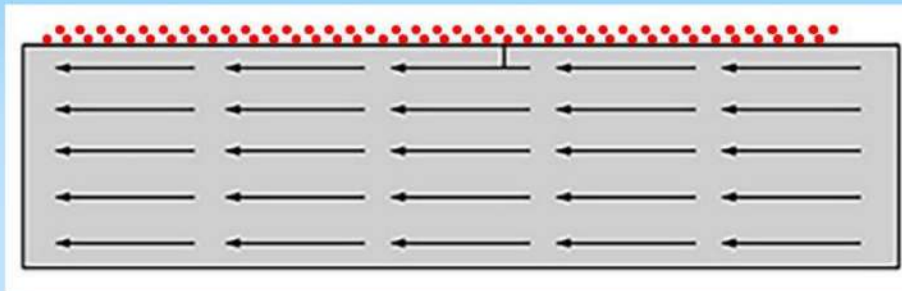
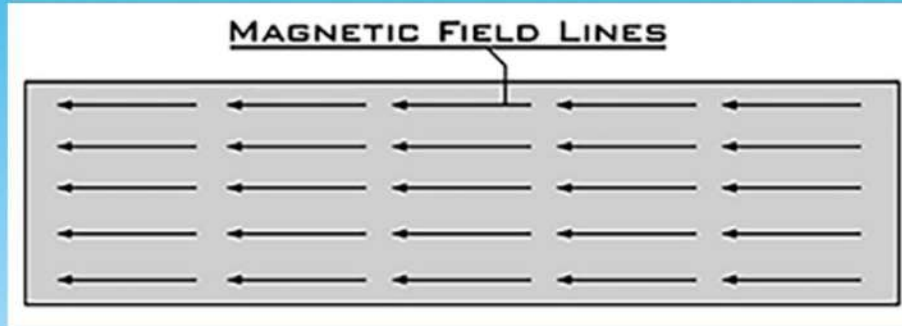
• اثر راستای عیب با راستای خطوط میدان مغناطیسی

۱۹۳۴: تاسیس شرکت MagnaFlux

۱۹۳۵ و ۱۹۳۶: توزیع ذرات مغناطیسی به صورت تجاری

تاریخچه

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)



کاربرد برای شناسایی عیوب سطحی
و زیر سطحی (تا عمق ۶-۷ میلیمتر)،

فقط در مواد فرومغناطیس

کلیات فرایند:

- مغناطیسی نمودن قطعه

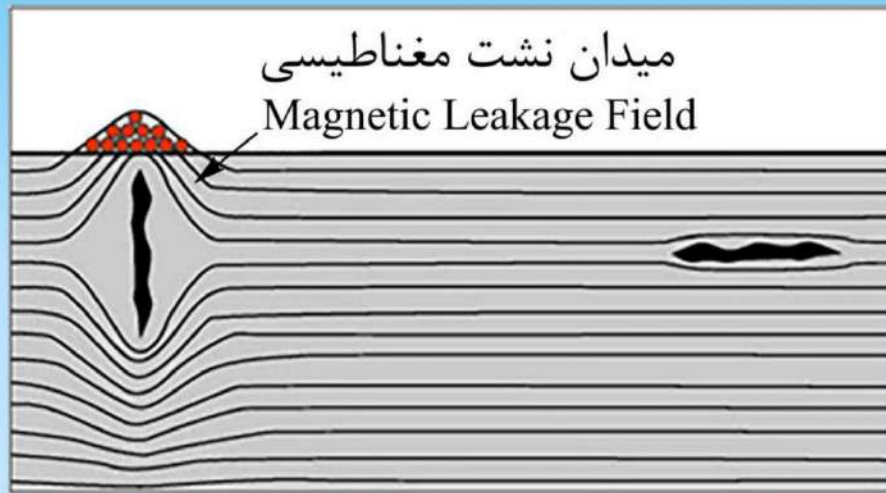
- اعمال پودر مغناطیسی

- ایجاد میدان نشت مغناطیسی و

- تجمع پودر اطراف عیب

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- اثر زاویه بین راستای خطوط میدان مغناطیسی و راستای عیوب بر تشخیص آنها



$$45^{\circ} < \theta < 90^{\circ}$$

احتمال بیشتر تشخیص عیب



اعمال میدان در دو راستای عمود بر هم

- امکان تشخیص عیوب زیر سطحی؟

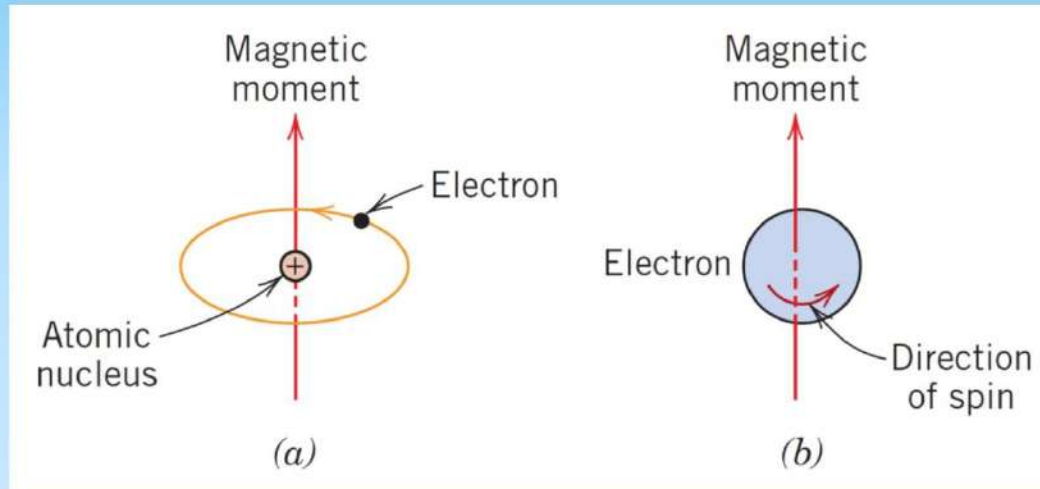


رسیدن میدان نشت به سطح قطعه

- اندازه عیب
- عمق عیب
- شدت میدان مغناطیسی
- نوع جریان الکتریکی مولد میدان مغناطیسی

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

خاصیت مغناطیسی در مواد



دیا مغناطیس

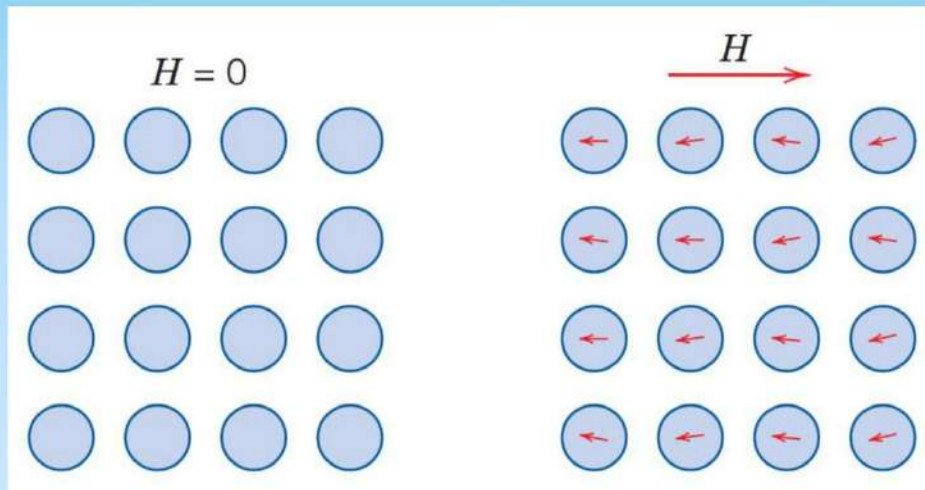
پارا مغناطیس

فرو مغناطیس

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

خاصیت مغناطیسی در مواد

• دیا مغناطیس

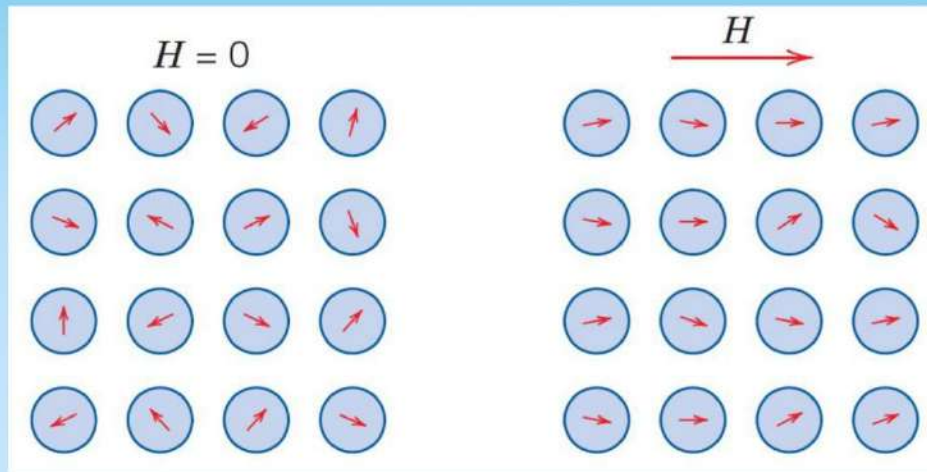


• Zn ,Ag ,Cu ,Au

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

خاصیت مغناطیسی در مواد

• پارامغناطیس

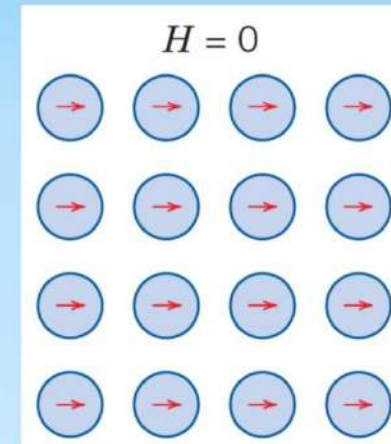
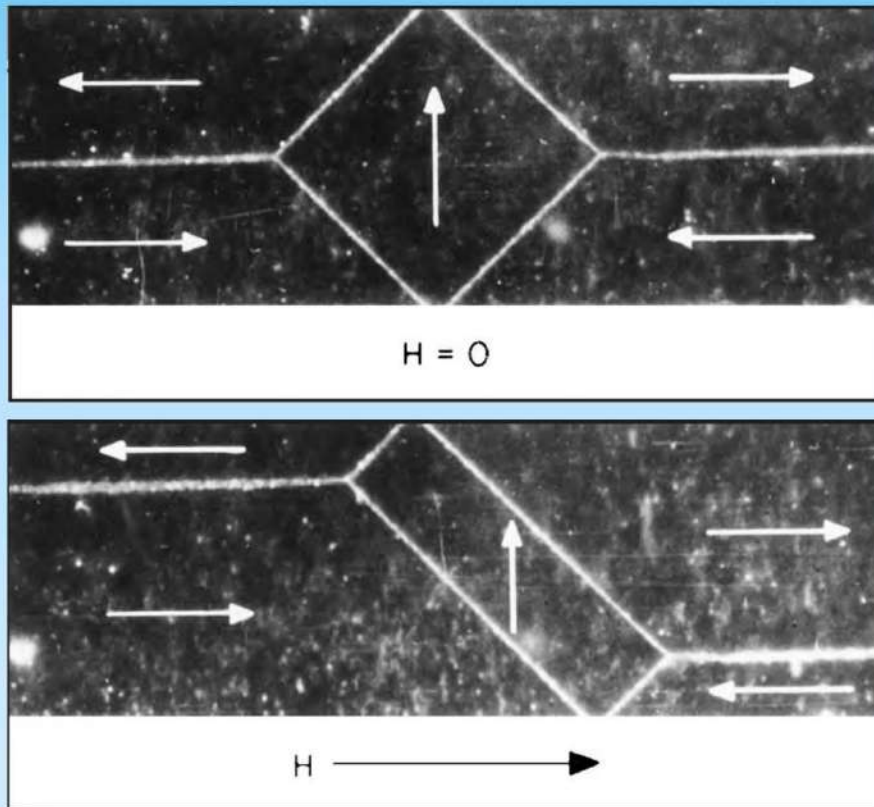


• Al ,Cr ,Mo ,Ti ,Zr

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

خاصیت مغناطیسی در مواد

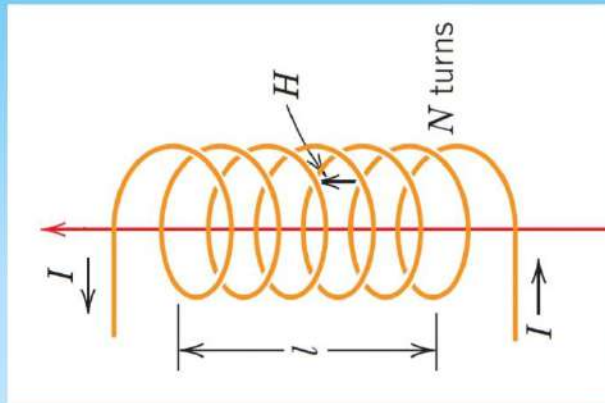
• فرو مغناطیس



• Co ,Ni ,Fe

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

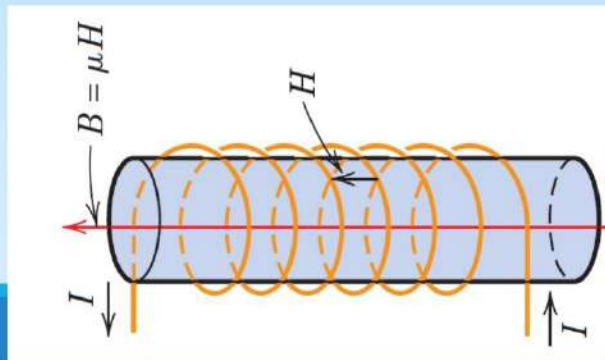
- **Magnetic Field Strength:** شدت میدان مغناطیسی



$$H = \frac{NI}{l} \quad \text{Amp.turn/m}$$

- **Magnetic Induction :** القای مغناطیسی

- **Magnetic Flux Density:** دانسیته شار مغناطیسی



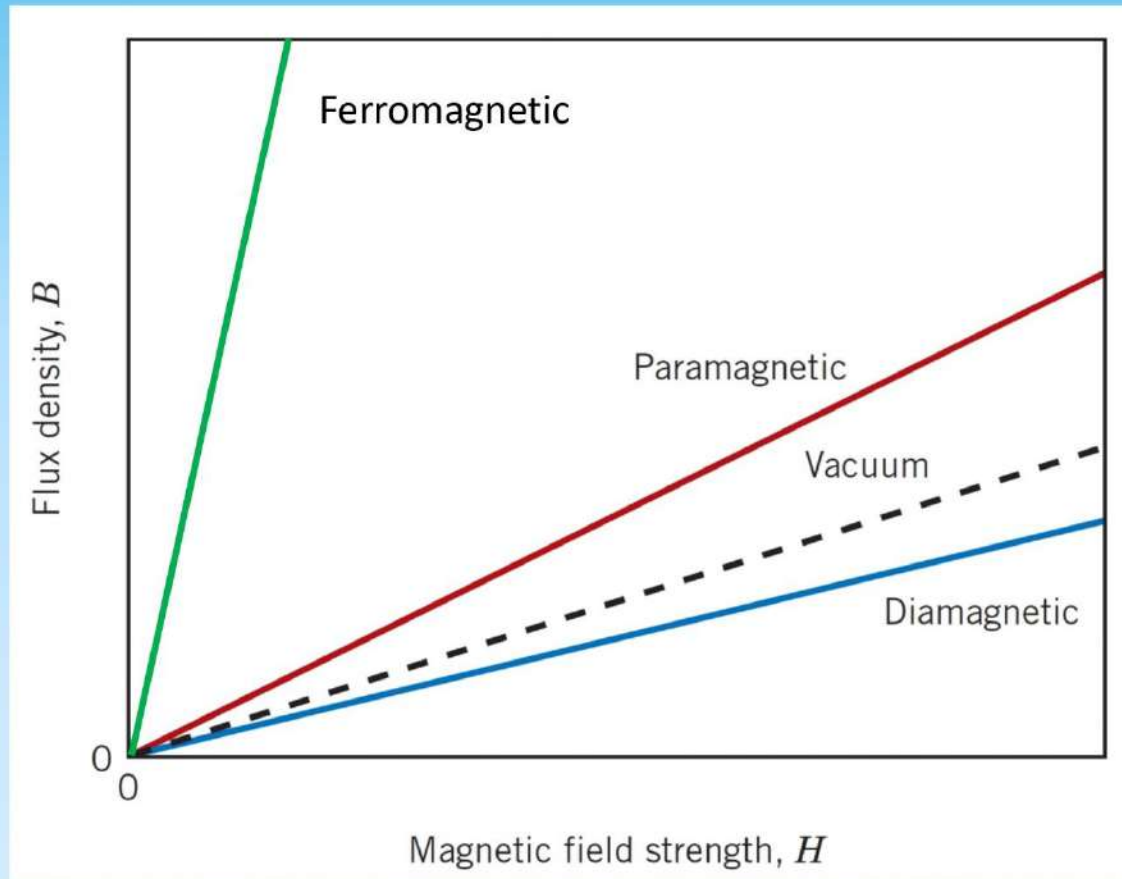
$$B = \mu H \quad \text{Tesla یا Gauss}$$

μ : Permeability نفوذپذیری (H/m)

$$B_0 = \mu_0 H$$

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

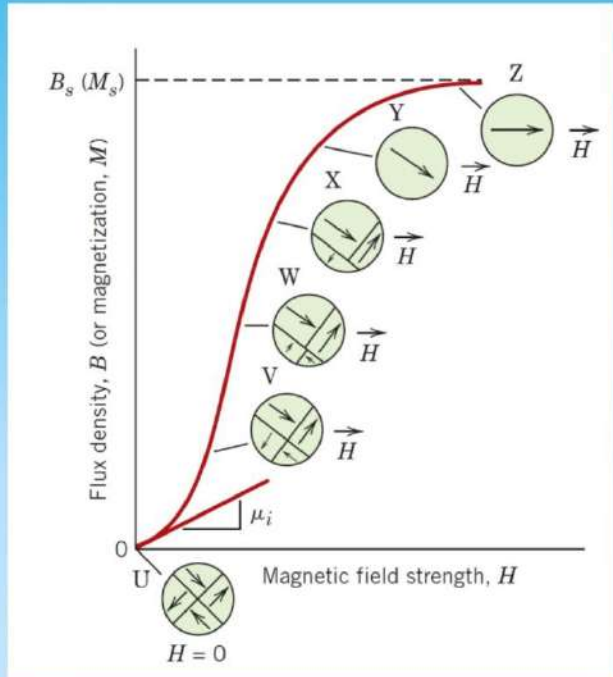
خاصیت مغناطیسی در مواد



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• فرومغناطیس نرم و سخت

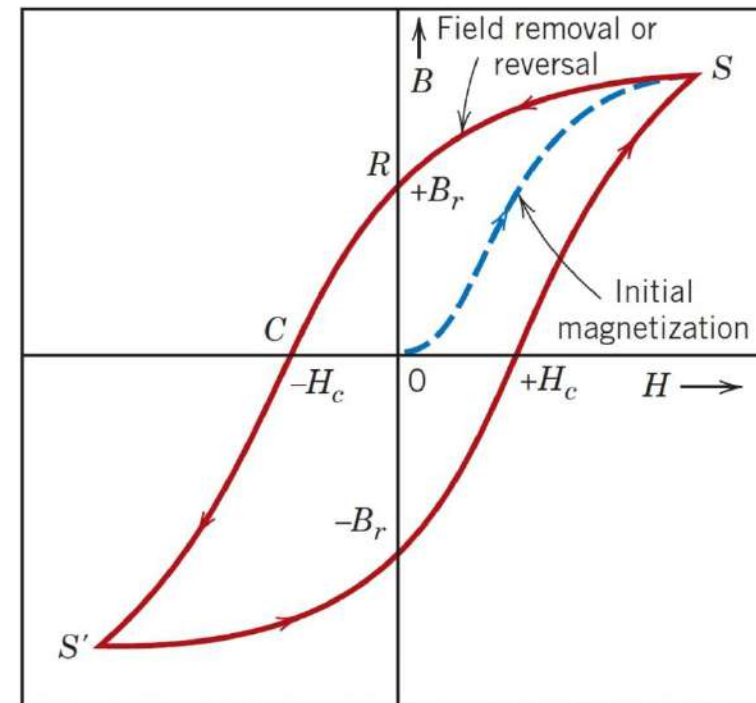
Soft & Hard Ferromagnetism



B_s : Saturation Flux Density

B_r : Remanence

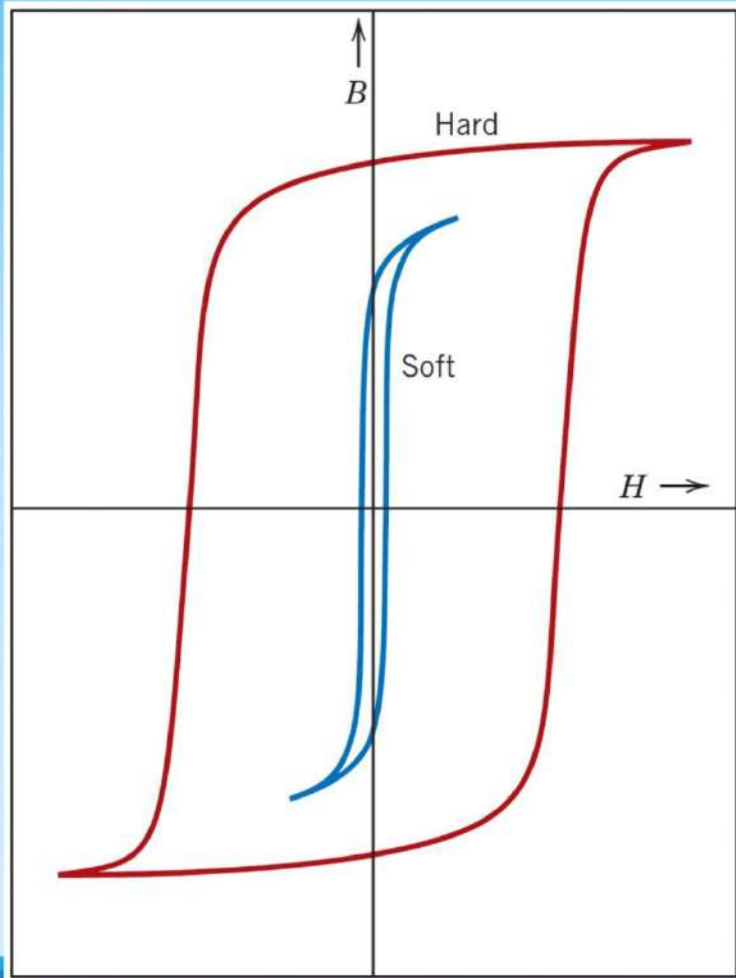
H_c : Coercivity



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• فرومغناطیس نرم و سخت

Soft & Hard Ferromagnetism



- Soft: Low B_s , Low H_c , Low B_r
 - Low carbon steels, Fe-Si, Fe-Ni, Super alloy
- Hard: High B_s , High H_c , High B_r
 - Tungsten steels, Fe-Ni-Cu

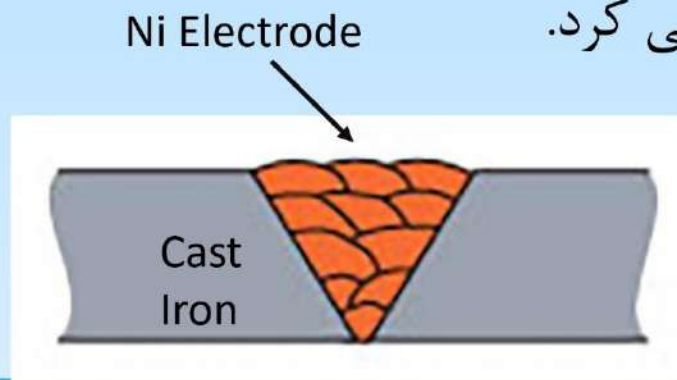
آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- مواد فرومغناطیس نرم و سخت را می توان با روش MT بازرسی کرد.

- در فولادها: $H \leq 2500 \text{ A/m} \rightarrow B \geq 10000 \text{ Gauss}$

- فولادهای دوفازی (فریت/آستنیت) با بیش از ۷۰ درصد فریت را می توان با MT بازرسی کرد.

- فولادهای آستنیتی را نمی توان با روش MT بازرسی کرد.



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- 
- (۱) آماده‌سازی سطح
 - (۲) مغناطیسی کردن قطعه
 - (۳) اعمال پودر مغناطیسی روی سطح قطعه
 - (۴) بازرسی سطح قطعه
 - (۵) مغناطیس زدایی از قطعه
 - (۶) تمیزکاری نهایی قطعه
- مراحل آزمون MT

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• آماده سازی سطح

اهمیت آماده سازی: حرکت آسان ذرات مغناطیسی روی سطح

روشهای آماده سازی: مشابه روش PT

مقایسه اهمیت آماده سازی در روشهای PT و MT



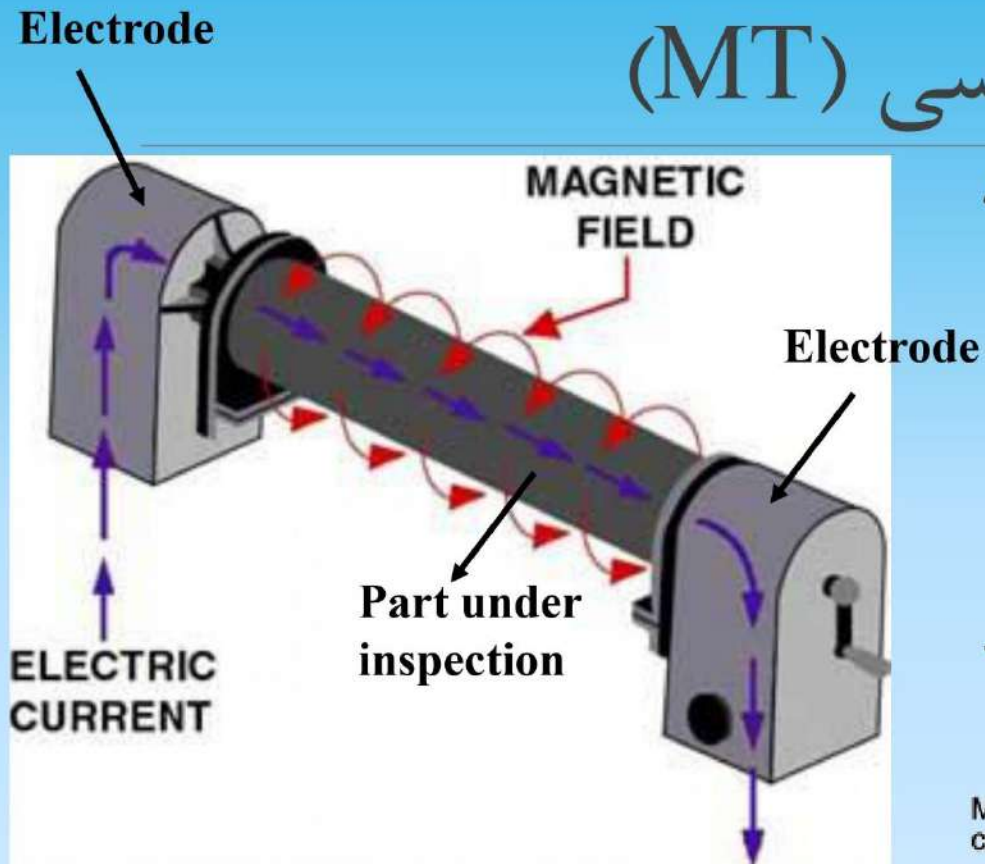
آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیسی کردن قطعه

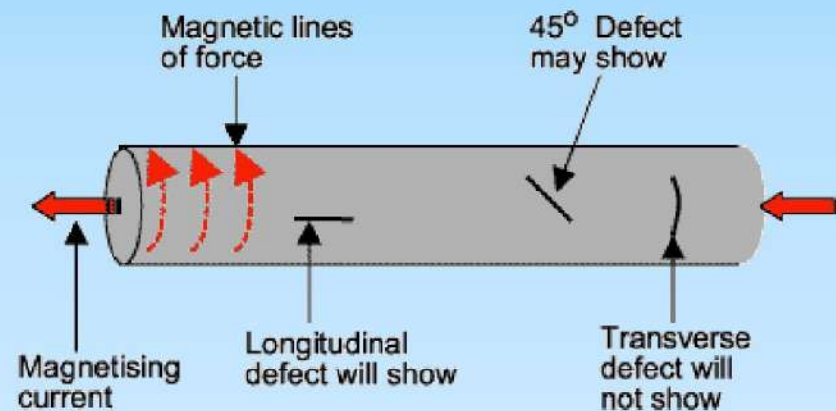


آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای تماسی مغناطیسی کردن قطعه



• Headshot

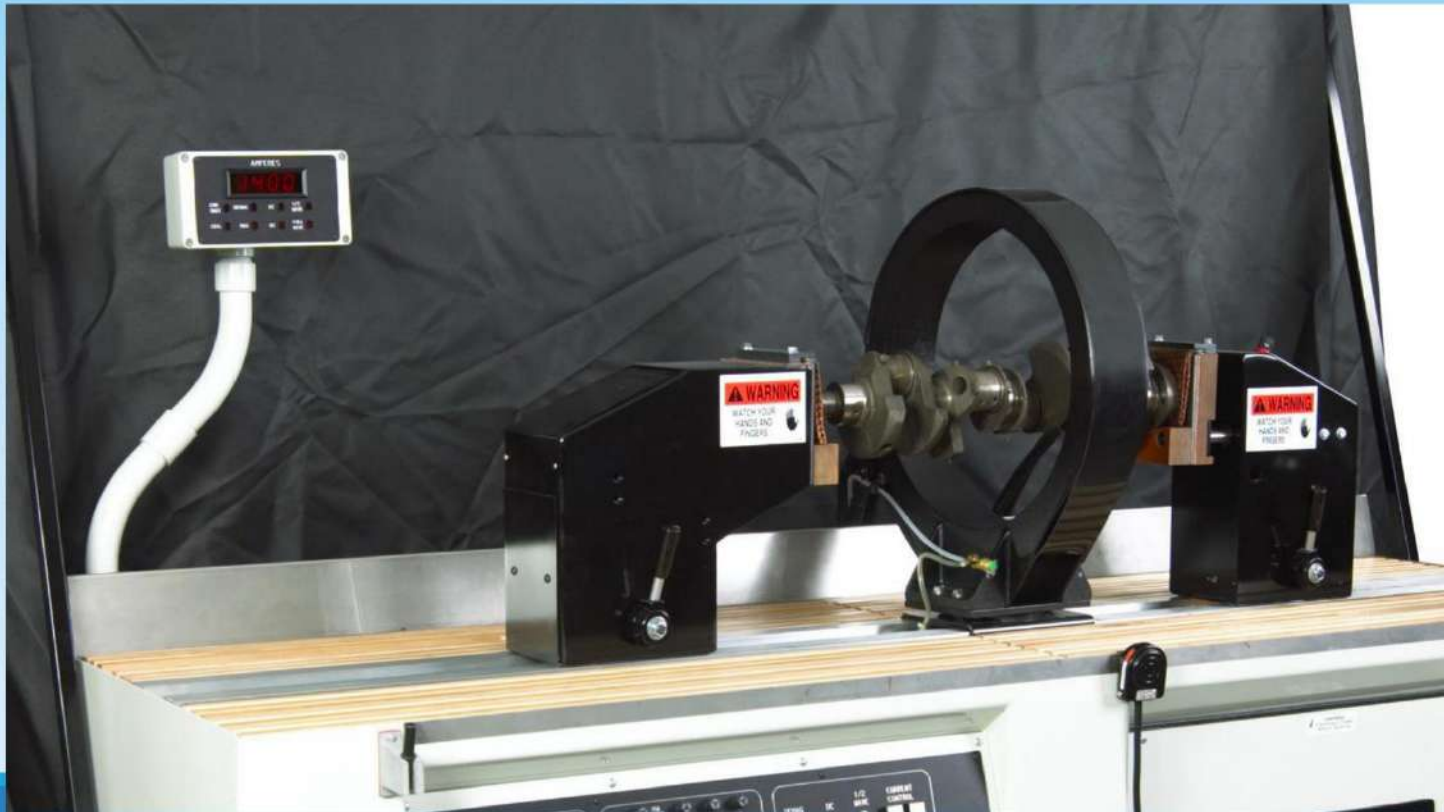


راه حل؟

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای تماسی مغناطیسی کردن قطعه

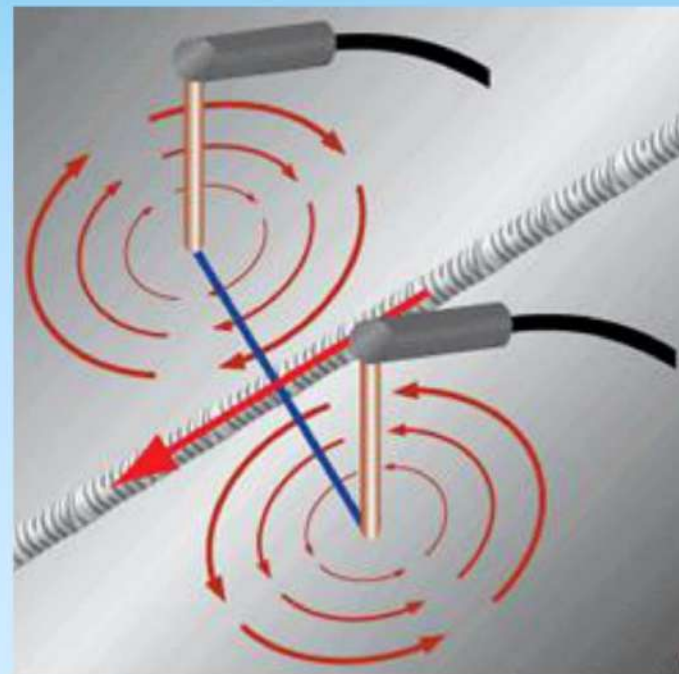
• Headshot



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای تماسی مغناطیسی کردن قطعه

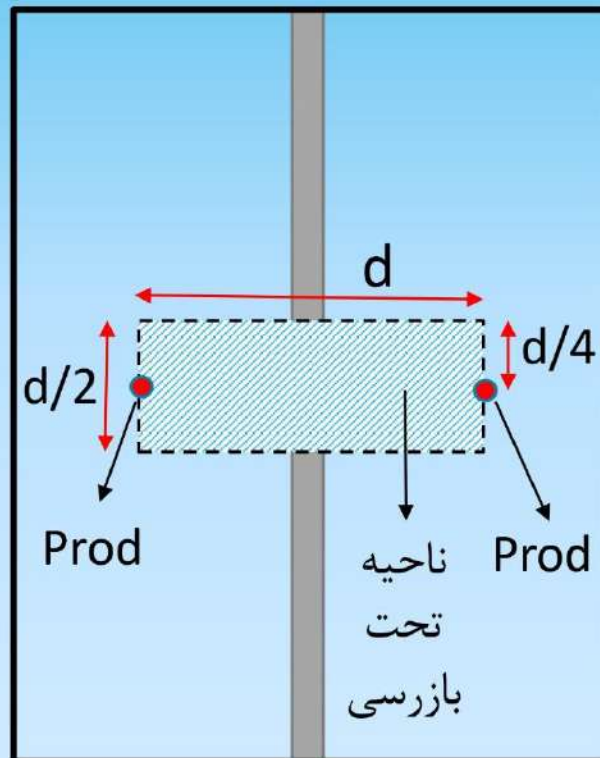
• Prod



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای تماسی مغناطیسی کردن قطعه

• Prod



$d = \text{Prod distance}$

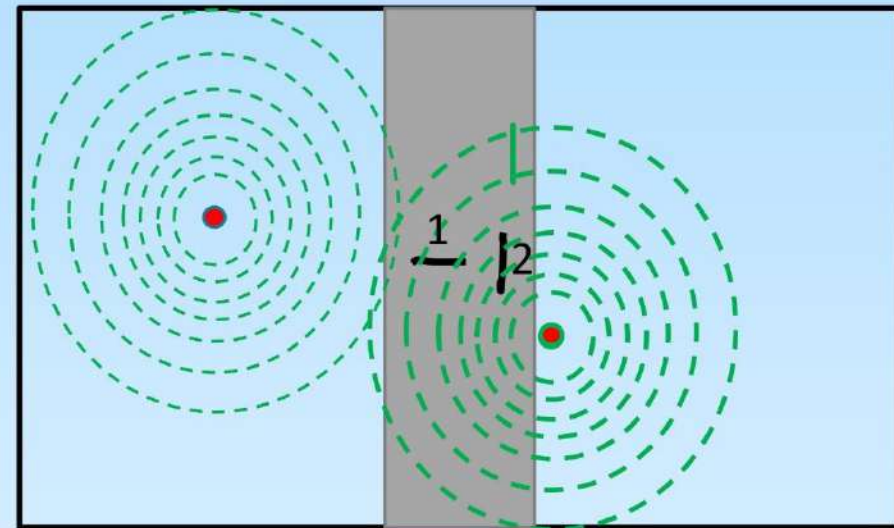
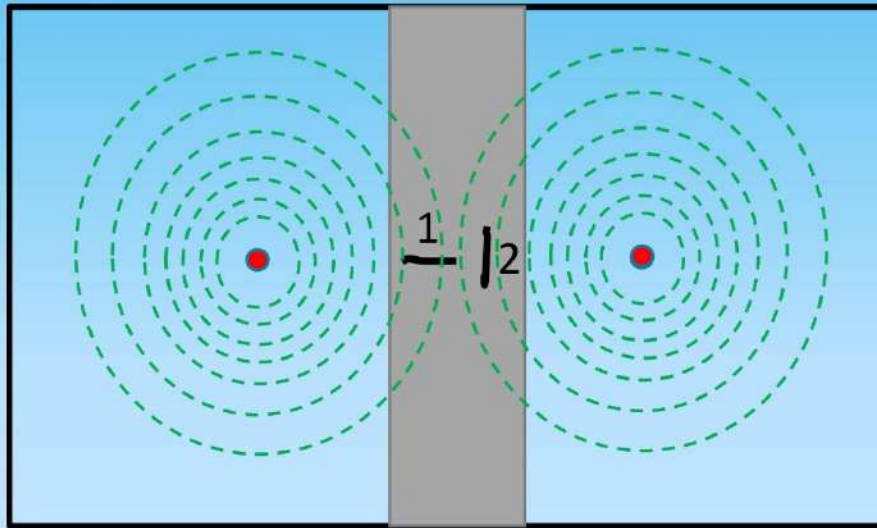
$d = 3\text{-}8 \text{ inch}$

$$I = 100 \frac{\text{Amp}}{(\text{inch}) \text{ prod distance}}$$

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای تماسی مغناطیسی کردن قطعه

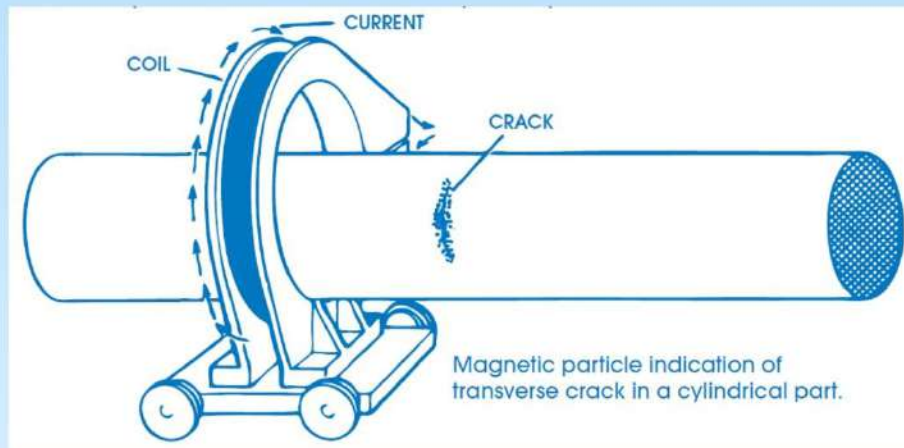
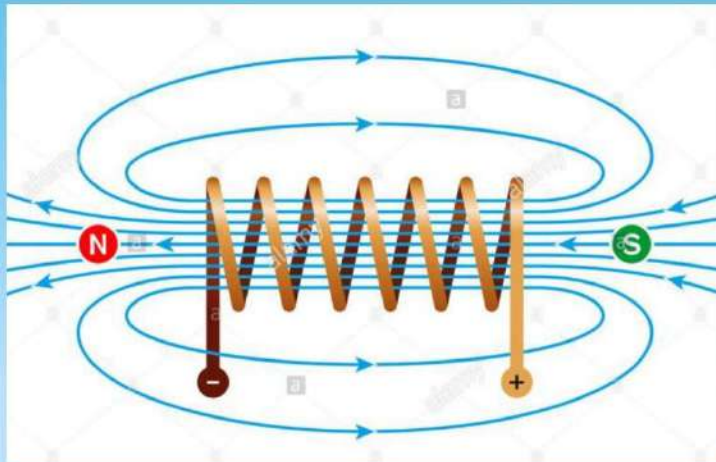
• Prod



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه

• سیم پیچ

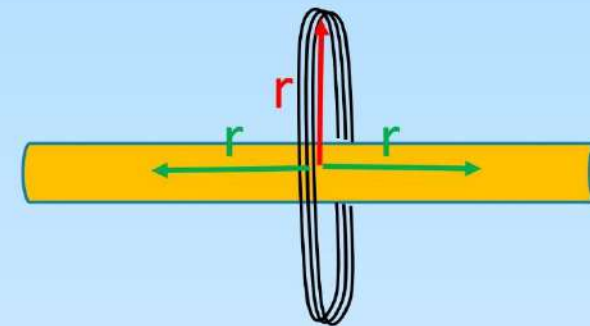
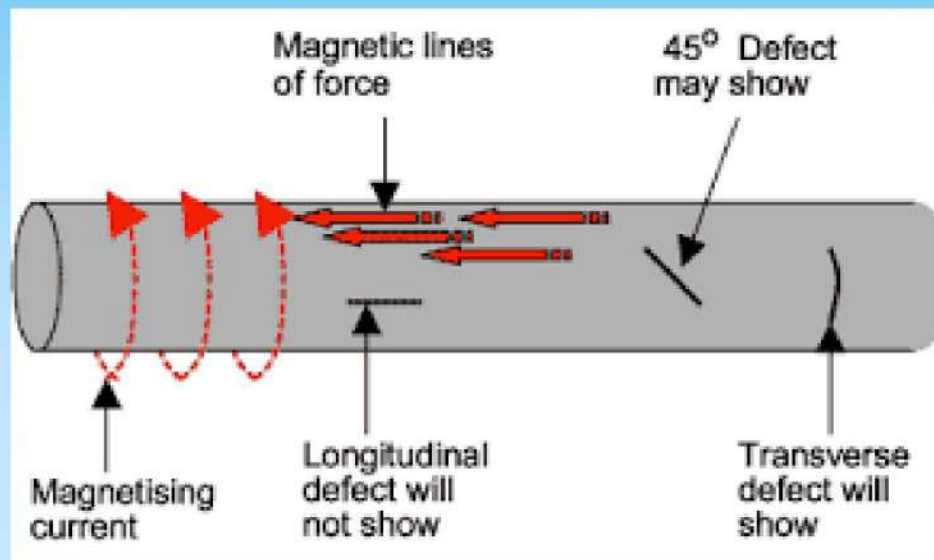


آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه

• سیم پیچ

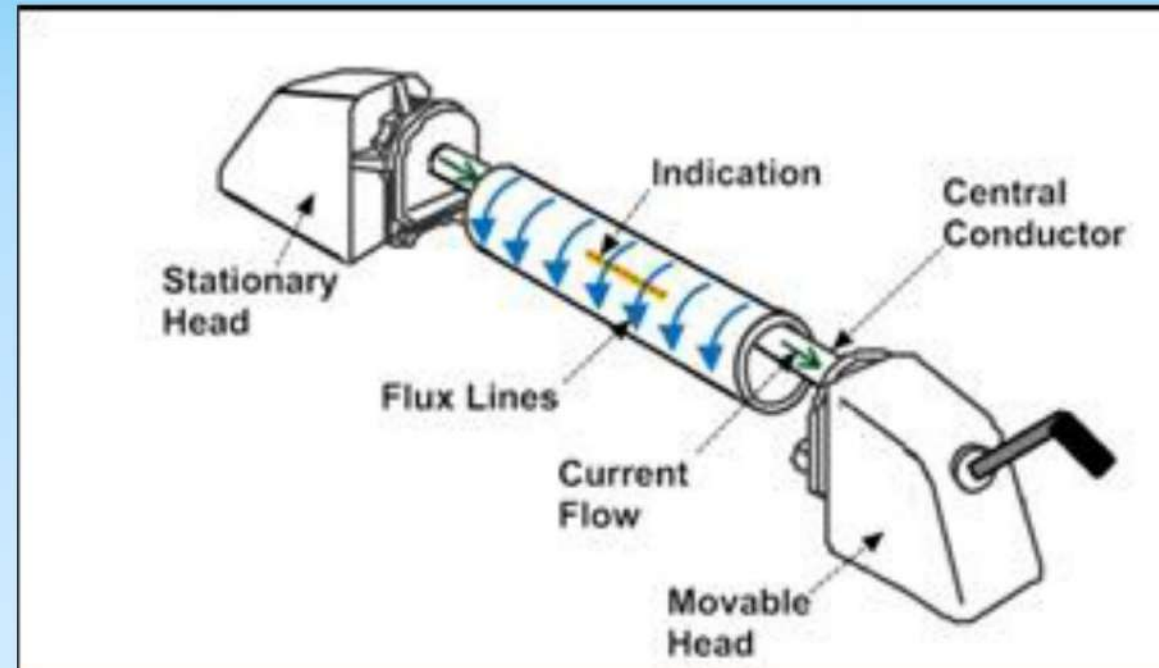
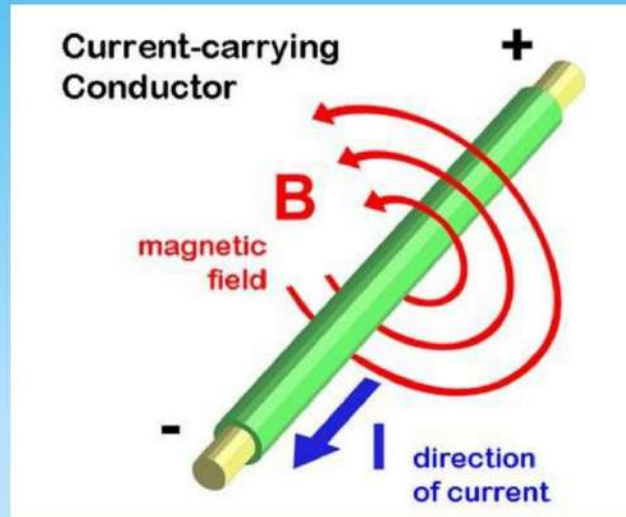
$$I = 3000 - 10000 \text{ Amp.turn}$$



ناحیه تحت بازرسی

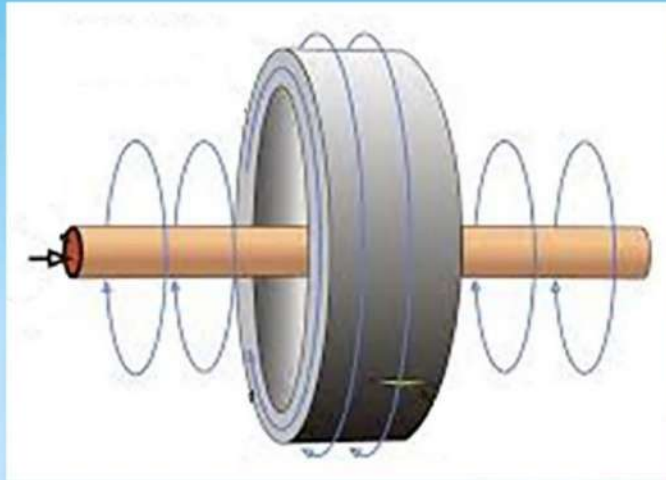
آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه
- میله هادی جریان

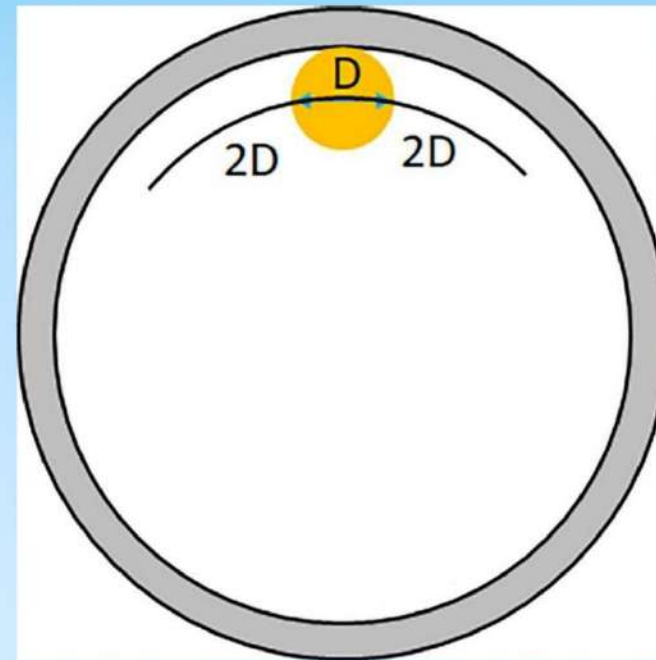


آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه
- میله هادی جریان



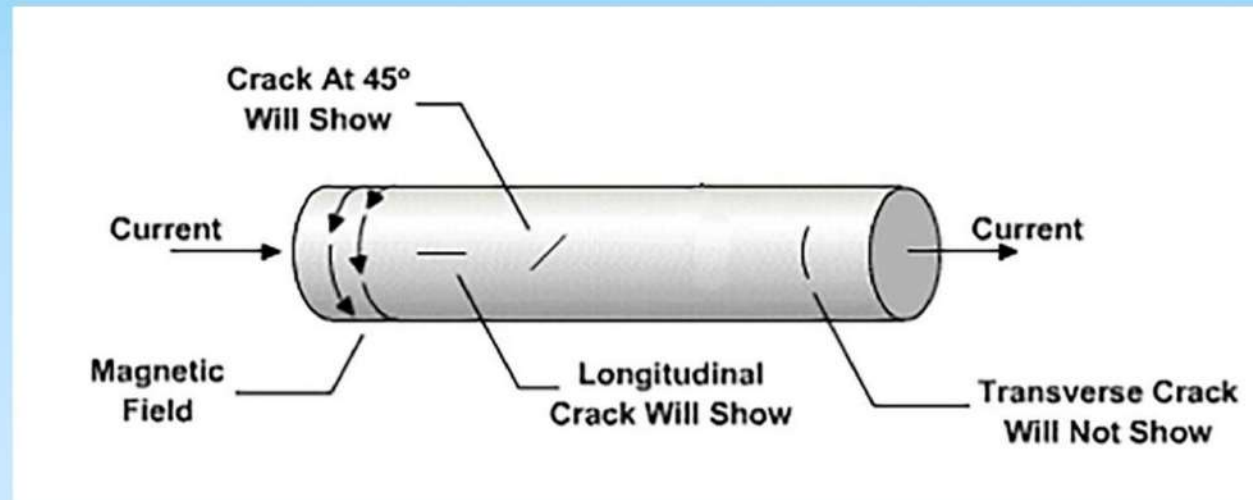
$$I = 100 - 1000 \frac{\text{Amp}}{(\text{inch}) \text{ Pipe Diameter}}$$



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

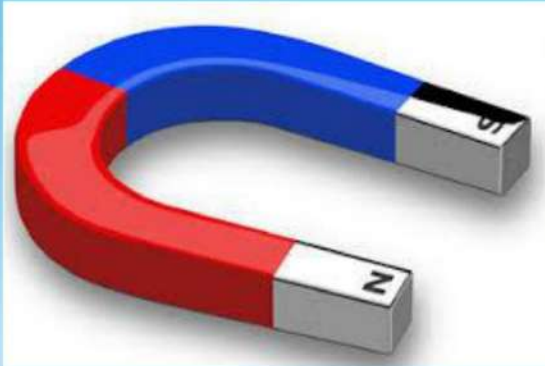
- روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه

- میله هادی جریان



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه



آهنربای دائم
(با پایه های ثابت)



• یوک مغناطیسی

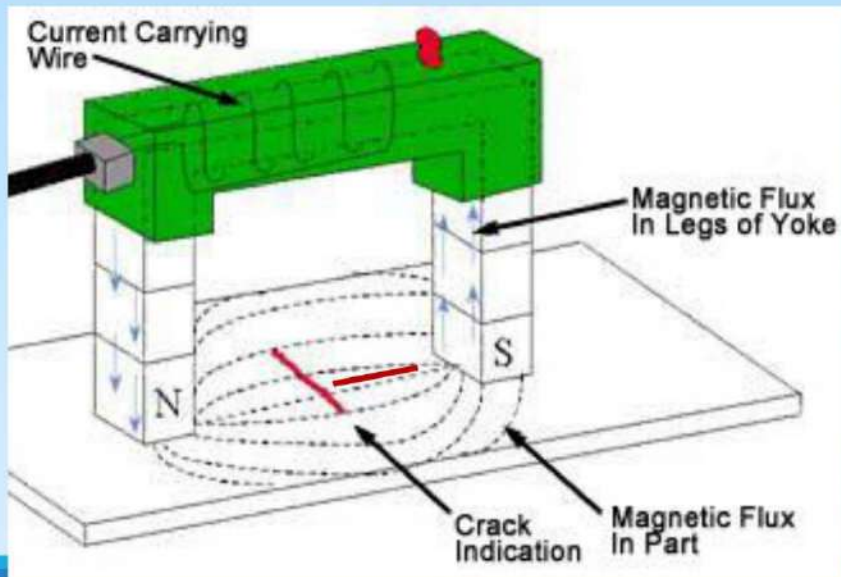
آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه



آهنربای دائم
(با پایه های ثابت)

• یوک مغناطیسی



آهنربای الکترومغناطیس
با پایه های قابل تنظیم

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه

- یوک مغناطیسی





آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه

• یوک مغناطیسی

عدم استفاده از جریان الکتریکی

عدم قابلیت تنظیم شدت میدان مغناطیسی

جذب دائمی پودرهای مغناطیسی

عدم قابلیت تنظیم فاصله و زاویه بین پایه ها (در پایه های ثابت)

آهنربای دائم
(با پایه های ثابت)



آزمون ذرات مغناطیسی

- روشهای غیر تماسی مغناطیسی کردن قطعه
- یوک مغناطیسی

لزوم استفاده از جریان الکتریکی

قابلیت تنظیم شدت میدان مغناطیسی با تنظیم جریان الکتریکی

عدم جذب پودرهای مغناطیسی با قطع جریان الکتریکی

قابلیت تنظیم فاصله و زاویه بین پایه ها

آهنربای الکترومغناطیس
با پایه های قابل تنظیم



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیسی کردن قطعه

- انواع میدان مغناطیسی (از دیدگاه زمان حذف جریان الکتریکی مولد میدان مغناطیسی)

میدان پیوسته (Continuous Field)
• بازرسی مواد فرو مغناطیس نرم و سخت

میدان پسماند (Residual Field)
• بازرسی مواد فرو مغناطیس سخت

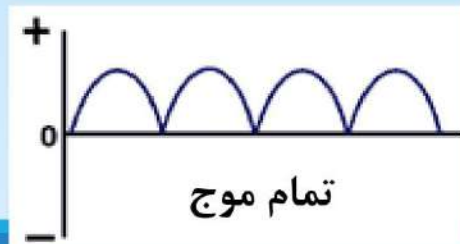
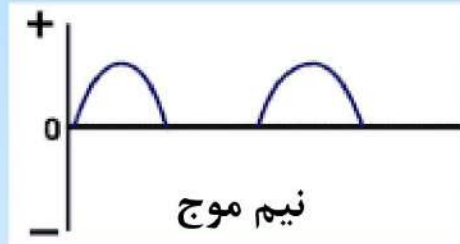
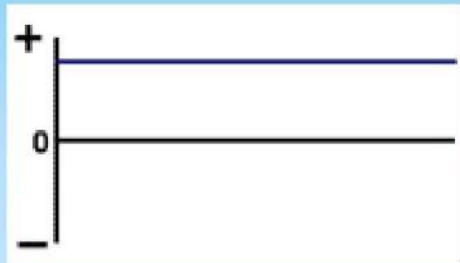
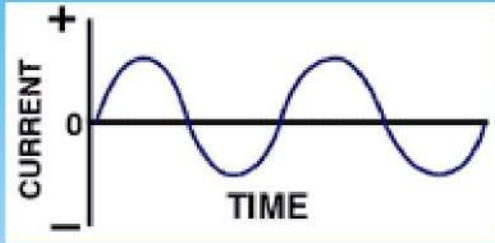


آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیسی کردن قطعه

• انواع میدان مغناطیسی (از دیدگاه نوع جریان الکتریکی

مولد میدان مغناطیسی)



AC: ارتعاش و حرکت بهتر پودرها- عمق نفوذ کم میدان

• محدود به تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی تا عمق ۲ میلیمتر

DC: عمق نفوذ بالا- محدودیت حرکت پودرها

• تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی تا عمق ۶-۷ میلیمتر

یکسو شده نیم موج یا تمام موج: برخورداری نسبی از مزایای AC و DC

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی

روش خشک Dry Method

روش تر Wet Method

• نحوه اعمال پودر

روش‌های ویژه

- ثبت دائمی عیوب روی سطح
- بازرسی در موقعیت‌های خاص مانند بازرسی زیر آب
- عدم وجود دید کافی بر روی موضع بازرسی

Magnetic Rubber

Magnetic Printing

Magnetic Painting

Pressure Sensitive Tape

Photography

• روش‌های ویژه

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی

• روشهای ویژه

- Magnetic Rubber

- اعمال مخلوط پودر مغناطیسی در یک رزین پلیمری لاستیکی شفاف روی سطح قطعه

- مغناطیسی شده

- تجمع پودرها در اطراف عیوب

- توقف جهت پخت (set شدن) رزین پلیمری

- جدا کردن لایه پلیمری از روی سطح

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی

• روشهای ویژه

- Magnetic Printing

- اعمال یک لایه رنگ سفید روی سطح قطعه
- اعمال پودر مغناطیسی تیره روی سطح قطعه مغناطیسی شده
- تجمع پودرها در اطراف عیوب
- اعمال رزین پلیمری شفاف روی سطح قطعه
- توقف جهت پخت (set شدن) رزین پلیمری
- جدا کردن لایه پلیمری از روی سطح

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی

• روشهای ویژه

- Magnetic Painting

- اعمال مخلوط پودر مغناطیسی تیره در یک رنگ روشن روی سطح قطعه مغناطیسی شده

- تجمع پودرها در اطراف عیوب

- توقف جهت خشک شدن رنگ

- ایجاد یک تصویر نیمه دائم از عیوب

- امکان بازرسی زیر آب

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- اعمال پودر مغناطیسی
- روشهای ویژه

- Pressure Sensitive Tape

- انجام روش MT به شیوه متداول
- تجمع پودرها در اطراف عیوب
- قرار دادن یک نوار پلیمری حساس به فشار (یا چسب) بر روی سطح قطعه
- اعمال فشار یکنواخت روی نوار
- ایجاد تصویر الگوهای ایجاد شده توسط پودرها بر روی نوار

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- اعمال پودر مغناطیسی
- روشهای ویژه

- Photography

- ایجاد یک زمینه سفید رنگ روی سطح قطعه
- انجام روش MT به شیوه متداول
- تجمع پودرها در اطراف عیوب
- عکسبرداری از سطح قطعه

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• اعمال پودر مغناطیسی

خواص مغناطیسی

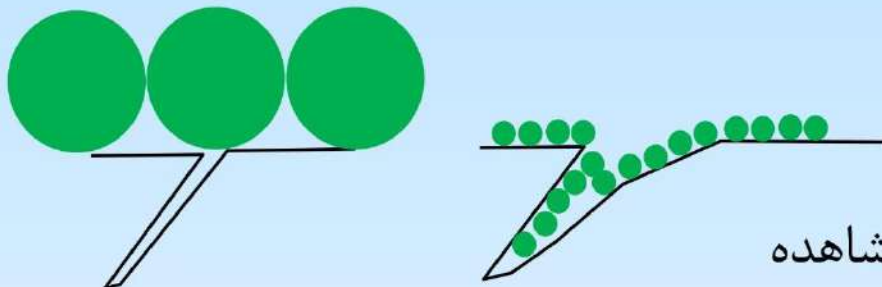
- نفوذپذیری مغناطیسی (μ) زیاد
- پسماند مغناطیسی کم (مغناطیس نرم): B_r کم

شکل و هندسه: کروی، میله‌ای، سوزنی



اندازه

- وابستگی اندازه پودر به اندازه عیوب



قابلیت مشاهده

• ویژگیهای پودرهای مغناطیسی

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• بازرسی سطح

علائم صحیح (True (Relevant) Indications): علایمی هستند که ناشی از وجود میدان نشت مغناطیسی هستند و میدان نشت ناشی از حضور عیب در قطعه است.

علائم غیر مرتبط (Non-Relevant Indications): علایمی هستند که ناشی از وجود میدان نشت مغناطیسی هستند ولی میدان نشت ناشی از حضور عیب در قطعه نیست.

علائم نادرست (False Indications): علایمی هستند که ناشی از وجود میدان نشت مغناطیسی نیستند.

انواع علایم
روی سطح

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)



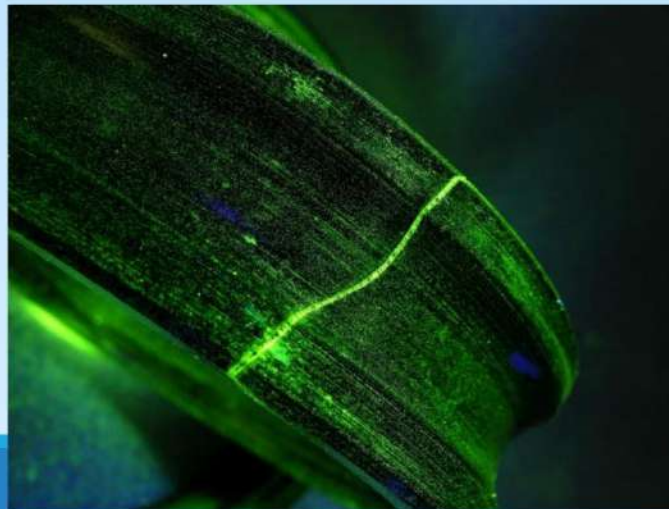
• بازرسی سطح

• علائم صحیح

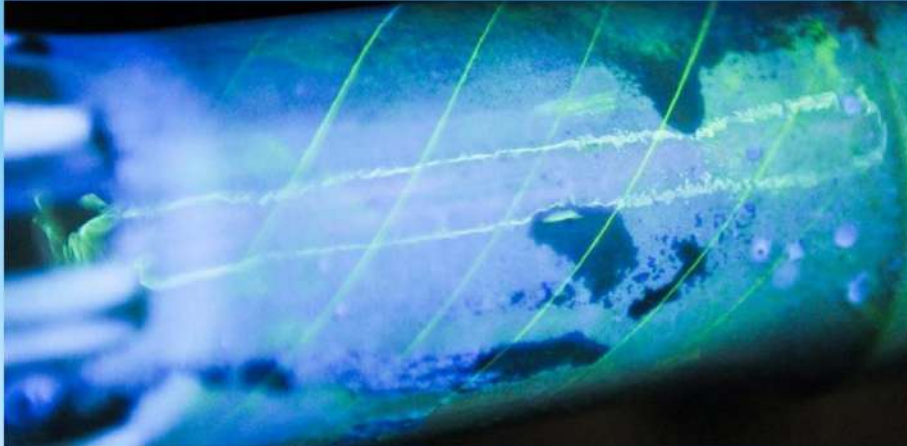
عیوب سطحی

• تجمع بیشتر پودرها روی سطح

• ایجاد علایم تیز (شارپ) روی سطح



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)



• بازرسی سطح

• علائم صحیح

عیوب سطحی

• تجمع بیشتر پودرها روی سطح

• ایجاد علایم تیز (شارپ) روی سطح

عیوب زیر سطحی

• تجمع کمتر پودرها روی سطح

• ایجاد علایم غیر تیز با پهنای زیاد
روی سطح



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)



- بازرسی سطح

- علائم نادرست

تجمع پودرها در زبری سطح



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

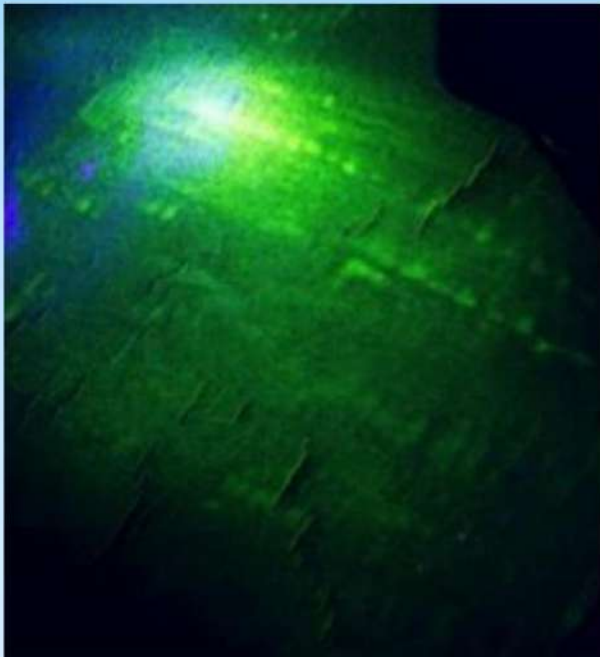
• بازرسی سطح

• علائم نادرست

تجمع پودرها در زبری سطح

آگلومره شدن پودرها روی سطح

عدم ترشوندگی مناسب سطح قطعه
توسط سیال همراه پودر



• روش تشخیص؟

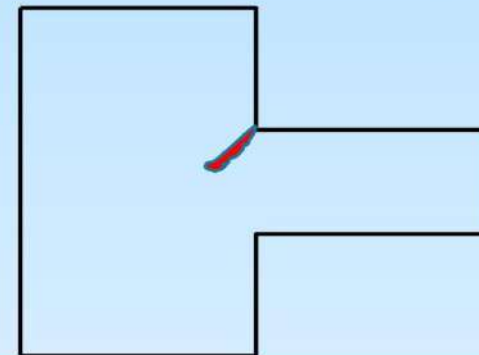
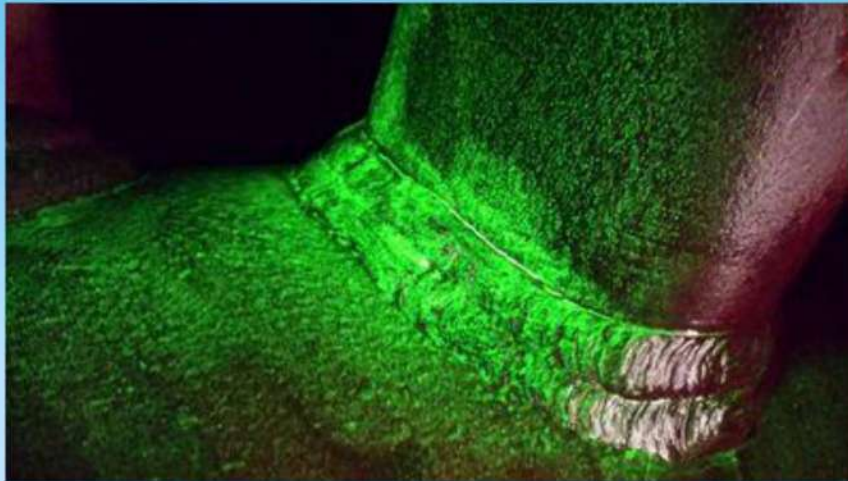
- تکرار آزمون
- تغییر جهت میدان مغناطیسی
- استفاده از روشهای دیگر

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• بازرسی سطح

• علائم غیر مرتبط

تغییر ناگهانی هندسه قطعه



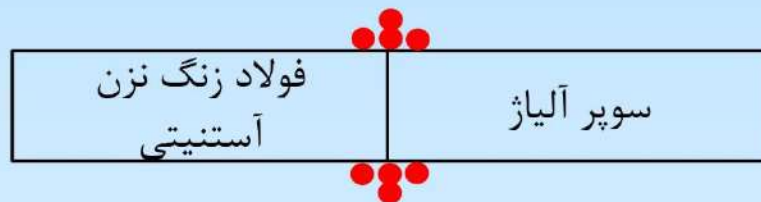
آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• بازرسی سطح

• علائم غیر مرتبط

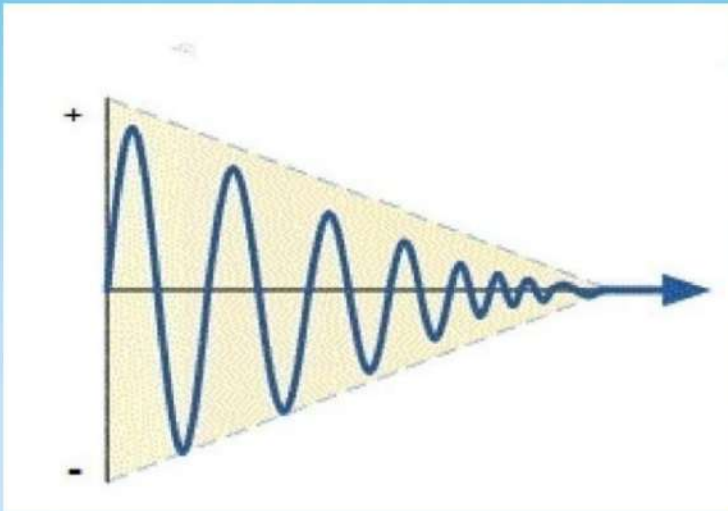
تغییر ناگهانی هندسه قطعه

تغییر ترکیب شیمیایی در قطعه



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیس زدایی از قطعه



هدف: جلوگیری از ایجاد اختلال در کار
یا خواص قطعه

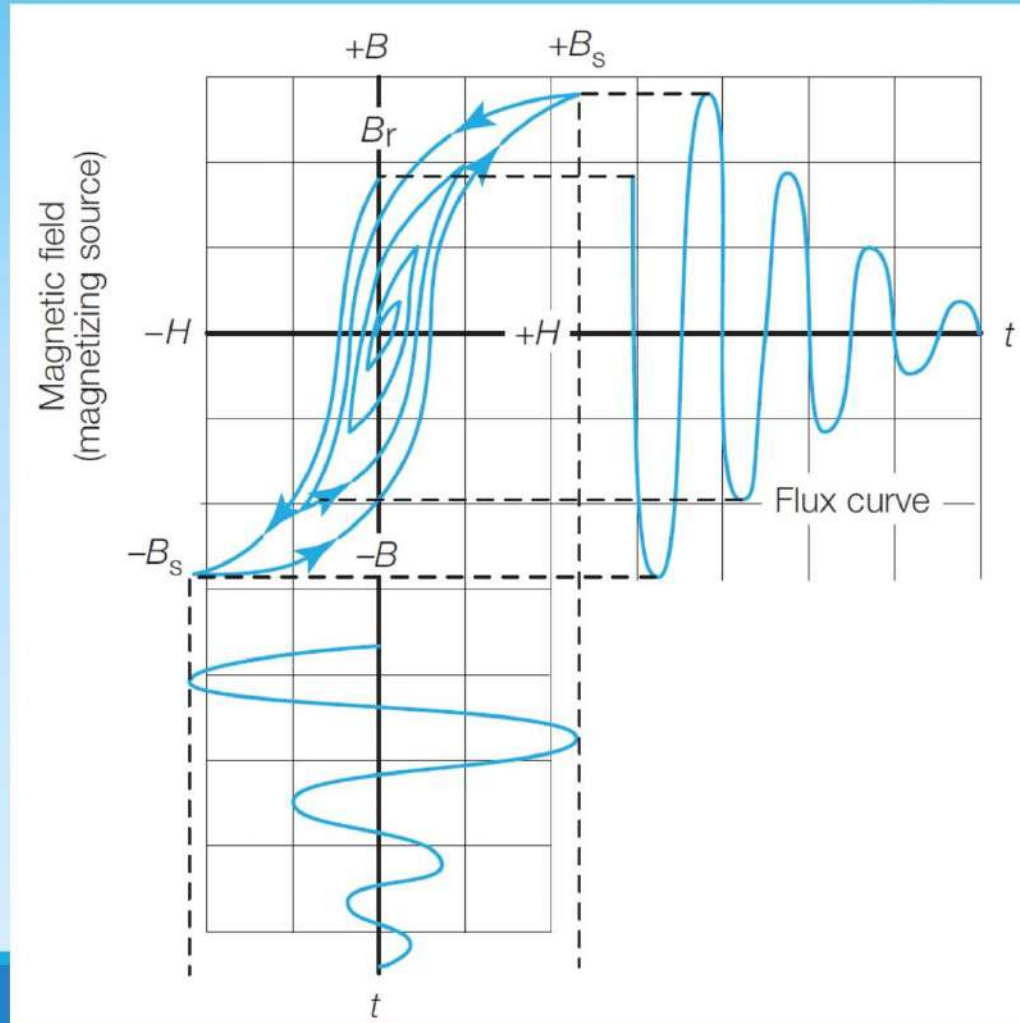
- ابراز اندازه گیری دقیق
- تشدید سایش در چرخ دنده ها
- اختلال در عملیات ماشینکاری
- فرایندهای پوشش دهی

روش مغناطیس زدایی؟

روش: اعمال جریان متناوب میرا

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیس زدایی از قطعه



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• مغناطیس زدایی از قطعه

عدم اختلال در کار یا خواص قطعه

قطعه مغناطیس نرم با پسماند بسیار کم باشد

عملیات حرارتی در دمایی بالاتر از Curie Temperature

موارد عدم نیاز به
مغناطیس زدایی

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- تمیزکاری نهایی قطعه

- برداشتن بقایای پودر و سیال همراه آن و خشک کردن قطعه

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• انواع TEST Block

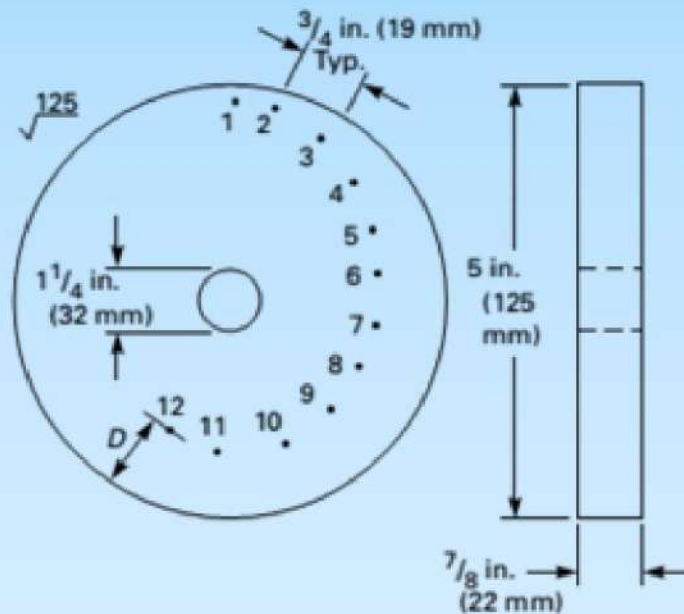
• Pie Gauge: تعیین راستای میدان مغناطیسی



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• انواع TEST Block

- **Ketos Ring**: تعیین تناسب تجهیزات، نوع جریان مولد میدان، نوع پودر و روش اعمال آن برای انجام آزمون MT



Min D: 1.8 mm
Max D: 21.3 mm

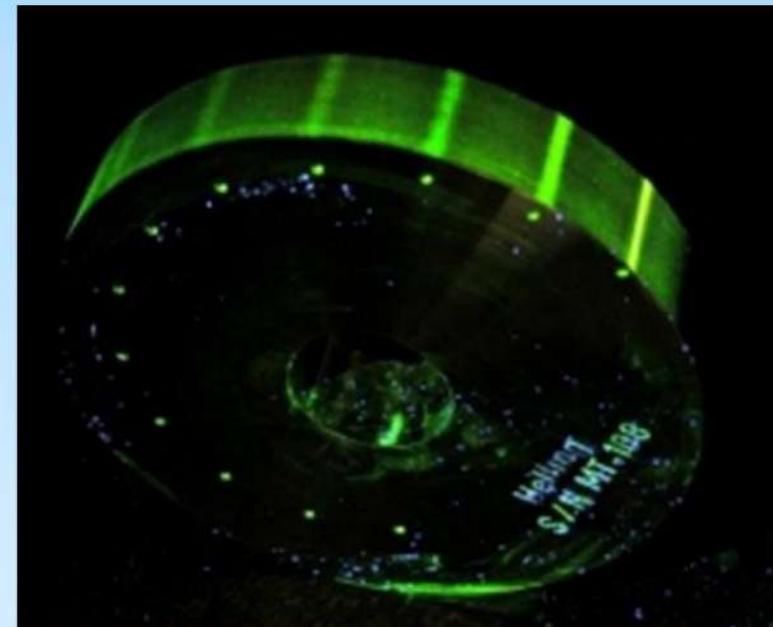


آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

• انواع TEST Block

- Ketos Ring: تعیین تناسب تجهیزات، نوع جریان مولد میدان، نوع پودر و روش اعمال آن برای انجام آزمون MT

REQUIRED INDICATIONS USING THE KETOS RING		
Particles Used	Central Conductor FWDC Amperage	Minimum Number of holes Indicated
Wet Suspension, fluorescent, or Non fluorescent	1,400	3
	2,500	5
	3,400	6



آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

قابلیت تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی

روش سریع برای قطعات کوچک

قابلیت انجام در دمای بالا (زیر دمای کوری)

عدم حساسیت زیاد به آماده‌سازی سطح

قابلیت انجام روی قطعات با هندسه‌های مختلف غیر از گوشه‌های تیز

مزایا

آزمون ذرات مغناطیسی (MT)

- محدود به بازرسی مواد فرومغناطیس
 - محدودیت در بررسی نقاط با تغییر ناگهانی هندسه
 - عدم تشخیص عیوب با عمق بالای ۶-۷ میلی متر
 - لزوم مغناطیس زدایی از قطعه (در بسیاری از موارد)
 - احتیاج به منبع مولد جریان الکتریکی بالا
- محدودیت‌ها**

آزمون جریان گردابی (ET) Eddy Current Test

۱۸۳۰: مشاهده القای جریان الکتریکی در دیسک‌های مسی در مجاورت میدان مغناطیسی متناوب

۱۸۷۹: استفاده از سیم‌پیچ دستگاه‌های صوتی برای تشخیص عیوب سطحی

۱۹۲۵: استفاده صنعتی از این روش برای بازرسی لوله‌های فولادی در صنعت

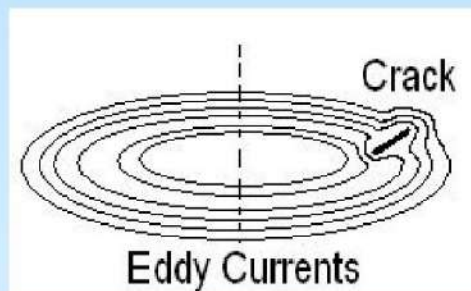
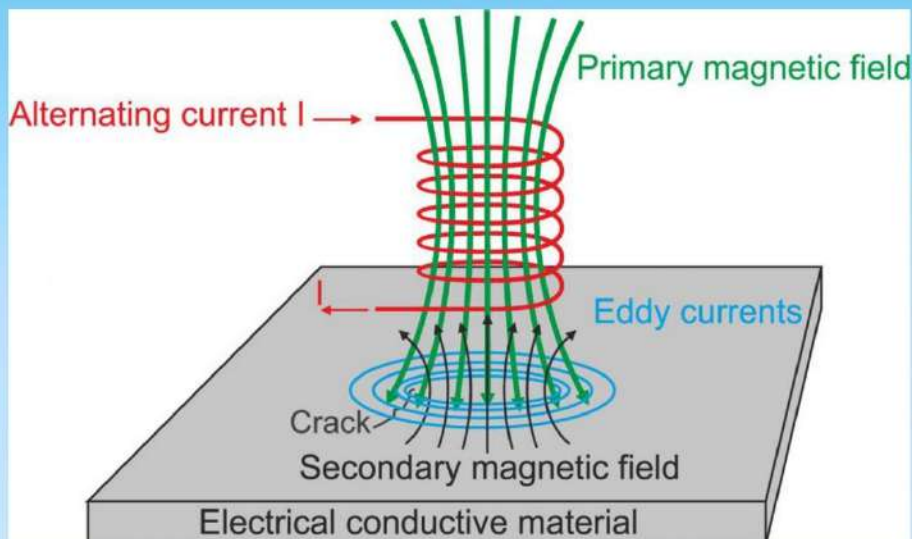
۱۹۵۴: آرایه دیاگرام‌های صفحه‌ای امپدانس (کمی شدن روش و امکان ارزیابی خواص قطعه)

تاریخچه

آزمون جریان گردابی (ET)

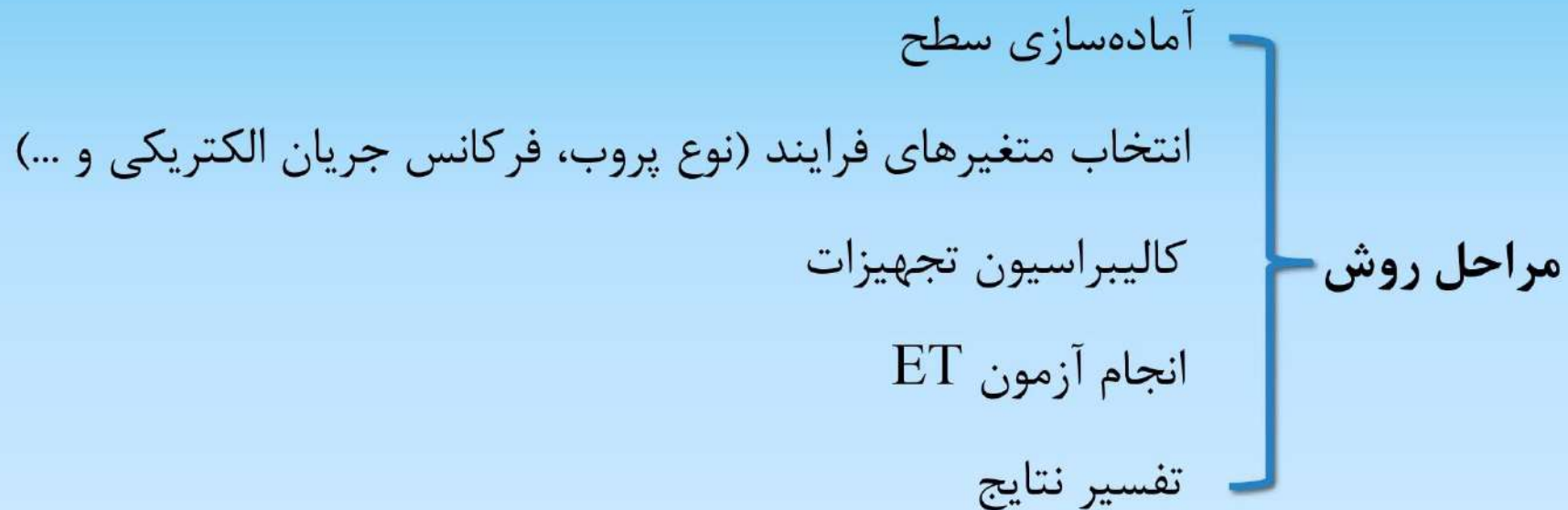
- تشخیص عیوب سطحی و زیر سطحی و متنوع‌ترین روش به لحاظ کاربرد در میان آزمونهای غیر مخرب

- کلیات روش:



- نزدیک کردن سیم پیچ حامل جریان متناوب به قطعه‌ی **هادی جریان الکتریکی** و ایجاد میدان مغناطیسی متناوب در قطعه (میدان اولیه)
- القای جریان گردابی داخل قطعه
- ایجاد میدان مغناطیسی ناشی از جریان گردابی در قطعه (میدان ثانویه)
- برهمکنش میدانهای مغناطیسی اولیه و ثانویه و تغییر مقاومت ظاهری سیم پیچ
- تغییر شکل جریانهای گردابی در مجاورت عیب و تغییر میدان مغناطیسی ثانویه
- تغییر مقاومت ظاهری سیم پیچ و تشخیص عیب

آزمون جریان گردابی (ET)



آزمون جریان گردابی (ET)

• آماده سازی سطح

اگر هدف از بازرسی تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی باشد، لایه های سطحی شامل رنگ، اکسیدها و روغن ها حذف می شوند.

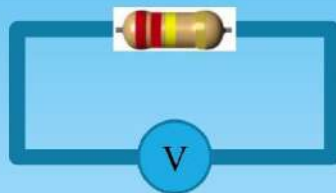
اگر هدف از بازرسی اندازه گیری ضخامت لایه های سطحی شامل رنگ و اکسیدها باشد، فقط لایه های آلودگی و روغنی حذف می شوند.

روش آماده سازی: مکانیکی، شیمیایی و حلالی

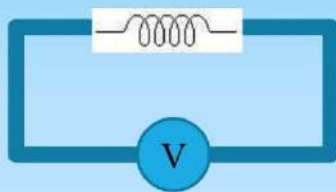
مقایسه اهمیت آماده سازی با روشهای PT و MT

آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند
- مبانی فرایند ET



$$V = R.I$$



$$V = Z.I$$

مقاومت اهمی (R: Resistance)

مقاومت القایی (X_L : Inductive Reactance)

Z: مقاومت ظاهری (Impedance)

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

مقاومت سیمهای سیم پیچ در برابر عبور جریان
مقاومت ماده (قطعه) تحت بازرسی در برابر جریانهای گردابی

R: مقاومت اهمی

$$X_L = L \omega , \omega = 2\pi \nu$$

X_L : مقاومت القایی

L (Inductance): ضریب خود القایی

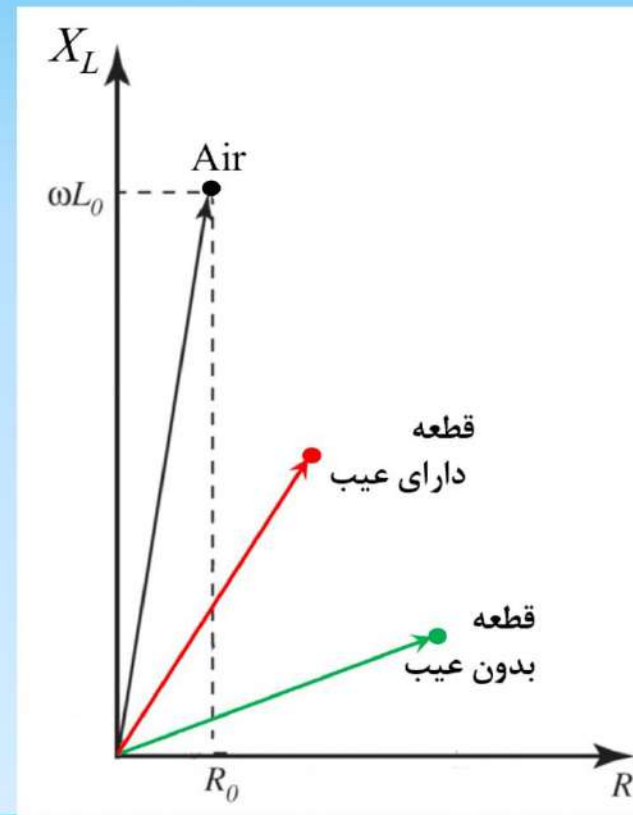
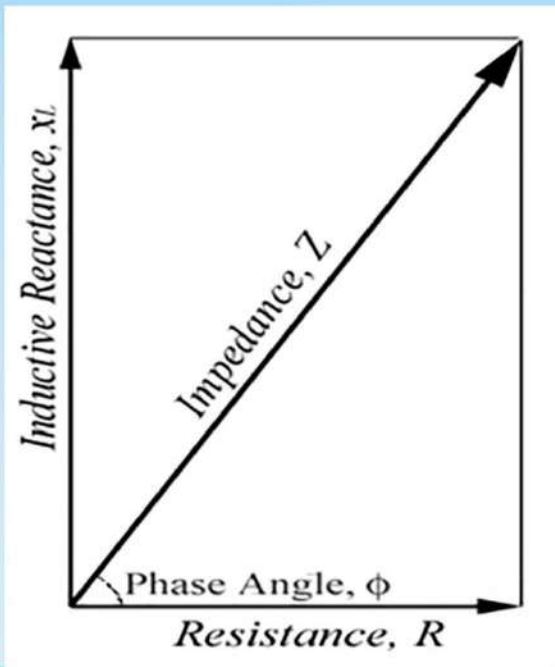
فرکانس جریان مولد میدان مغناطیسی : ν

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\phi = \arctan \frac{X_L}{R}$$



آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

منبع مولد میدان مغناطیسی متناوب (با استفاده از سیم‌پیچ و
جریان متناوب) ← پروب

تجهیزات اندازه‌گیری مقاومت ظاهری سیم پیچ یا تغییرات
کوچک میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ

تجهیزات ثبت نتایج (رسم نمودارهای X_L -R)

تجهیزات فرایند

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

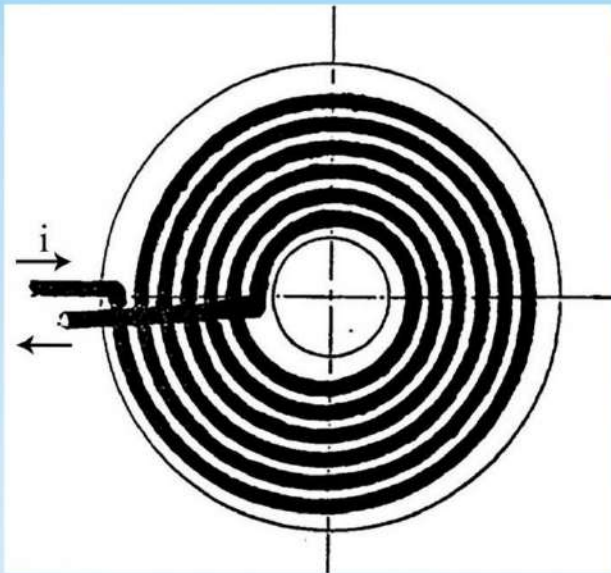
Probe: محفظه پلیمری یا فلزی شامل سیم‌پیچ و بخشی از مدارهای الکترونیکی

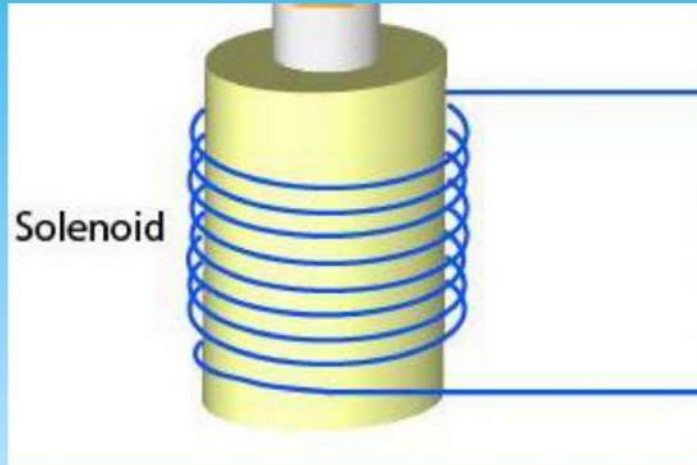


آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

- پروب تخت: مناسب برای بازرسی سطوح بزرگ و تخت

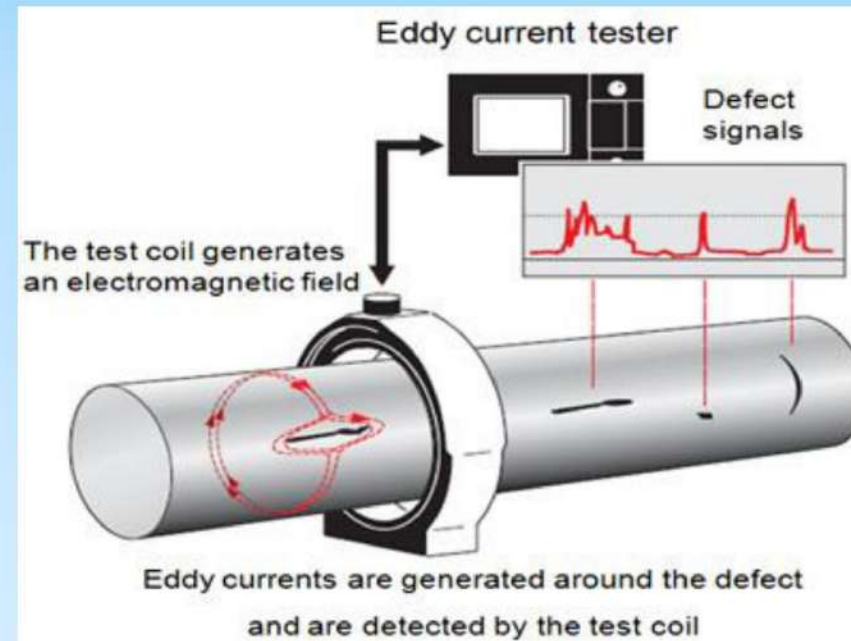




آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• پروب سلنوییدی: مناسب برای بازرسی سطوح خارجی قطعات مدور و سطوح تخت



آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)
- پروب بوبینی: مناسب برای بازرسی سطوح داخلی قطعات مدور



آزمون جریان گردابی (ET)

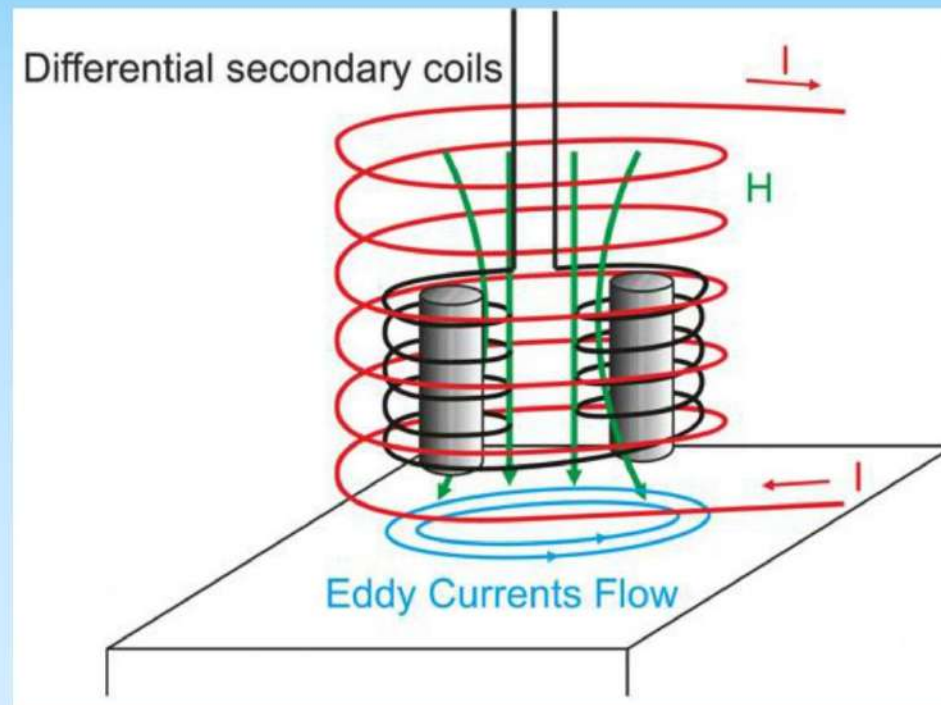
• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• پروب بوبینی: کاربرد گسترده
در بازرسی لوله های مبدل های
حرارتی (Heat exchanger)



آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)
- پروب تفاضلی: مناسب برای تشخیص عیوب بسیار کوچک و موضعی

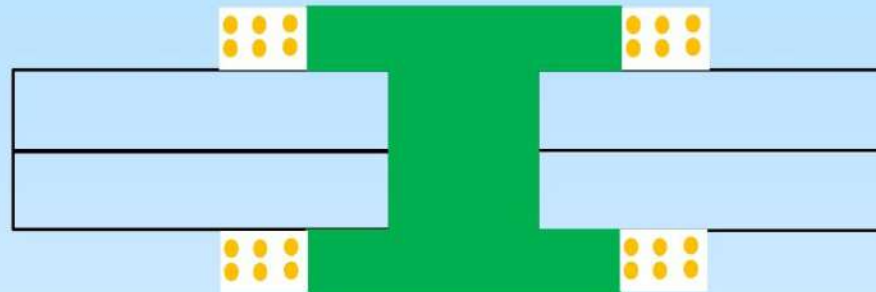


آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

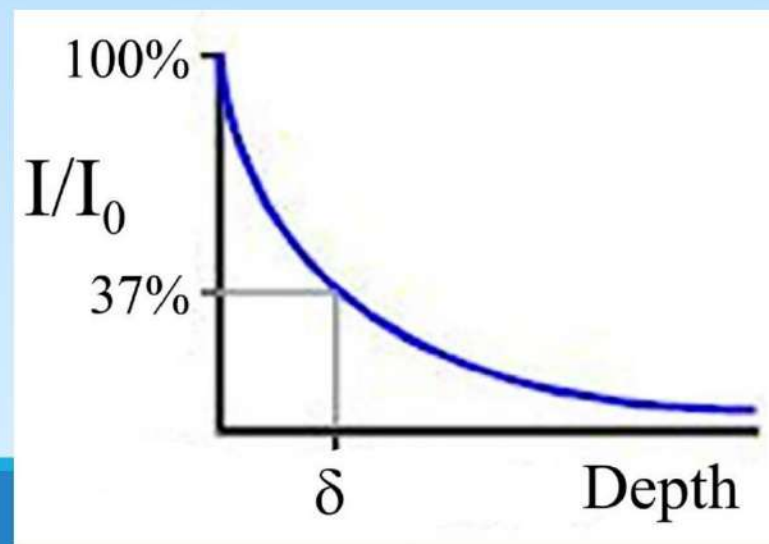
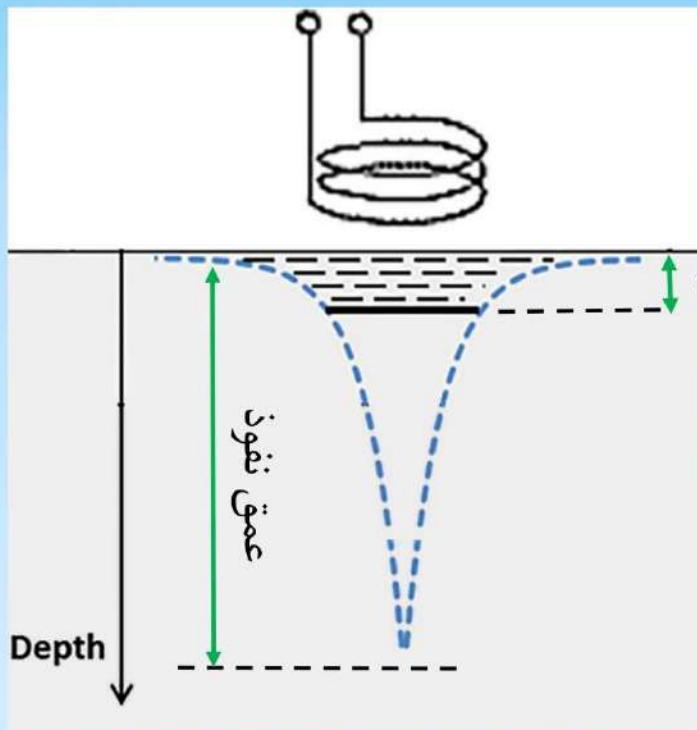
• پروبهای ویژه

• Donut Probe



آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)
- عمق نفوذ جریان گردابی در قطعه (اثر پوسته: Skin Effect)
- عمق نفوذ استاندارد (δ : Standard Depth of Penetration):
عمقی از سطح قطعه که در آن شدت جریان گردابی به $\frac{1}{e}$ شدت جریان در سطح قطعه می رسد.



آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عمق نفوذ جریان گردابی در قطعه (اثر پوسته: Skin Effect)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \mu \cdot \sigma \cdot \nu}}$$

μ : نفوذ پذیری مغناطیسی ماده تحت بازرسی

σ : هدایت الکتریکی ماده تحت بازرسی

ν : فرکانس جریان مولد میدان مغناطیسی

ν : 1 KHz- 10 MHz

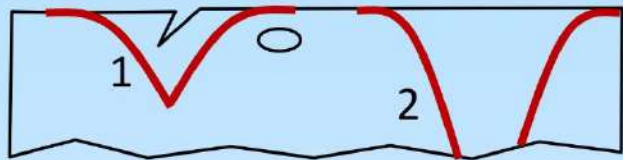
آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

۱- حساسیت تشخیص عیوب: افزایش فرکانس ← افزایش حساسیت

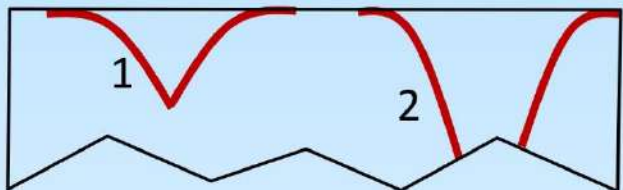
۲- عمق نفوذ میدان: افزایش فرکانس ← کاهش عمق نفوذ

۳- هدف از بازرسی



• تشخیص عیوب سطحی و زیر سطحی:

$t > 2-3 \delta$ (ضخامت قطعه)



• بررسی تغییرات ضخامت:

$t < 1-2 \delta$ (ضخامت قطعه)

۴- خواص فیزیکی قطعه تحت بازرسی: μ و σ

مواد فرو مغناطیس: $\nu \approx \text{KHz}$

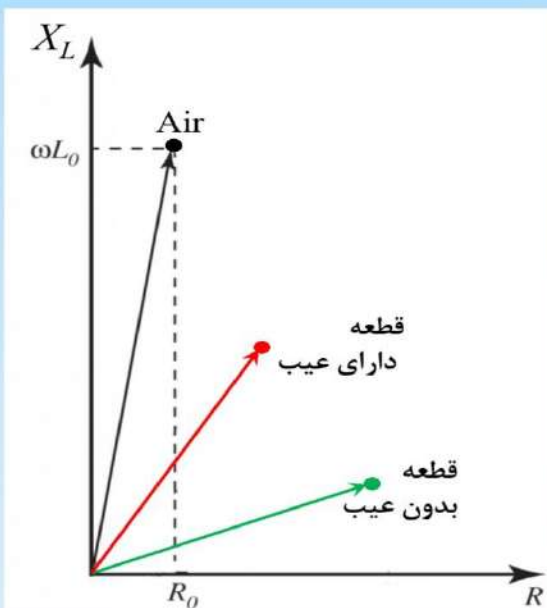
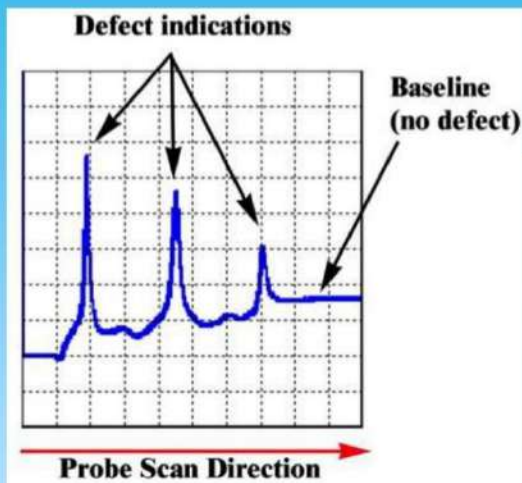
مواد غیر مغناطیسی: $\nu \approx \text{MHz}$

عوامل موثر بر
انتخاب فرکانس
جریان مولد میدان

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \mu \cdot \sigma \cdot \nu}}$$

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)



پیک - فاصله:
استفاده برای یک هدف خاص

نحوه نمایش نتایج
در روش ET

نمودار X_L -R:
استفاده برای اهداف مختلف

دیاگرام صفحه ای امپدانس
Impedance Plane Diagram

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

- خواص ماده
- هندسه قطعه
- شرایط سطحی قطعه
- وجود عیب در قطعه

عوامل موثر بر
مقاومت ظاهری
سیم پیچ (Z)

عوامل وابسته به شرایط آزمون ET

- قطر و تعداد دور سیم پیچ
- فرکانس جریان مولد میدان مغناطیسی
- Fill Factor یا Lift-off

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

هدایت الکتریکی (σ)

نفوذپذیری مغناطیسی (μ)

خواص ماده

دانه بندی و عملیات ترمومکانیکال ← اثر بر σ و μ

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

• خواص ماده

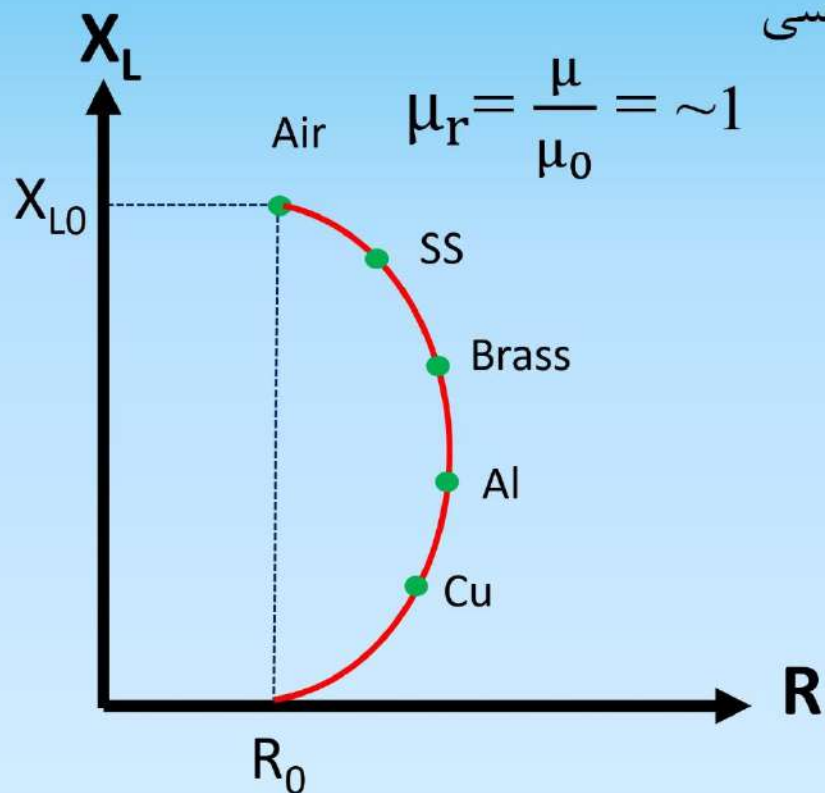
• هدایت الکتریکی (σ)

• برای رسم نمودار هدایت الکتریکی باید موارد زیر ثابت باشد:

• μ

• ضخامت ماده ($t > 3 \delta$)

• فرکانس جریان مولد میدان



آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

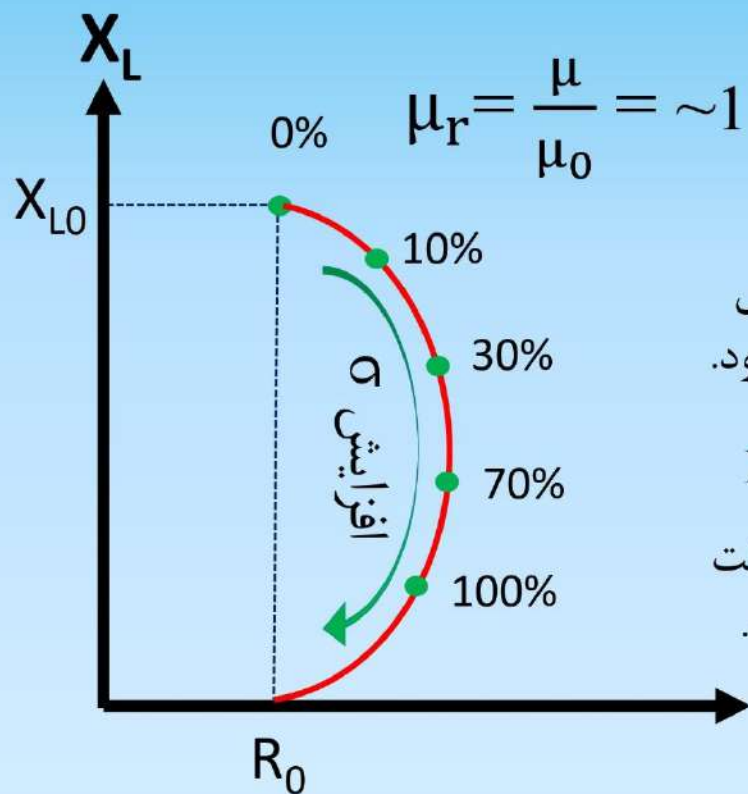
• خواص ماده

• هدایت الکتریکی (σ)

• برای رسم نمودار مستقل از نام ماده و فقط بر اساس هدایت الکتریکی از سیستم IACS استفاده می شود.

International Annealed Copper Standard

• در این استاندارد، هدایت الکتریکی مس خالص در حالت آنیل شده در دمای 20°C را ۱۰۰٪ در نظر می گیرند.



آزمون جریان گردابی (ET)

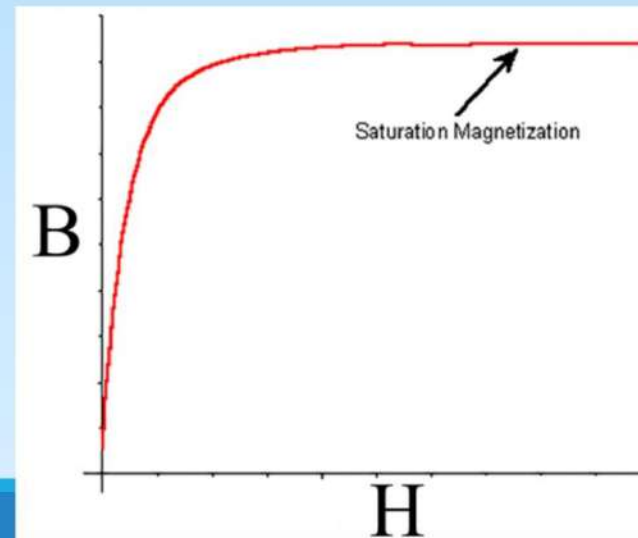
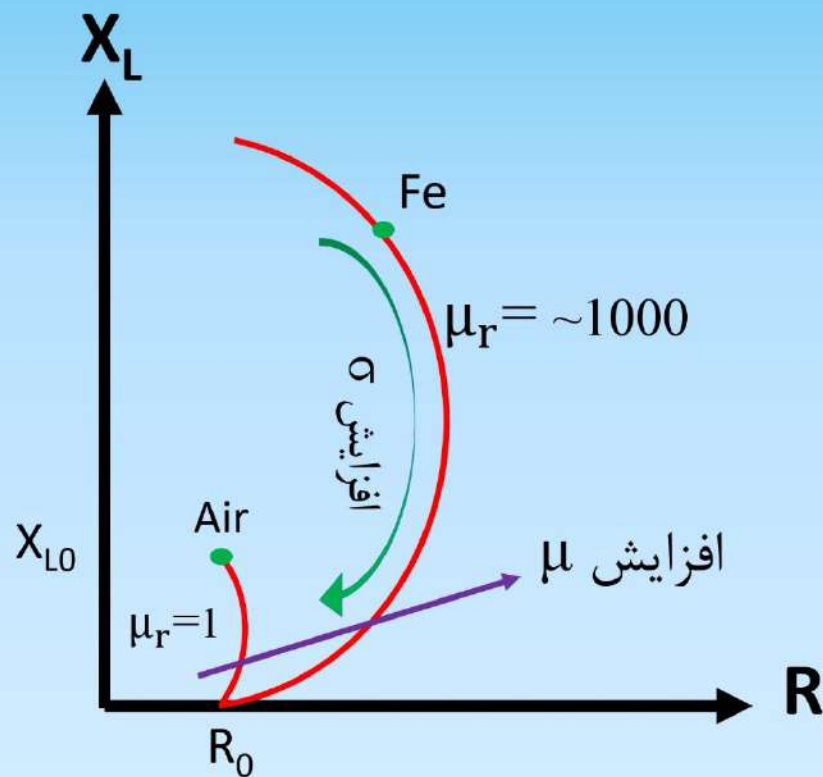
- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

- عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

- خواص ماده

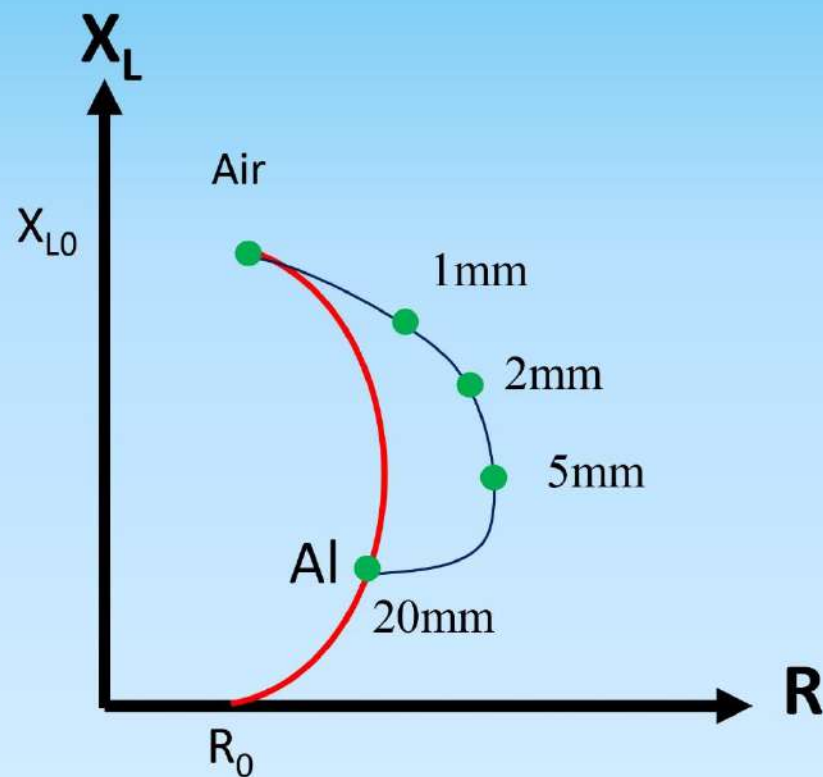
- نفوذپذیری مغناطیسی (μ)

- مشکل بودن بازرسی قطعات فرومغناطیس با روش ET



آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)
- عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی



ضخامت قطعه

هندسه
قطعه

تقارن قطعه

ET برای بررسی تغییرات ضخامت قطعات
نازک مناسبتر است یا قطعات ضخیم؟

آزمون جریان گردابی (ET)

- انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)
- عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

تغییرات دمایی در سطح قطعه

تغییرات زبری در سطح قطعه

وجود پوشش در سطح قطعه

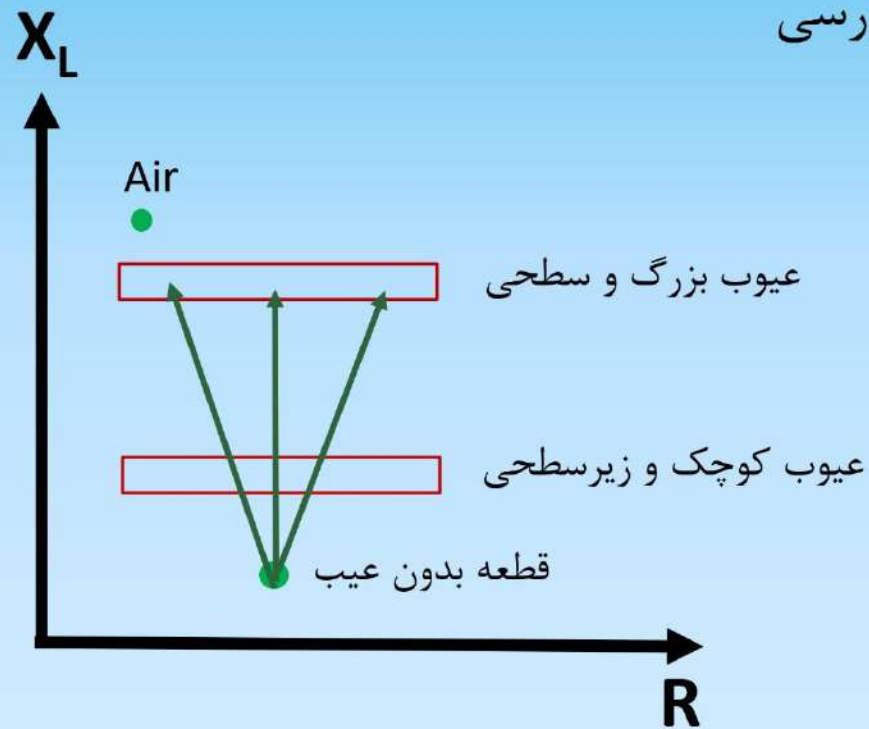
شرایط
سطحی
قطعه

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به قطعه تحت بازرسی

• وجود عیب در قطعه



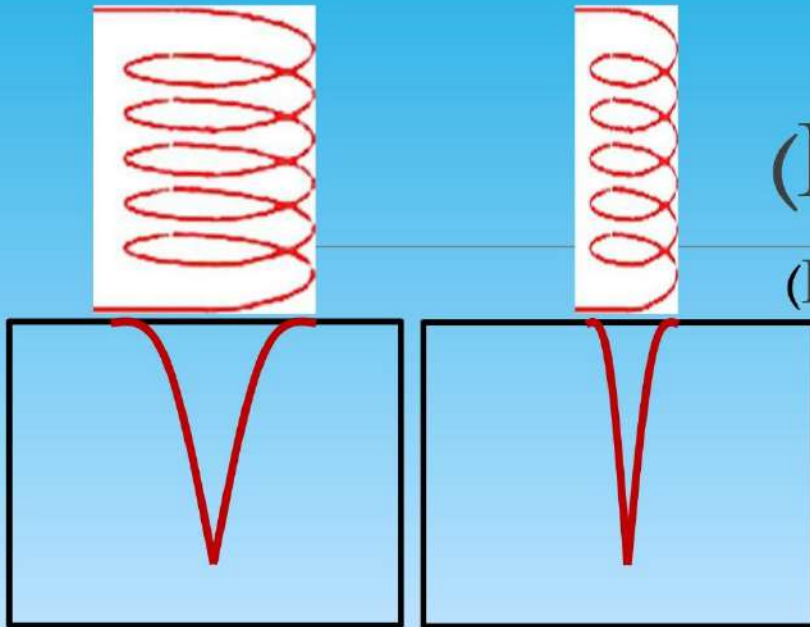
آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به شرایط انجام آزمایش

• قطر و تعداد دور سیم پیچ

قطر زیاد سیم پیچ ← بازرسی سریعتر سطوح

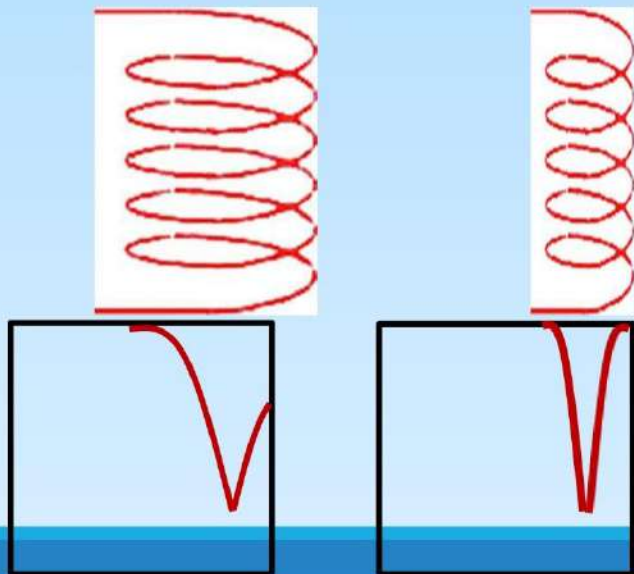


تشخیص دقیقتر محل عیب

قطر کم سیم پیچ

کاهش اثر لبه (Edge Effect)

• در روش ET حدود ۳.۲ میلیمتر (1/8 inch) فاصله از لبه های قطعه (گوشه های تیز) امکان بازرسی وجود ندارد.



افزایش شدت جریان در سیم پیچ

افزایش شدت میدان
مغناطیسی

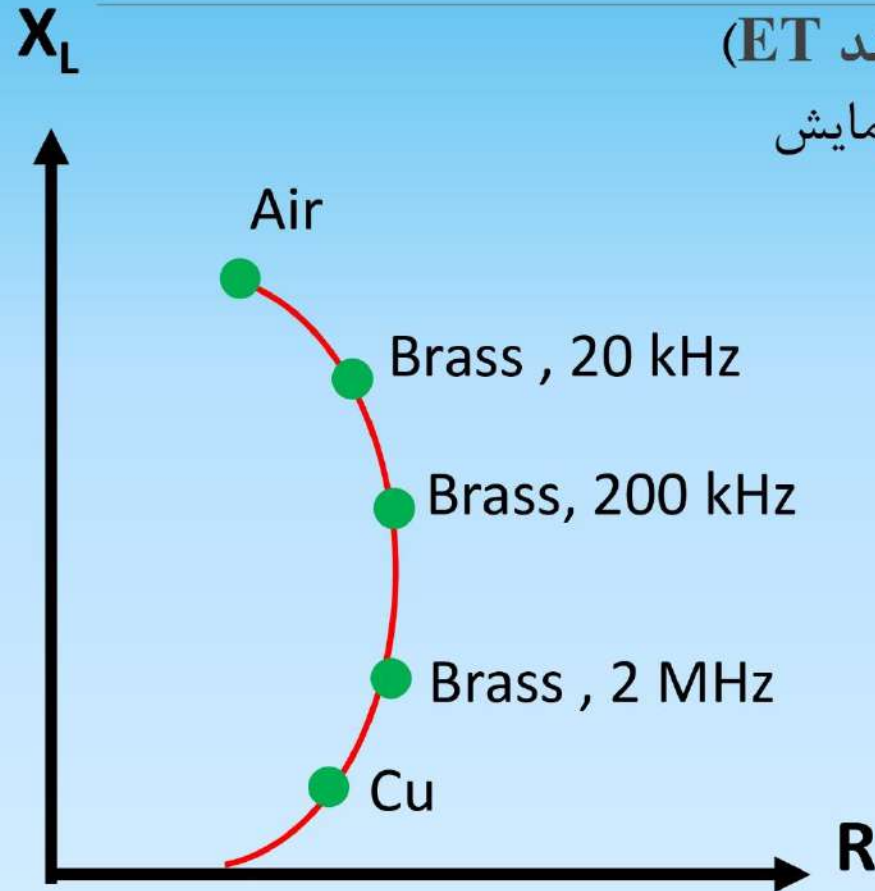
افزایش تعداد دور سیم پیچ

آزمون جریان گردابی (ET)

• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به شرایط انجام آزمایش

• فرکانس جریان مولد میدان

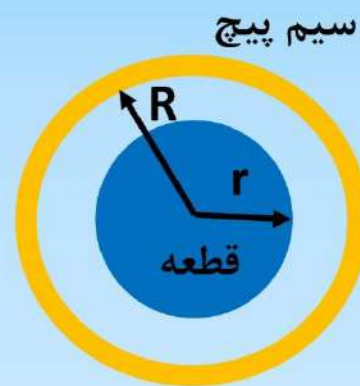
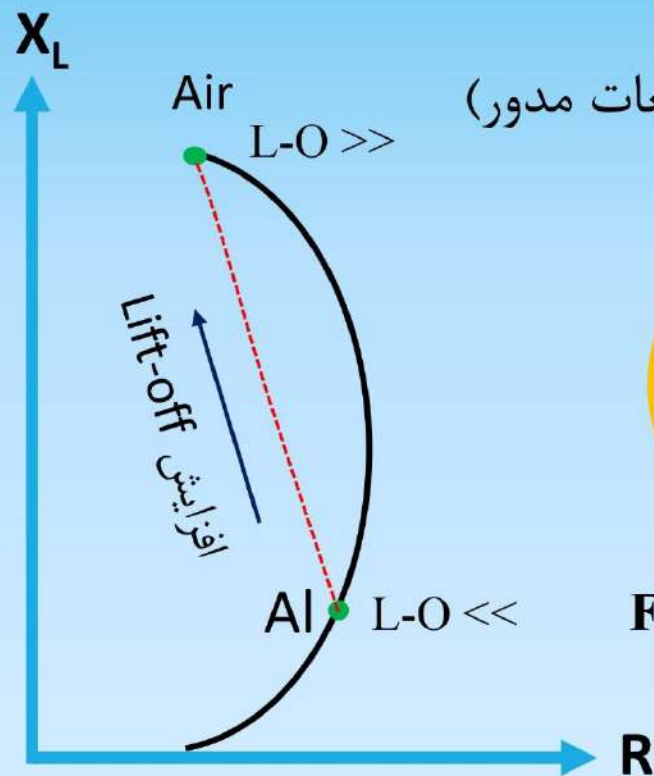


آزمون جریان گردابی (ET)

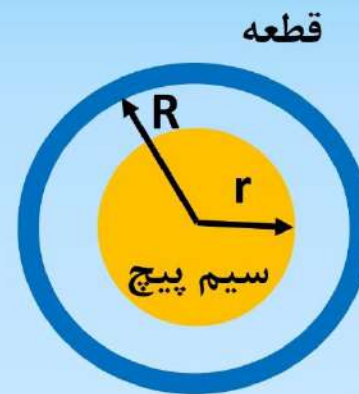
• انتخاب متغیرهای فرایند (مبانی فرایند ET)

• عوامل وابسته به شرایط انجام آزمایش

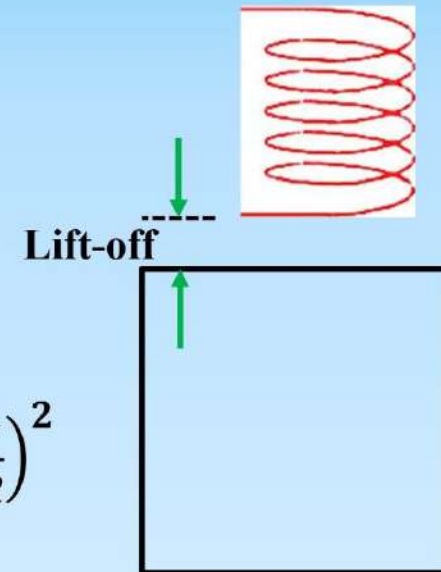
• Lift-off (قطعات تخت)، Fill Factor (قطعات مدور)



$$\text{Fill Factor} = \left(\frac{r}{R}\right)^2$$



$$\text{Fill Factor} = \left(\frac{r}{R}\right)^2$$



Lift-off $\approx 1 - 1.5$ mm



آزمون جریان گردابی (ET)

• کالیبراسیون تجهیزات

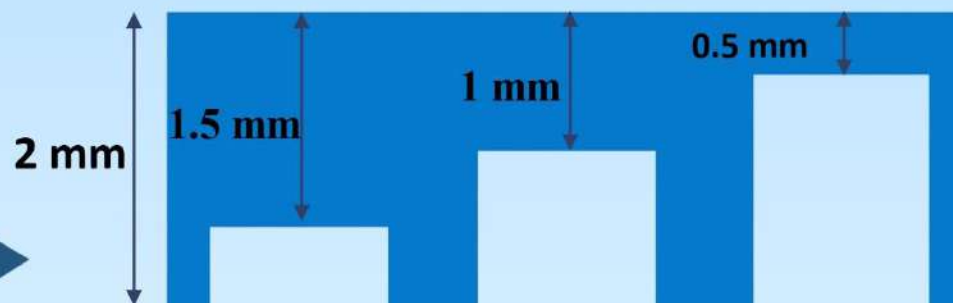
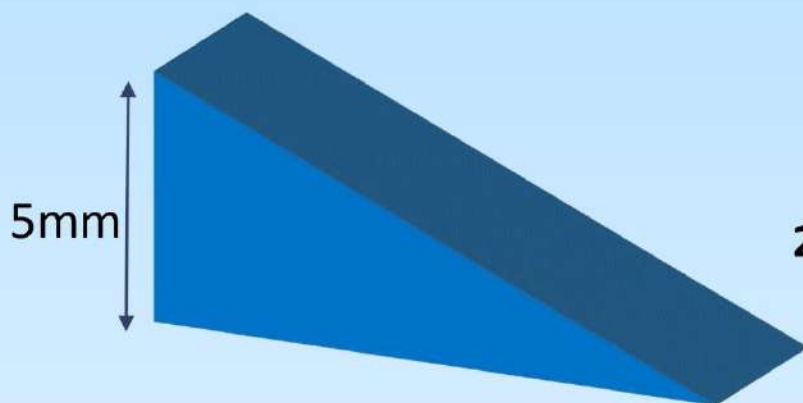
قطعات با ترکیب شیمیایی و عملیات ترمومکانیکال معین

هدف: ارزیابی خواص و ریزساختار مواد یا قطعات

قطعات گوه‌ای شکل یا قطعات با ضخامت مشخص

هدف: اندازه‌گیری ضخامت قطعه و بررسی میزان خوردگی

انواع قطعات مرجع
(Reference Block)



آزمون جریان گردابی (ET)

• کالیبراسیون تجهیزات

قطعات با ترکیب شیمیایی و عملیات ترمومکانیکال معین

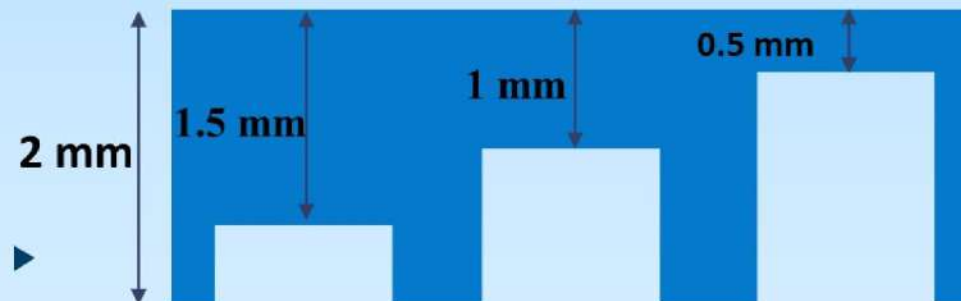
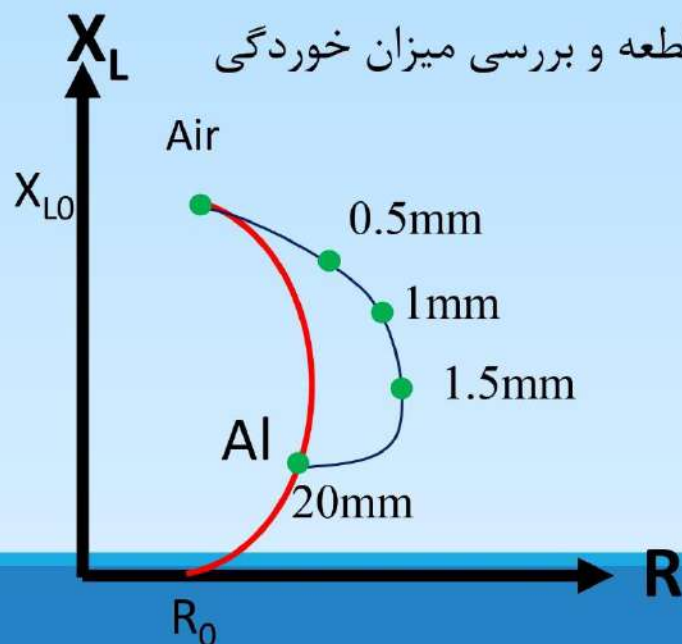
هدف: ارزیابی خواص و ریزساختار مواد یا قطعات

قطعات گوه‌ای شکل یا قطعات با ضخامت مشخص

هدف: اندازه‌گیری ضخامت قطعه و بررسی میزان خوردگی

انواع قطعات مرجع

(Reference Block)



آزمون جریان گردابی (ET)

• کالیبراسیون تجهیزات

قطعات با ترکیب شیمیایی و عملیات ترمومکانیکال معین

هدف: ارزیابی خواص و ریزساختار مواد یا قطعات

قطعات گوه‌ای شکل یا قطعات با ضخامت مشخص

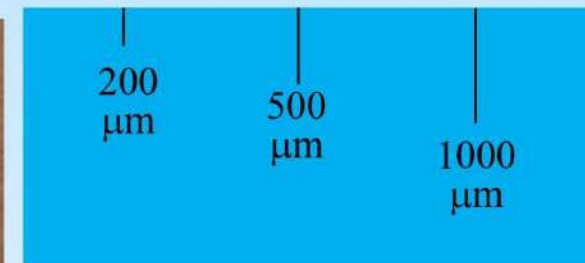
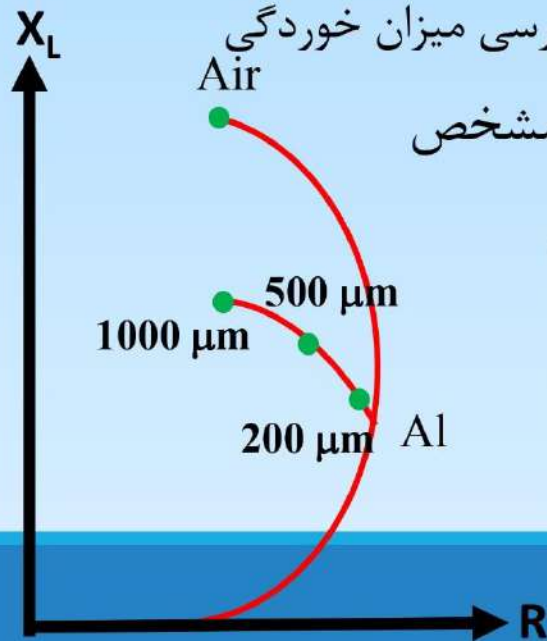
انواع قطعات مرجع

(Reference Block)

هدف: اندازه‌گیری ضخامت قطعه و بررسی میزان خوردگی

قطعات دارای عیوب با سایز و محل مشخص

هدف: تشخیص عیوب به صورت کمی



آزمون جریان گردابی (ET)

• کالیبراسیون تجهیزات



آزمون جریان گردابی (ET)

- کالیبراسیون تجهیزات

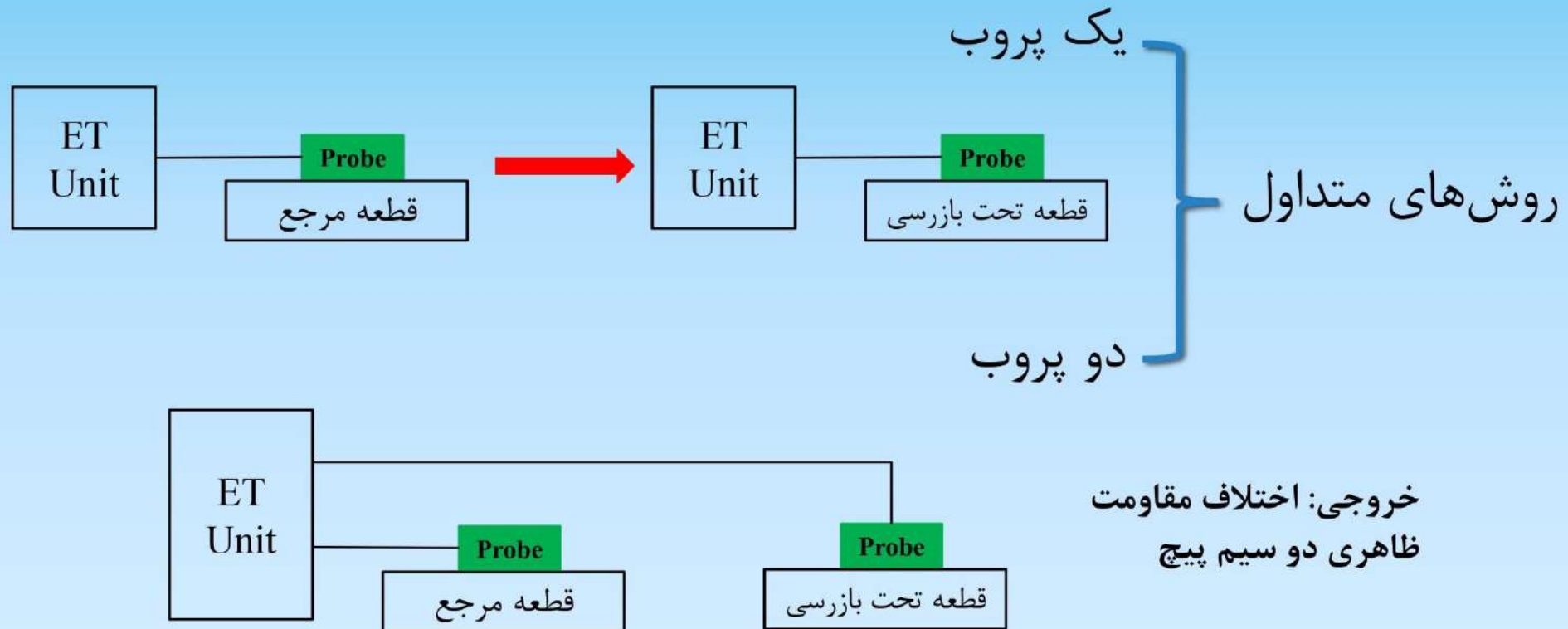


آزمون جریان گردابی (ET)



آزمون جریان گردابی (ET)

• انجام آزمون ET



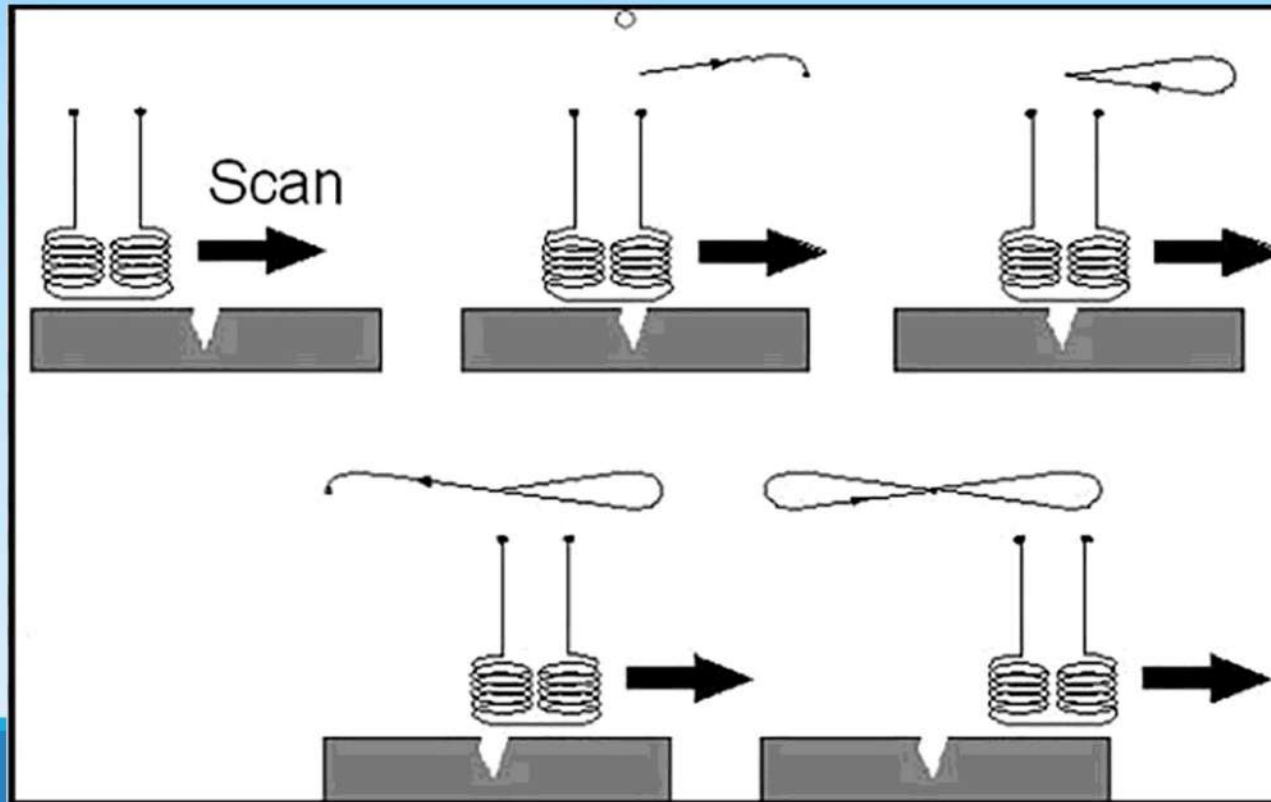
آزمون جریان گردابی (ET)

- انجام آزمون ET

- روش‌های ویژه

- روش تفاضلی

مناسب برای تشخیص عیوب کوچک موضعی



آزمون جریان گردابی (ET)

- انجام آزمون ET

- روش‌های ویژه

- روش چند فرکانسی

- در این روش از چند فرکانس مختلف حین آزمون استفاده می شود (V_1, V_2, V_3, V_4)



**هدف: حذف اثر قطعات
هادی جریان در مجاورت
قطعه اصلی تحت بازرسی**

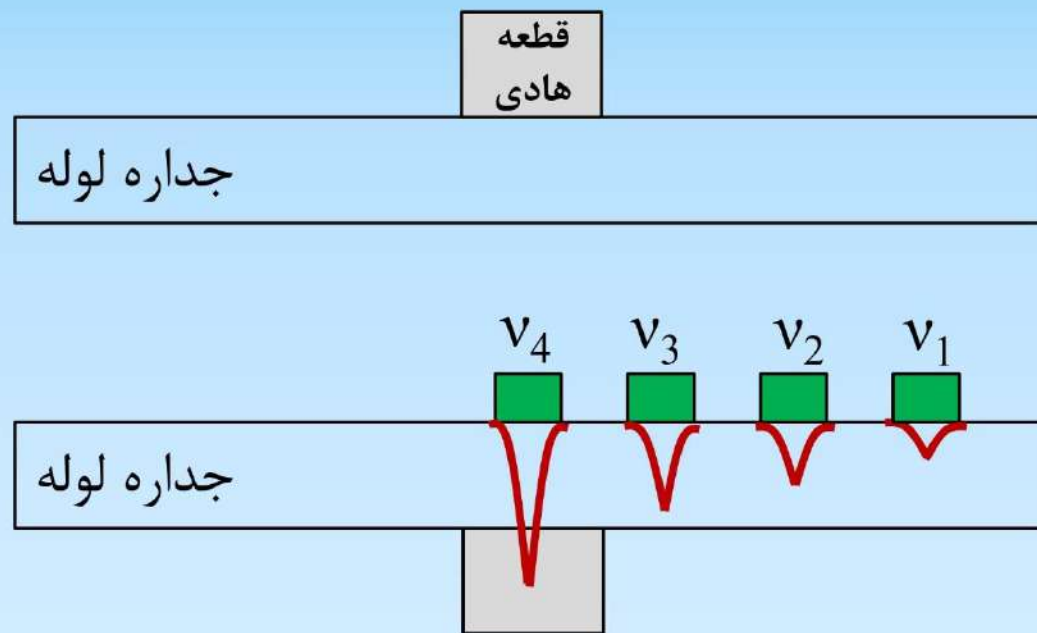
آزمون جریان گردابی (ET)

• انجام آزمون ET

• روش‌های ویژه

• روش چند فرکانسی

$$v_1 > v_2 > v_3 > v_4$$



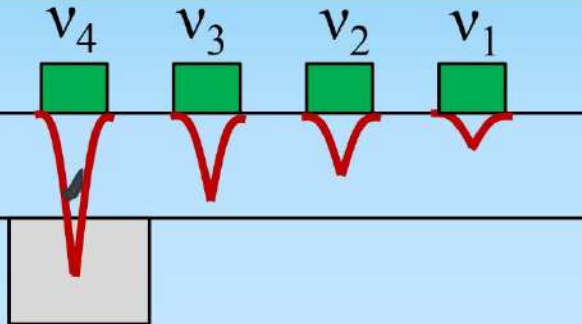
آزمون جریان گردابی (ET)

$$v_1 > v_2 > v_3 > v_4$$

قطعه
هادی

جداره لوله

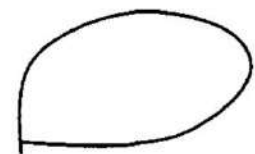
جداره لوله



• انجام آزمون ET

• روش‌های ویژه

• روش چند فرکانسی



Support Plate Edge

v_3
+
+



Defect

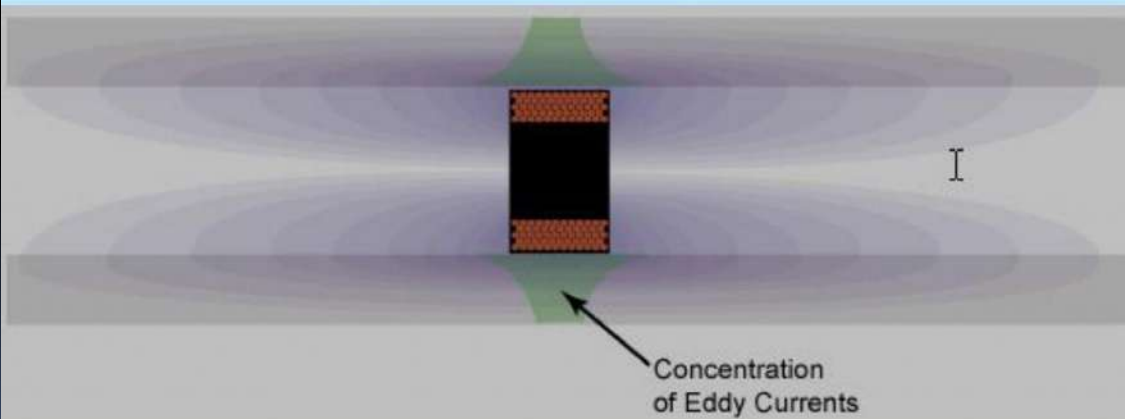
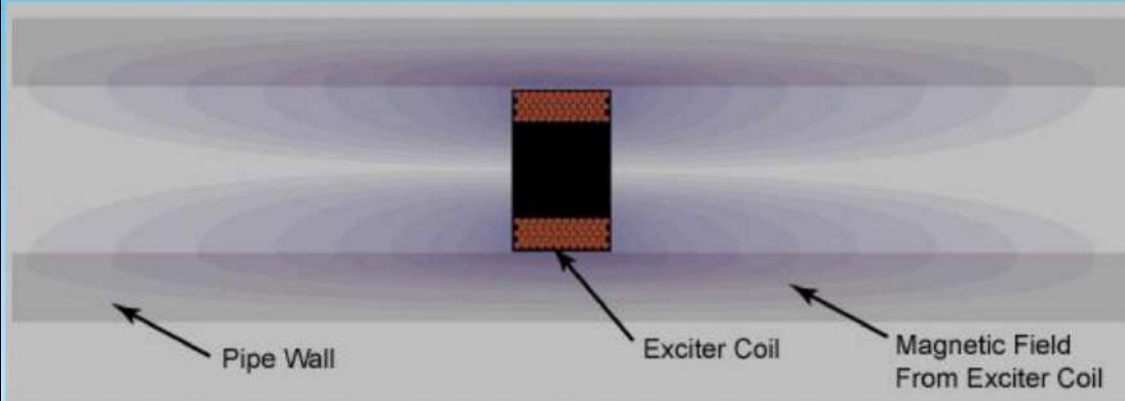
=
=

v_4



Addition

آزمون جریان گردابی (ET)



- انجام آزمون ET

- روش‌های ویژه

- Remote Field low Frequency

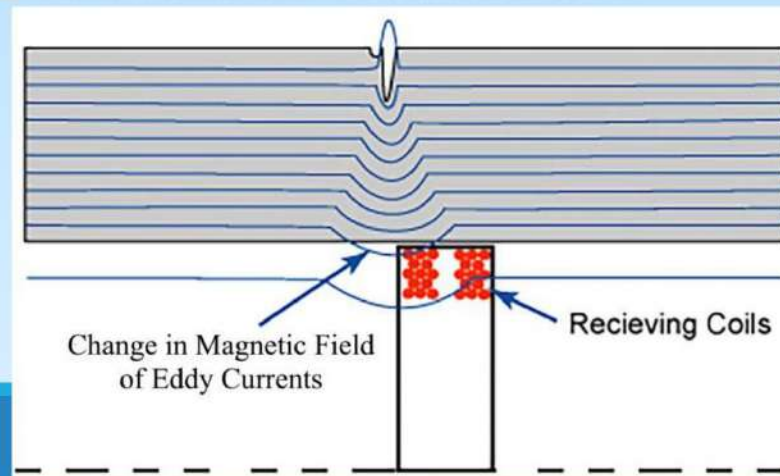
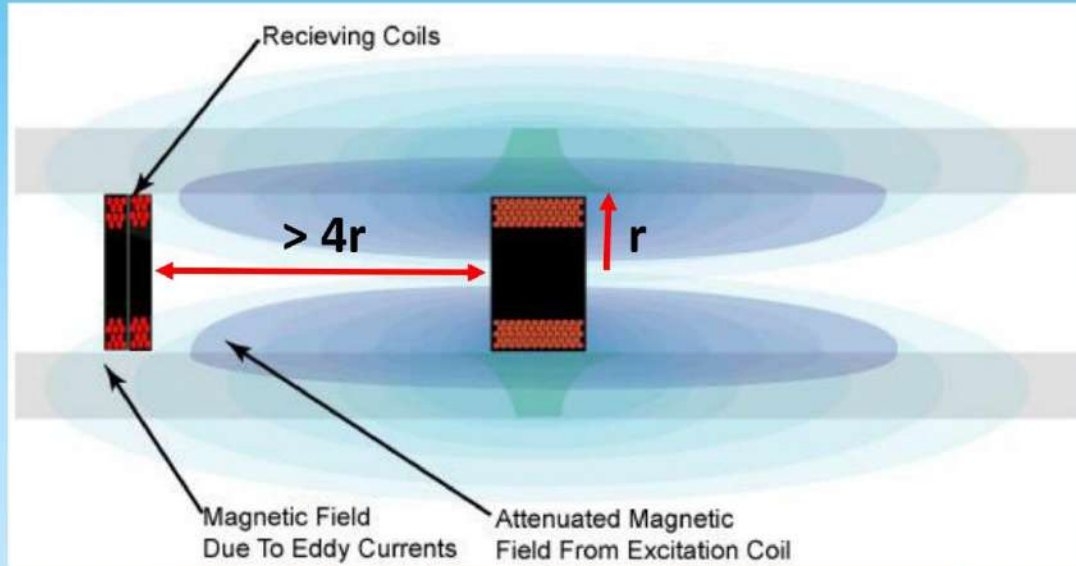
کاربرد در بازرسی لوله های
بزرگ فرو مغناطیس

آزمون جریان گردابی (ET)

- انجام آزمون ET

- روش‌های ویژه

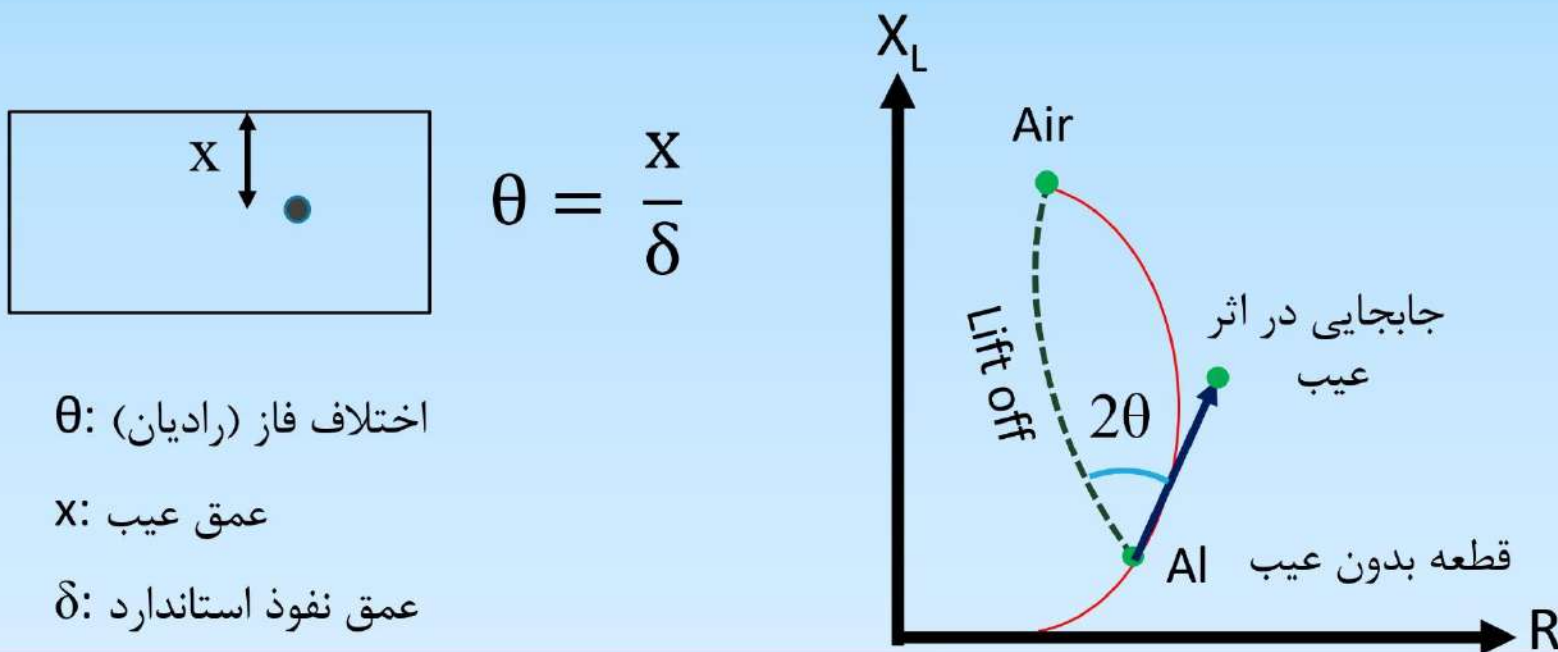
- Remote Field low Frequency



آزمون جریان گردابی (ET)

• تفسیر نتایج

- تعیین عمق عیب: با استفاده از پارامتر تاخیر فازی (Phase Lag) انجام می شود.
- Phase Lag: اختلاف فاز بین پاسخ جریان ادی از یک عیب در سطح قطعه و یک عیب در عمق قطعه



آزمون جریان گردابی (ET)



آزمون جریان گردابی (ET)

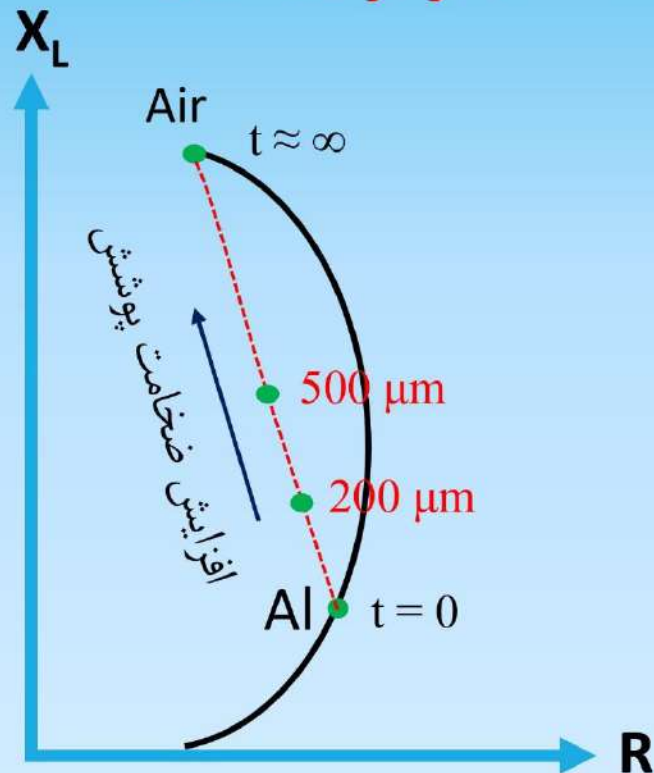
- کاربردهای روش ET

- اندازه‌گیری ضخامت پوشش

- پوشش عایق روی قطعه هادی جریان

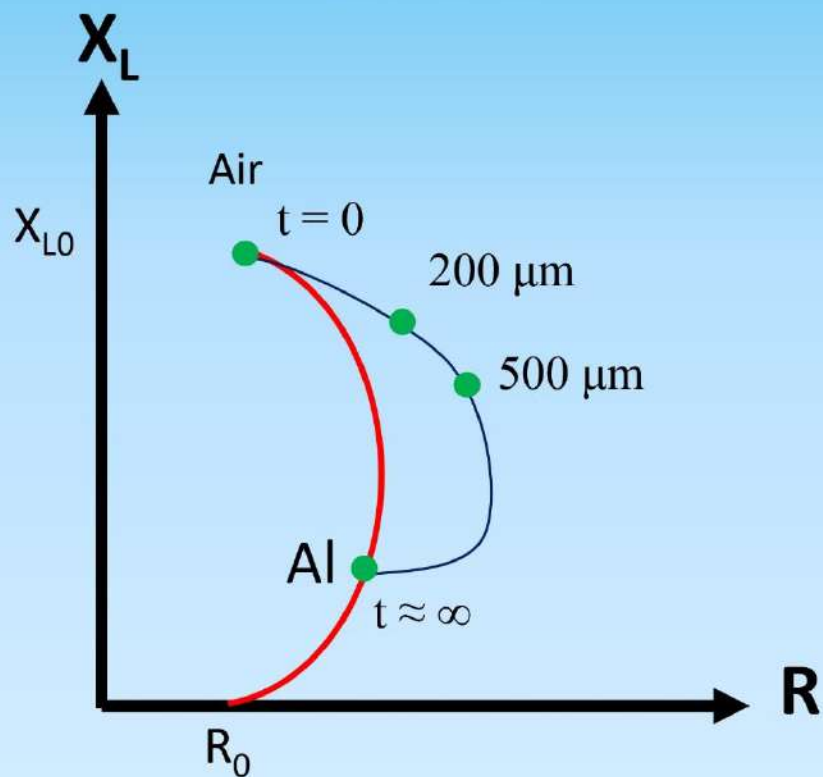


استفاده از اثر Lift-off



آزمون جریان گردابی (ET)

استفاده از اثر تغییر ضخامت



• کاربردهای روش ET

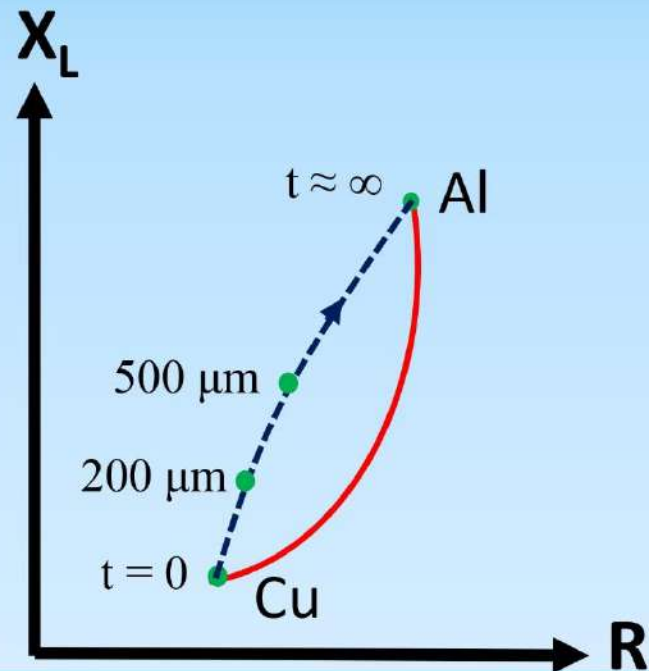
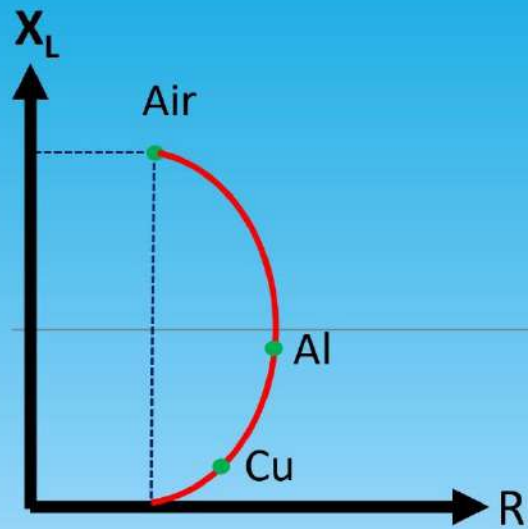
- اندازه‌گیری ضخامت پوشش
- پوشش هادی روی قطعه عایق



آزمون جریان گردابی (ET)

• کاربردهای روش ET

- اندازه‌گیری ضخامت پوشش
- پوشش هادی روی قطعه هادی



آزمون جریان گردابی (ET)

- قابلیت تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی (به صورت کمی)
 - انعطاف پذیری روش برای کاربردهای مختلف
 - قابلیت انجام آزمون در دمای بالا
 - سرعت بالا و قابلیت اتوماسیون
- مزایا

آزمون جریان گردابی (ET)



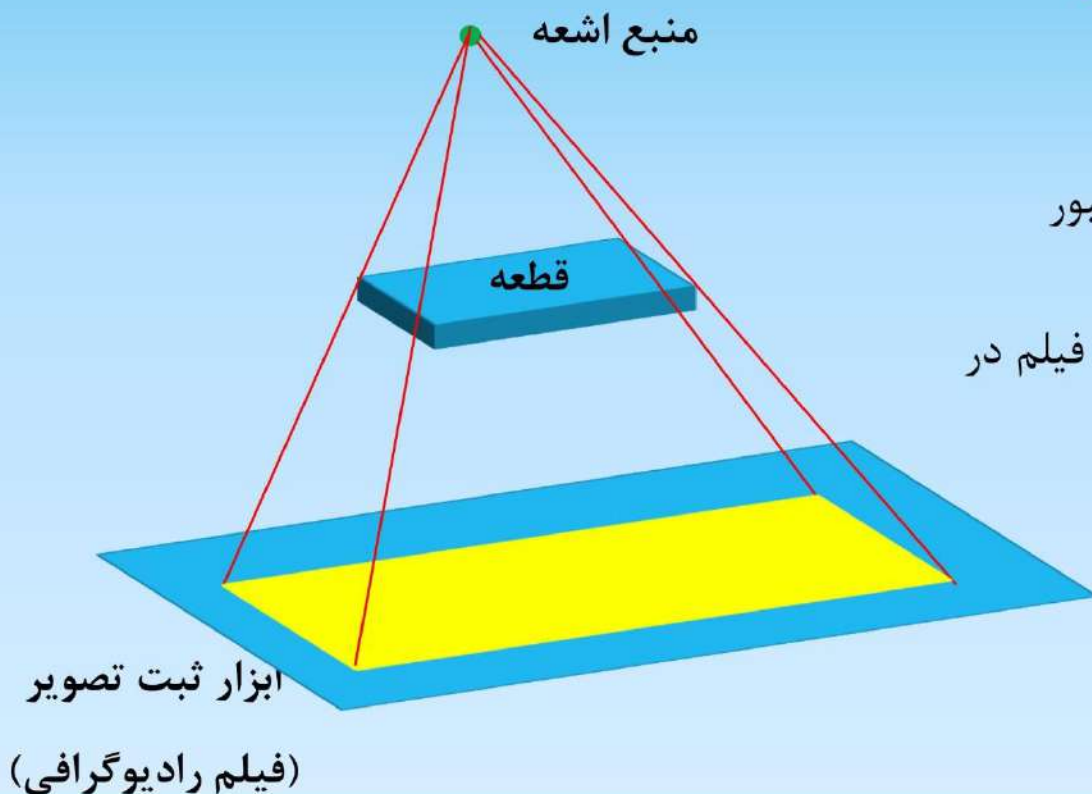
آزمون رادیوگرافی (Radiography Test: RT)

- تاریخچه
- ۱۸۹۵: کشف اشعه X
 - ۱۸۹۶: استفاده از اشعه X برای آزمون غیرمخرب
 - ۱۹۱۳: لامپ تولید اشعه X با ولتاژ 100 kV
 - ۱۹۳۱: لامپ با ولتاژ 1MV، ورود RT به استانداردهای ASME و BS
 - ۱۹۶۰: لامپ اشعه X، با ولتاژ 15MV و بازرسی قطعات ضخیم (بیشتر از ۳۰ سانتی متر)

آزمون رادیوگرافی (RT)

• کلیات روش RT:

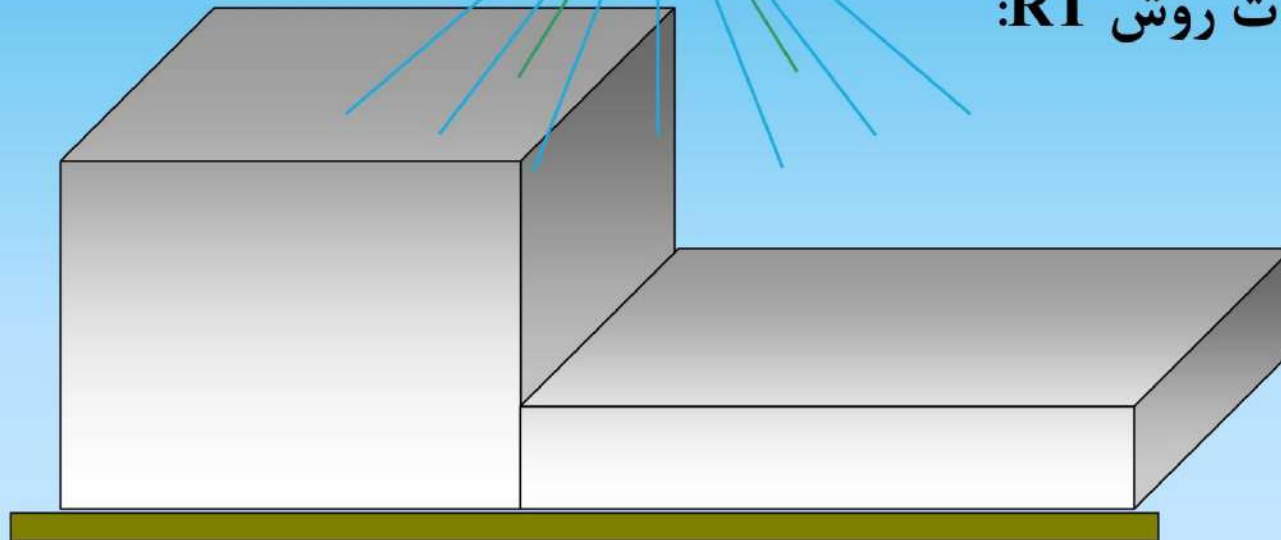
• مناسب برای تشخیص عیوب عمقی قطعات



- برخورد اشعه پرنرژی به قطعه
- جذب بخشی از اشعه در قطعه و عبور بخش دیگری از آن از قطعه
- تفاوت در میزان اشعه برخوردی به فیلم در نقاط مختلف آن
- ایجاد تصویر قطعه روی فیلم



آزمون رادیوگرافی (RT)
• کلیات روش RT:

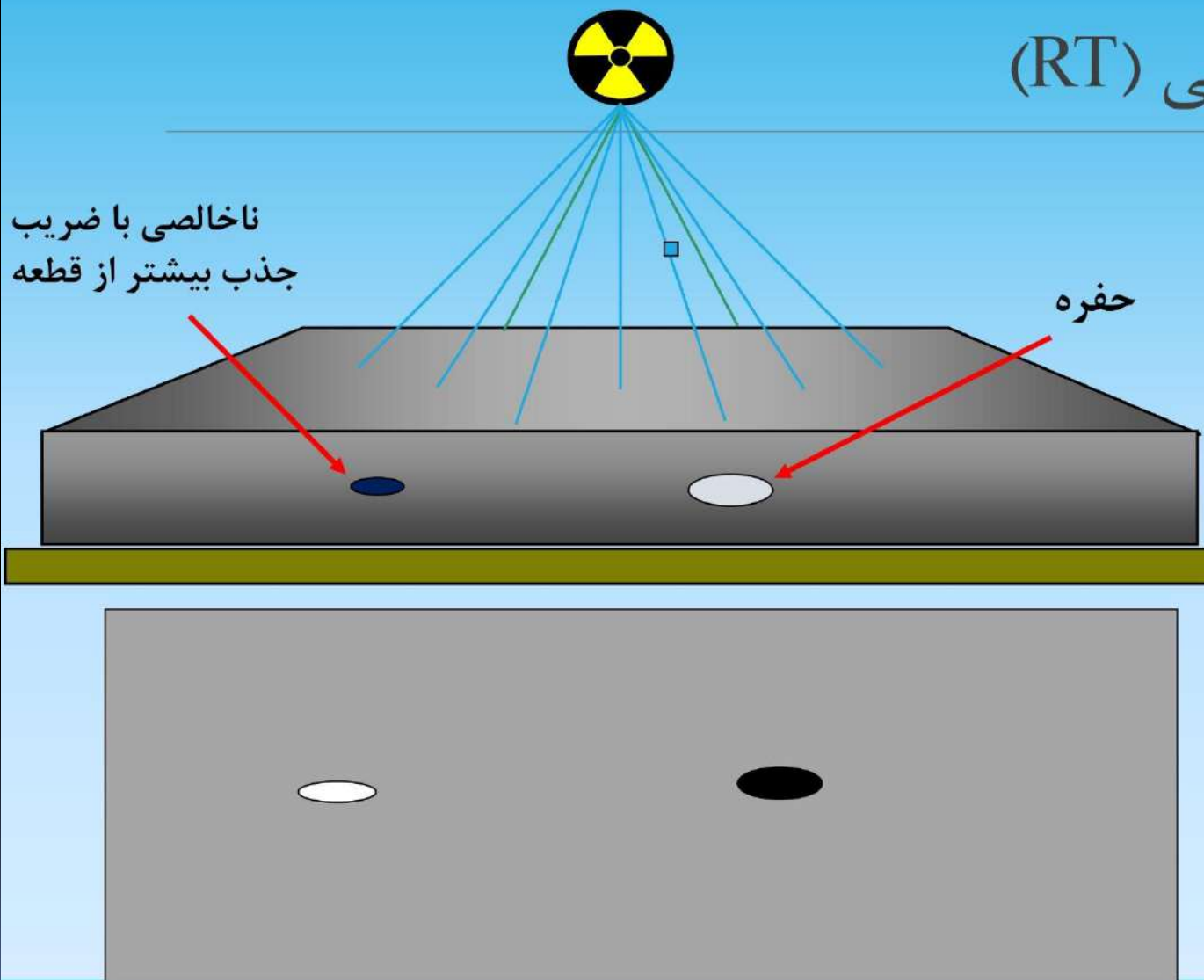


Film



آزمون رادیوگرافی (RT)

• کلیات روش RT:



• آیا عمق عیوب را در روش RT می توان تعیین کرد؟

آزمون رادیوگرافی (RT)

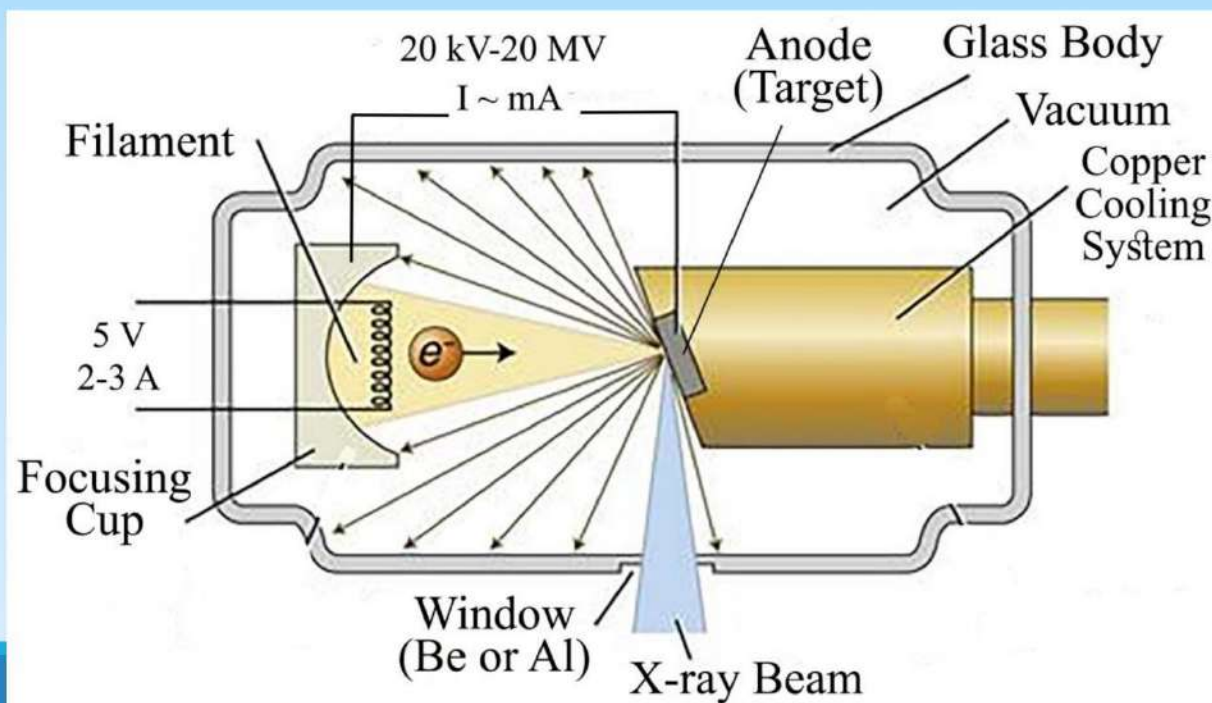


آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه X

• موج الکترومغناطیس با طول موج کم و انرژی زیاد

• نحوه تولید: لامپ اشعه X



$$E = e V = \frac{1}{2} m v^2$$

جریان رشته تنگستنی

جریان لامپ

ولتاژ لامپ

آزمون رادیوگرافی (RT)

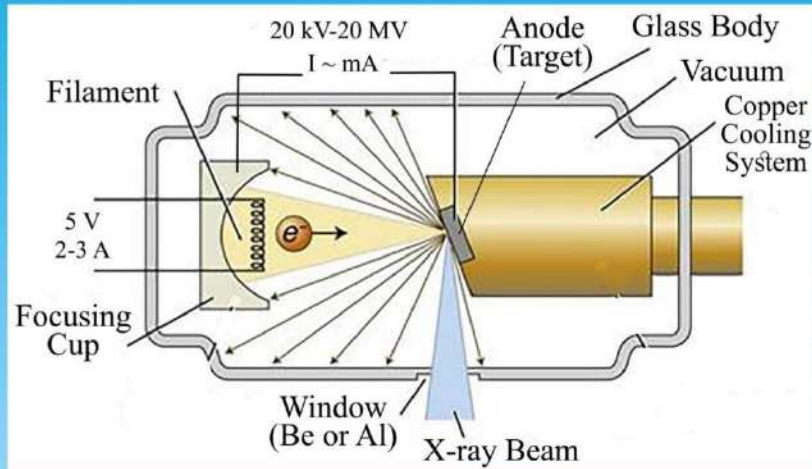
• اشعه X

• نحوه تولید

طیف پیوسته (Continuous Spectrum)، طیف سفید (White S.)،
تابش ترمزی (Braking Radiation)

طیف مشخصه - ویژه (Characteristic Spectrum)

اشعه X

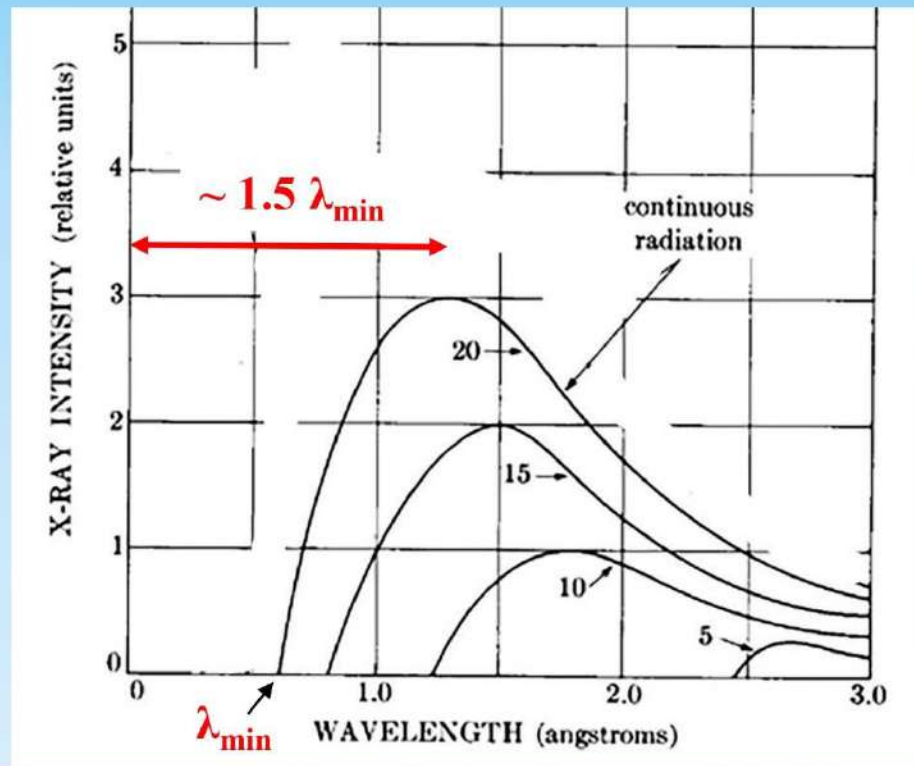


آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه X

• نحوه تولید

• طیف پیوسته



$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

انرژی اشعه (فوتون): E

h: ثابت پلانک

c: سرعت نور

ν : فرکانس اشعه

λ : طول موج اشعه

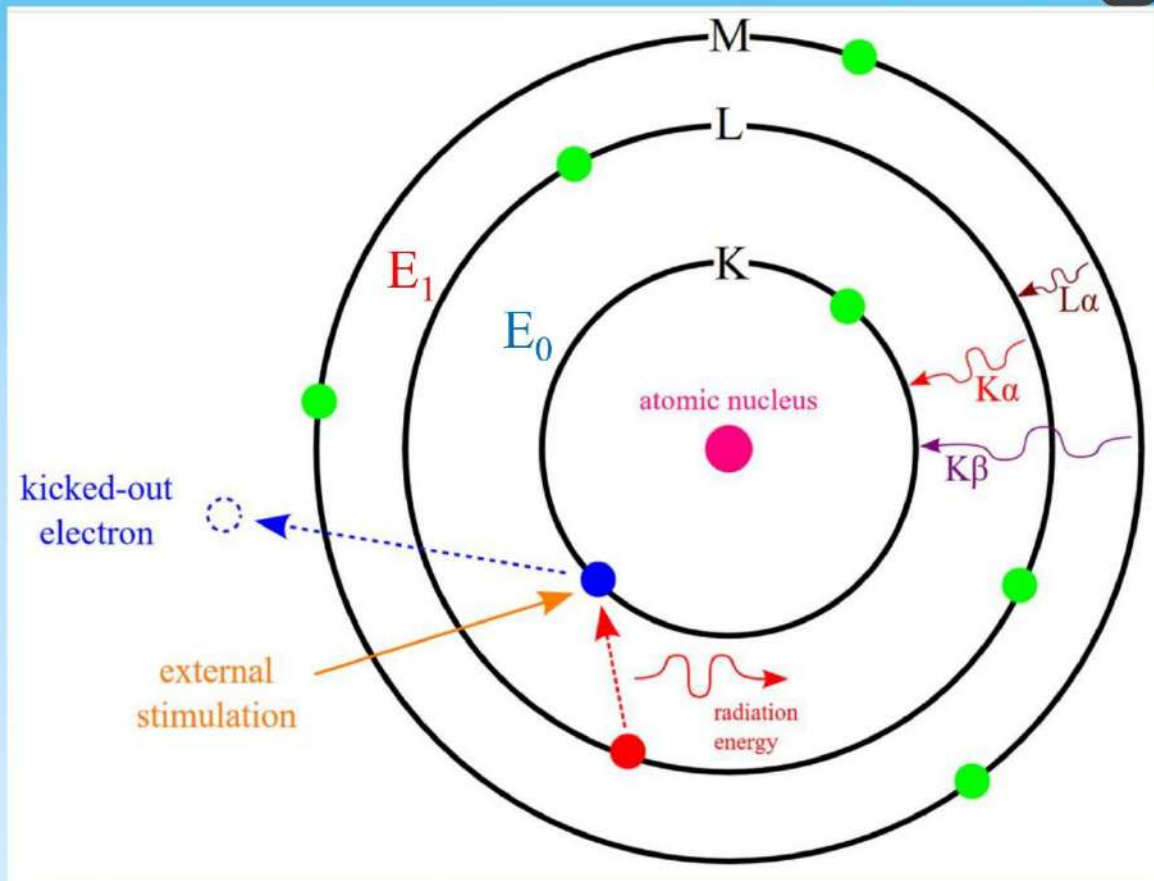
- اگر الکترون در یک برخورد، همه انرژی خود را

از دست بدهد:

$$E = eV = h\nu_{\max} = h \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)



• اشعه X

• نحوه تولید

• طیف ویژه

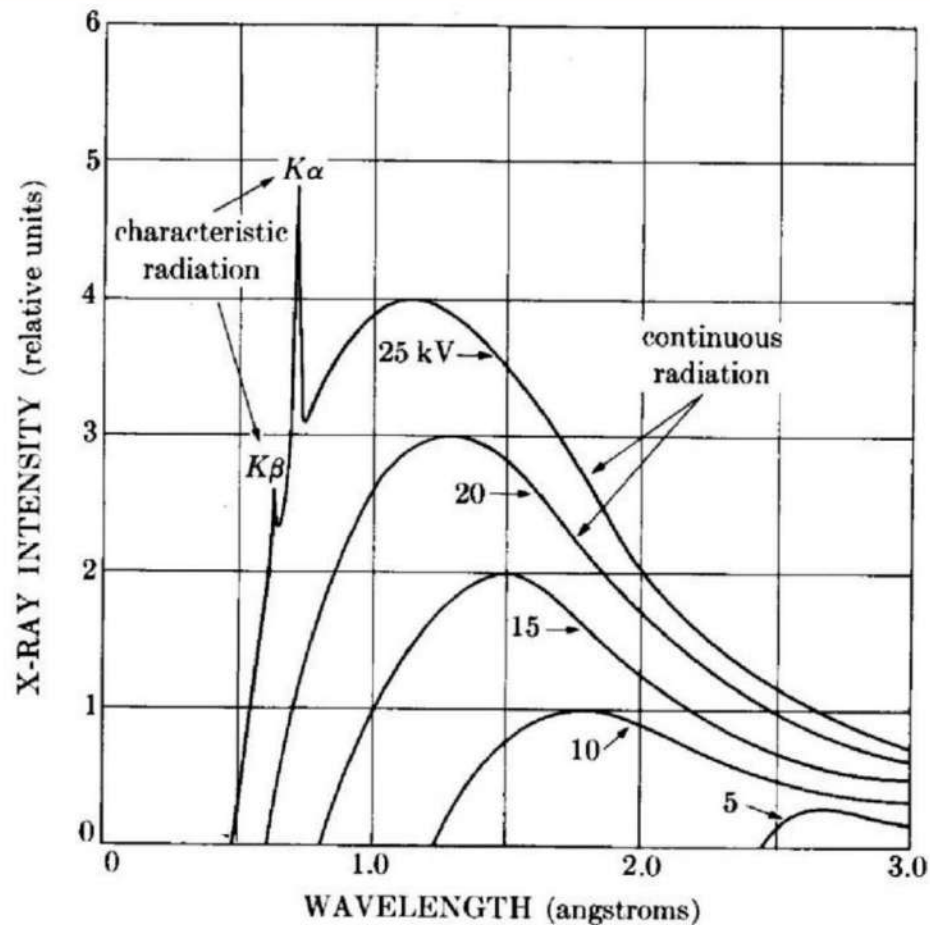
$$\Delta E = E_1 - E_0 = K_{\alpha}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه X

• نحوه تولید

• طیف ویژه

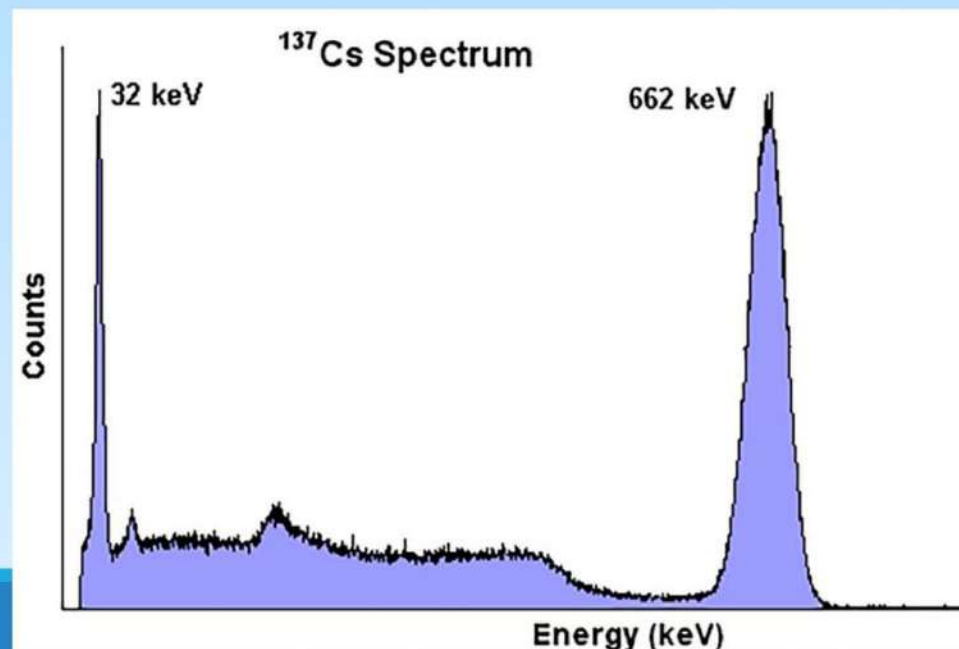
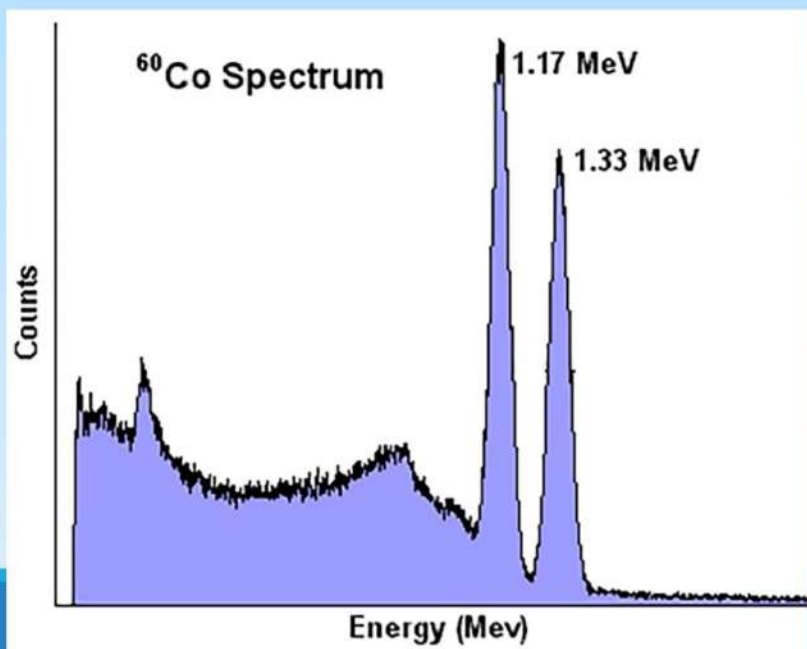


آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه γ

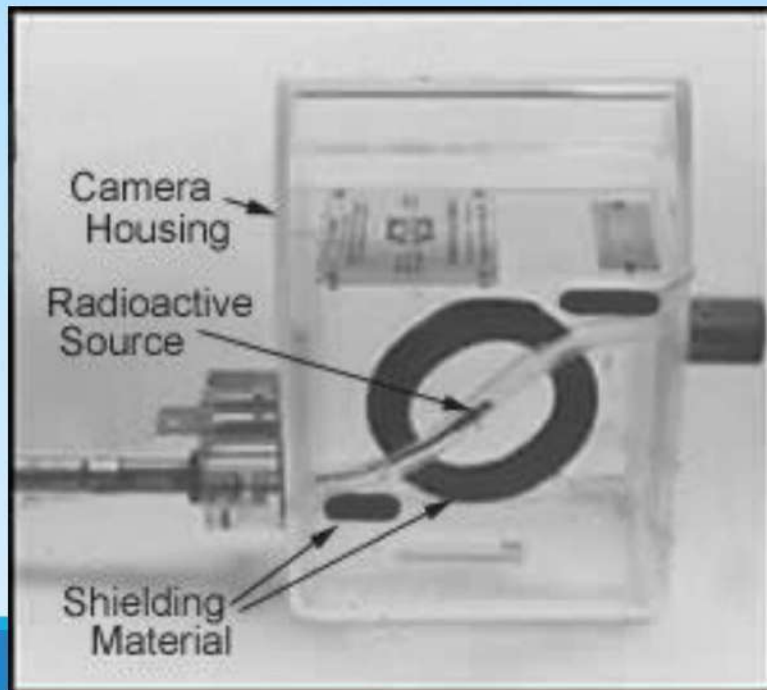
- موج الکترومغناطیس که از تجزیه یا فروپاشی هسته ایزوتوپ های رادیواکتیو تولید می شود.
- ایزوتوپ های متداول در رادیوگرافی: ^{60}Co ، ^{137}Cs و ^{192}Ir

انرژی اشعه γ : وابسته به ساختار اتم



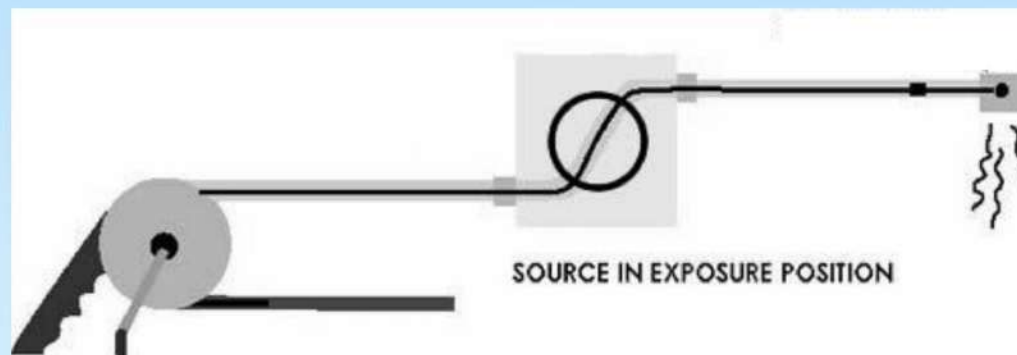
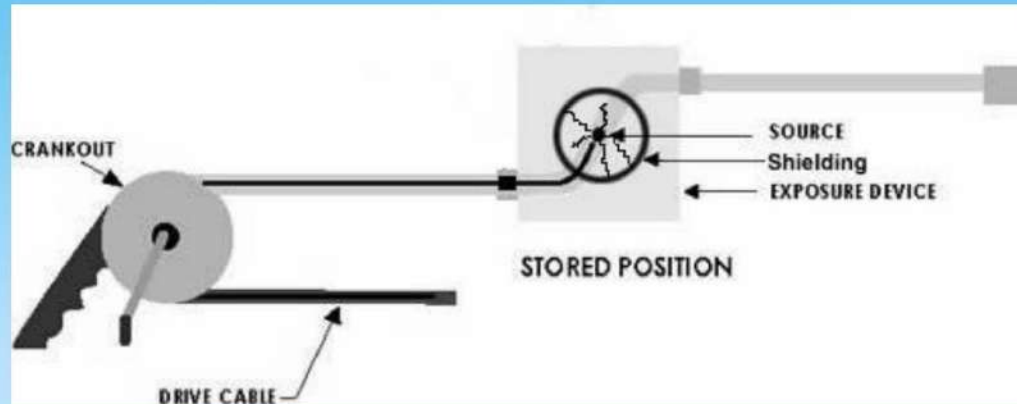
آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه γ



آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه γ



آزمون رادیوگرافی (RT)

• اشعه γ

- نیمه عمر (τ): زمانی است که در آن تعداد تجزیه هسته در واحد زمان به میزان نصف تعداد تجزیه هسته در واحد زمان در زمان صفر می رسد.

Isotope	Half-life
Ir-192	74 days
Co-60	5.3 years
Cs-137	30.2 years

$$N_t = N_0 \exp \left(\frac{-0.693 t}{\tau} \right)$$

N_t : تعداد تجزیه هسته در واحد زمان در زمان t

N_0 : تعداد تجزیه هسته در واحد زمان در زمان صفر

$$I_t = I_0 \exp \left(\frac{-0.693 t}{\tau} \right)$$

I_t : شدت اشعه γ در زمان t

I_0 : شدت اشعه γ در زمان صفر

آزمون رادیوگرافی (RT)

- ۱- عدم نیاز به منبع تولید جریان الکتریکی با ولتاژ بالا در تولید اشعه γ
 - ۲- تجهیزات کوچک تر و کم هزینه تر تولید اشعه γ
 - ۳- کنترل زمان پرتودهی در اشعه X
 - ۴- وجود نیمه عمر در ایزوتوپ های اشعه γ و کاهش شدت تدریجی پرتوی γ
 - ۵- امکان کنترل انرژی و شدت اشعه X با ولتاژ و جریان لامپ
- مقایسه کاربرد
اشعه X با γ در RT

آزمون رادیوگرافی (RT)

۱- بازرسی چشمی قطعه (تعیین محل قرارگیری فیلم اشعه X و جهت تابش اشعه)

۲- تعیین متغیرهای فرایند (ولتاژ لامپ، نوع ایزوتوپ γ ، فاصله قطعه تا فیلم، نوع مدیا برای ثبت تصویر و ...)

۳- پرتوافشانی و ثبت تصویر (ثبت دائمی تصویر، ثبت لحظه ای تصویر)

۴- تفسیر نتایج (عیوب قطعه، علایم مصنوعی: Artifacts)

مراحل روش RT

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• بازرسی چشمی قطعه

نوع ماده، شرایط تولید قطعه و شرایط سرویس قطعه

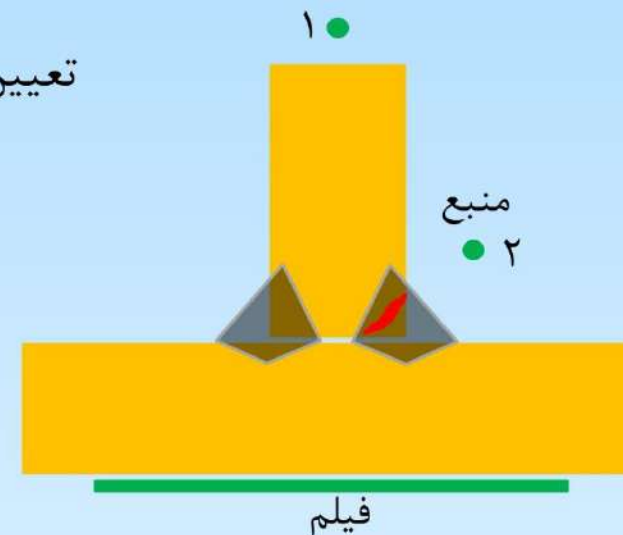


اندازه و محل و راستای احتمالی عیوب



تعیین محل قرارگیری منبع، فیلم و جهت تابش اشعه

پس از تعیین محل منبع و فیلم (ضخامت قطعه در برابر اشعه)،
ولتاژ لامپ اشعه X، نوع ایزوتوپ رادیو اکتیو و زمان پرتودهی
تعیین می شود.



آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

- مقدار اشعه (Radiation Quantity)
- دز اشعه (Radiation Dose)
- پرتودهی اشعه (Radiation Exposure)

- تعیین متغیرهای فرایند
- واحدها

رنتگن (Roentgen): میزان اشعه ای است که اگر به یک سانتیمتر مکعب از هوای خشک در دما و فشار استاندارد برخورد کند، به میزان 1 esu ($3.33 \times 10^{-10} \text{ C}$)، بار الکتریکی تولید کند.

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- تعیین متغیرهای فرایند
- واحدها
- میزان جذب اشعه (Radiation Absorbed Dose: RAD)

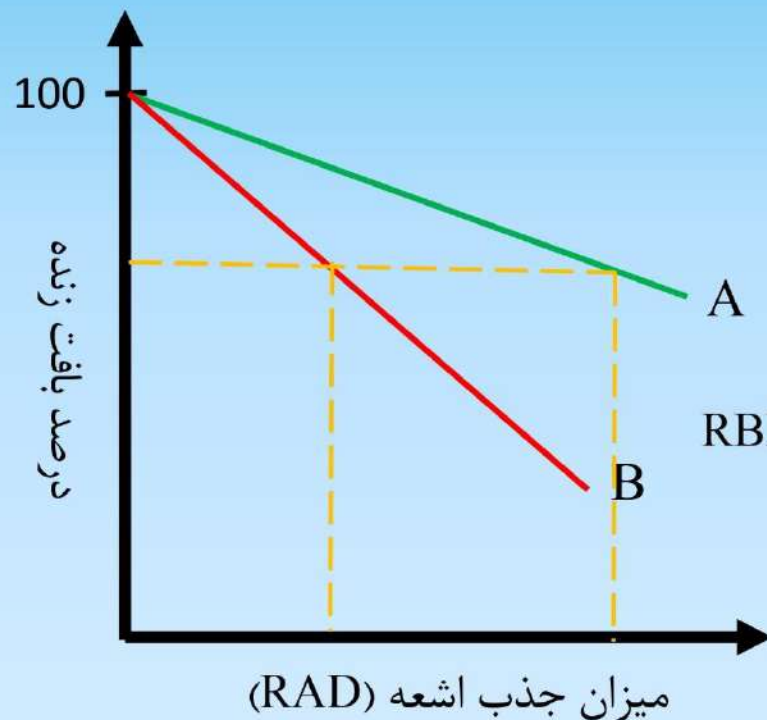
RAD: جذب 0.01 J در کیلوگرم از ماده ای که اشعه به آن برخورد کرده است.

$$1 \text{ RAD} = \frac{0.01 \text{ J}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ Gray} = \frac{1 \text{ J}}{\text{kg}}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- اثر بیولوژیکی نسبی (Relative Biological Effectiveness: RBE)
- تعیین متغیرهای فرایند
- واحدها



$$RBE = \frac{\text{میزان RAD برای اشعه X با انرژی ۲۵۰ keV}}{\text{میزان RAD برای اشعه مورد بررسی با همان میزان اثر بیولوژیکی اشعه X با انرژی ۲۵۰ keV}}$$

↑ RBE
اشعه خطرناکتر

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• (Roentgen Equivalent Man: REM)

• تعیین متغیرهای فرایند

• واحدها

$$\text{REM} = \text{RBE} * \text{RAD}$$

$$\text{Sievert (Sv)} = \text{RBE} * \text{Gray}$$

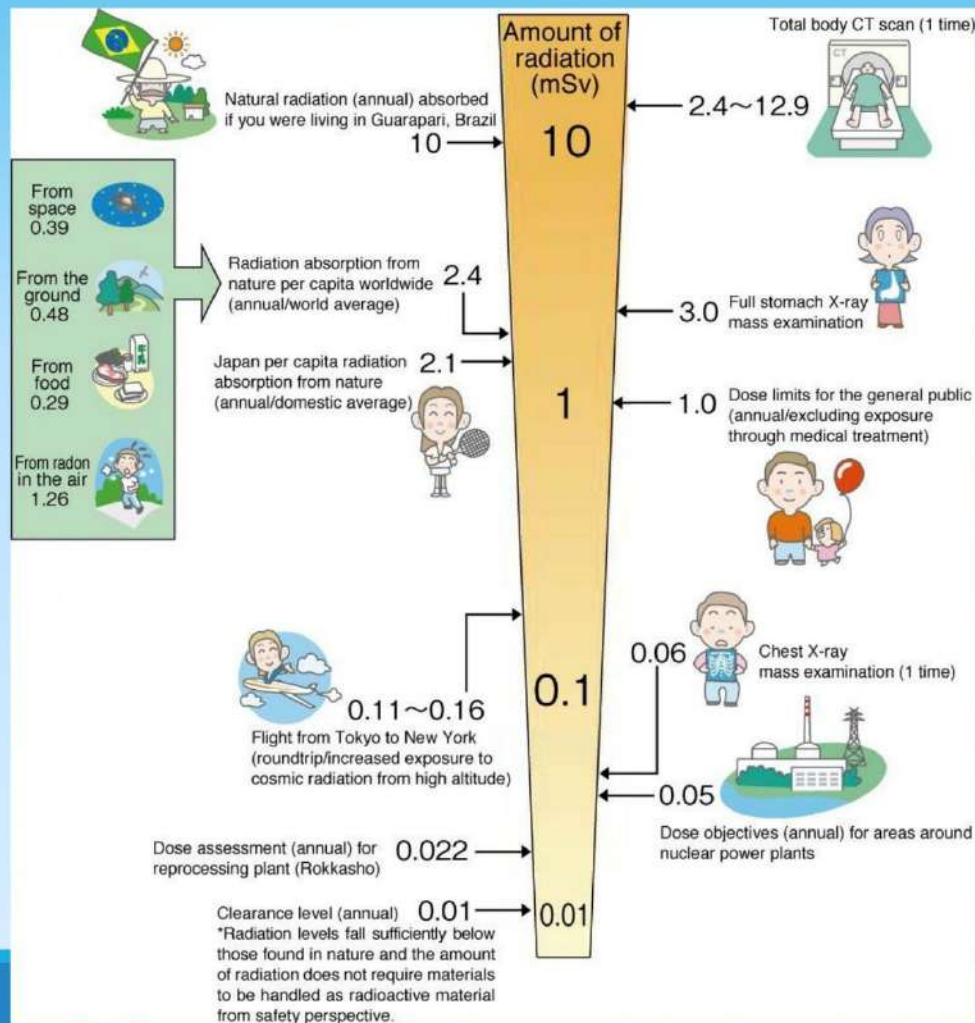
Dose	Acute Effect	(e.g., increased lifetime cancer risk)
<5 rem (<50 mSv)	Regulatory limit for annual occupational exposure; no injury/symptoms	None
< 10 rem (100 mSv)	No detectable injury or symptoms	No expected illnesses
10-50 rem (100-500 mSv)	Possible blood cell effects at ~50 rem	Possible slight increased risk of cancer (~1 in 250 lifetime increased risk)
50-100 rem (500-1000 mSv)	Likely blood cell effects.	Possible increased risk of cancer (~1 in 125 lifetime increased risk)
100-300 rem (1000-3000 mSv)	Nausea and fatigue; temporary drop in production of new blood cells.	Increased risk of cancer (~1 in 30 lifetime increased risk)
300-500 rem (3000-5000 mSv)	Nausea, vomiting, diarrhea within a few hours; loss of hair and appetite within a week; approximately half the exposed population will die without treatment.	Increased risk of cancer (~1 in 25 lifetime increased risk)
500-1200 rem (5000-12000 mSv)	Likely fatal within a few days	None – fatal

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• واحدها



آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

- اکتیویته (Activity): تعداد تجزیه هسته (ایزوتوپ رادیواکتیو) در واحد زمان را نشان می دهد.

- تعیین متغیرهای فرایند
- واحدها

$$1 \text{ Curie (Ci)} = 3.7 * 10^{10} \frac{\text{تجزیه}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ Rutherford (Rd)} = 10^6 \frac{\text{تجزیه}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ Becquerel (Bq)} = 1 \frac{\text{تجزیه}}{\text{s}}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند

- مکانیزم‌های افت یا تضعیف اشعه (Attenuation) در ماده

جذب (Absorption): باعث ایجاد کنتراست در تصویر قطعه می شود.

- میزان جذب تابع ترکیب شیمیایی و ضخامت قطعه است.

پراکندگی (Scattering): باعث کاهش کنتراست در تصویر قطعه می شود.

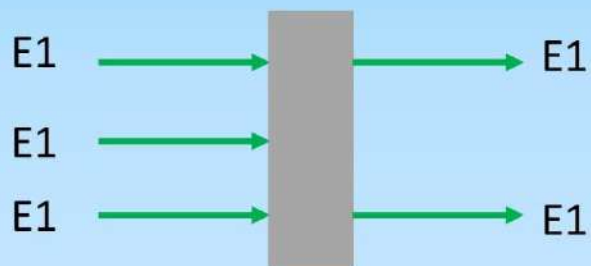
جذب
پراکندگی

آزمون رادیوگرافی (RT)

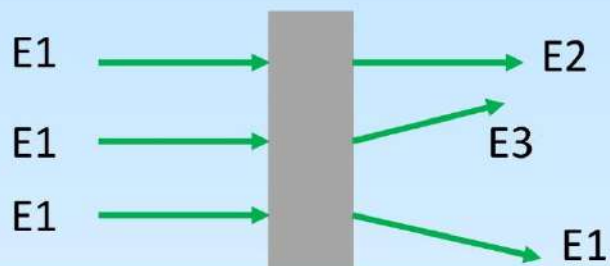
- مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند

- مکانیزم‌های افت یا تضعیف اشعه (Attenuation) در ماده



جذب



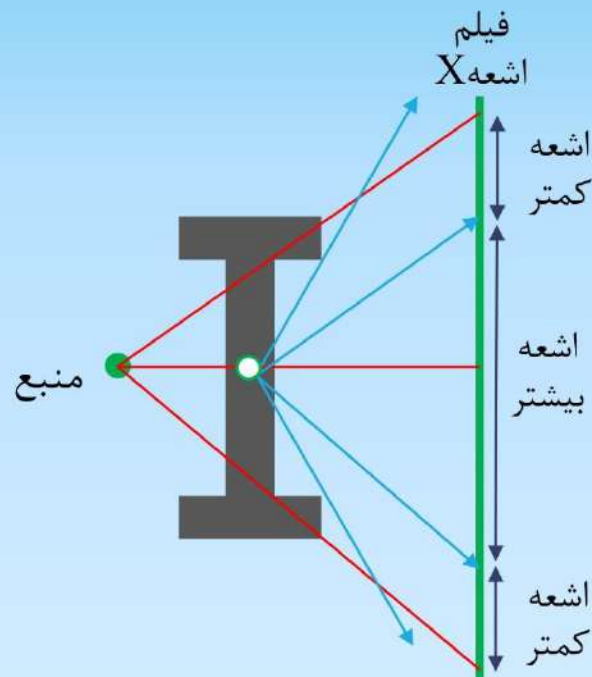
پراکندگی

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند

- مکانیزم‌های افت یا تضعیف اشعه (Attenuation) در ماده

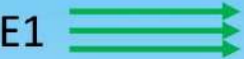


آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده

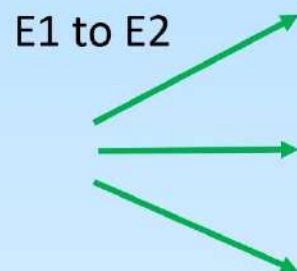
• اشعه های باریک، موازی و تک موج  E1

$$I = I_0 \exp(-\mu z)$$

I: شدت اشعه پس از عبور از ماده با ضخامت z

I_0 : شدت اشعه اولیه برخوردی به قطعه

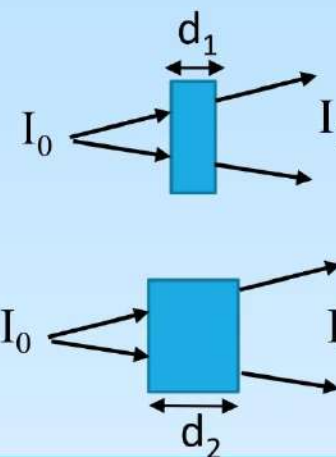
μ : ضریب جذب یا افت خطی (Linear Absorption (Attenuation) Coefficient)



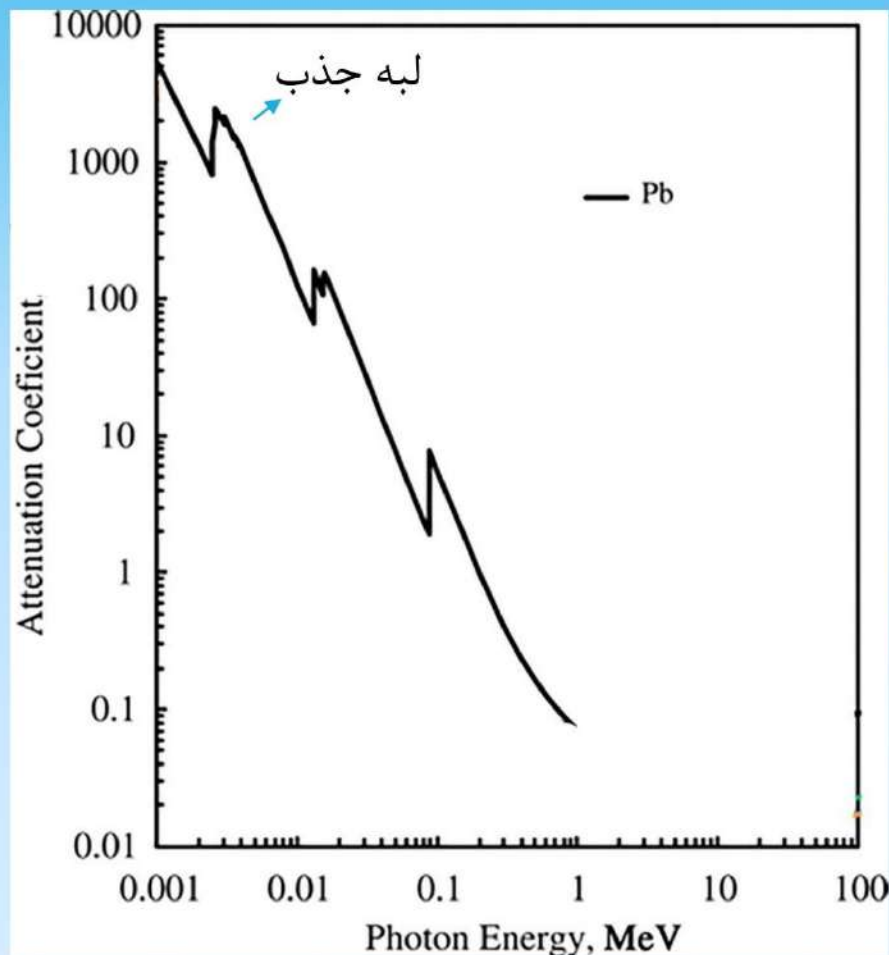
• اشعه های پهن، واگرا و پیوسته

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

قانون مجذور عکس فاصله



آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده

میزان تضعیف یا افت شدت اشعه
تابع:

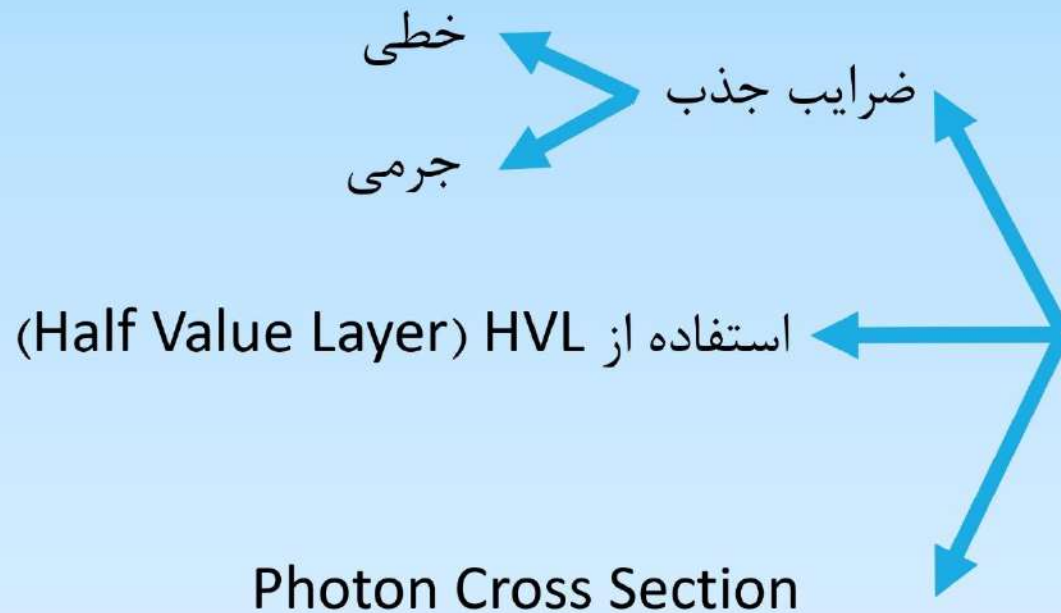
ترکیب شیمیایی ماده

انرژی اشعه

ضخامت قطعه

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- تعیین متغیرهای فرایند
- نحوه بیان کمی میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده



آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• نحوه بیان کمی میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده

• ضریب جذب خطی (μ): میزان افت نسبی شدت اشعه در واحد طول ماده

$$I = I_0 \exp(-\mu z) \quad \text{واحد: } \frac{1}{cm}$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{واحد: } \frac{cm^2}{g} \quad \text{ضریب جذب جرمی } (\mu_m)$$

• ضریب جذب جرمی در آلیاژ، مخلوط و ترکیب

$$\mu_m (\text{alloy})_{XYZ} = A_w (X) \cdot \mu_m (X) + A_w (Y) \cdot \mu_m (Y) + A_w (Z) \cdot \mu_m (Z)$$

$$\mu_m (X): \text{ضریب جذب جرمی } X \quad A_w (X): \text{درصد وزنی اتم } X \text{ در آلیاژ}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

- نحوه بیان کمی میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده
- HVL: ضخامتی از ماده است که پس از عبور اشعه از آن ضخامت، شدت اشعه به نصف شدت اشعه اولیه می رسد.

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu[HVL]) = 0.5$$

$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

	Half-Value Layer, mm (inch)	
Peak Voltage (kVp)	Lead	Concrete
50	0.06 (0.002)	4.32 (0.170)
100	0.27 (0.010)	15.10 (0.595)
150	0.30 (0.012)	22.32 (0.879)
200	0.52 (0.021)	25.0 (0.984)
250	0.88 (0.035)	28.0 (1.102)
300	1.47 (0.055)	31.21 (1.229)
400	2.5 (0.098)	33.0 (1.299)
1000	7.9 (0.311)	44.45 (1.75)

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- نحوه بیان کمی میزان افت یا تضعیف اشعه در ماده
- HVL: ضخامتی از ماده است که پس از عبور اشعه از آن ضخامت، شدت اشعه به نصف شدت اشعه اولیه می رسد.

Shielding Material and Thickness (cm)		Source	
		Ir-192	Co-60
Concrete	TVL	14.74	22.86
	HVL	4.82	6.85
Steel	TVL	2.90	7.36
	HVL	0.87	2.20
Lead	TVL	1.62	4.11
	HVL	0.48	1.24

- TVL (Tenth Value Layer): ضخامتی از ماده است که پس از عبور اشعه از آن ضخامت، شدت اشعه به $1/10$ شدت اشعه اولیه می رسد.

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• روشهای ثبت تصویر



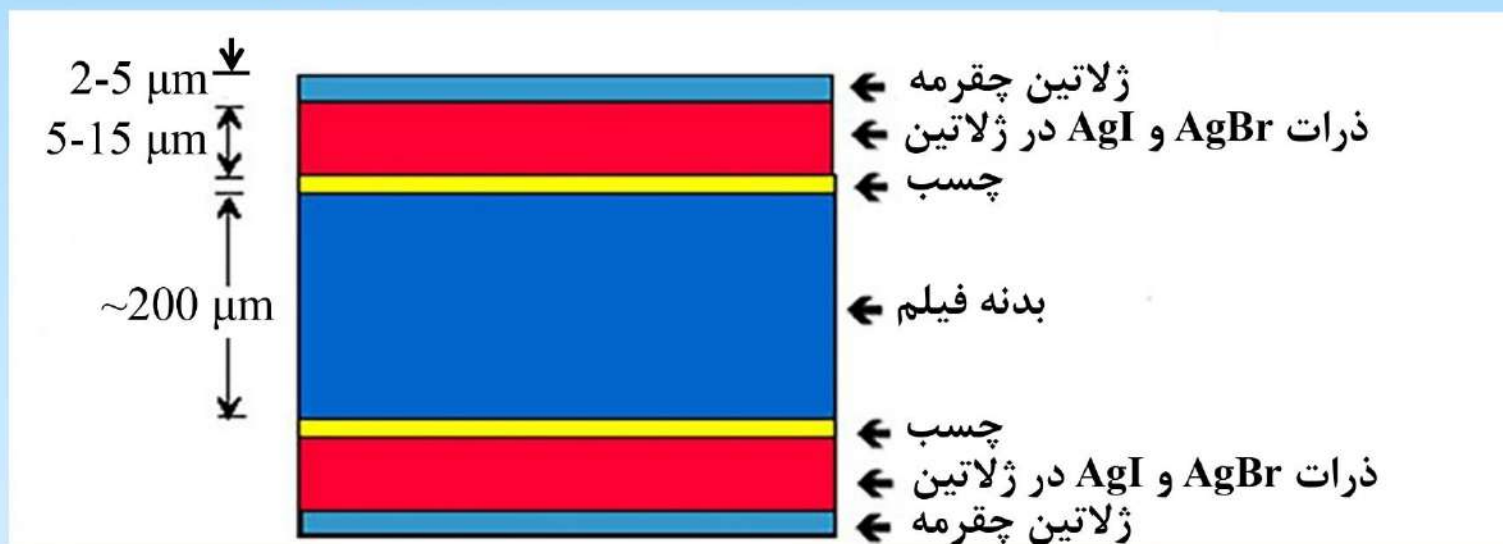
آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• روشهای ثبت تصویر دائمی

فیلم اشعه X



دلیل استفاده از دو لایه هالید نقره ؟

آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- روشهای ثبت تصویر دائمی

شامل ۴ لایه، یک لایه هالید نقره، ترکیبات مورد نیاز برای ظهور فیلم داخل لایه هالید نقره در ژلاتین

محدودیت‌ها: سرعت تشکیل تصویر کم، کوتاه بودن زمان نگهداری فیلم ظاهر شده

مزایا: ظهور سریع، قیمت پایین (بازرسی تعداد زیاد قطعه در خط تولید)

کاغذ رادیوگرافی

آزمون رادیوگرافی (RT)

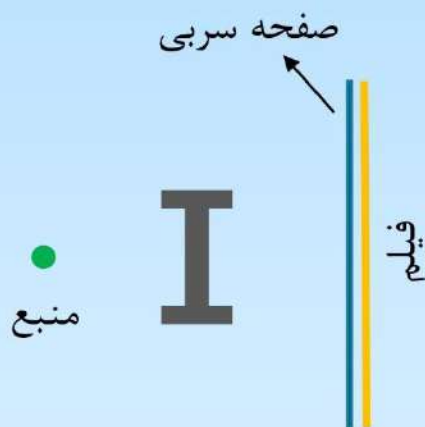
پرتو دهی مستقیم (فیلم بدون صفحه): Direct Exposure

• بین قطعه و فیلم، صفحه واسطی وجود ندارد.

فیلم اشعه X و
کاغذ رادیوگرافی

فیلم همراه با صفحات جانبی: Screen-type Film

• اشعه بعد از عبور از قطعه و قبل از برخورد به فیلم، با صفحه دیگری برخورد می کند.

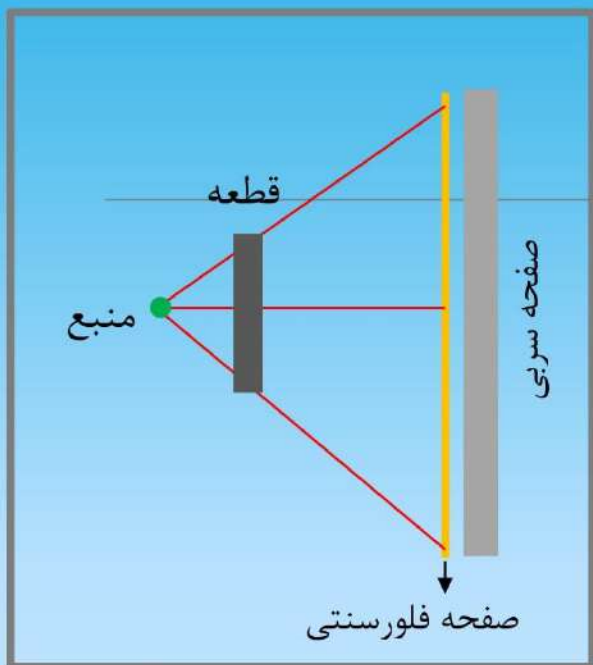


دلیل استفاده از صفحات سربی:

افزایش کنتراست فیلم با جذب اشعه های پراکنده شده کم انرژی
(افزایش نسبت جذب به پراکندگی)

دلیل استفاده از صفحه سربی در دو طرف فیلم؟

آزمون رادیوگرافی (RT)



محفظه سربی

- مراحل روش RT

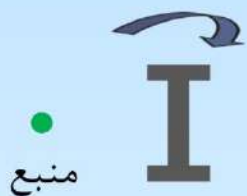
- تعیین متغیرهای فرایند

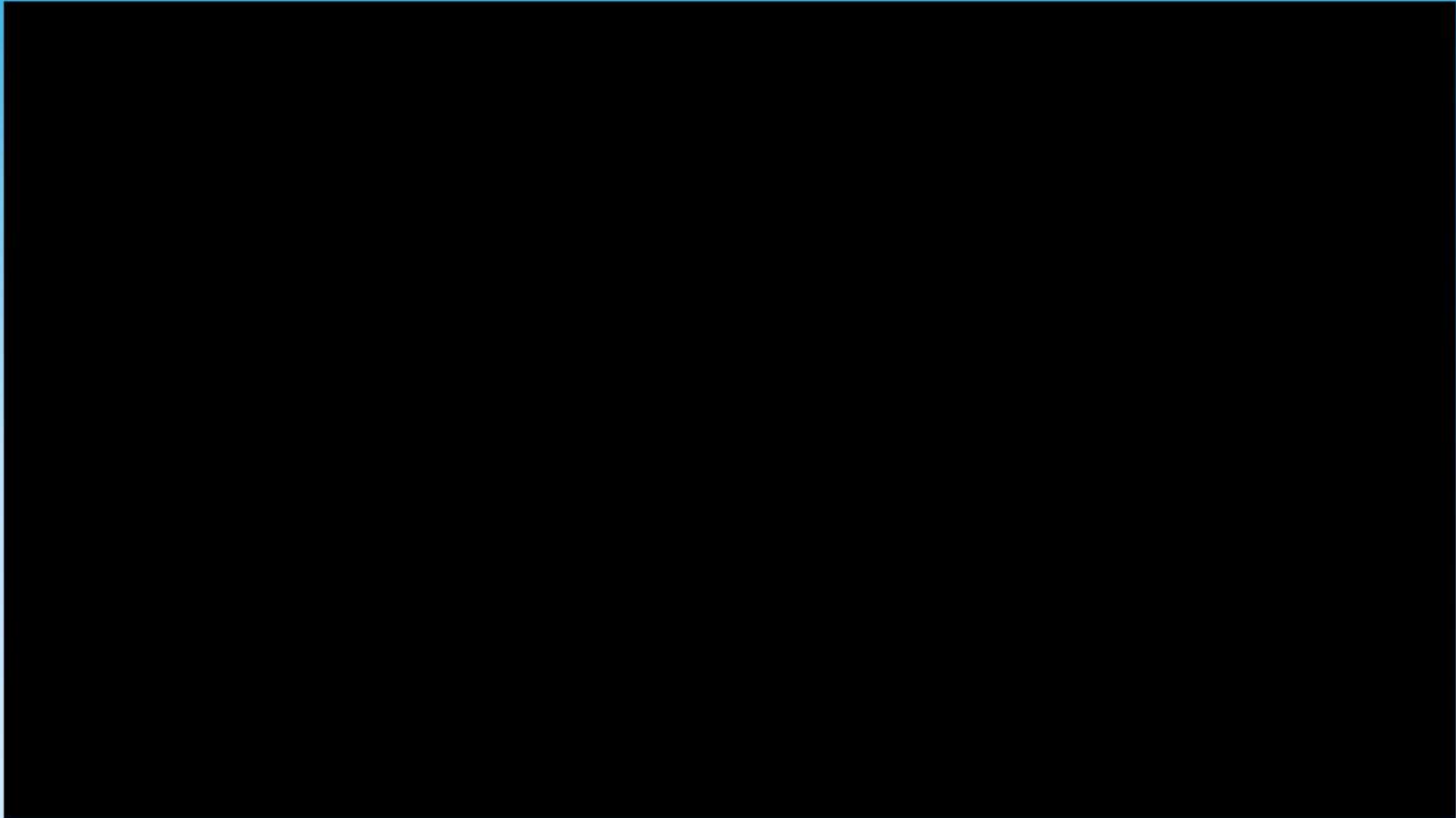
- روشهای ثبت تصویر لحظه ای

- روش فلوروسکوپی

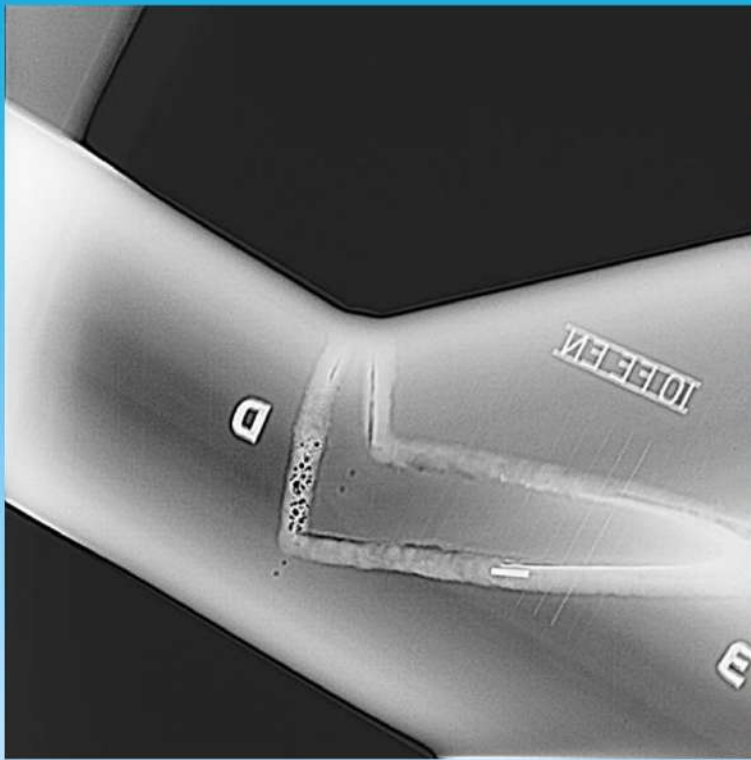
- کاربرد در بازرسی قطعات بزرگ و یا تعداد زیاد

Computed Tomography (CT Scan)









آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X

دانسیتتهی فیلم (Film Density) یا دانسیته رادیوگرافی (D):

معیار کمی از میزان سیاه شدن فیلم در اثر برخورد اشعه

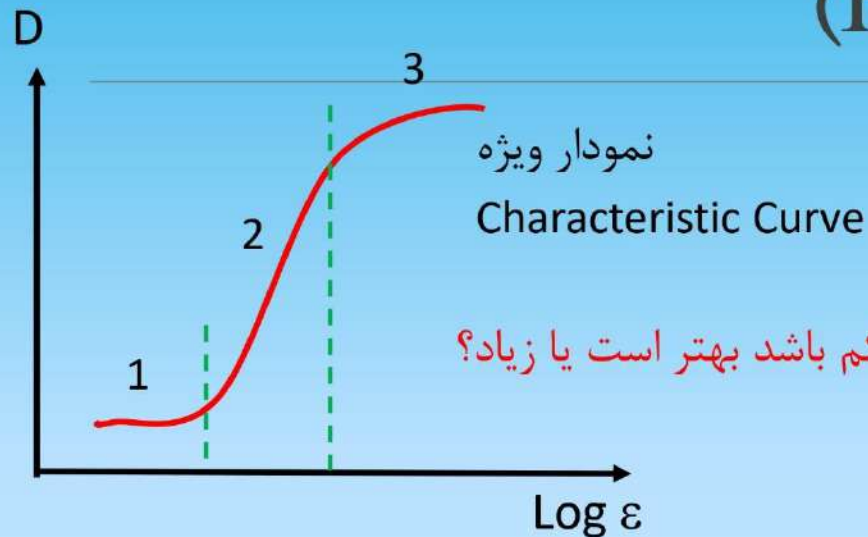
$$D = \log \frac{B_0}{B_t}$$

B_0 : شدت نور مرئی تابیده شده به سطح فیلم ظاهر شده

B_t : شدت نور مرئی عبور کرده از فیلم ظاهر شده

در رادیوگرافی: $0.25 < D < 2$

آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X

پرتودهی فیلم (Exposure of Film) (E):

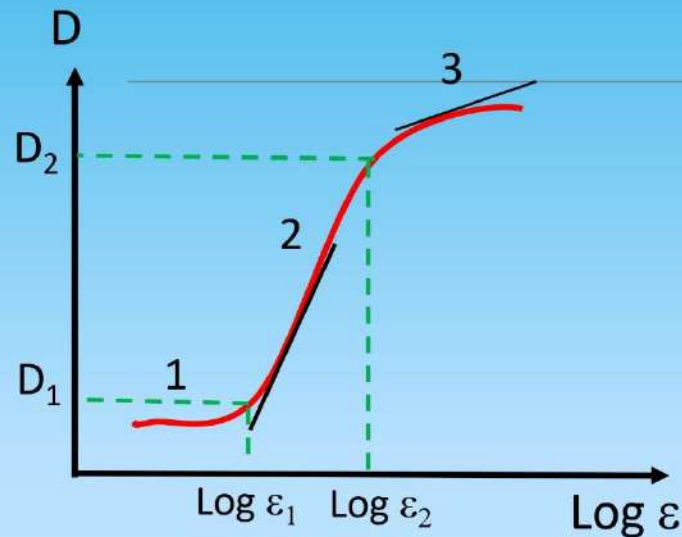
معیاری است از میزان انرژی مورد نیاز اشعه X یا γ برخورد کننده به واحد سطح فیلم برای آنکه دانسیته مشخصی روی فیلم ایجاد کند.

$$\epsilon = I t$$

I: شدت اشعه X یا γ

t: زمان پرتودهی

آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• ویژگیهای فیلم اشعه X

گرادیان فیلم (Film Gradient) یا کنتراست فیلم (G):

۱- شیب نمودار ویژه فیلم است در یک دانسیته مشخص (گرادیان متغیر)

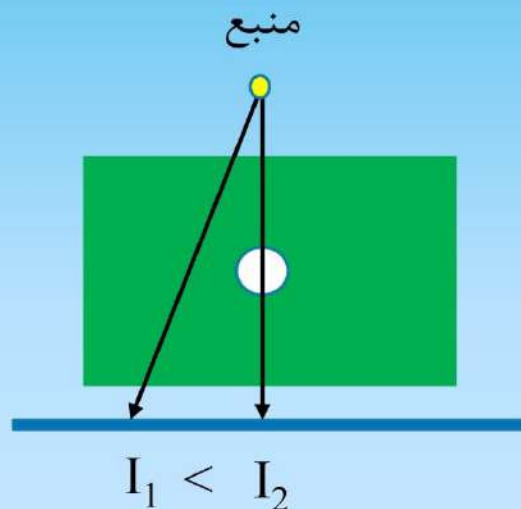
۲- شیب متوسط ناحیه تقریباً خطی

$$G = \frac{D_2 - D_1}{\log \varepsilon_2 - \log \varepsilon_1} = \frac{D_2 - D_1}{\log \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

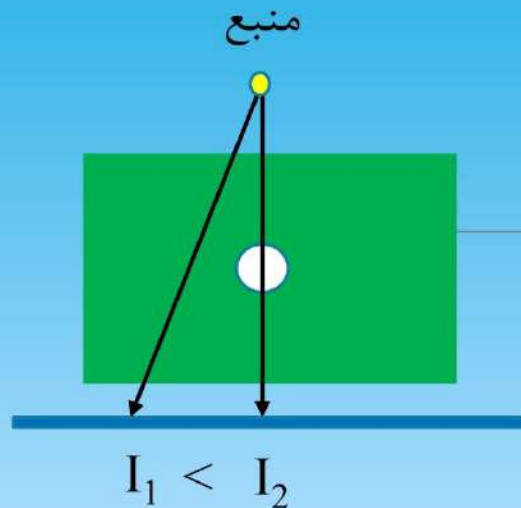
- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X
- گرادیان فیلم (Film Gradient) یا کنتراست فیلم (G):



$$\epsilon_1 = I_1 t$$

$$\epsilon_2 = I_2 t$$

$$G = \frac{D_2 - D_1}{\log \epsilon_2 - \log \epsilon_1} = \frac{D_2 - D_1}{\log \frac{I_2}{I_1}}$$



آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X

کنتراست رادیوگرافی (Radiography Contrast) (Cs):

اختلاف بین دانسیته دو نقطه مجاور روی فیلم

$$Cs = D_2 - D_1 = G \log \frac{I_2}{I_1}$$

کنتراست/گرادیان فیلم: G

کنتراست
رادیوگراف تابع

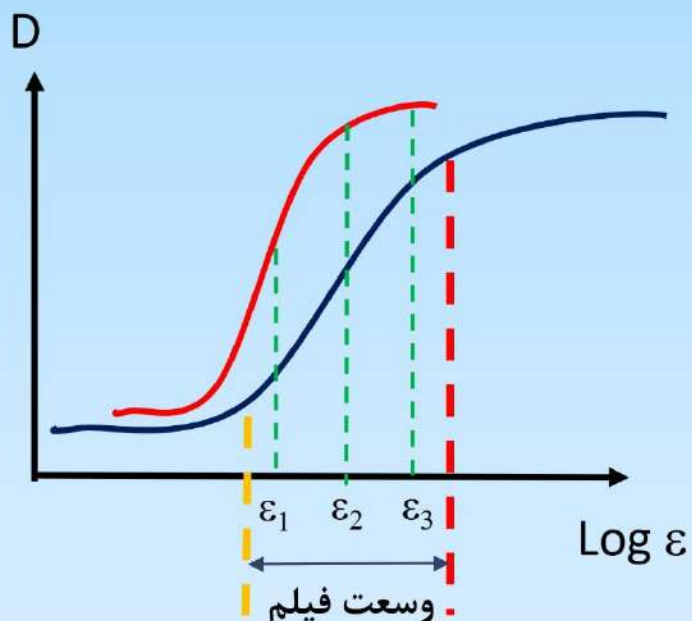
$$Cs \geq 0.2$$

کنتراست قطعه: $\log \frac{I_2}{I_1}$

آزمون رادیوگرافی (RT)

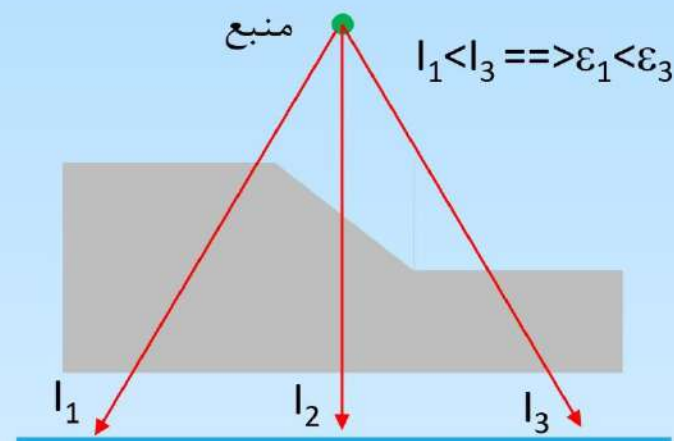
وسعت فیلم (Film Latitude):

بیانگر رنج ضخامتی از قطعه کار است که می توان آن را با یک بار پرتو دهی با کیفیت مناسب رادیوگرافی کرد.



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X



آزمون رادیوگرافی (RT)

سرعت فیلم (Film Speed):

بیانگر سرعت ایجاد تصویر روی رادیوگراف در حین تابش اشعه است.

• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- ویژگیهای فیلم اشعه X

سرعت فیلم تابع

نوع ذرات هالید نقره
مقدار و اندازه ذرات هالید نقره
ضخامت لایه هالید نقره در ژلاتین

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند

- **عیوب رادیوگراف**

عیوب ذاتی: عیوبی که وابسته به ماهیت روش رادیوگرافی هستند
(غیر قابل اجتناب)

عیوب رادیوگراف

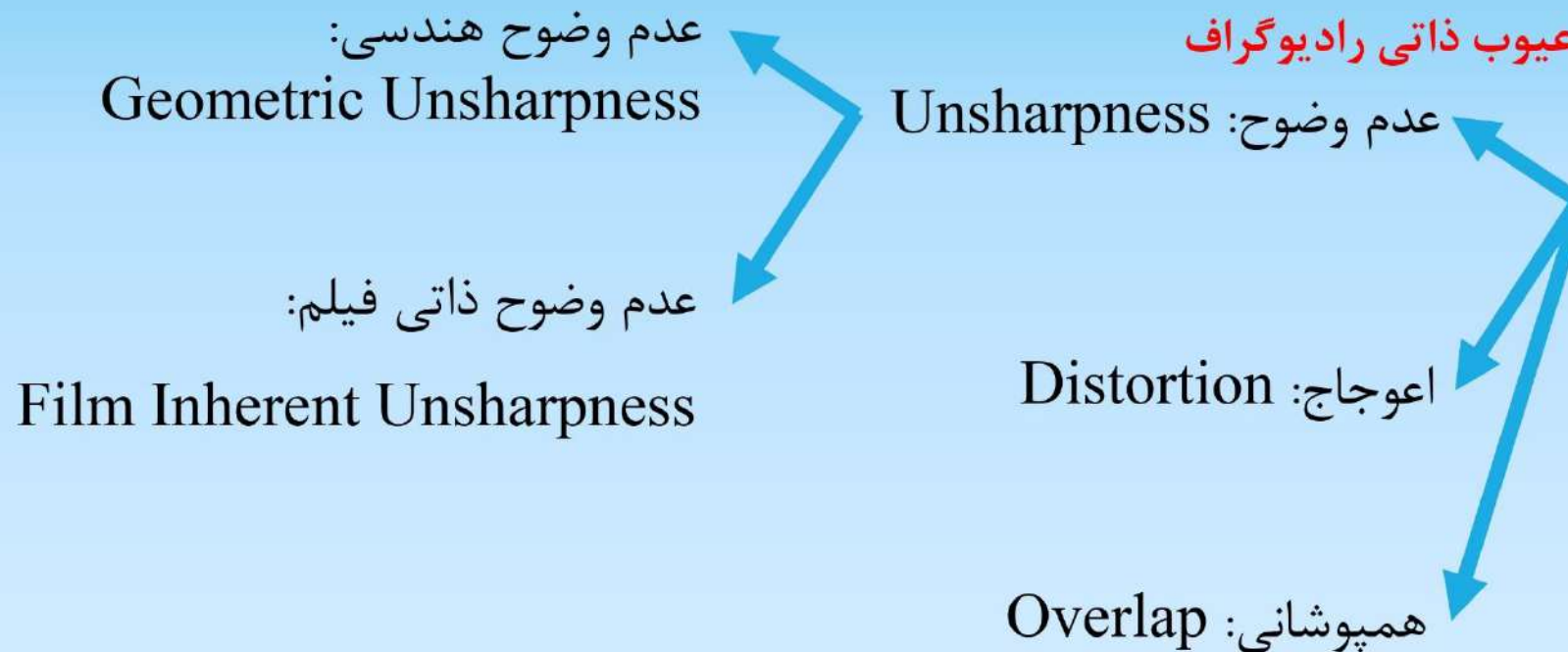
عیوب مصنوعی (Artifacts): ناشی از اشتباه قبل از پرتودهی،
حین پرتودهی و پس از پرتودهی (در حین ظهور فیلم) روی
رادیوگراف ایجاد می شوند.

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

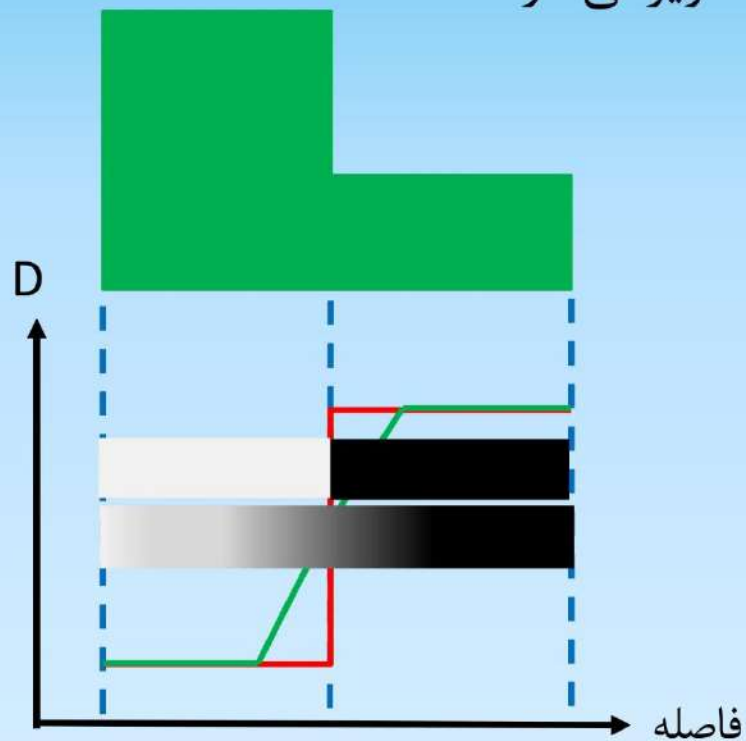
- تعیین متغیرهای فرایند

- عیوب ذاتی رادیوگراف



آزمون رادیوگرافی (RT)

عدم وضوح: عدم توانایی رادیوگراف در نمایش
مرزهای یک ویژگی در قطعه



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف

آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

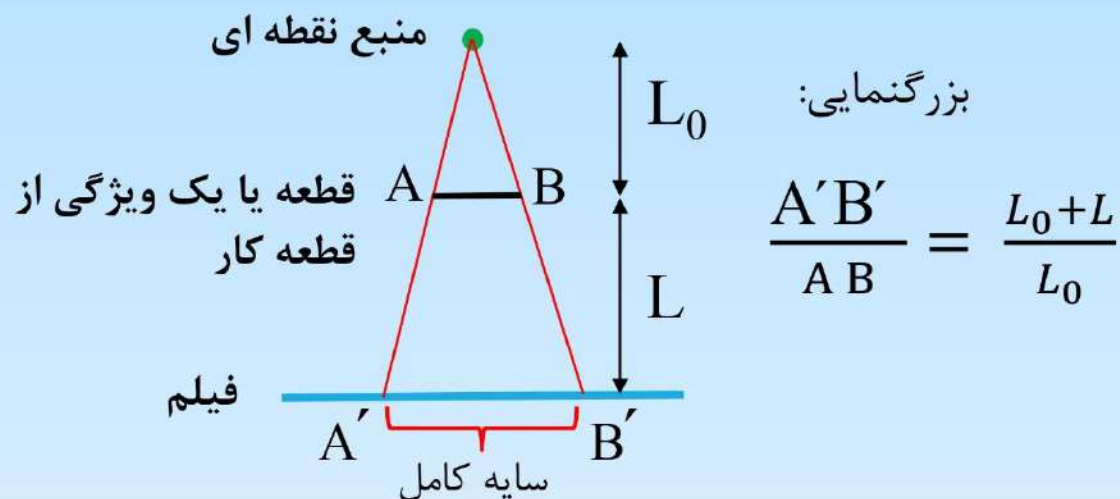
- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف

عدم وضوح هندسی: ناشی از نقطه ای نبودن منبع اشعه است.

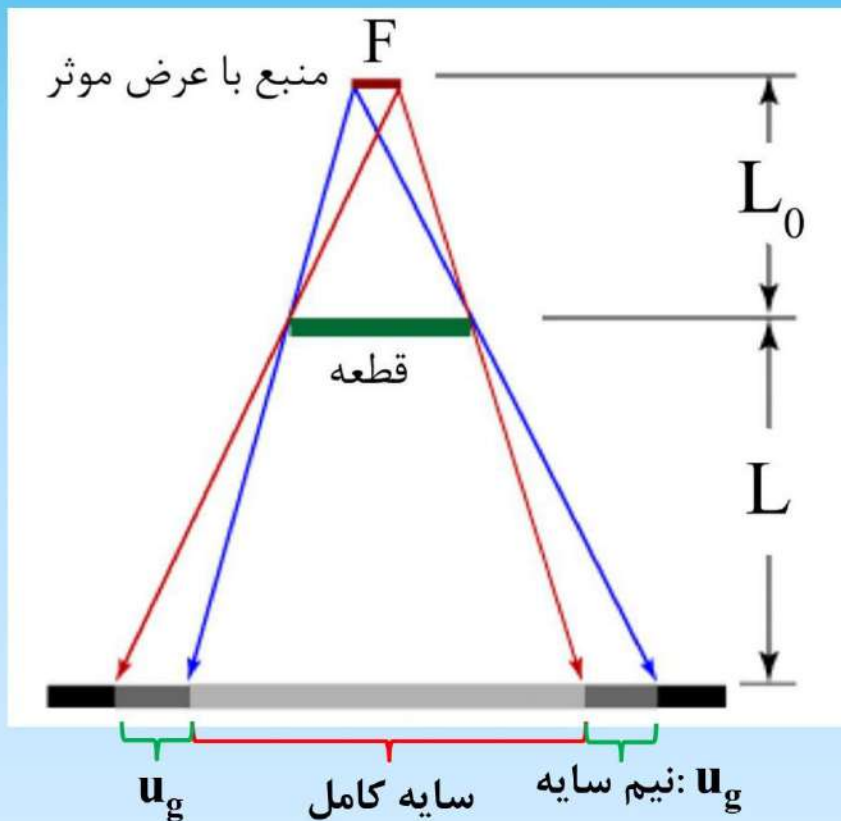
نقطه ای: Point Source

منبع اشعه

حجمی: Volumetric Source



آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف
- عدم وضوح هندسی

$$u_g = \frac{FL}{L_0}$$

برای کاهش u_g :

F ↓

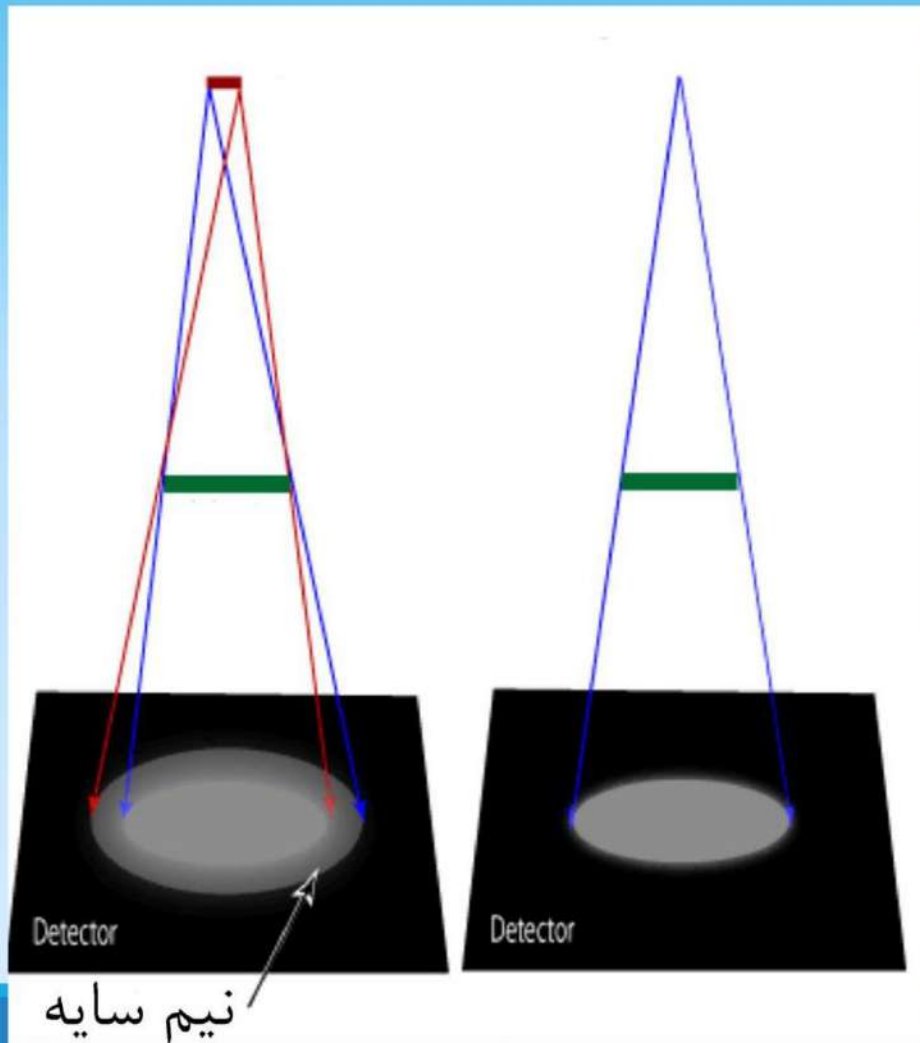
L ↓

L₀ ↑

آزمون رادیوگرافی (RT)

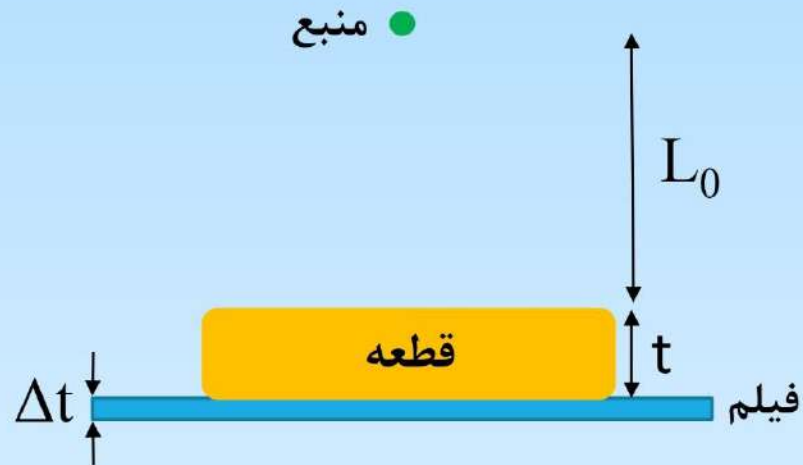
• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف
- عدم وضوح هندسی



آزمون رادیوگرافی (RT)

رادیوگرافی تماسی Contact Radiography



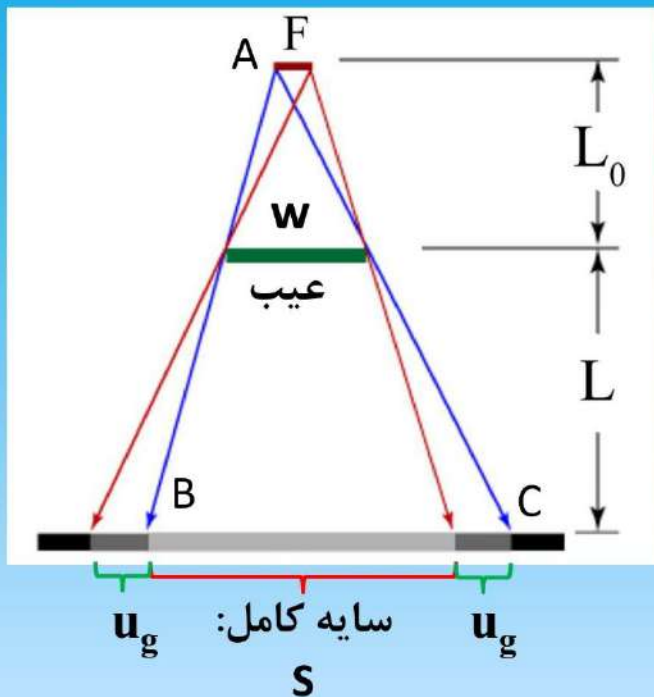
• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف
- عدم وضوح هندسی

$$u_g = \frac{F(t + \Delta t)}{L_0}$$

- هدف از رادیوگرافی تماسی، کاهش عدم وضوح هندسی و افزایش کیفیت رادیوگراف است.

آزمون رادیوگرافی (RT)



$$w' = \frac{FL}{L + L_0}$$

- رابطه فوق، یک رابطه صرفاً هندسی است و مواردی مانند انرژی اشعه، نوع فیلم و ... در آن مورد توجه قرار نگرفته است.

• مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند
- عیوب ذاتی رادیوگراف
- عدم وضوح هندسی
- حد تشخیص عیوب

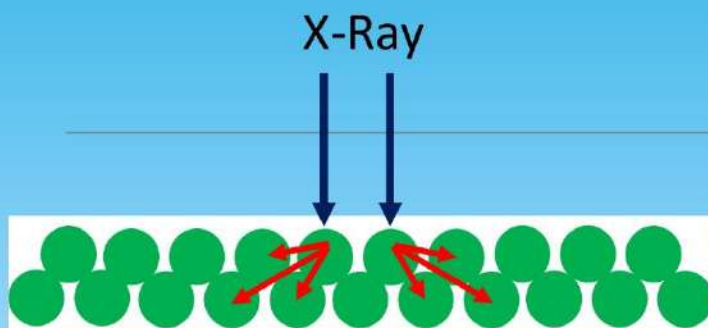
برای کاهش w' :

F ↓

L ↓

L_0 ↑

آزمون رادیوگرافی (RT)

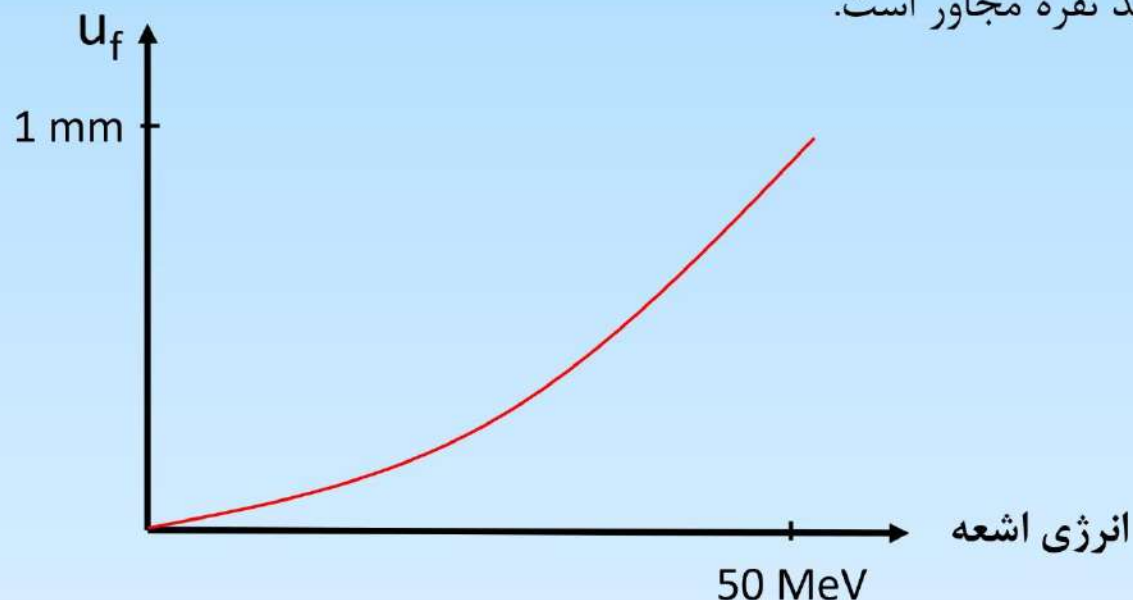


• مراحل روش RT

• تعیین متغیرهای فرایند

• عیوب ذاتی رادیوگراف

• **عدم وضوح ذاتی فیلم: u_f** : ناشی از اثر الکترونها و اشعه های منتشر شده از دانه های هالید نقره
اشعه خورده روی دانه های هالید نقره مجاور است.



بهترین کیفیت رادیوگراف:

$$u_g \leq u_f$$

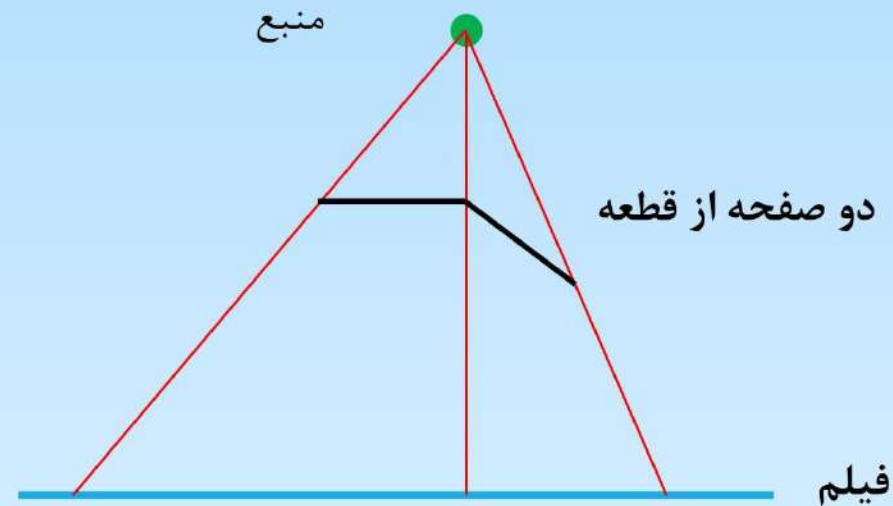
آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تعیین متغیرهای فرایند

- عیوب ذاتی رادیوگراف

- **اعوجاج:** ناشی از موازی نبودن صفحات قطعه مورد بررسی با فیلم است.



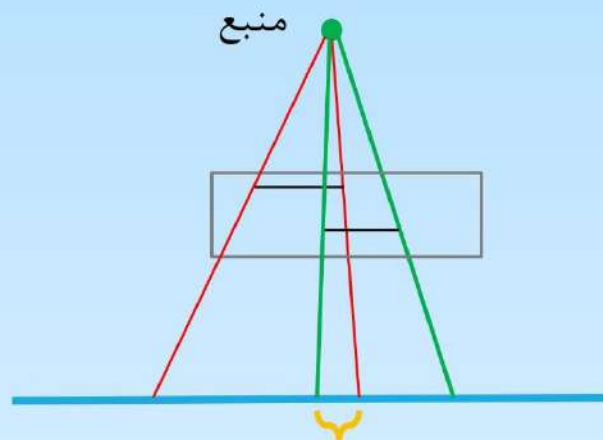
آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

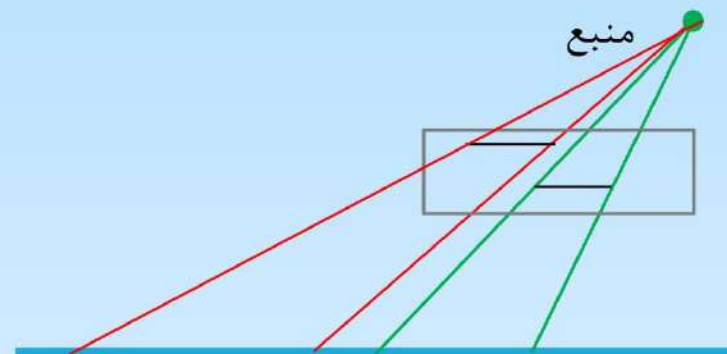
- تعیین متغیرهای فرایند

- عیوب ذاتی رادیوگراف

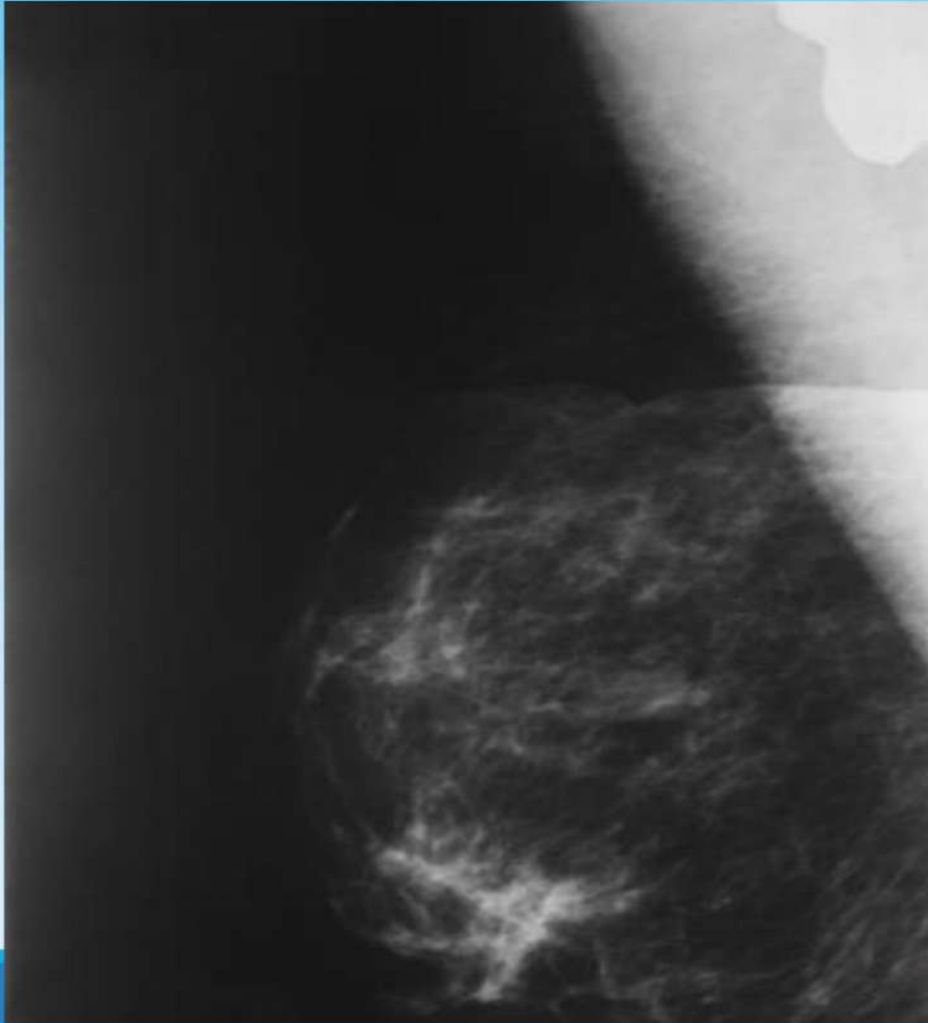
- **همپوشانی:** ناشی از زاویه تابش اشعه نسبت به قطعه تحت بازرسی و ویژگیهای داخل آن است.



همپوشانی تصویر عیوب



آزمون رادیوگرافی (RT)



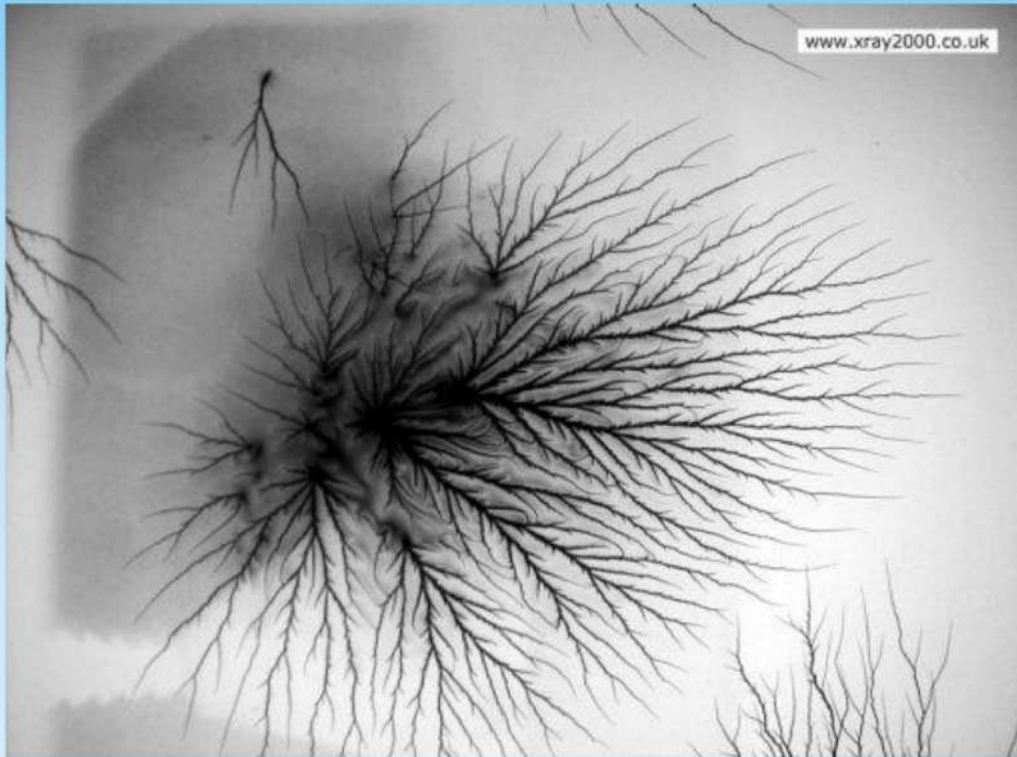
- مراحل روش RT
- عیوب مصنوعی (Artifacts)
- قرارگیری فیلمها روی یکدیگر در حین ظهور

آزمون رادیوگرافی (RT)

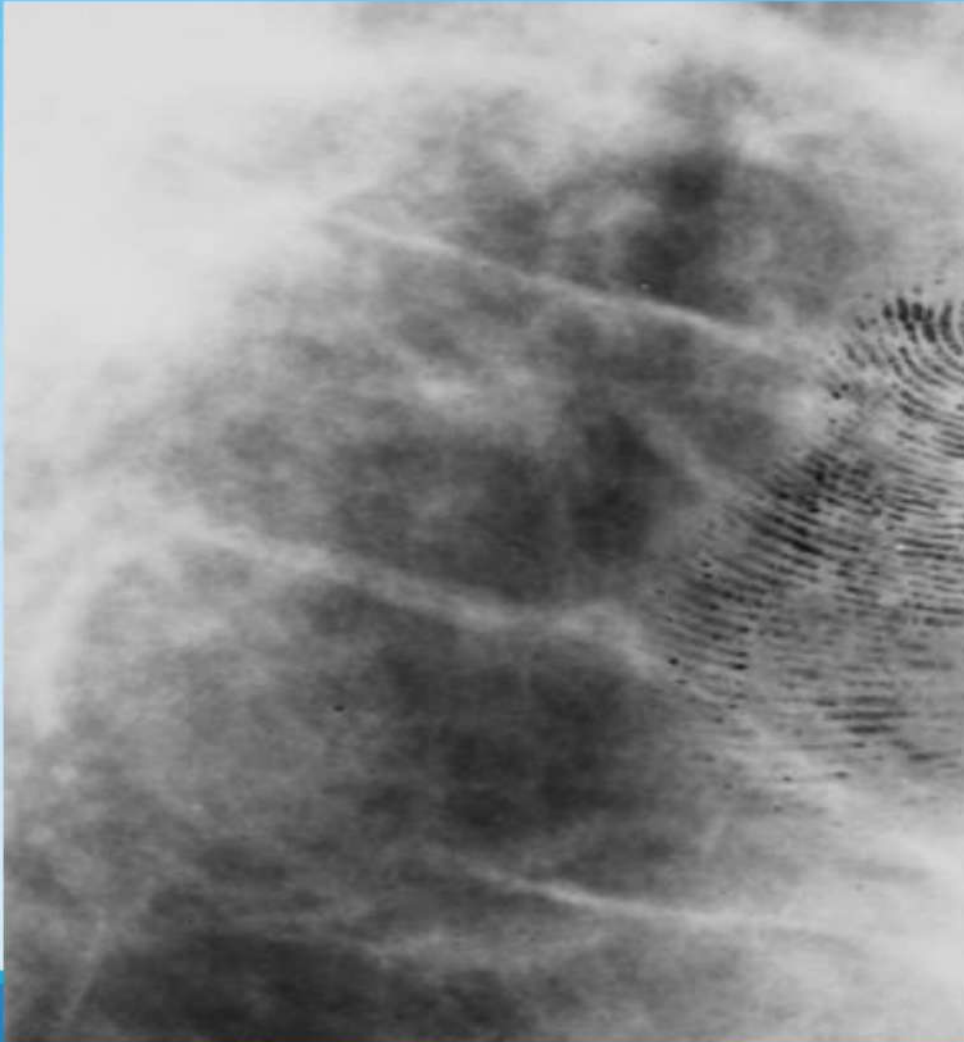
- مراحل روش RT

- عیوب مصنوعی (Artifacts)

- علایم ناشی از بارهای الکترواستاتیکی روی فیلم

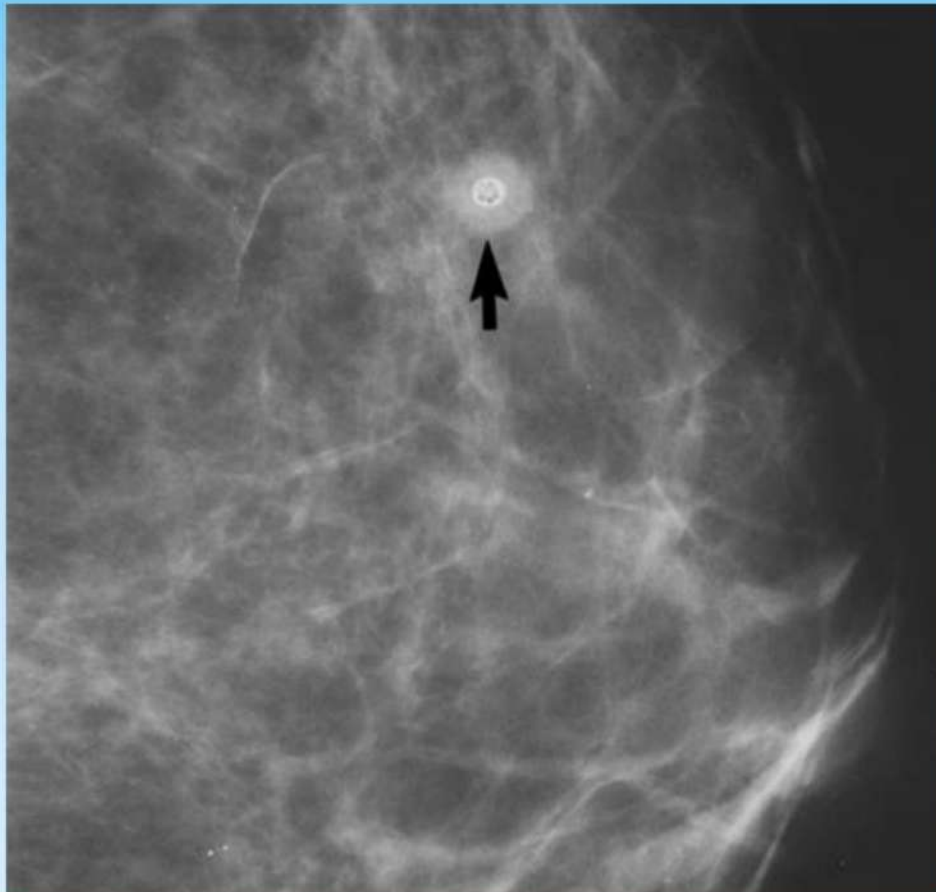


آزمون رادیوگرافی (RT)



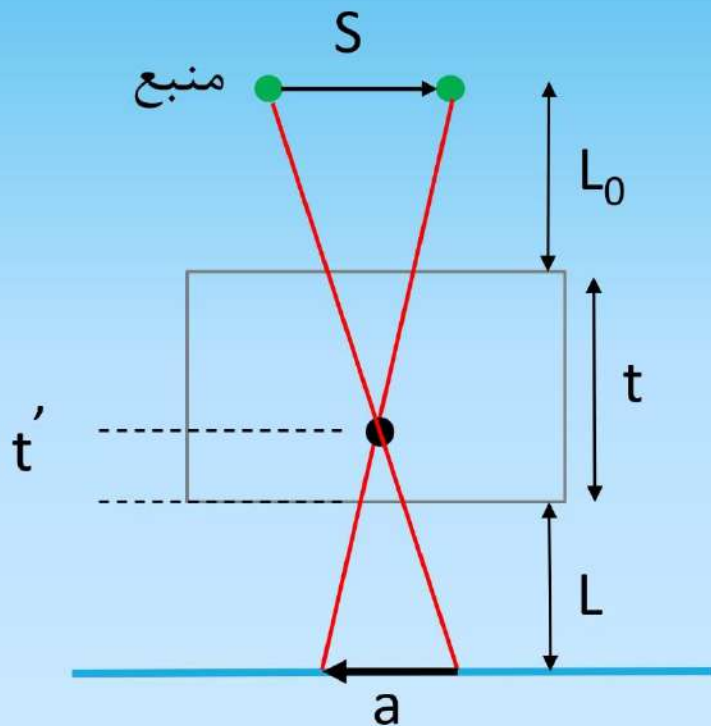
- مراحل روش RT
- عیوب مصنوعی (Artifacts)
- علایم ناشی از اثر انگشت (Finger Mark)

آزمون رادیوگرافی (RT)



- مراحل روش RT
- عیوب مصنوعی (Artifacts)
- لکه آب (Water Stain)

آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

• پرتو افشانی و ثبت تصویر

• تعیین عمق عیوب

• روش جابجایی منبع

$$\frac{s}{a} = \frac{L_0 + t - t'}{L + t'}$$



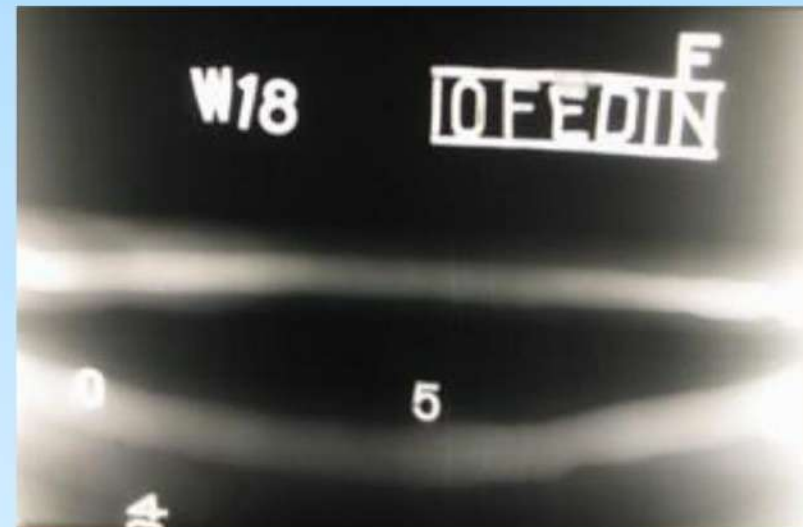
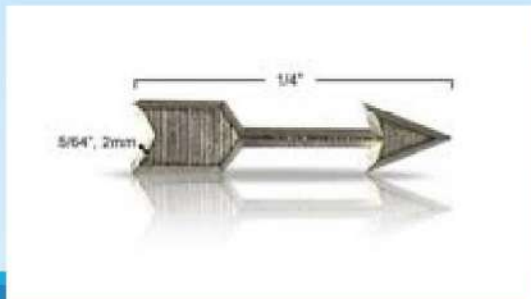
$$t' = \frac{a(L_0 + t) - sL}{a + s}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

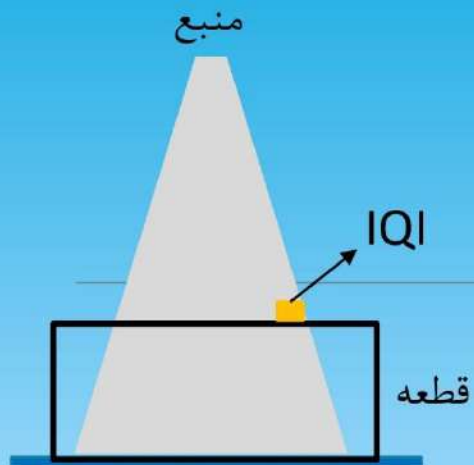
- مراحل روش RT

- تفسیر نتایج

- علائم شناسایی (Identification Marker)



آزمون رادیوگرافی (RT)



• مراحل روش RT

• تفسیر نتایج

• نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)

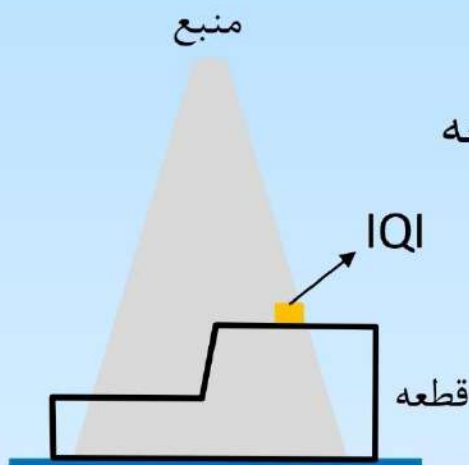
هدف استفاده: تعیین کیفیت رادیوگراف (حساسیت تشخیص عیوب روی رادیوگراف)

ترکیب شیمیایی مشابه قطعه تحت بازرسی

عدم همپوشانی تصویر IQI با تصویر قسمت مورد بازرسی در قطعه

قرارگیری در بیرونی ترین ناحیه مخروط اشعه

قرارگیری در بیشترین فاصله سطح قطعه تا فیلم

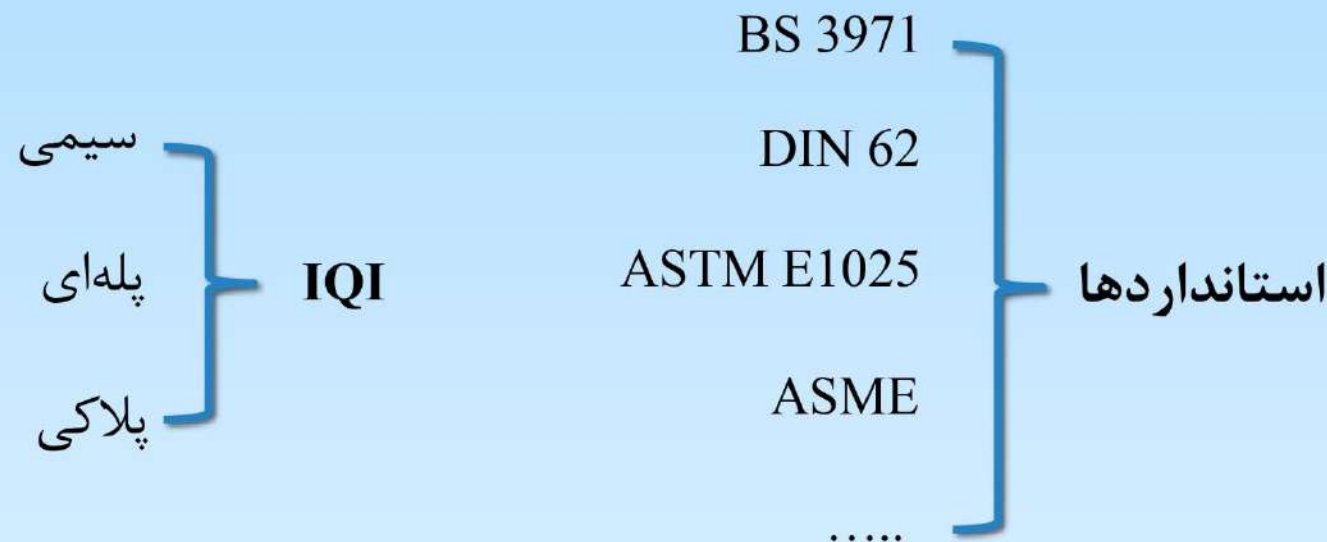


آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تفسیر نتایج

- نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)



آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تفسیر نتایج

- نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)

سیمهایی از جنس قطعه، با قطرهای مختلف در یک زمینه پلیمری شفاف

تعداد و قطر سیمها در استانداردهای مختلف فرق می کند

IQI سیمی

DIN 62

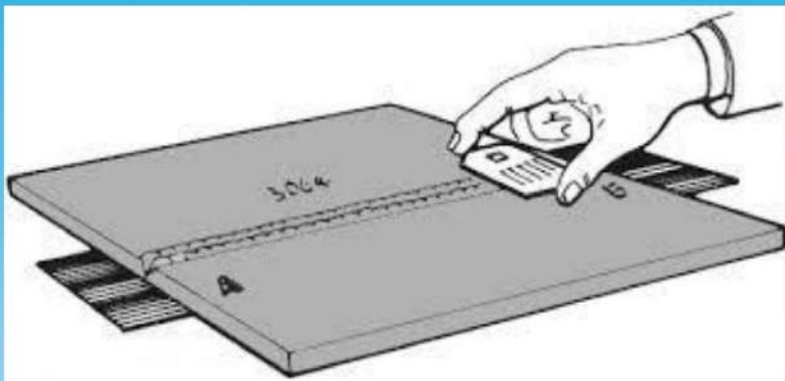
1-----16

3.2 mm -----0.1 mm

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- تفسیر نتایج
- نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)
- IQI سیمی





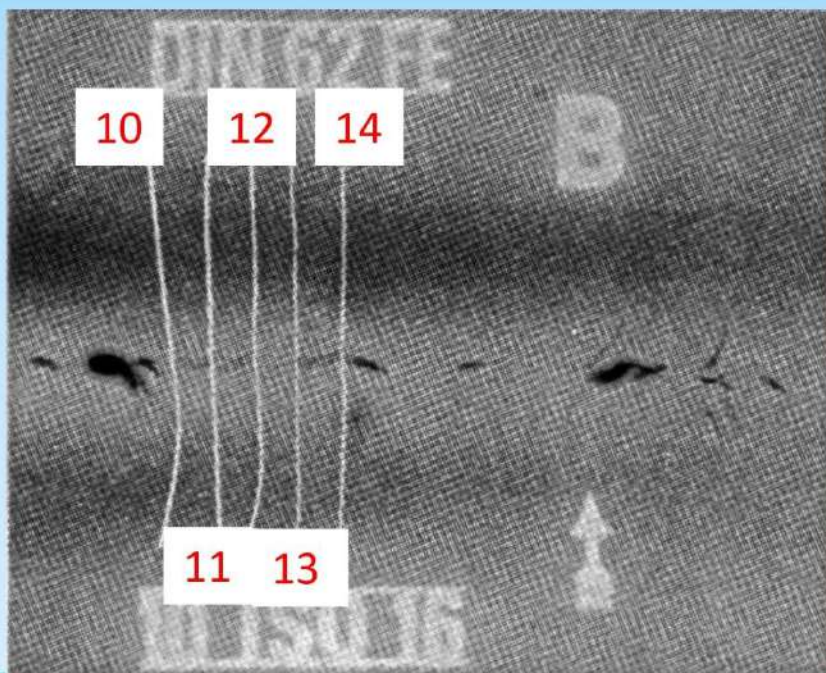
آزمون رادیوگرافی (RT)

• مراحل روش RT

• تفسیر نتایج

• نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)

• IQI سیمی



$$\text{حداقل ویژگی IQI قابل رویت روی رادیوگراف} = \frac{\text{حساسیت رادیوگراف}}{\text{ضخامت قطعه}}$$

$$\text{حساسیت رادیوگراف} = \frac{\text{قطر سیم شماره 14}}{\text{ضخامت قطعه}}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT

- تفسیر نتایج

- نشانگر کیفیت تصویر (IQI: Image Quality Indicator)

پله هایی از جنس قطعه، حاوی سوراخهای سراسری با قطرهایی برابر با ارتفاع پله

تعداد پله ها، ارتفاع پله ها و قطر سوراخها در استانداردهای مختلف فرق می کند.

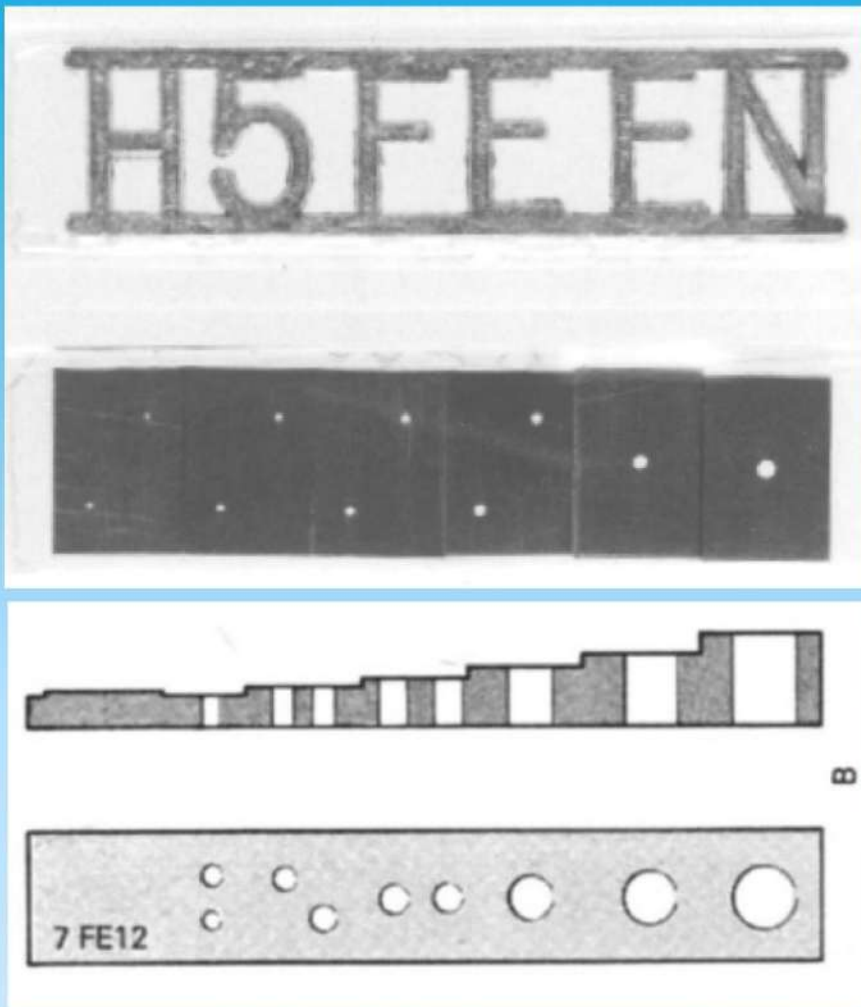
IQI پله ای

BS 3971

1-----18

0.125 mm -----6.3 mm





آزمون رادیوگرافی (RT)

- مراحل روش RT
- تفسیر نتایج
- نشانگر کیفیت تصویر (IQI)
- IQI پله ای

$$\text{حداقل ویژگی IQI قابل رویت روی رادیوگراف} = \frac{\text{حساسیت رادیوگراف}}{\text{ضخامت قطعه}}$$

آزمون رادیوگرافی (RT)

عدم محدودیت برای جنس و نوع قطعه (حتی سیالات)

قابلیت تشخیص عیوب عمقی

قابلیت تشخیص عمق عیوب

عدم محدودیت در هندسه قطعه

عدم حساسیت برای آماده سازی سطح

مزایا

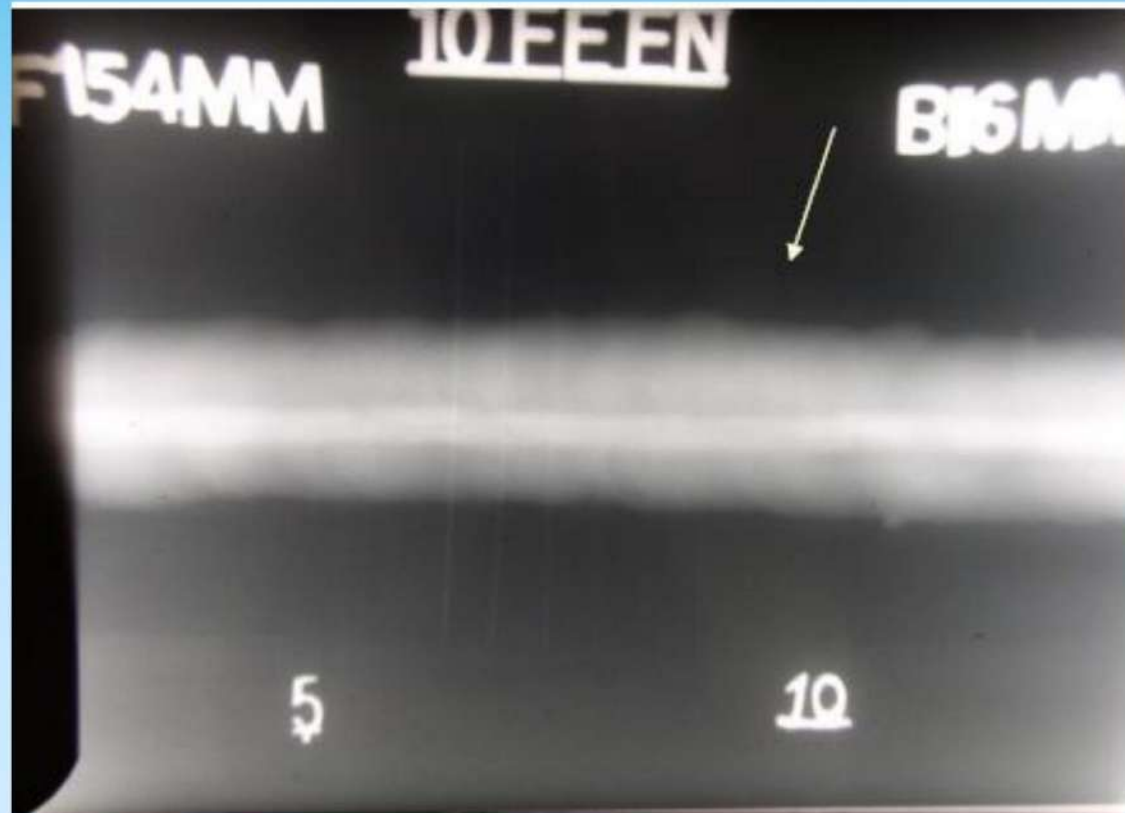
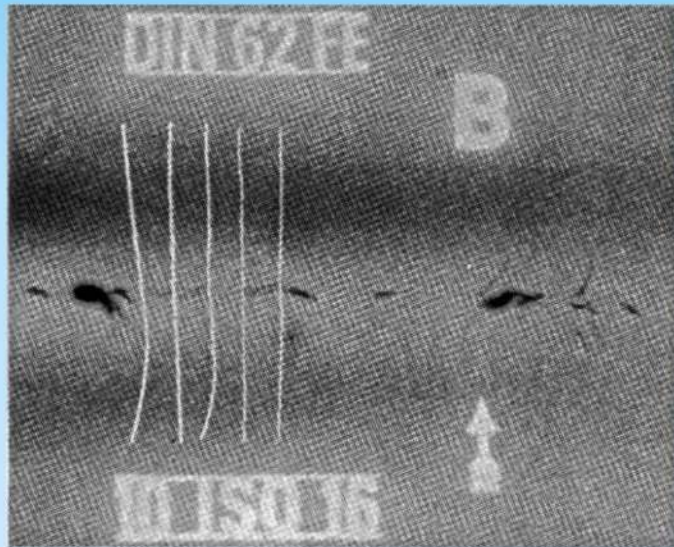
آزمون رادیوگرافی (RT)

- احتیاج به منابع تغذیه با ولتاژ بالا و هزینه‌ی بالا
 - وجود نیمه عمر در ایزوتوپ‌های پرتوزا
 - لزوم دسترسی به هر دو طرف قطعه
 - حساسیت کمتر در تشخیص عیوب سطحی نسبت به روشهای PT، MT و ET
 - خطرناک بودن فرایند
 - وجود عیوب ذاتی در رادیوگراف
 - طولانی بودن فرایند در روشهای ثبت دائمی تصویر
- محدودیت‌ها

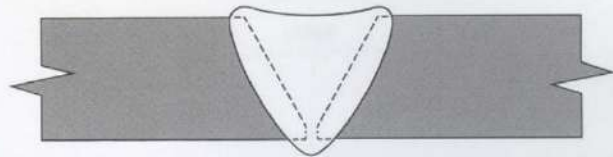
نحوه نمایش عیوب

جوشکاری، ریخته گری و خوردگی
روی فیلمهای رادیوگرافی

نشانگرهای کیفیت تصویر



عیوب جوشکاری



• تقعر خارجی یا کامل پر نشدن

فرورفتگی در قسمت فوقانی جوش یا پاس محافظ (ضخامت مقطع از حد نرمال کمتر است).

• External Concavity or Insufficient Fill

A depression in the top of the weld, or cover pass (Indicating a thinner than normal section thickness).

• تفسیر رادیوگرافی

تصویر جوش از قطعات جوش تیره تر است. این تیره گی به طور کامل در عرض تصویر جوش گسترده شده است.

• Radiographic Image

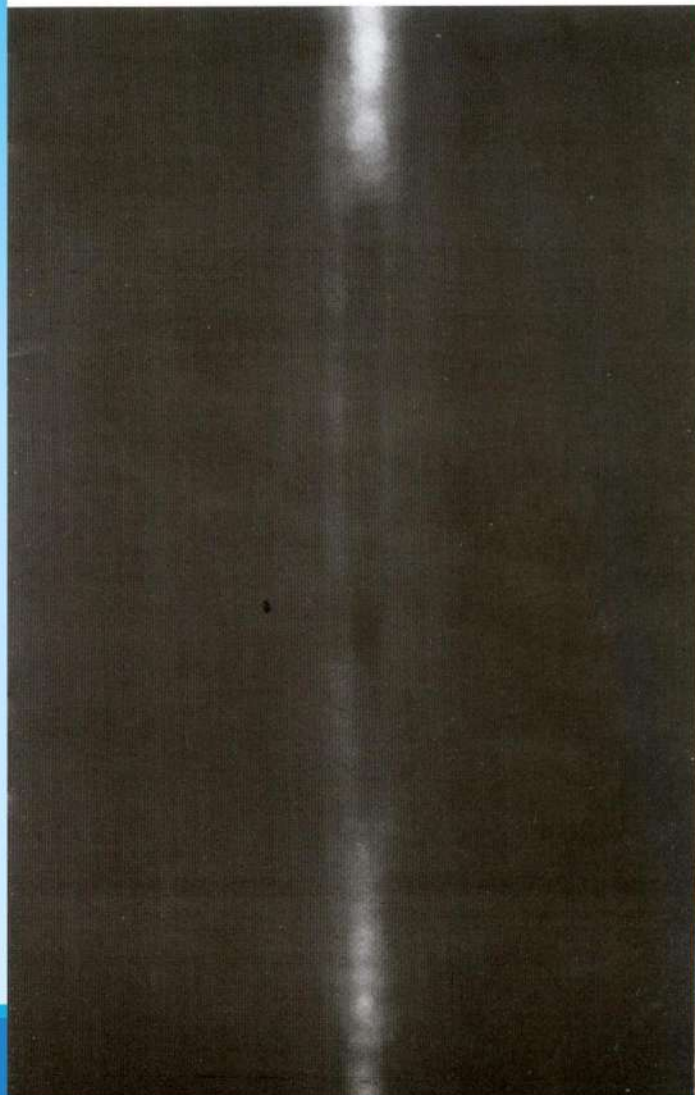
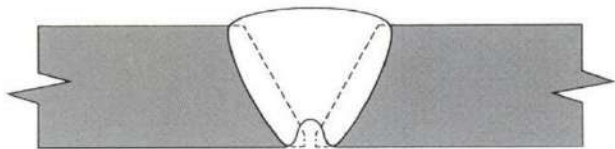
A weld density darker than the density of the pieces being welded and extending across the full width of the weld image.

• فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• Welding Process SMAW

عیوب جوشکاری



تقعر داخلی

گود رفتگی در مرکز سطح پاس ریشه

• Internal Concavity

A depression in the center of the surface of the root pass.

تفسیر رادیوگرافی

این تقعر، به صورت نواری طولی و تیره با لبه‌های پرز مانند در مرکز عرض تصویر جوش دیده می‌شود.

• Radiographic Image

An elongated irregular darker density with fuzzy edges, in the center of the width of the weld image.

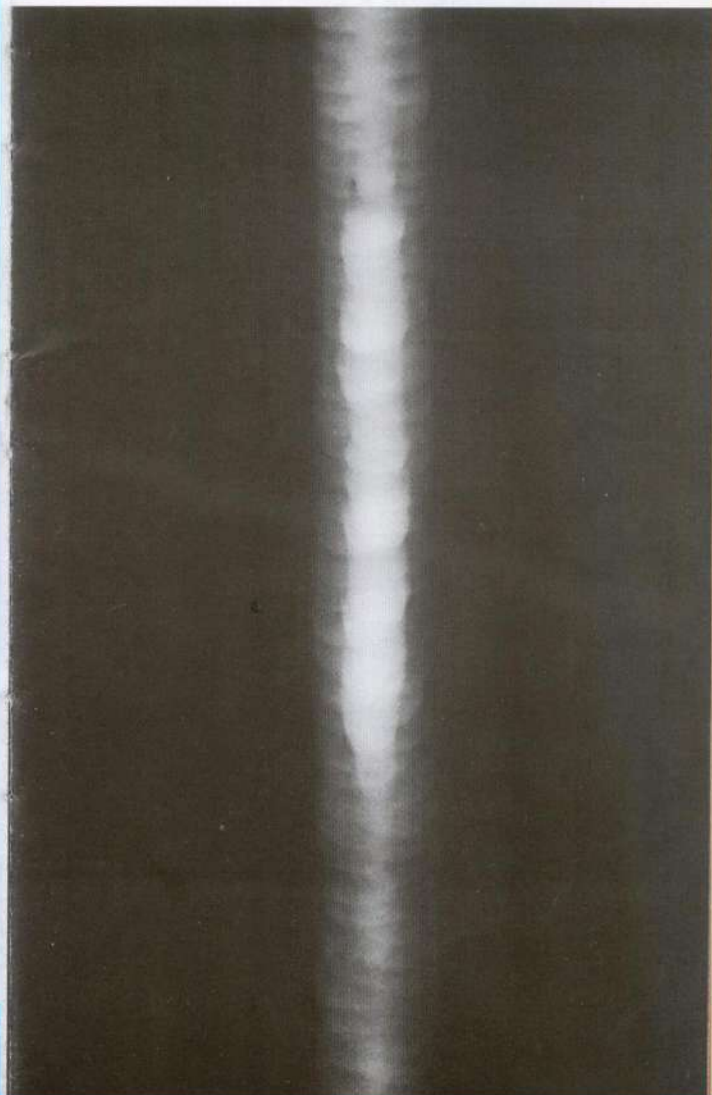
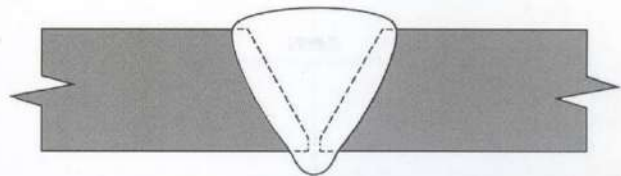
فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار،
جوشکاری قوسی تنگستنی

• Welding Process

SMAW - GTAW

عیوب جوشکاری



نفوذ زیاد

وجود بیش از حد فلز در قسمت زیرین
(ریشه) جوش

- **Excessive Penetration**
Extra metal at the bottom (root) of the weld.

تفسیر رادیوگرافی

نفوذ زیاد در مرکز عرض تصویر جوش
به صورت قسمت روشن‌تری دیده
می‌شود. این قسمت روشن یا در طول
جوش گسترده شده و یا به شکل
قطرات کروی منفرد دیده می‌شود.

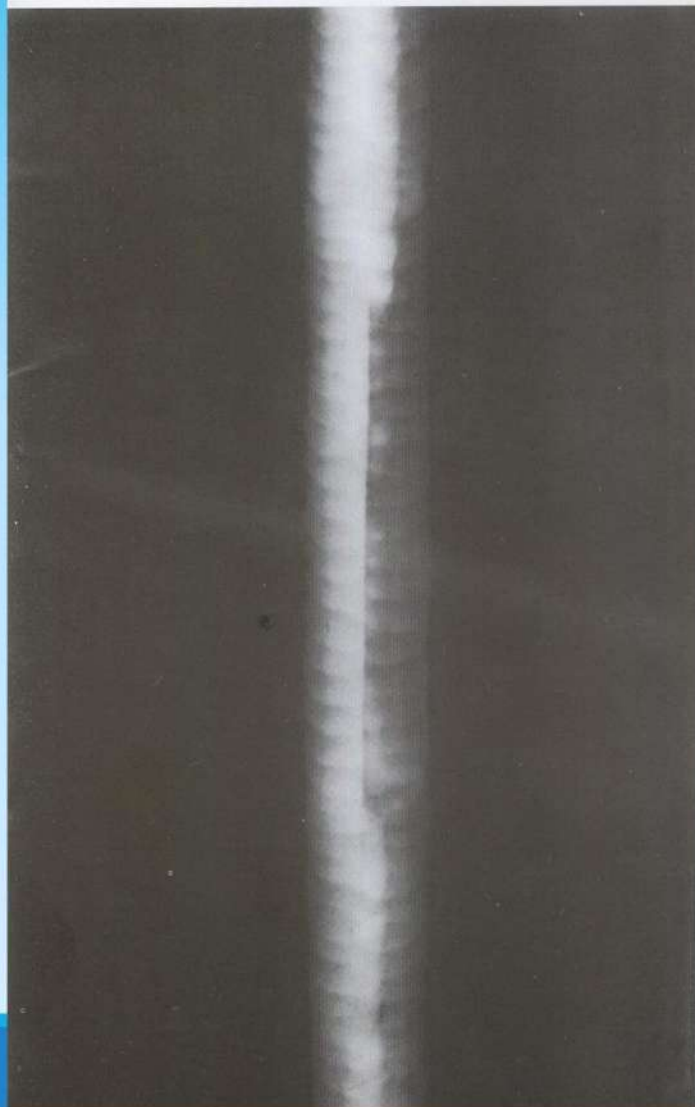
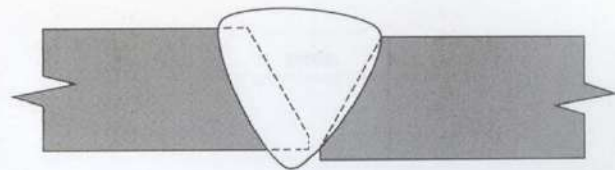
- **Radiographic Image**
A lighter density in the center of the width of the weld image, either extended along the weld or in isolated circular "drops".

فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

- **Welding Process**
SMAW

عیوب جوشکاری



• انحراف یا عدم انطباق اتصالات با نفوذ ناقص

عدم انطباق قطعات جوش و کامل پرنشدن قسمت زیرین جوش یا "منطقه ریشه"

• تفسیر رادیوگرافی

تغییر ناگهانی تیره‌گی در سرتاسر عرض تصویر جوش همراه یک خط طولی تیره‌تر در مرکز عرض تصویر جوش در امتداد لبه تغییر تراکم مشاهده می‌شود.

• فرآیند

جوشکاری قوسی الکتروود روکشدار

• Offset or Mismatch with Lack of Penetration (LOP)

A misalignment of the pieces to be welded and insufficient filling of the bottom of the weld or "root area".

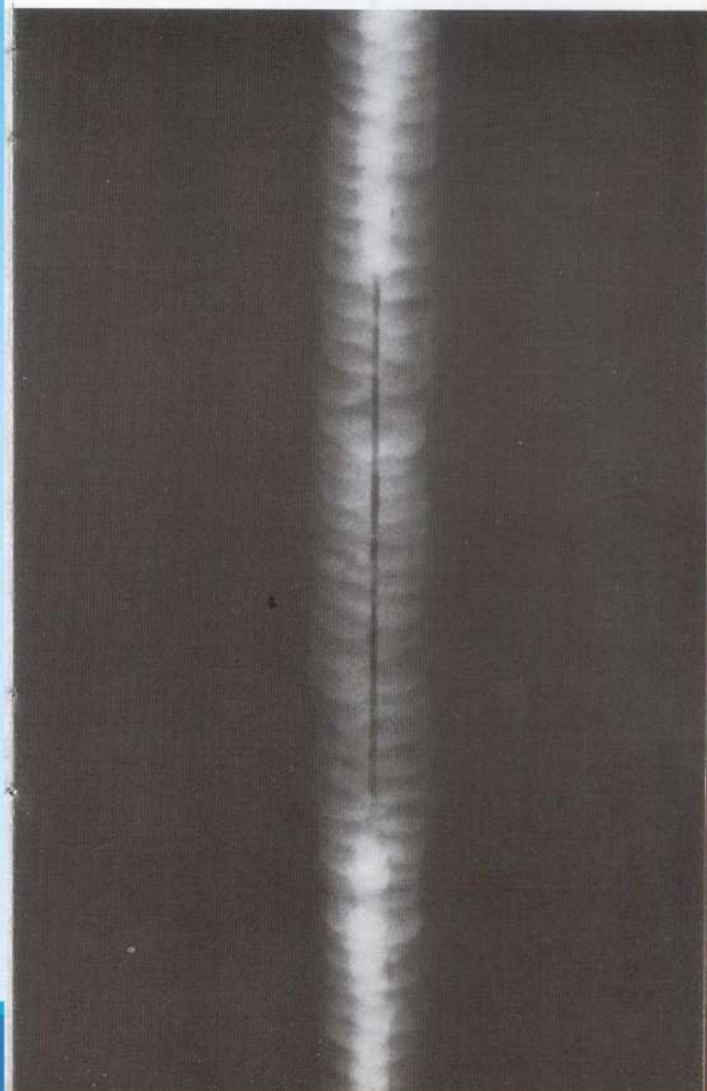
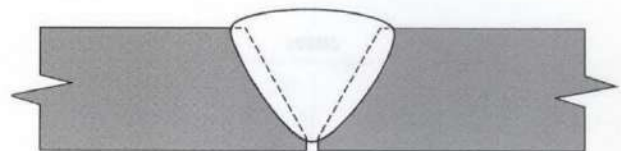
• Radiographic Image

An abrupt density change across the width of the weld image with a straight longitudinal darker density line at the center of the width of the weld image along the edge of the density change.

• Welding Process

SMAW

عیوب جوشکاری



عدم نفوذ یا نفوذ ناقص

جوش نخوردن لبه قطعات کار، معمولاً در قسمت زیرین جوشهای شیاری لاله ای یکطرفه

تفسیر رادیوگرافی

یک نوار تیره با لبه های کاملاً صاف در مرکز عرض تصویر جوش مشاهده می شود

فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• Incomplete or lack of Penetration (LOP)

The edges of the pieces have not been welded together, usually at the bottom of single V - groove welds

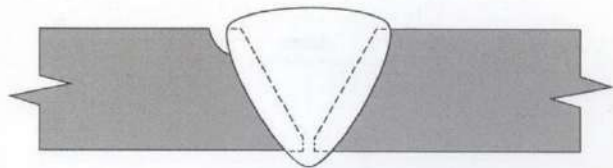
• Radiographic Image

A darker density band , with very straight parallel edges, in the center of the width of the weld image.

• Welding Process

SMAW

عیوب جوشکاری



• بریدگی خارجی کناره جوش

کنندگی در قطعه جوش ، در امتداد لبه فوقانی یا "خارجی" سطح جوش

• External Undercut

A gouging out of the piece to be welded, alongside the edge of the top or " external" surface of the weld.

• تفسیر رادیوگرافی

لبه تصویر جوش بصورت غیرعادی ، تیره است. تیره‌گی این قسمت ، همیشه از تیره‌گی قطعات جوش بیشتر می‌باشد .

• Radiographic Image

An irregular darker density along the edge of the weld image.

The density will always be darker than the density of the pieces being welded.

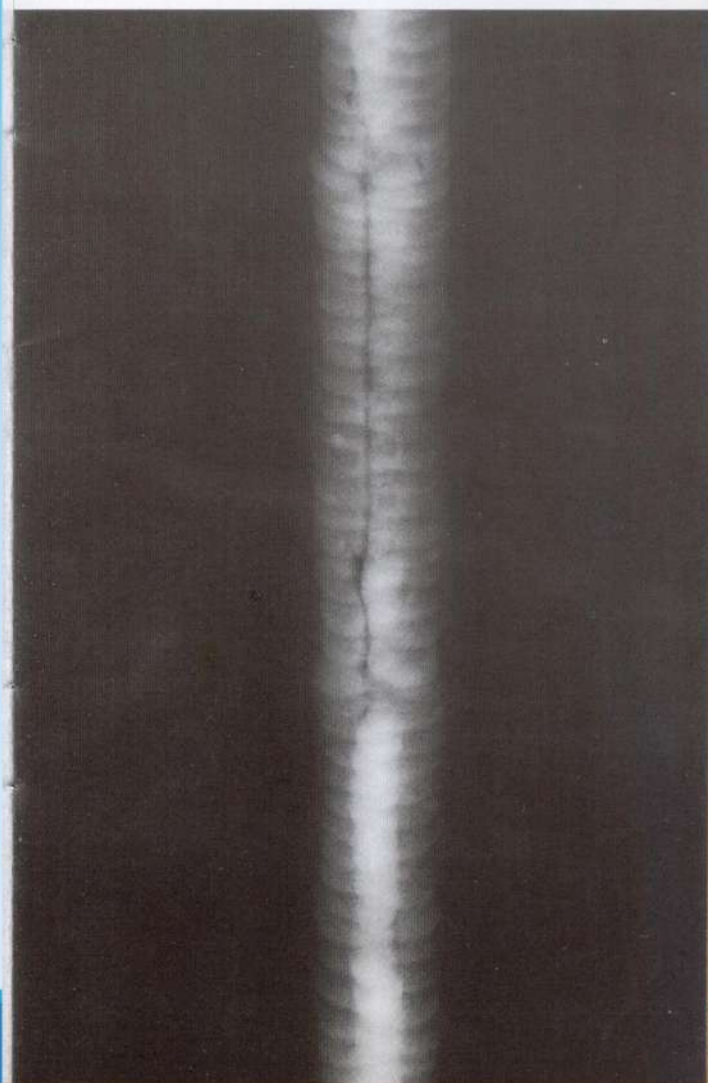
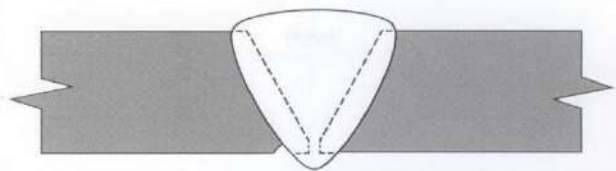
• فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• Welding Process

SMAW

عیوب جوشکاری



• **بریدگی داخلی (ریشه) کناره جوش**
کندگی در فلز پایه، در قسمت زیرین یا "داخلی" سطح جوش

• **تفسیر رادیوگرافی**
نزدیک مرکز عرض تصویر جوش و در امتداد لبه پاس ریشه، تیره‌گی غیرعادی دیده می‌شود.

• **فرآیند**
جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• **Internal (Root) Undercut**

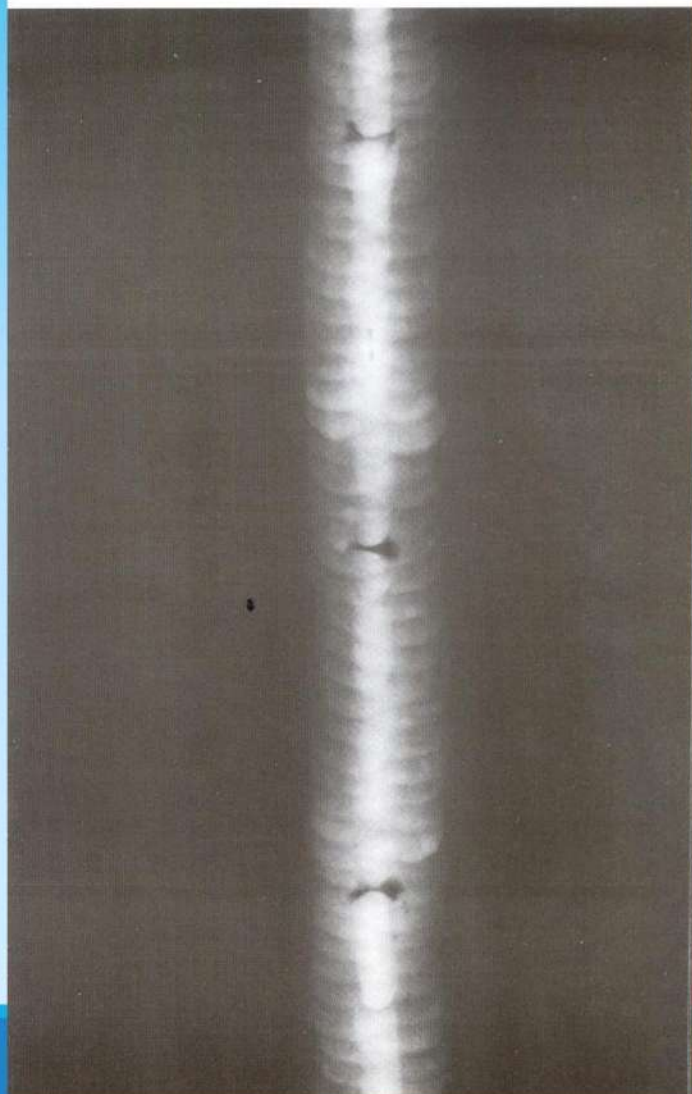
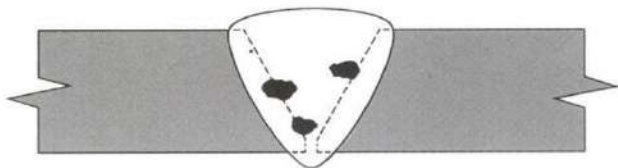
A gouging out of the parent metal, alongside the edge of the bottom or "internal" surface of the weld.

• **Radiographic Image**

An irregular darker density near the center of the width of the weld image and along the edge of the root pass image.

• **Welding Process**
SMAW

عیوب جوشکاری



تجمع سرباره بین پاس ها
تجمع ناخالصی های معمولاً غیرفلزی که
روی سطح جوش منجمد شده و بین
پاس های جوش تمیز نشده اند.

• **Interpass Slag Inclusions**
Usually non - metallic impurities
that solidified on the weld
surface and were not
removed between weld
passes.

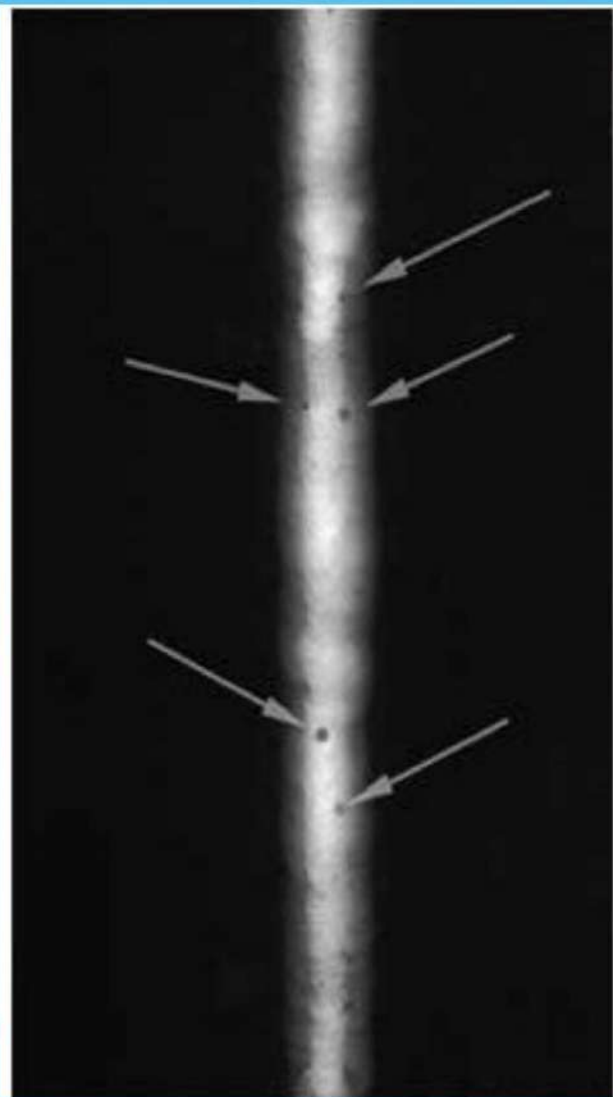
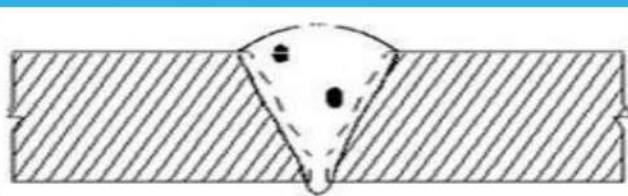
تفسیر رادیوگرافی
در تصویر، سرباره بصورت نقاط تیره با
اشکال نامنظم در جوش پراکنده شده
است.

• **Radiographic Image**
An irregularly - shaped darker
density spot, usually slightly
elongated and randomly
spaced.

فرآیند
جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• **Welding Process**
SMAW

عیوب جوشکاری



تخلخل پراکنده

حفره‌های کروی پراکنده در جوش، در اندازه‌های مختلف

• Scattered Porosity

Rounded voids random in size and location.

تفسیر رادیوگرافی

تخلخل بصورت نقاط تیره در اندازه‌های متفاوت و بصورت پراکنده در تصویر جوش دیده می‌شود.

• Radiographic Image

Rounded spots of darker densities random in size and location.

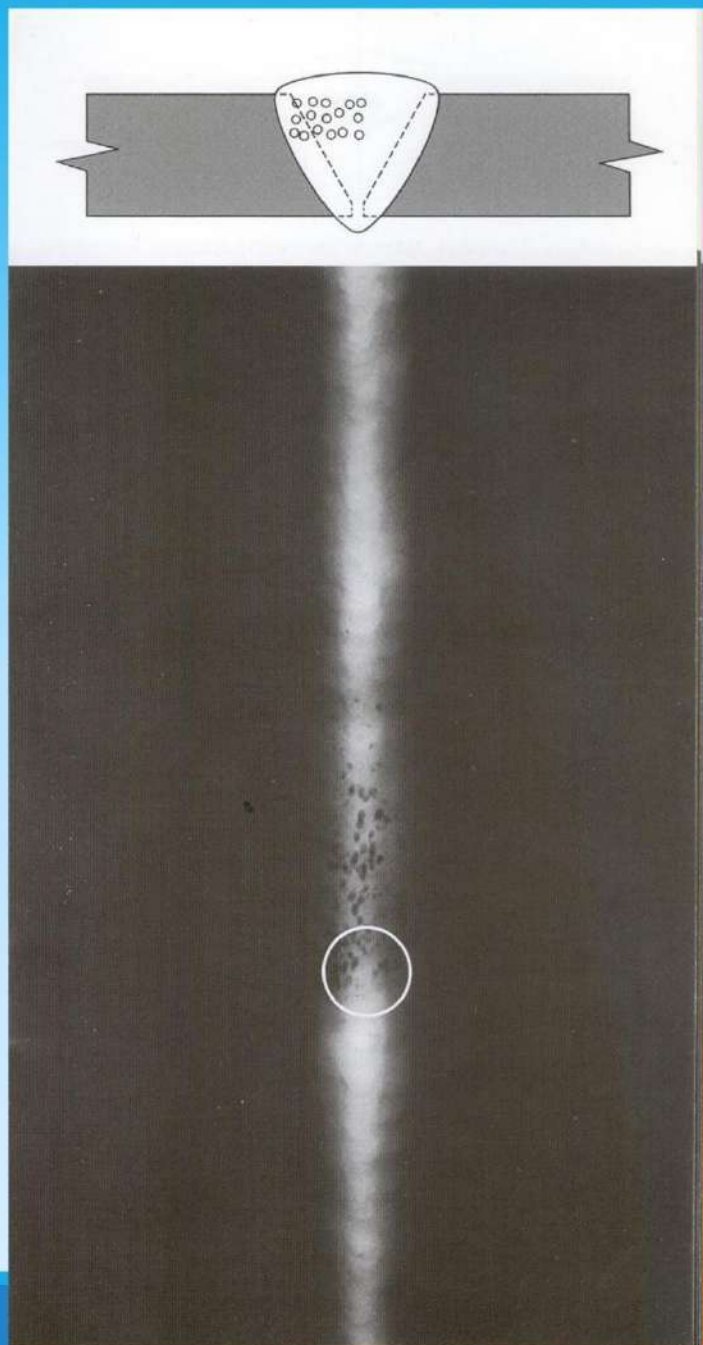
فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• Welding Process

SMAW

عیوب جوشکاری



• تخلخل خوشه‌ای

تجمع حفره‌های کروی یا کمی کشیده

• تفسیر رادیوگرافی

این تخلخل به شکل نقاط تیره مدور یا کشیده با آرایش خوشه‌ای در تصویر قابل مشاهده می‌باشند.

• فرآیند

جوشکاری قوسی الکترود روکشدار

• Cluster Porosity

Rounded or elongated voids grouped together.

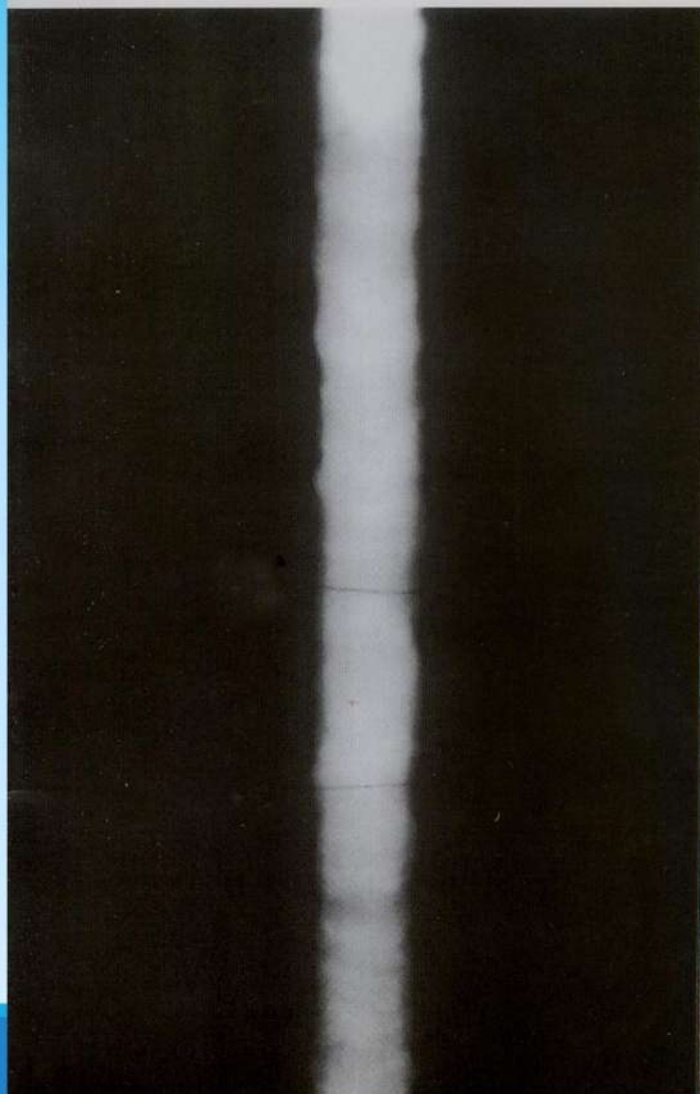
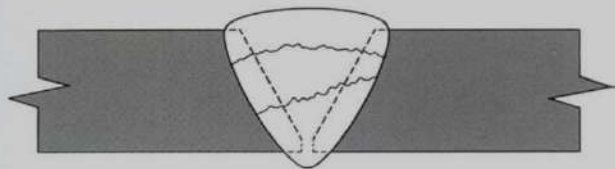
• Radiographic Image

Rounded or slightly elongated darker density spots in clusters with the clusters randomly spaced.

• Welding Process

SMAW

عیوب جوشکاری



ترک متقاطع (عرضی)
ترک خوردگی در عرض فلز جوش

- **Transverse Crack**
A fracture in the weld metal running across the weld.

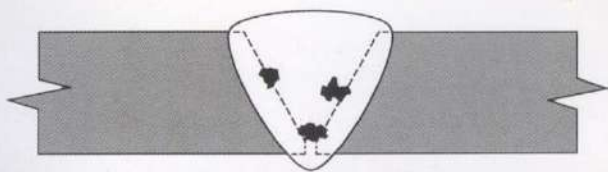
تفسیر رادیوگرافی
خطوط تیره پَرمانند موجود در عرض
تصویر جوش ، نشاندهنده ترک
می باشند.

- **Radiographic Image**
Feathery lines of darker density running across the width of the weld image.

فرآیند
جوشکاری قوسی تحت پوشش گاز محافظ.
جوشکاری قوسی تنگستنی

- **Welding Process**
GMAW , GTAW

عیوب جوشکاری



• آلودگی تنگستنی

ذرات گداخته و پراکنده تنگستن که در فلز جوش ذوب نشده اند.

• تفسیر رادیوگرافی

آلودگی تنگستنی، بصورت نقاط پراکنده روشن در تصویر جوش، قابل مشاهده است.

• فرآیند

جوشکاری قوسی تنگستنی

• Tungsten Inclusions

Random bits of tungsten fused into but not melted into the weld metal.

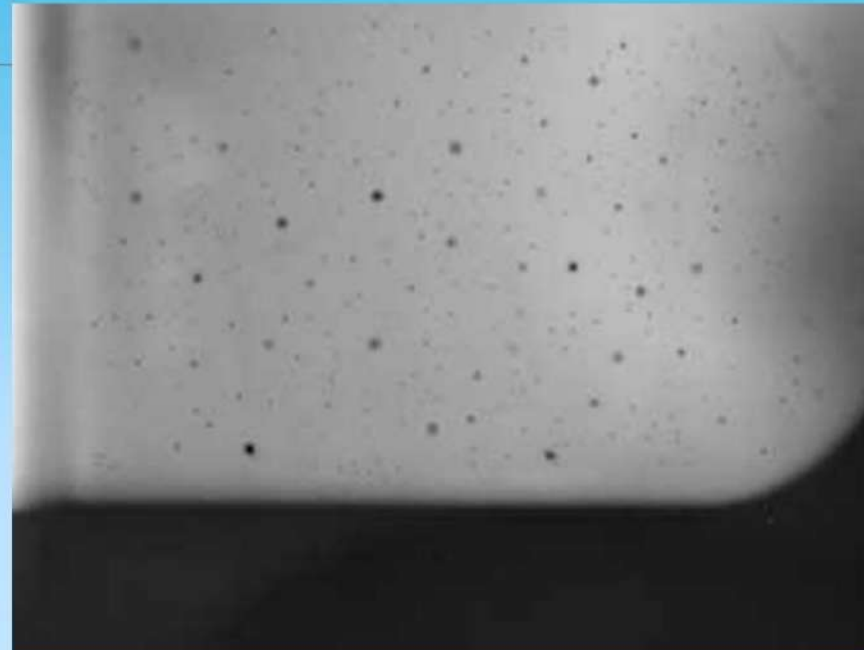
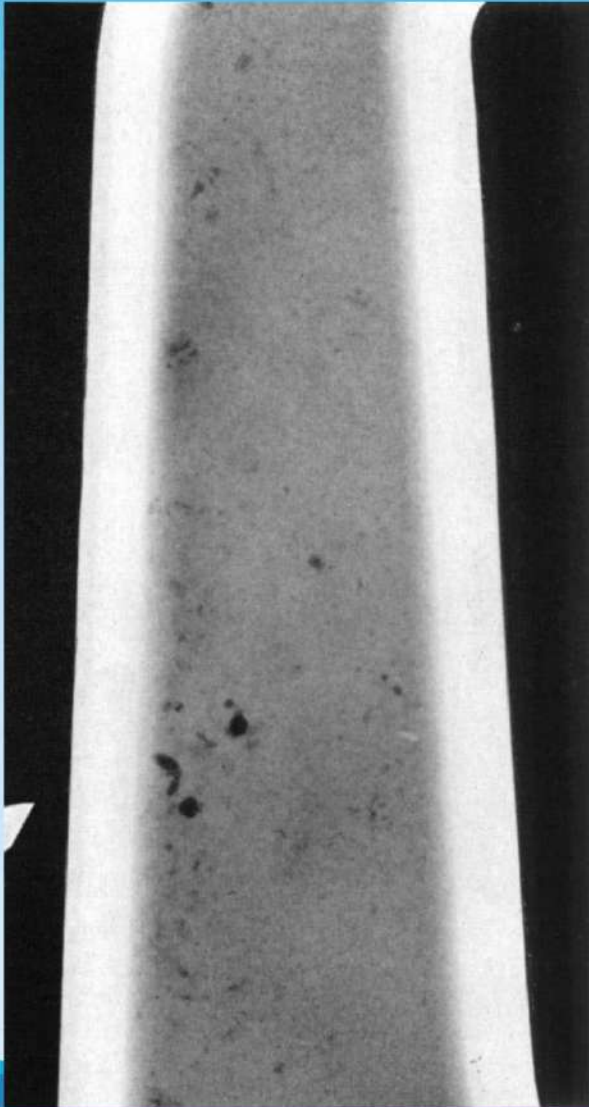
• Radiographic Image

Irregularly shaped lower density spots randomly located in the weld image.

• Welding Process

GTAW

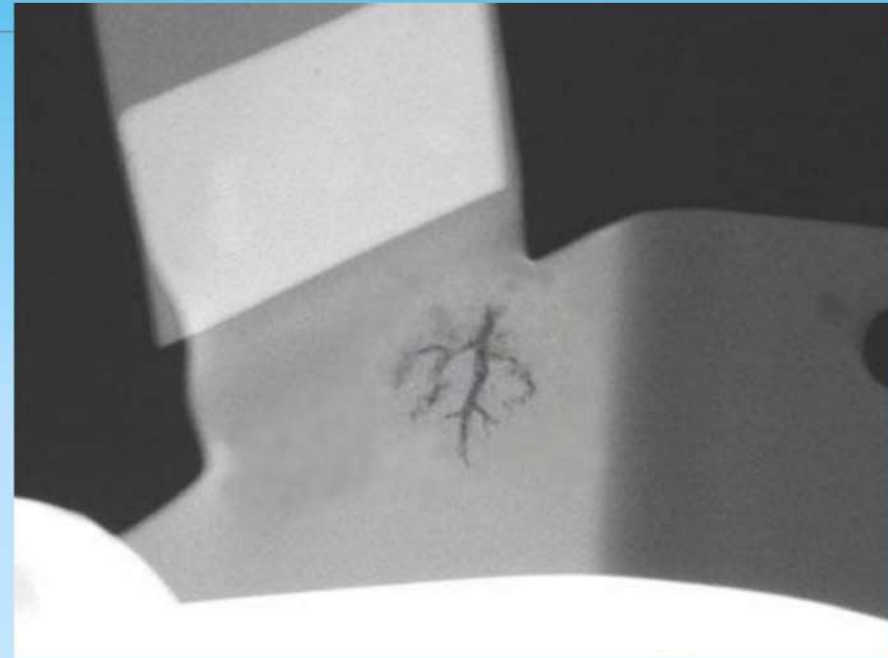
عیوب ریخته گری



حفرات گازی: Gas Porosity

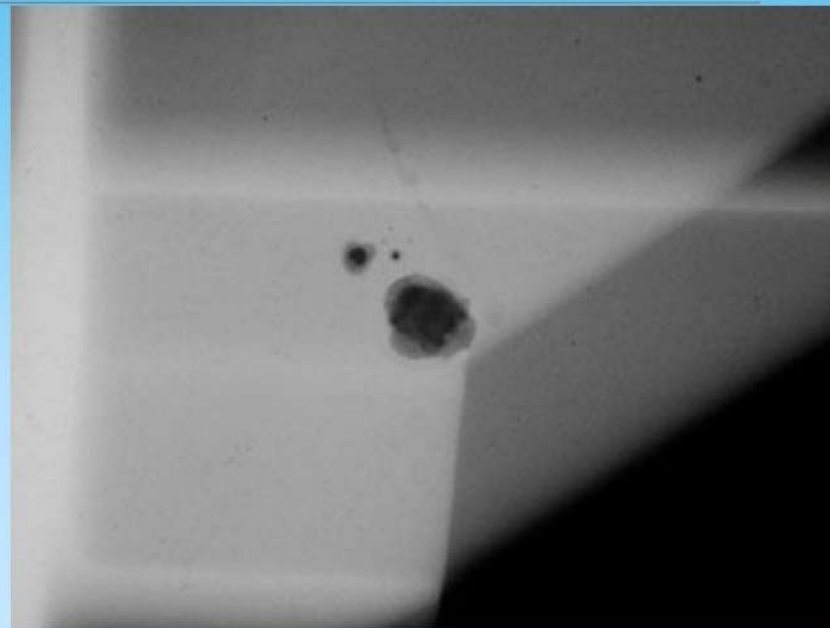
عیوب ریخته گری

انقباض انجمادی به شکل دندریتی:
Dendritic Shrinkage



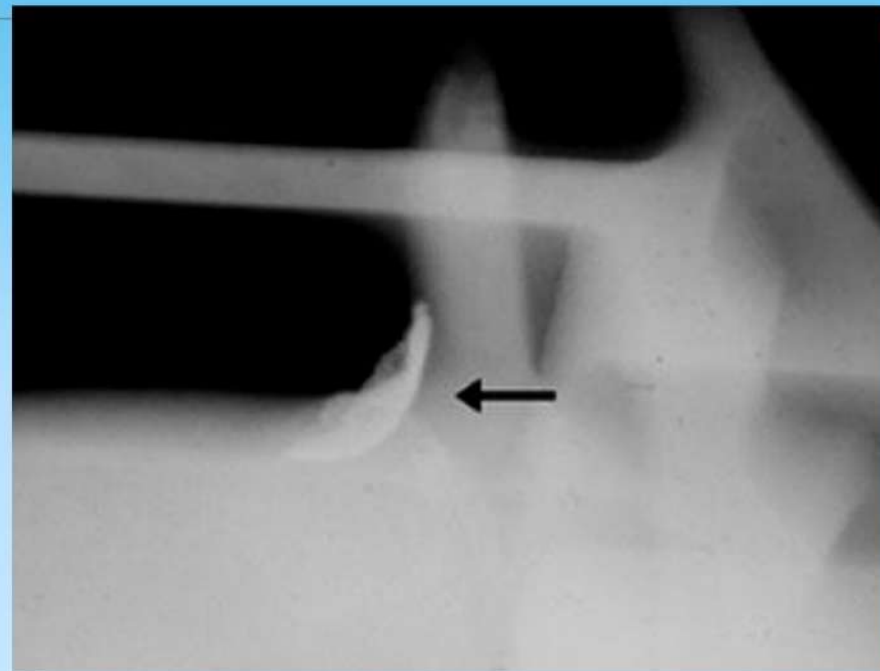
عیوب ریخته گری

آخالهای ماسه ای یا اکسیدی:
Sand Inclusion or Dross



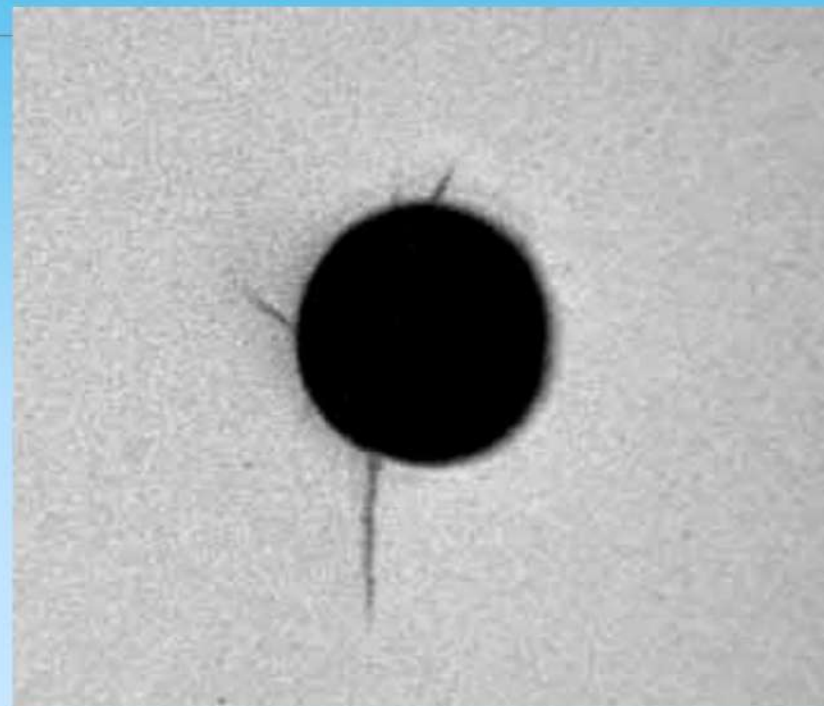
عیوب ریخته گری

آخال: Inclusion



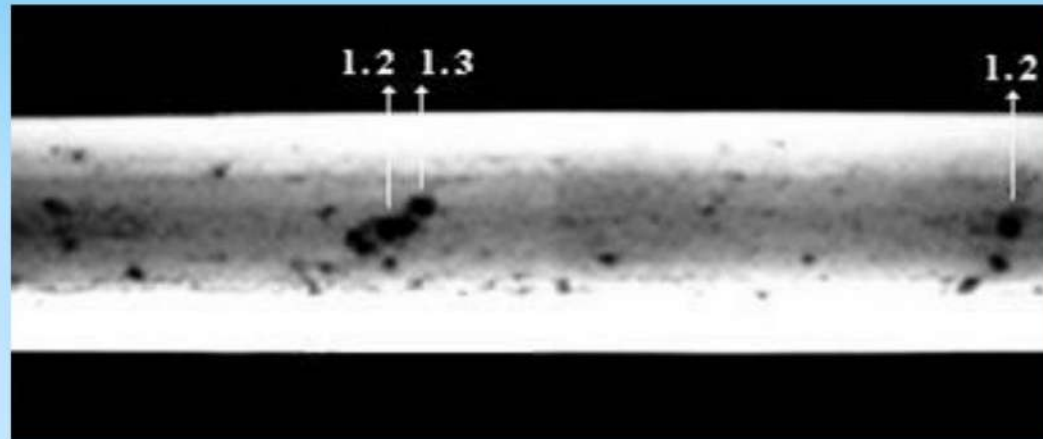
عیوب ریخته گری

ترک: Crack



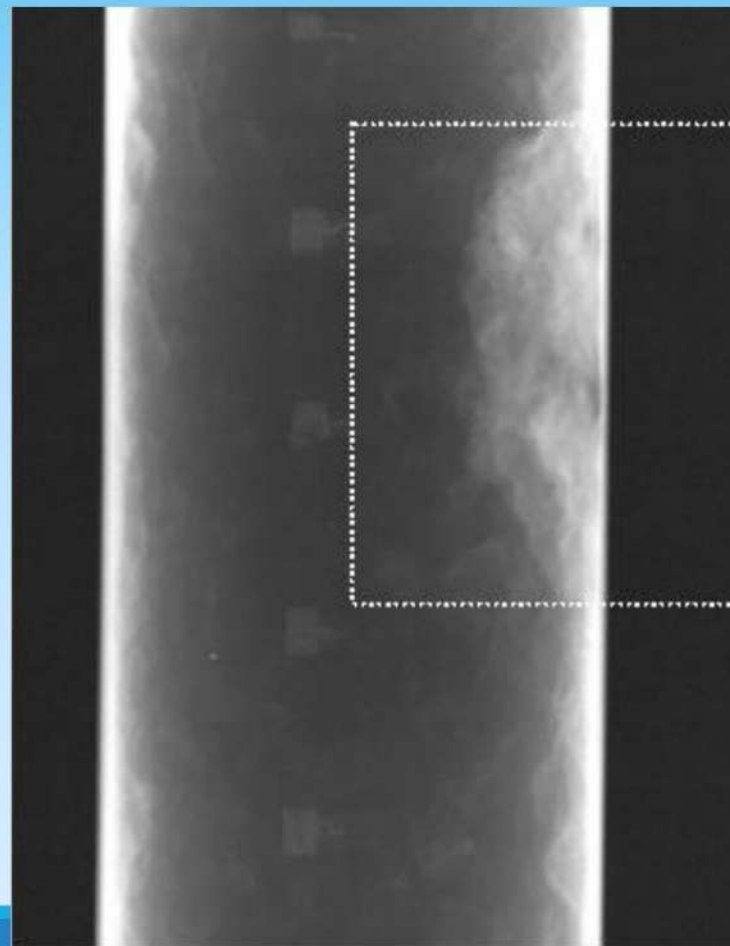
عیوب خوردگی

▪ خوردگی در جداره داخلی لوله ها



عیوب خوردگی

■ خوردگی در جداره داخلی لوله ها



آزمون امواج فراصوتی (Ultrasonic Test: UT)

۱۹۱۲: تشخیص موانع در آب با استفاده از امواج صوتی

۱۹۱۴: تشخیص موانع در آب از فاصله ۲ مایلی

۱۹۲۱: تعیین عمق بستر دریاها

۱۹۲۹-۱۹۳۵: بازرسی قطعات صنعتی

۱۹۴۵: تعیین ضخامت قطعات و استفاده در کاربردهای پزشکی

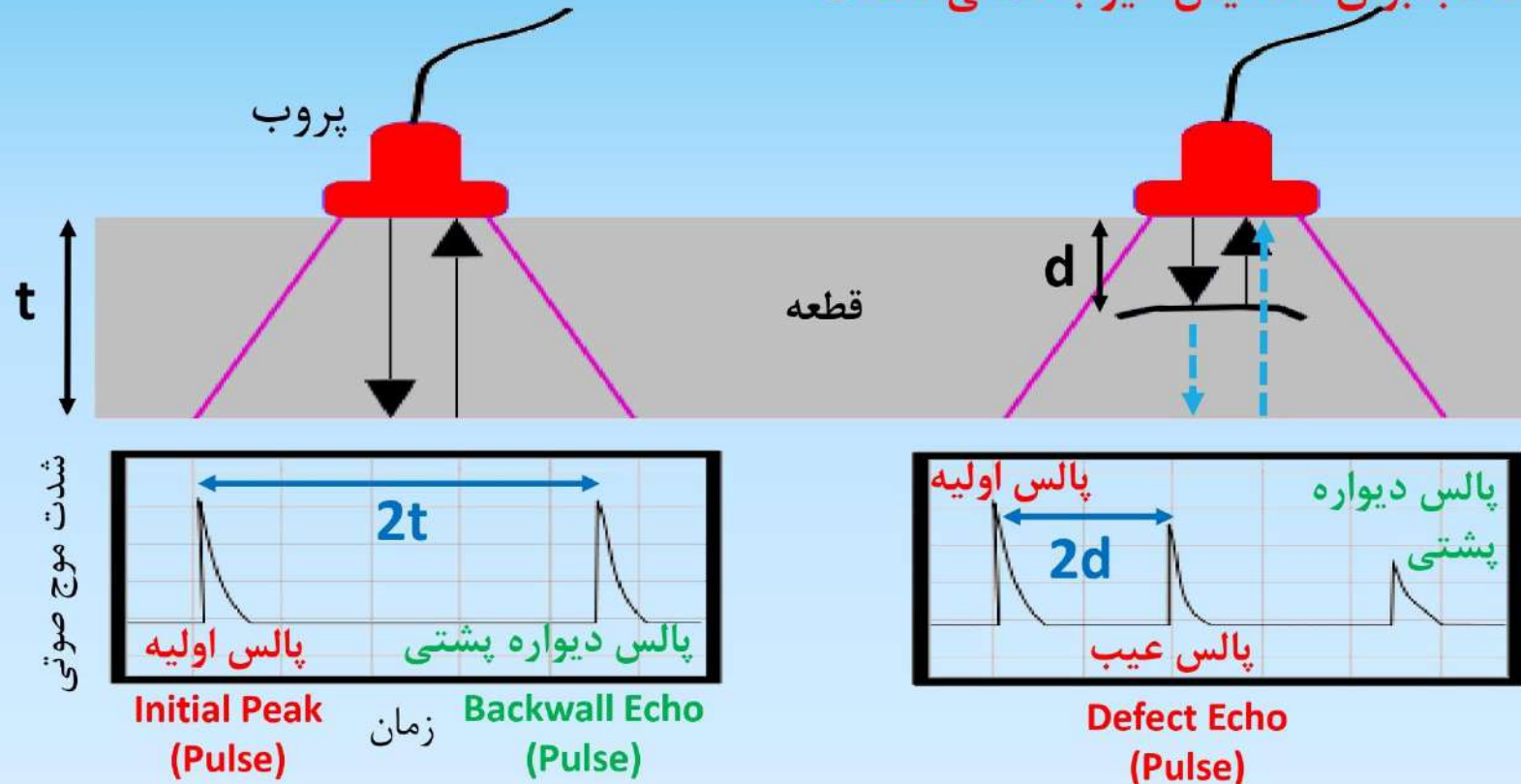
تاریخچه

روش UT یک روش کمی است.

آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کلیات روش UT:

• مناسب برای تشخیص عیوب عمقی قطعات



آزمون امواج فراصوتی (UT)

تشخیص کمی محل و سائز عیوب

تعیین ضخامت (پوشش، قطعه)

بررسی ریزساختاری

کاربردهای
UT روش

اندازه‌گیری خواص الاستیک ماده $V=f(E,G,v,\rho)$

V : سرعت حرکت صوت در ماده

G : مدول برشی ماده

v : ضریب پواسون

ρ : دانسیته ماده

E : مدول الاستیک ماده

آزمون امواج فراصوتی (UT)

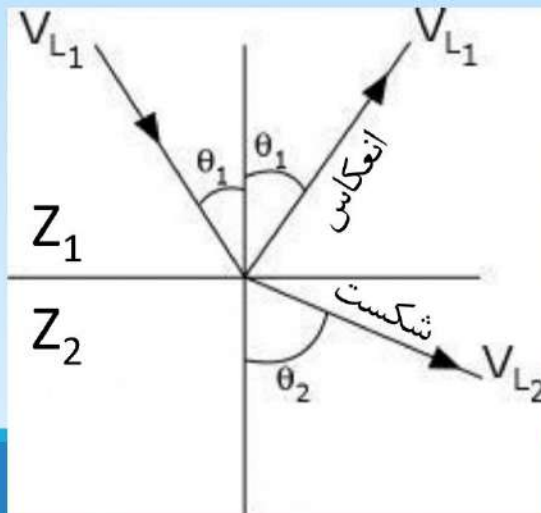
- برای UT، از امواج صوتی بالاتر از محدوده شنوایی انسان استفاده می شود (100 kHz-20 MHz)
- امواج مکانیکی و الاستیک

سرعت حرکت موج داخل یک ماده ثابت است $V = f * \lambda$

$$Z = V * \rho$$

Z: Acoustic Impedance

انعکاس و عبور (شکست) موج صوتی در فصل مشترک دو ماده



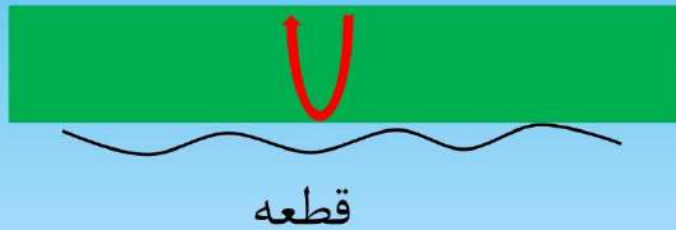
میرایی (یا تضعیف) موج صوتی

$$\frac{V_{L1}}{\sin \theta_1} = \frac{V_{L2}}{\sin \theta_2} \quad R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

ویژگی های
موج صوتی



آزمون امواج فراصوتی (UT)



انعکاس از فصل مشترک مواد

← استفاده از Couplant

مکانیزم‌های تضعیف
موج صوتی

تبدیل موج صوتی به حرارت

پراکندگی و تفرق

آزمون امواج فراصوتی (UT)

Longitudinal wave- Compression wave: موج طولی:

Transverse wave- Shear wave: موج عرضی:

Surface wave- Rayleigh wave: موج سطحی:

Plate wave: موج صفحه ای:

انواع
موج صوتی

آزمون امواج فراصوتی (UT)

زمان مرده: Dead Time

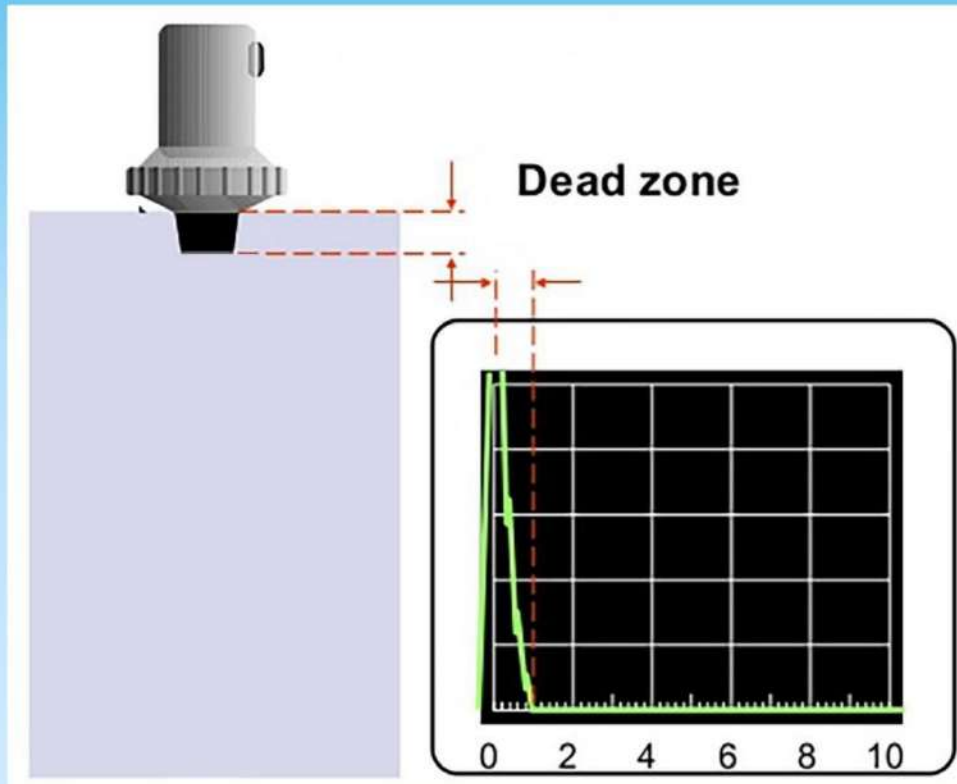
زمانی که بعد از قطع جریان در پروب، همچنان پروب به نوسان ادامه می دهد تا موج به طور کامل میرا شود را زمان مرده می گویند.

ناحیه مرده: Dead Zone

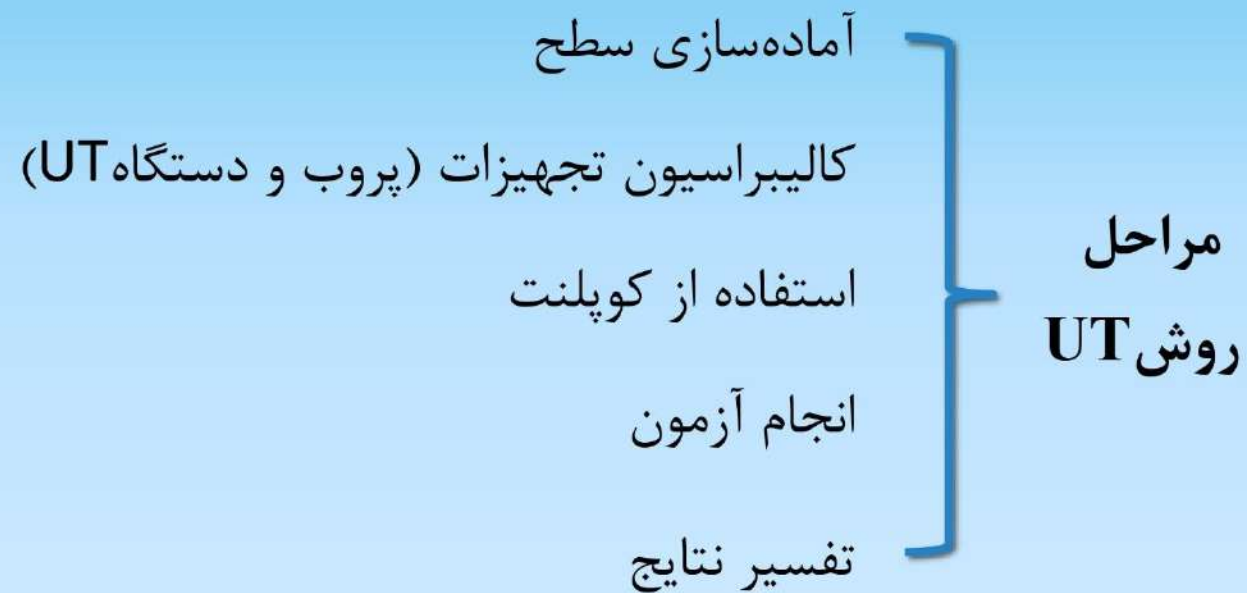
فاصله ای در زیر پروب و داخل قطعه که اگر عیبی در این فاصله در قطعه وجود داشته باشد، به دلیل ارتعاش کریستال در پروب، عیب شناسایی نمی شود را ناحیه مرده می نامند.

آزمون امواج فراصوتی (UT)

- ناحیه مرده: Dead Zone



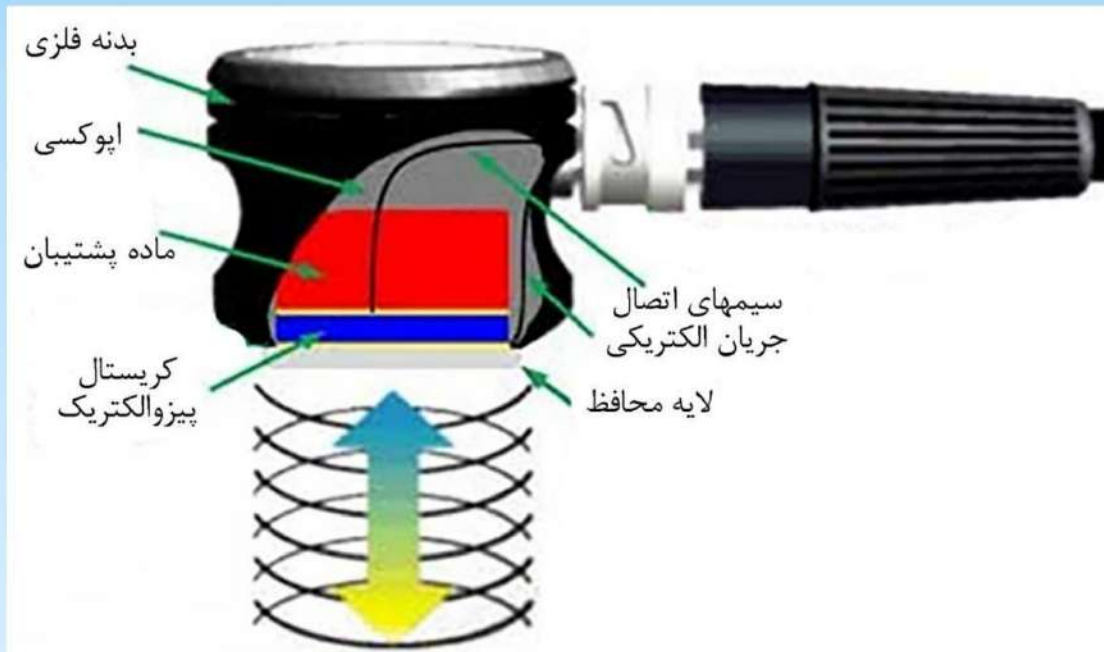
آزمون امواج فراصوتی (UT)



آزمون امواج فراصوتی (UT)

• تجهیزات

- Probe: مبدل انرژی الکتریکی به مکانیکی و تولید موج صوتی در قطعه و بالعکس (دریافت موج صوتی از قطعه و تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی)



آزمون امواج فراصوتی (UT)

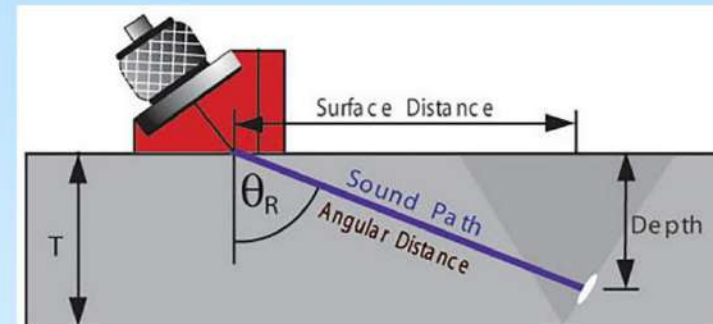
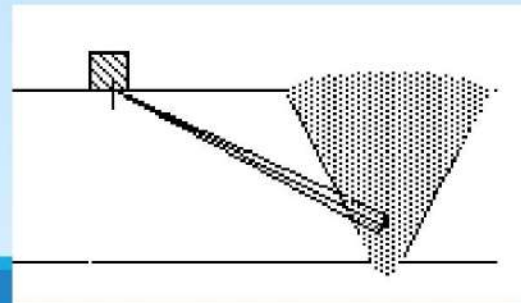
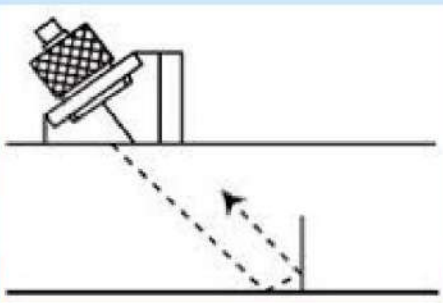
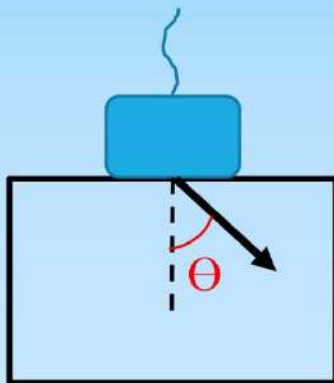
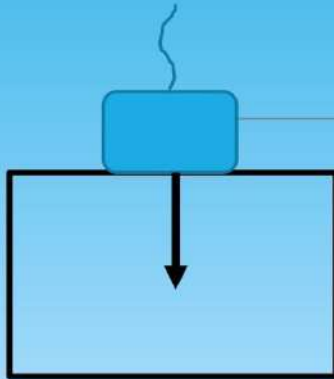
• تجهیزات

• Probe

انواع
Probe

نرمال: Normal (Straight) Beam Probe

زاویه دار: Angle Beam Probe



θ_R = Angle of Refraction

T = Material Thickness

Surface Distance = $\sin \theta_R \times \text{Sound Path}$

Depth = $\cos \theta_R \times \text{Sound Path}$

آزمون امواج فراصوتی (UT)

• تجهیزات

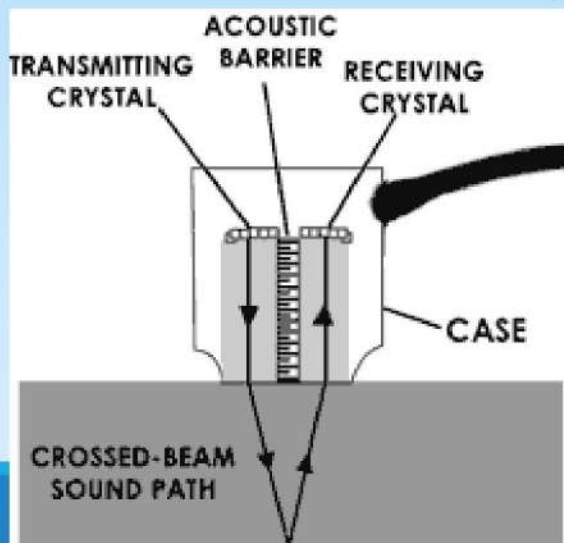
Normal (Straight) Beam Probe : نرمال

Angle Beam Probe : زاویه دار

Dual Element Probe : دو المانی

• Probe

انواع
Probe



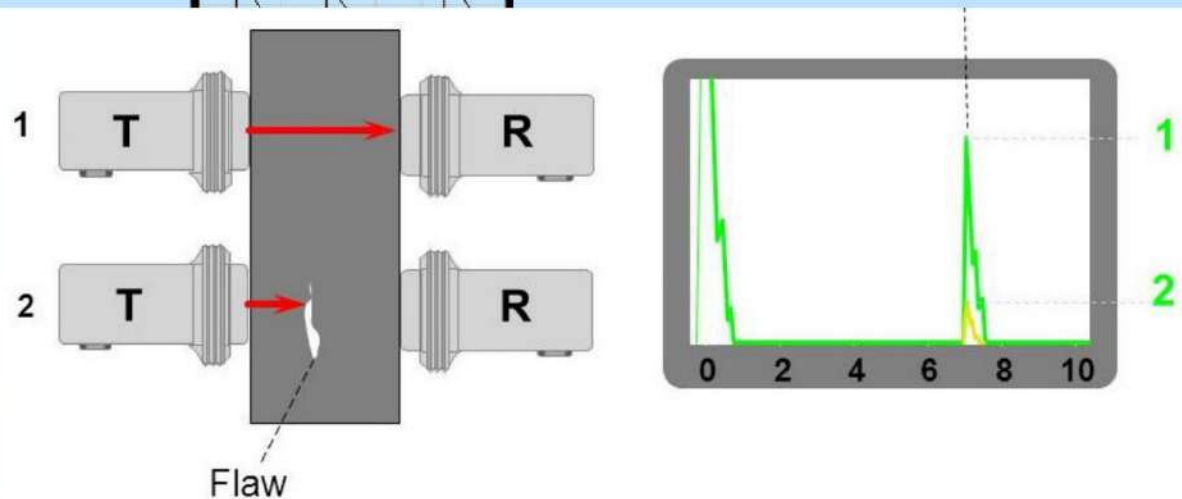
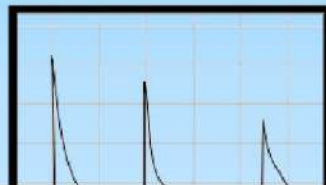
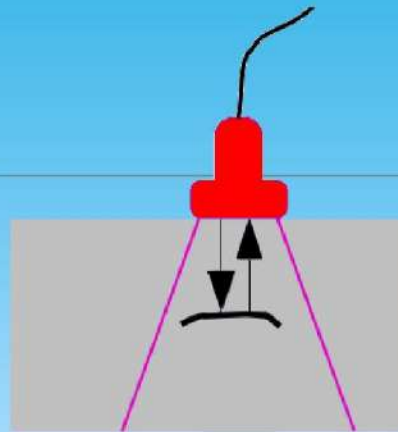
مزیت: حذف مشکل Dead zone

آزمون امواج فراصوتی (UT)

• روش‌های انجام آزمون

روش انعکاسی: Pulse-Echo

روش عبوری: Transmission Method



آزمون امواج فراصوتی (UT)

• روش‌های انجام آزمون

در روش انعکاسی دسترسی به یک سمت قطعه کافی است

قابلیت تعیین عمق عیب در روش انعکاسی

لزوم حرکت هماهنگ دو پروب در روش عبوری

حل مشکل Dead zone در روش عبوری

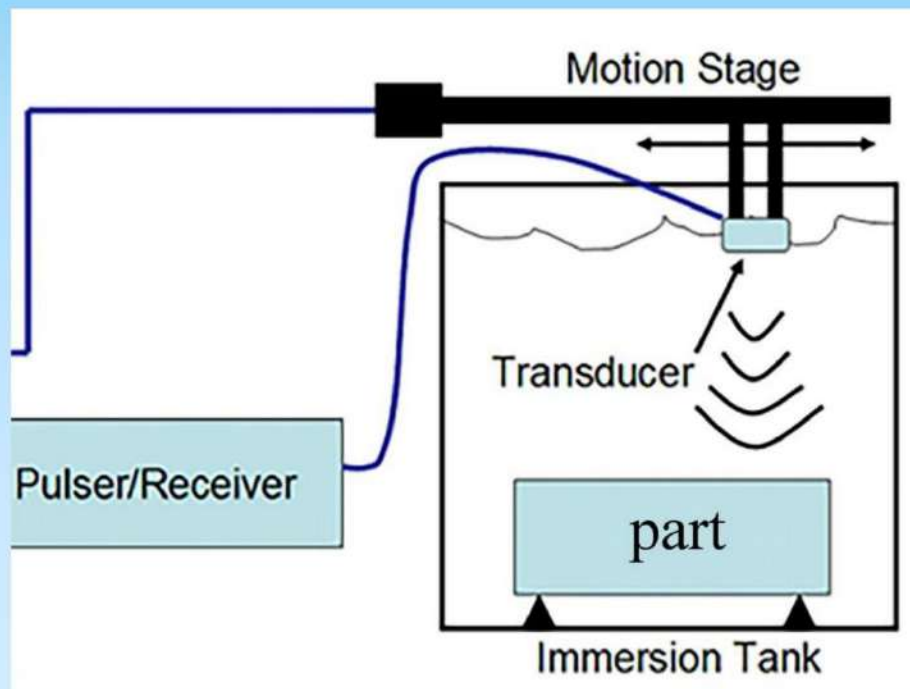
عدم نیاز به تولید جریان پالسی در روش عبوری

مقایسه روش‌های
انعکاسی و عبوری

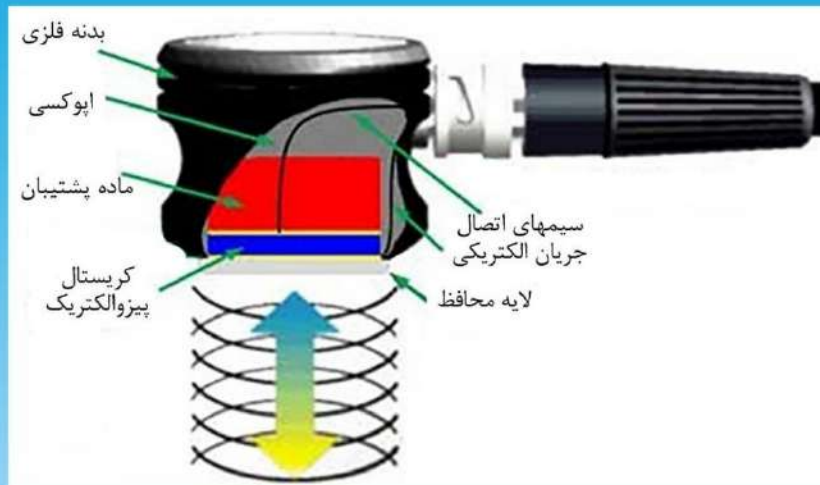
آزمون امواج فراصوتی (UT)

• روش‌های انجام آزمون

• روش غوطه‌وری: **Immersion Method**



- مناسب برای قطعات با هندسه پیچیده و سطوح غیر یکنواخت
- مناسب برای قطعات بزرگ
- حل مشکل Dead zone



آزمون امواج فراصوتی

• روش‌های انجام آزمون

استفاده از پروب Dual Element

استفاده از روش عبوری

استفاده از روش غوطه وری

قراردادن منطقه مرده در داخل پروب

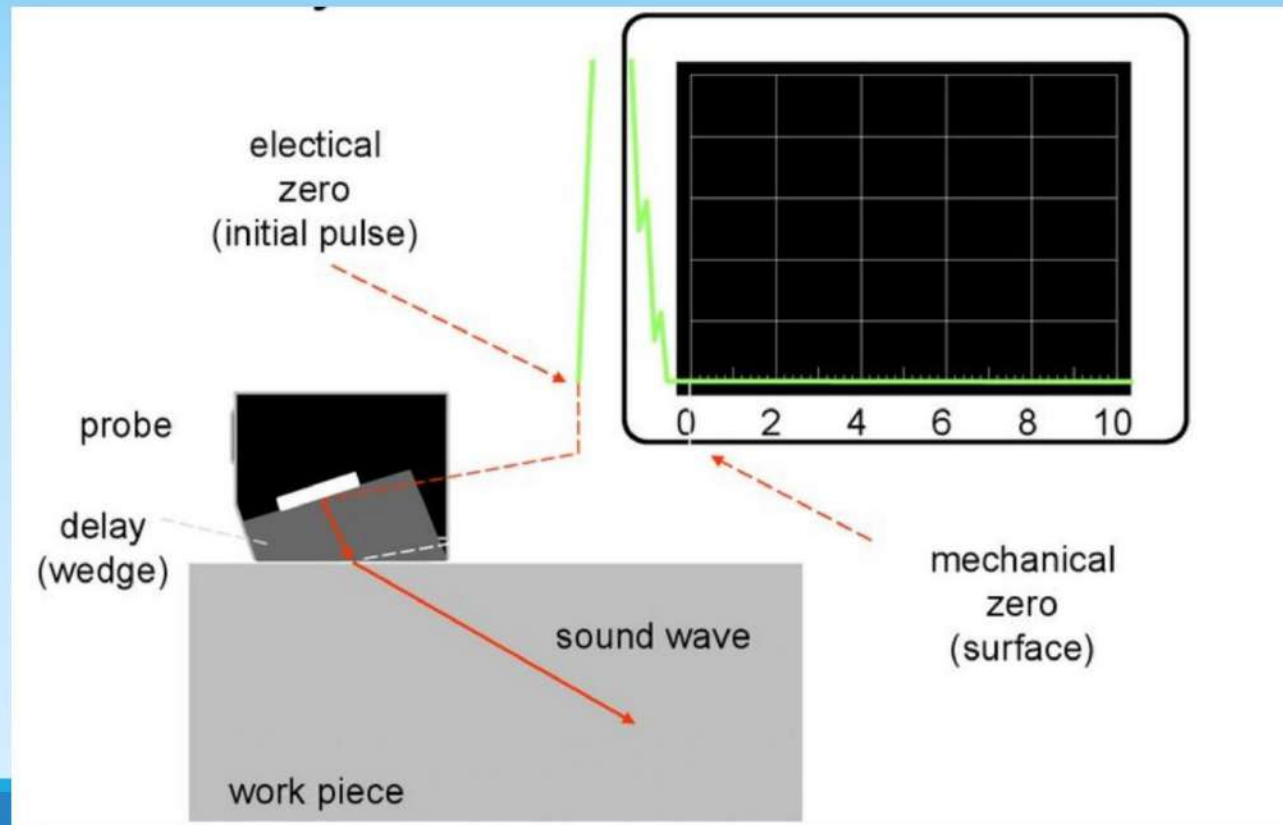
روش‌های برطرف
کردن مشکل
Dead zone

آزمون امواج فراصوتی (UT)

• روش‌های انجام آزمون

قرار دادن منطقه مرده در
داخل پروب

• روش‌های برطرف کردن مشکل Dead zone



آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

قطعات دامنه-فاصله (Distance-Amplitude)

قطعات دامنه-مساحت (Area-Amplitude)

قطعات پله ای (Step Gauge)

قطعات مرجع IIW

انواع
قطعات
مرجع

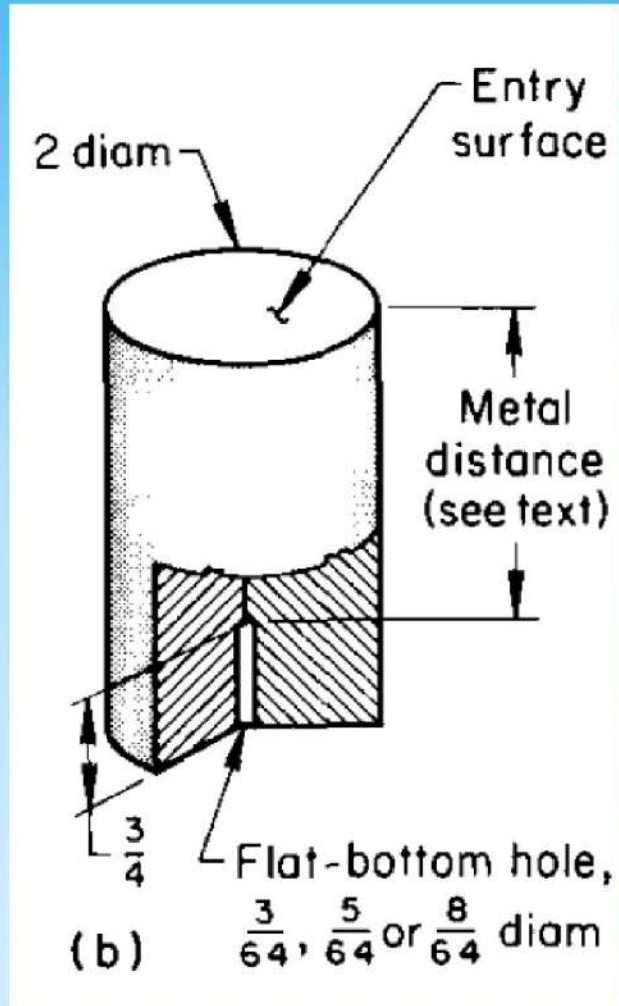
ترکیب شیمیایی و عملیات ترمومکانیکال
این قطعات مرجع باید حتی الامکان مشابه
قطعه تحت بازرسی باشد.

آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

• قطعات دامنه-فاصله (Distance-Amplitude)

• کالیبره کردن فاصله برای پروب نرمال

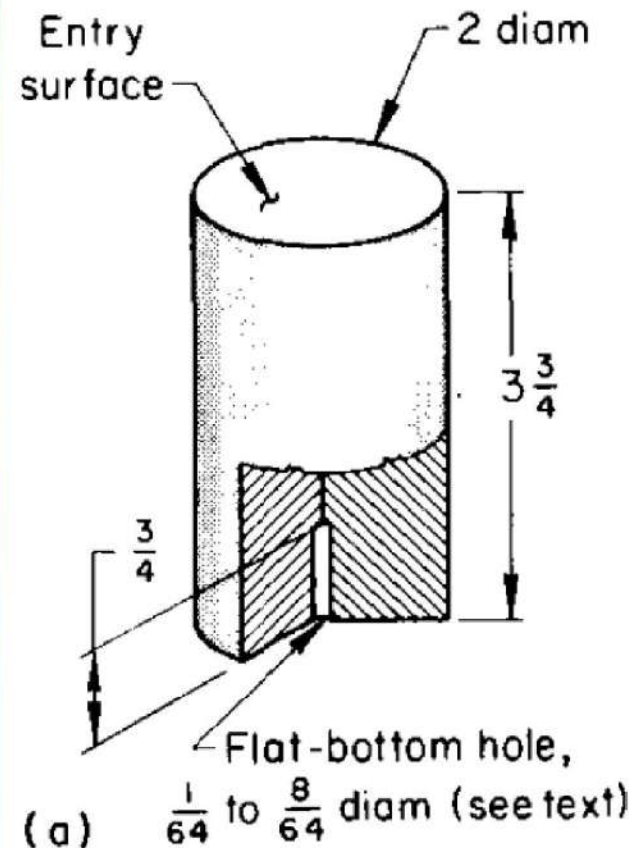


آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

• قطعات دامنه-مساحت (Area-Amplitude)

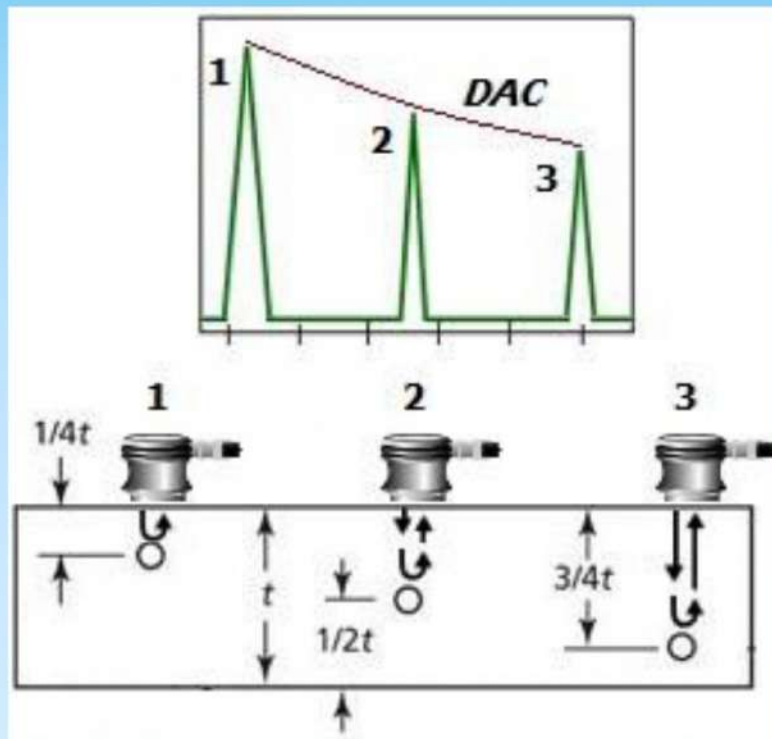
• کالیبره کردن سائز عیوب برای پروب نرمال



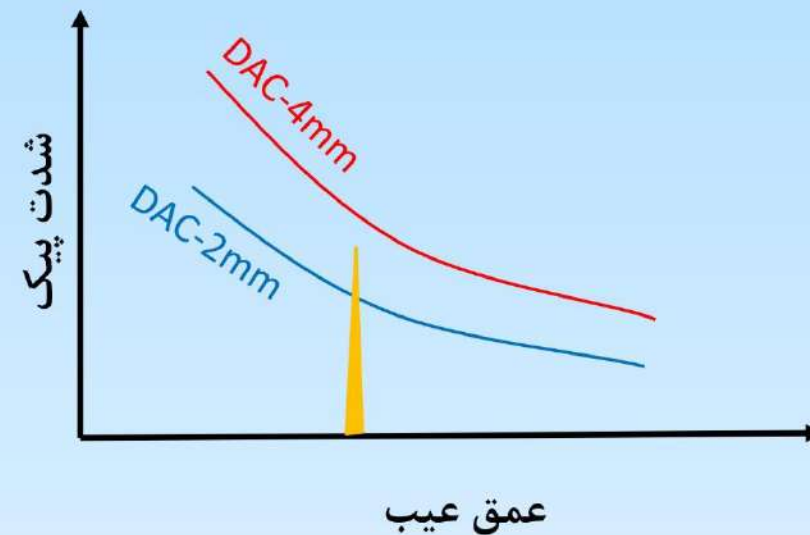
آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

Distance Amplitude Correction (DAC)



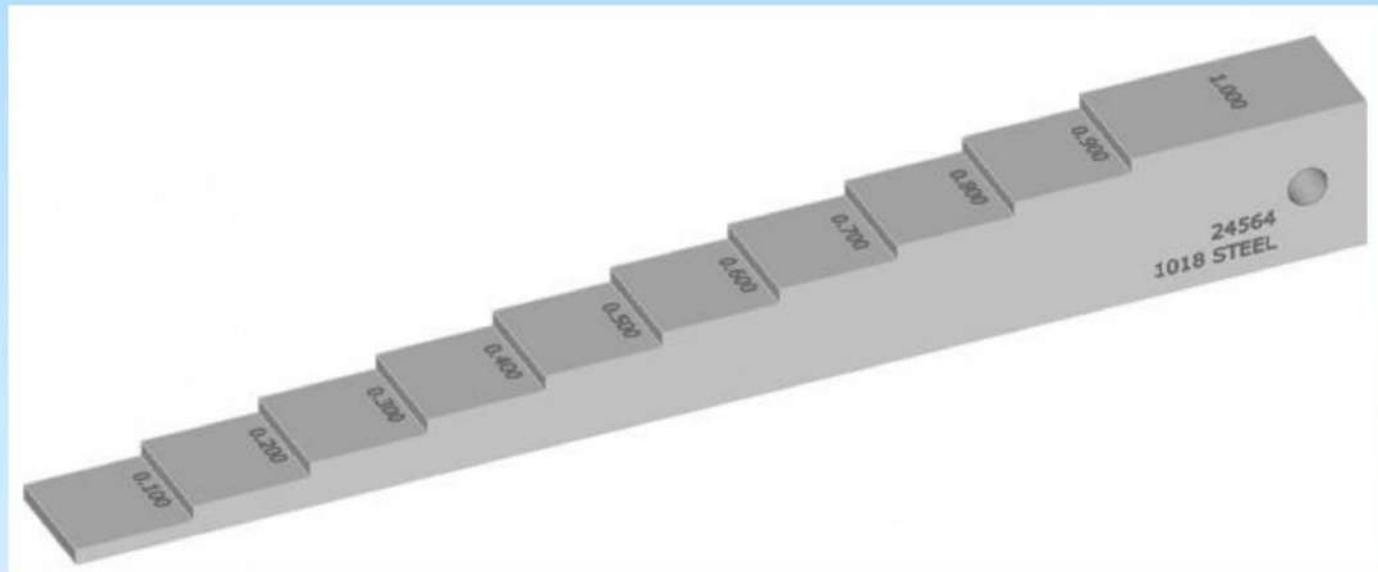
اندازه عیب } ارتفاع پیک عیب
عمق محل عیب



آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

- قطعات پله ای (Step Gauge)
- کالیبره کردن ضخامت در بازه های مختلف برای پروب نرمال



آزمون امواج فراصوتی (UT)

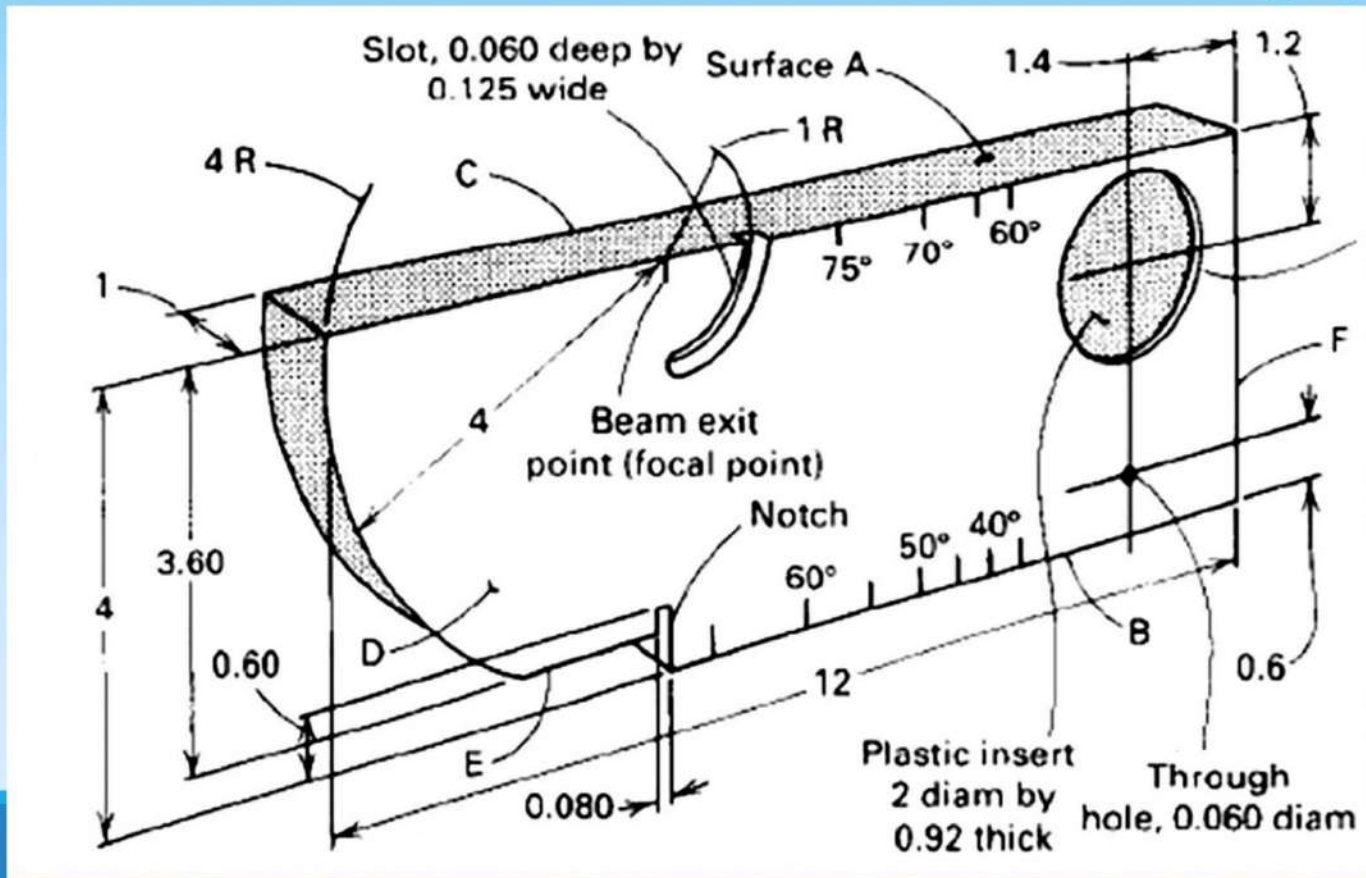
- کالیبراسیون تجهیزات
- قطعات مرجع IIW



آزمون امواج فراصوتی (UT)

• کالیبراسیون تجهیزات

- قطعات مرجع IIW



آزمون امواج فراصوتی (UT)

- کالیبراسیون تجهیزات
- قطعات مرجع IIW

تعیین محل خروج موج صوتی از پروب (Index Point)

کالیبراسیون فاصله

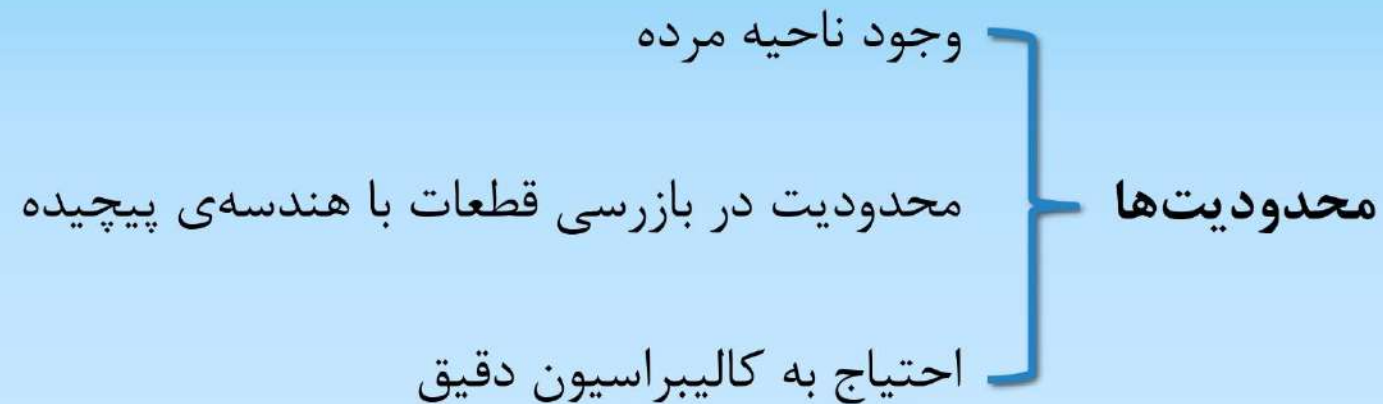
تعیین اندازه‌ی منطقه مرده

تعیین زاویه پروب

آزمون امواج فراصوتی (UT)

- روش کمی برای تشخیص سائز و محل عیب
 - برای عیوب عمقی و سطحی کاربرد دارد
 - در مقایسه با رادیوگرافی روش بی خطری است
 - عدم نیاز به دسترسی به دو طرف قطعه
 - تجهیزات کوچک و قابل حمل
- مزایا

آزمون امواج فراصوتی (UT)



بازرسی چشمی (Visual Test: VT)



بازرسی چشمی (VT)

ابزارهای اندازه‌گیری ابعادی: خط‌کش، کولیس و ...

انواع گیج‌ها: گیج کمبریج

تجهیزات مشاهده با بزرگنمایی بالاتر: ذره‌بین، میکروسکوپ و ...



تجهیزات مورد استفاده



بازرسی چشمی (VT)

ابزارهای اندازه‌گیری ابعادی: خط‌کش، کولیس و ...

انواع گیج‌ها: گیج کمبریج

تجهیزات مشاهده با بزرگنمایی بالاتر: ذره‌بین، میکروسکوپ و ...

ابزارهای مشاهده نواحی خارج از دید مستقیم:

Video Scope

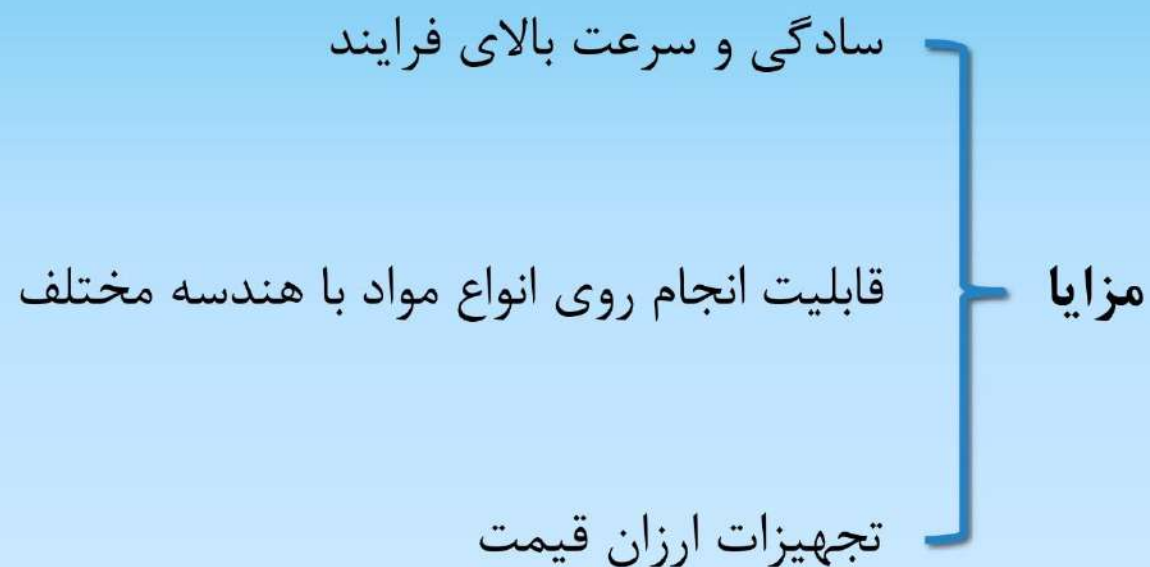
ابزار ایجاد نور موضعی

گچهای حرارتی

تجهیزات مورد استفاده



بازرسی چشمی (VT)



بازرسی چشمی (VT)

محدود به عیوب سطحی و عیوب ابعادی است

وابستگی نتایج به بازرس

دقت پایین

بیشتر یک روش کیفی است

محدودیت‌ها

حل مسایل RT

مسئله ۱: اگر برای یک کد دانه فیلم 1.5 بر روی فیلمی با برادمان $G = 4$ ،
اصتاج به پرتو دهی $200 \text{ mA} \cdot \text{s}$ در دانه 300 kV باشد، برای یک دانه دانه
 2.5 بر روی همان فیلم، چه مقدار پرتو دهی لازم است؟

$$D_1 = 1.5 \quad , \quad \epsilon_1 = 200 \text{ mA} \cdot \text{s}$$

$$D_2 = 2.5$$

حل مسایل RT

$$D_2 - D_1 = G \log \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \Rightarrow \varepsilon_2 = \varepsilon_1 \times 10^{\left(\frac{D_2 - D_1}{G}\right)}$$

$$\varepsilon_2 \approx 356 \text{ mA}\cdot\text{s}$$

حل مسایل RT

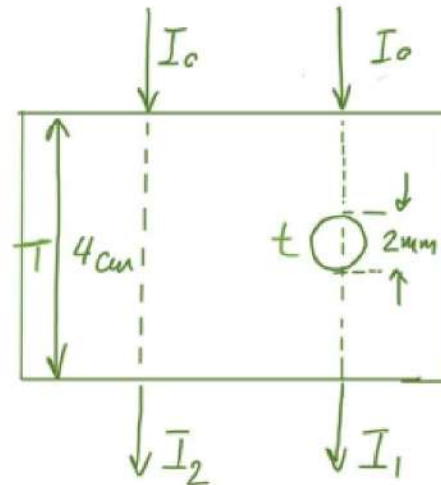
مسئله ۲: آیا امکان تشخیص عوزهای به قطر 2 mm در یک صفحه الومنیومی به
ضخامت 4 cm در رادیوگرافی بوسیله لامپ با ولتاژ 120 kV و فیلتری با
گرادین $G=5$ وجود دارد؟

$$V_{\text{لب}} = 120\text{ kV}$$

$$E_{\text{اشعه}} \text{ at } I_{\text{max}} = 80\text{ keV} \quad \nearrow \frac{2}{3} \times 120$$

$$\Rightarrow \log(AI) = 0.202 \frac{\text{cm}^2}{g} \quad \text{at } 80\text{ keV}$$

$$f_{AI} = 2.7 \frac{g}{\text{cm}^3}$$



حل مسایل RT

$$\Rightarrow \ell(A\ell) = 0.202 \times 2.7 = 0.545 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$I_2 = I_0 \exp(-0.545 \times T)$$

$$I_1 = I_0 \exp(-0.545 \times (T-t))$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \exp(+0.545 t) = \exp(+0.545 \times 0.2)$$

$$C_s = 0.4343 G \ln \frac{I_1}{I_2} = 0.4343 \times 5 \times 0.545 \times 0.2$$

$$\log x = 0.4343 \ln x$$

$$\Rightarrow C_s = 0.24 > 0.2 \Rightarrow \text{ضوء قابل تشخیص است}$$

حل مسایل RT

مُسال ۳: مدارل صتمت حدسُ قابل شناسی بوسید رادیوگرافی با اُسْم x با
 طول موج $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ در آئینر Ti-Ni بوسید منلی با رادی $G=4$
 صغراست؟

$$\rho_{\text{Ti}} = 4.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

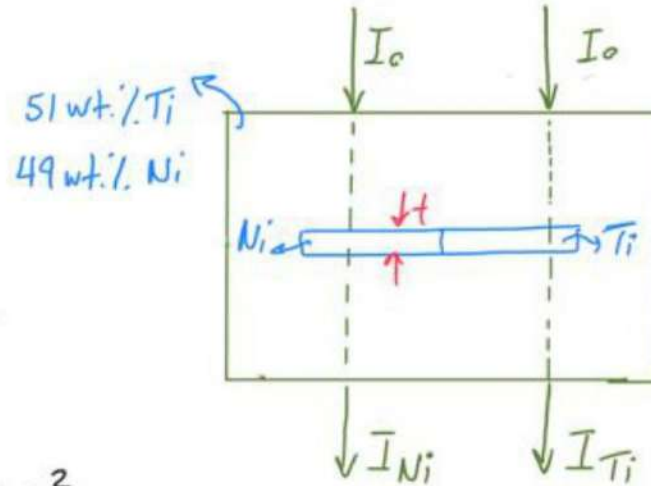
$$\rho_{\text{Ni}} = 8.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\mu_f(\text{Ti}) = 208 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$\lambda = 0.154 \text{ nm}$

$$\mu_f(\text{Ni}) = 45.7 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$\lambda = 0.154 \text{ nm}$



حل مسایل RT

$$I_{Ti} = I_0 \exp(-\ell_{Ti} x t), \quad I_{Ni} = I_0 \exp(-\ell_{Ni} x t)$$

$$\frac{I_{Ni}}{I_{Ti}} = \exp[(-\ell_{Ni} + \ell_{Ti})t]$$

$$\begin{aligned} \ell_{Ti} - \ell_{Ni} &= \ell_f(Ti) \times \rho_{Ti} - \ell_f(Ni) \times \rho_{Ni} \\ &= 208 \times 4.54 - 45.7 \times 8.85 = 540 \frac{1}{\text{cm}} \end{aligned}$$

$$C_S = D_{Ni} - D_{Ti} = G \log \frac{I_{Ni}}{I_{Ti}}$$

$$= 4 \times \log [\exp(540t)]$$

$$= 4 \times 0.4343 \ln [\exp(540t)]$$

$$\bar{C}_S = 0.2 \Rightarrow \boxed{t = 2.1 \times 10^{-4} \text{ cm}}$$

حل مسایل RT

مسئله ۱: اگر برای یک کد دانه فیلم 1.5 بر روی فیلمی با برادمان $G = 4$ ،
اصتاج به پرتو دهی $200 \text{ mA} \cdot \text{s}$ در دانه 300 kV باشد، برای یک دانه دانه
 2.5 بر روی همان فیلم، چه مقدار پرتو دهی لازم است؟

$$D_1 = 1.5 \quad , \quad \epsilon_1 = 200 \text{ mA} \cdot \text{s}$$

$$D_2 = 2.5$$

حل مسایل RT

$$D_2 - D_1 = G \log \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \Rightarrow \varepsilon_2 = \varepsilon_1 \times 10^{\left(\frac{D_2 - D_1}{G}\right)}$$

$$\varepsilon_2 \approx 356 \text{ mA}\cdot\text{s}$$

حل مسایل RT

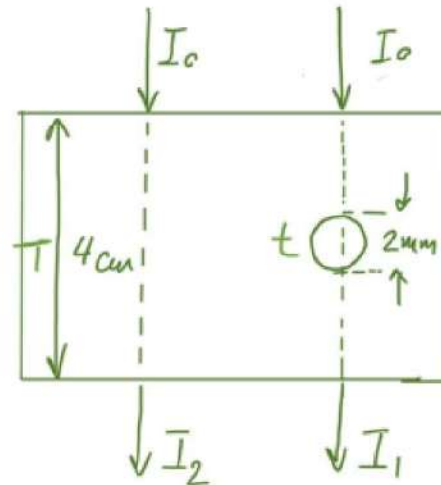
مسئله ۲: آیا امکان تشخیص عوزهای به قطر 2 mm در یک صفحه الومنیومی به
ضخامت 4 cm در رادیوگرافی بوسیله لامپ با ولتاژ 120 kV و فیلتری با
گرادین $G=5$ وجود دارد؟

$$V_{\text{لب}} = 120\text{ kV}$$

$$E_{\text{اشعه}} \text{ at } I_{\text{max}} = 80\text{ keV} \quad \nearrow \frac{2}{3} \times 120$$

$$\Rightarrow \lg(AI) = 0.202 \frac{\text{cm}^2}{g} \quad \text{at } 80\text{ keV}$$

$$f_{AI} = 2.7 \frac{g}{\text{cm}^3}$$



حل مسایل RT

$$\Rightarrow \ell(A) = 0.202 \times 2.7 = 0.545 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$I_2 = I_0 \exp(-0.545 \times T)$$

$$I_1 = I_0 \exp(-0.545 \times (T-t))$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \exp(+0.545 t) = \exp(+0.545 \times 0.2)$$

$$C_s = 0.4343 \text{ G} \ln \frac{I_1}{I_2} = 0.4343 \times 5 \times 0.545 \times 0.2$$

$$\log x = 0.4343 \ln x$$

$$\Rightarrow C_s = 0.24 > 0.2 \Rightarrow \text{ضوء قابل تشخیص است}$$

حل مسایل RT

مُسال ۳: مدارات صغیرت حدیسی قابل شناسایی بوسیله رادیوگرافی با اِسْم x با
 طول موج $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ در آئینه Ti-Ni بوسیله فیلتر با رادیان $G=4$
 صغیر است؟

$$\rho_{\text{Ti}} = 4.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

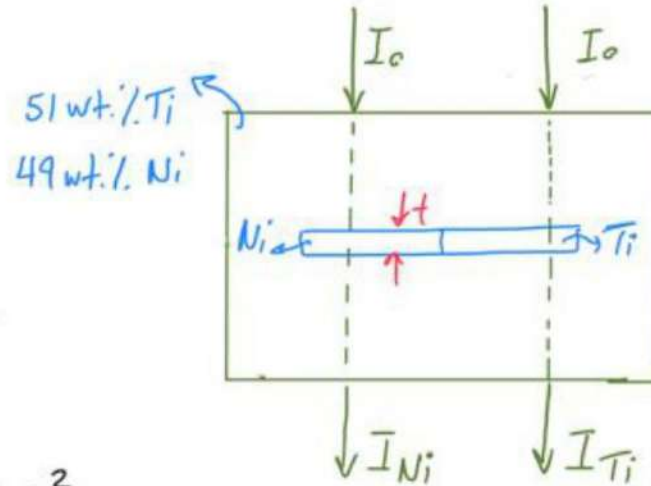
$$\rho_{\text{Ni}} = 8.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\mu_p(\text{Ti}) = 208 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$\lambda = 0.154 \text{ nm}$

$$\mu_p(\text{Ni}) = 45.7 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$\lambda = 0.154 \text{ nm}$



حل مسایل RT

$$I_{Ti} = I_0 \exp(-\ell_{Ti} x t), \quad I_{Ni} = I_0 \exp(-\ell_{Ni} x t)$$

$$\frac{I_{Ni}}{I_{Ti}} = \exp[(-\ell_{Ni} + \ell_{Ti})t]$$

$$\begin{aligned} \ell_{Ti} - \ell_{Ni} &= \ell_f(Ti) \times \rho_{Ti} - \ell_f(Ni) \times \rho_{Ni} \\ &= 208 \times 4.54 - 45.7 \times 8.85 = 540 \frac{1}{\text{cm}} \end{aligned}$$

$$C_S = D_{Ni} - D_{Ti} = G \log \frac{I_{Ni}}{I_{Ti}}$$

$$= 4 \times \log [\exp(540t)]$$

$$= 4 \times 0.4343 \ln [\exp(540t)]$$

$$\bar{C}_S = 0.2 \Rightarrow t = 2.1 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

روش آزمایش

تست نشتي (LT)	جریان گردابي (ET)	بازدید چشمي (VT)	ذرات مغناطيس (MT)	مايعات نافذ (PT)	فراصوتي (UT)	پرتونگاري (RT)	ناپيوستگي
A	O	A	O	A	O	A	حفره ها
O	O	A	O	A	O	A	سرباره محبوس
U	O	O	O	U	A	O	ذوب ناقص
U	O	O	O	U	A	A	نفوذ ناقص
U	O	A	O	A	O	A	بريدگي کنار جوش
U	O	O	A	A	O	U	سرريز شدن
A	A	A	A	A	A	O	ترك ها
U	U	A	A	A	A	U	تورق

A = روش مناسب برای کاربرد

O = بسته به شرایطی مانند ضخامت قطعات اندازه ناپيوستگی و محل آن دارد

U = معمولاً قابل کاربرد نمی باشد.

روش آزمایش							
اتصال	پرتونگاری (RT)	فراصوتی (UT)	مایعات نافذ (PT)	ذرات مغناطیس (MT)	بازدید چشمی (VT)	جریان گردابی (ET)	تست نشتی (LT)
لب به لب Butt	A	A	A	A	A	A	A
گوشه Corner	O	A	A	A	A	O	A
سپری Tec	O	A	A	A	A	O	A
لب روی لب Lap	O	O	A	A	A	O	A
لبه ای Edge	O	O	A	A	A	O	A

A = روش مناسب برای کاربرد

O = بسته به شرایطی مانند ضخامت قطعات اندازه ناپیوستگی و محل آن دارد

U = معمولاً قابل کاربرد نمی باشد.