بسم الله الرحمن الرحيم

# ضمان وضبط جودة المكونات والهياكل المعدنية في المشاريع والمنشآت البترولية والغازية عند التشييد والاستثمار والصيانة

إعداد د. م. وفيق حرارة
مستوى ثالث في طرائق الاختبارات اللاإتلافية
(RT, UT, ET, MT, PT)

تتطور طرائق وتقنيات اختبارات ضمان وضبط جودة المواد والمكونات المعدنية باستمرار، وتُعقد عشرات المؤتمرات العلمية في مجال هذه الاختبارات سنوياً، ويُنشر الكثير من الأبحاث والمؤلفات حول هذه الاختبارات وتقاناتها وتطبيقاتها بهدف تحسين خصائص وجودة المكونات والهياكل المعدنية المستخدمة في شتى المجالات الصناعية وخاصة فيما يتعلق بالصناعات الفضائية والنووية والصناعات البترولية والبتروكيميائية ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وذلك خلال مراحل تشييد هذه المنشآت وفي فترات الصيانة والاستثمار.

من بين طرائق اختبار المواد المطبقة بشكل واسع في ضمان وضبط جودة المنشآت والمشاريع البترولية والغازية وغيرها عند التشييد والاستثمار والصيانة الطرائق التالية:

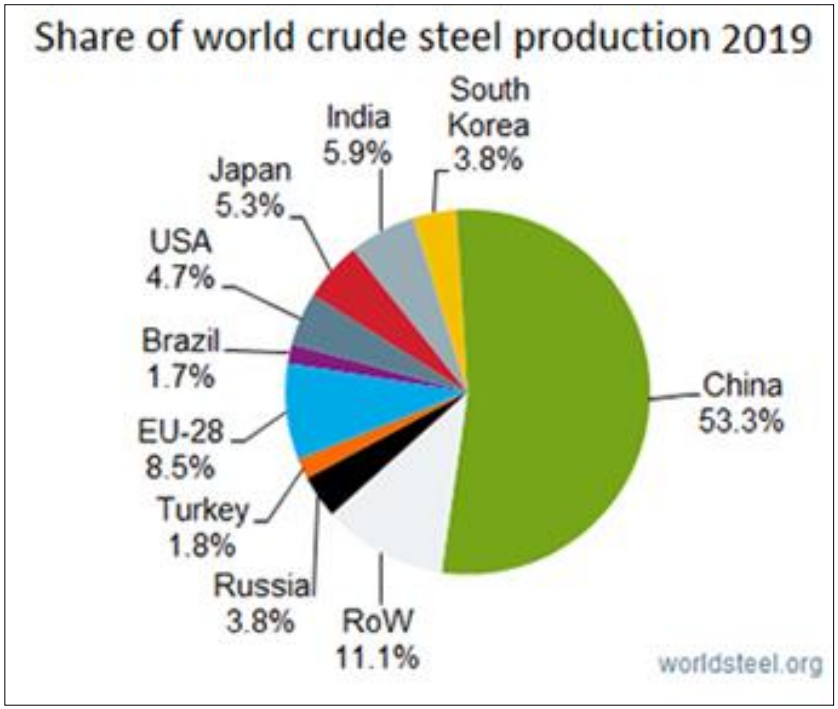
- **طريقة الاختبار البصري Visual testing method**
- **طريقة الاختبار بالسوائل النافذة Liquid penetrant testing method**
- **طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية Magnetic particles testing method**
- **طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة Eddy current testing method**
- **طريقة الاختبار بالتصوير الحراري testing method Thermography**
- **طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية Ultrasonic testing method**
- **طريقة الاختبار بالتصوير الشعاعي** Radiography testing method

**يمكن تلخيص فوائد تطبيق الاختبارات المذكورة بما يلي:**

-تعد الاختبارات المذكورة وسيلة أساسية في بيان مطابقة المكونات المستخدمة في المشاريع والمنشآت للمواصفات وبالتالي قبول هذه المكونات أو رفضها.
-تعد الوسيلة الوحيدة الفعالة في خفض معدل حوادث انهيار المراجل والأوعية المضغوطة والتسرب من المنشآت البترولية والبتروكيميائية والغازية ومن المفاعلات النووية.
-يجري بالاعتماد على نتائج الاختبارات تمديد الفترة الزمنية لاستثمار المنشآت البترولية والغازية ومحطات الطاقة والطائرات وغيرها عند انتهاء عمرها الافتراضي.
- يعد بيان جودة الوصلات اللحامية وتحقيقها لمتطلبات المواصفات الدولية في غالبية الحالات إلزامياً وتكون نتائج الاختبار وثيقة من الوثائق المطلوبة من شركات التأمين على المنشآت البترولية وخطوط نقل النفط والغاز وعلى السفن والجسور...

**يزداد معدل تطبيق طرائق الاختبارات المذكورة عالمياً كل عام وذلك :**

١. زيادة الاستهلاك العالمي للمعادن بشكل عام وللفولاذ وللألمنيوم بشكل خاص التي يطلب فحصها وبيان مطابقتها للمواصفات الدولية حيث يبلغ مجموع الاستهلاك العالمي للفولاذ ما يقارب M ١٨٧٠tons/year كما هو مبين بالشكل (١).




**الشكل ١: إنتاج الدول العشرة الأولى من الفولاذ**

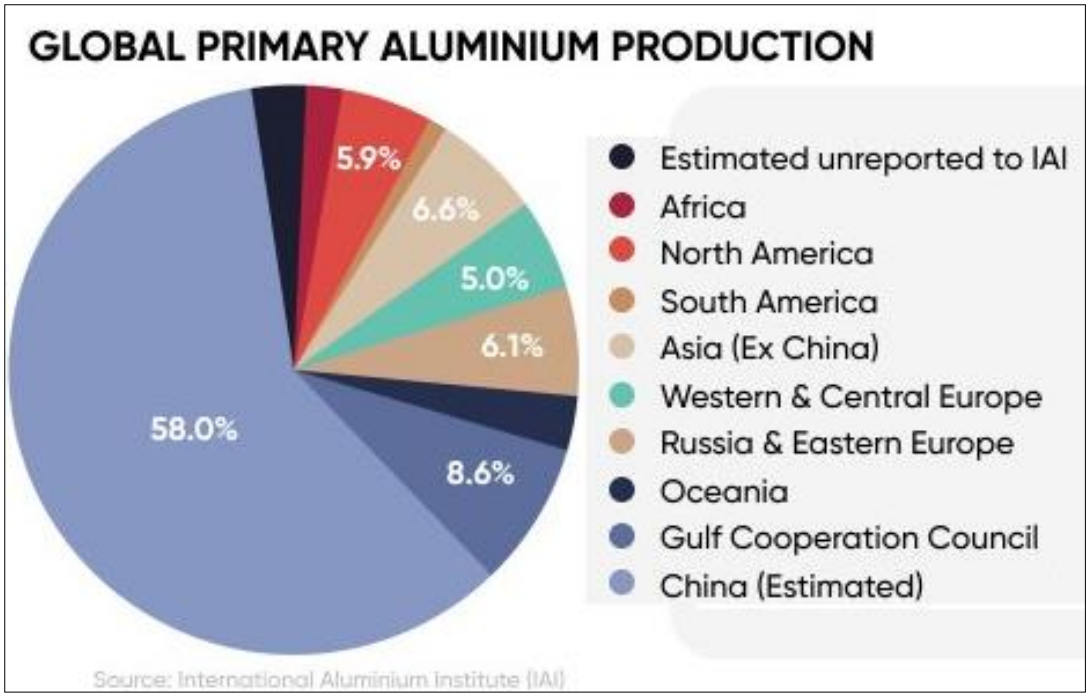
اكبر المنتجين والمستهلكين للفولاذ في العالم هي الصين حيث تنتج ما يقارب نصف الإنتاج العالمي وتستهلك ٢٦% منه وذلك :

- ازدياد عدد مصانع السيارات فيها.
- تشغيل أكبر منشأة لصناعة السفن في العالم (ناقلات النفط والغاز والسفن والقوارب السياحية).

٢ - زيادة استهلاك معدن الألمنيوم على المستوى العالمي أيضاً عاماً بعد عام. يبلغ مجموع إنتاج معدن الألمنيوم لعام ٢٠٢٠ ما يقارب 63 M tons/year.

حيث جرى تطوير أنواع جديدة من **خلائط الألمنيوم** بمواصفات ميكانيكية عالية تضاهي الخواص الميكانيكية للفولاذ وتحل مكانه حالياً في العديد من المنشآت والصناعات المدنية والعسكرية.

يبين الشكل (٢) معدل الإنتاج العالمي لمعدن الألمنيوم.




**الشكل (٢) معدل الإنتاج العالمي لمعدن الألمنيوم**

-يجري وصل ما يقارب نصف وزن الفولاذ والألمنيوم بتقانات اللحام ويجري تنفيذ واختبار الوصلات اللحامية وفقاً لما تنص عليه الكودات الدولية ومعايير القبول والرفض المذكورة فيها.

**من بين أهم متطلبات ضمان جودة تشييد المشاريع والمنشآت وصيانتها ما يلي:**

**-استجرار المواد والهياكل والمكونات المعدنية المراد استخدامها وفقاً لمتطلبات العقود والكودات.**

**-تنفيذ أعمال لحام المكونات المعدنية من قبل فنيين أكفاء واختبارها وفقاً للكودات.**

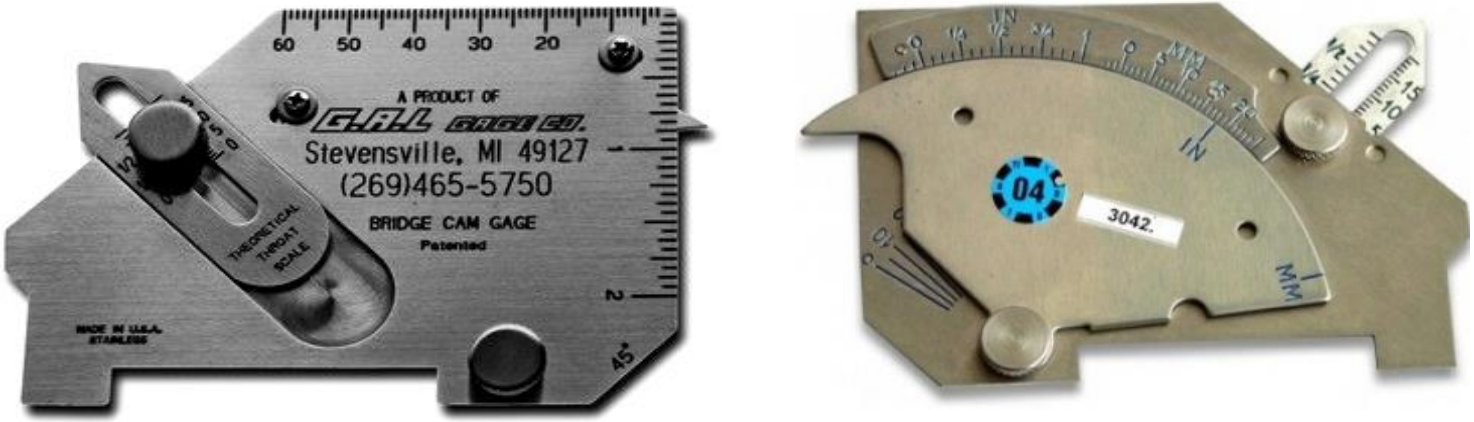
**-الإشراف الجيد على التنفيذ.**

طرائق الاختبارات المطبقة في تشييد المنشآت وفي التفتيش الفني عليها:

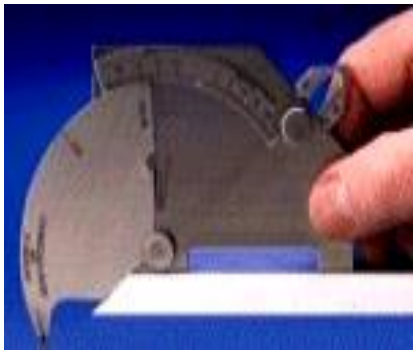
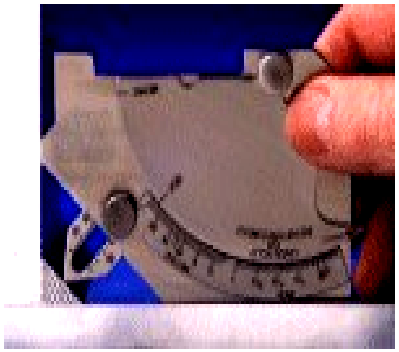
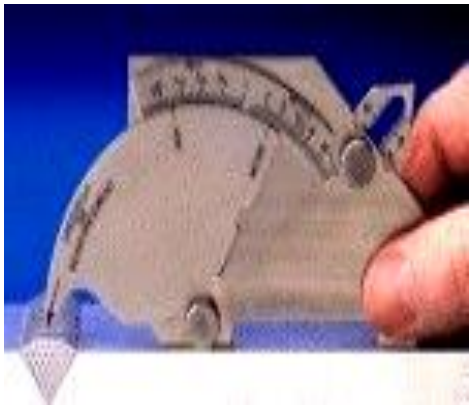
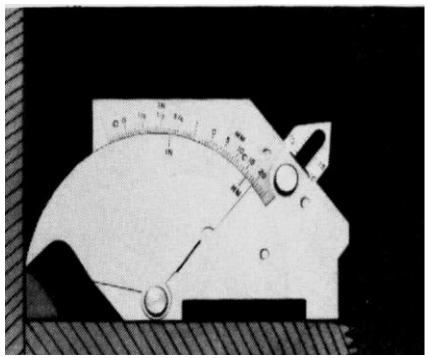
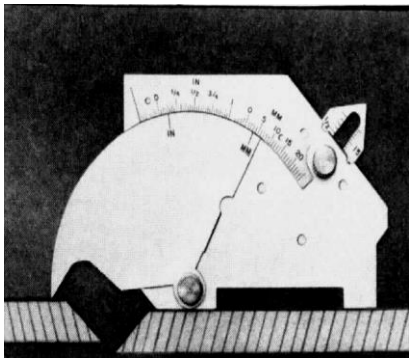
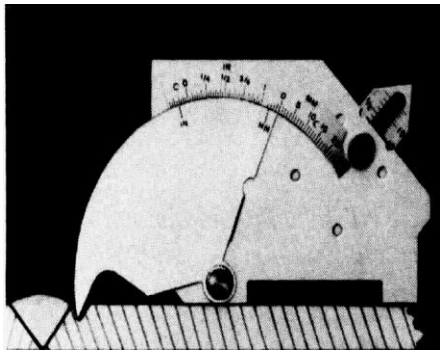
## ١- طريقة الاختبار البصري

تطبق طريقة الاختبار البصري للتأكد من سلامة المكونات الجديدة أو التي في الخدمة من العيوب الداخلية والخارجية التي يمكن رؤيتها بالعين أو بمساعدات الرؤيا والكشف عنها وذلك لإزالتها قبل تطبيق طرائق الاختبارات اللاإتلافية الأُخرى. ( مثال تجويف على أطراف وصلة لحامية)

يتم تنفيذ الاختبار البصري في حالات كثيرة بالاعتماد على العين المجردة أو باستخدام أدوات قياس بسيطة كالبياكوليس والميكرومتر أو باستخدام أدوات القياس الخاصة بالوصلات اللحامية والتي من أهمها أداة قياس محددات اللحام (Bridge cam gage).




**أداة قياس محددات اللحام Bridge cam gage.**

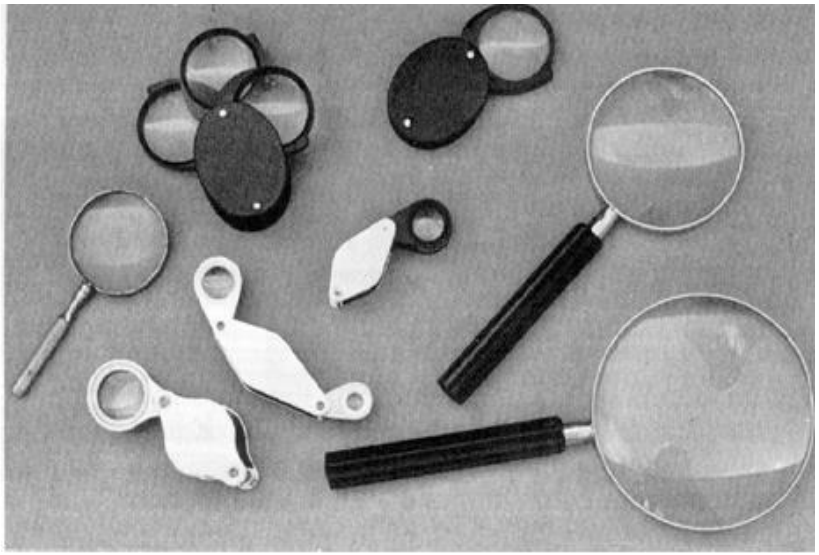
**قياس محددات تنفيذ الوصلات اللحامية.**

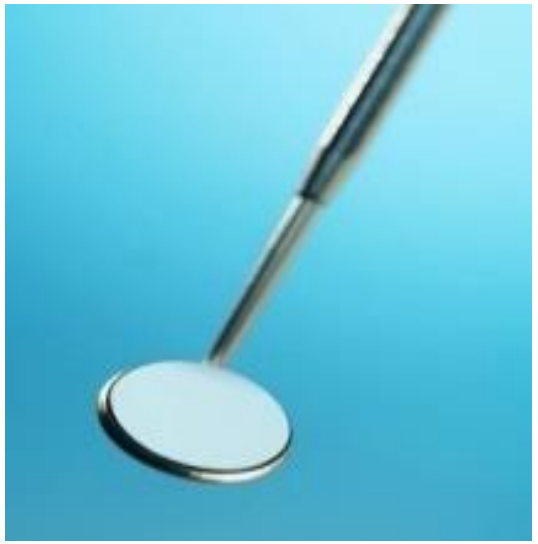
*أداة قياس عدم التراصف بين المكونات المراد لحامها.*

Internal Misalignment

**يستخدم في الاختبار البصري مساعدات الرؤية التالية:**

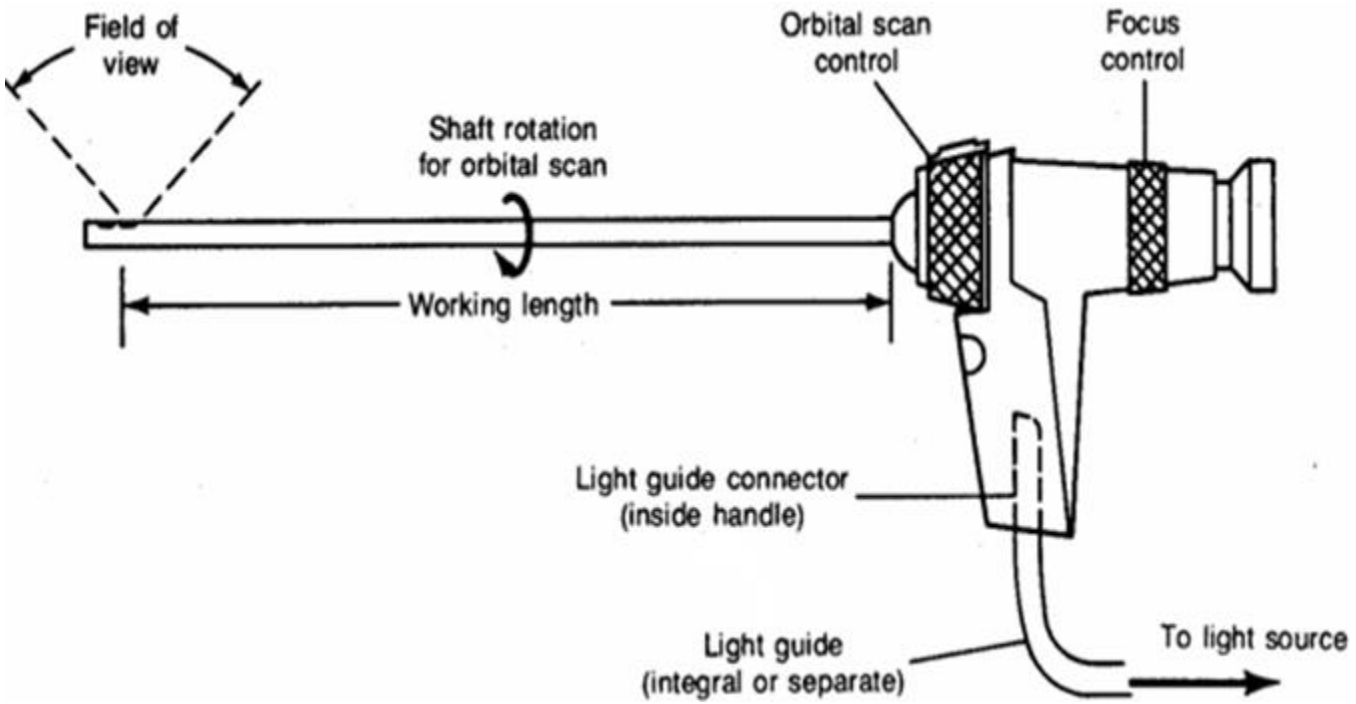
- **المرايا المكبرة:**





**عدسات مكبرة** (×5 إلى ×10)

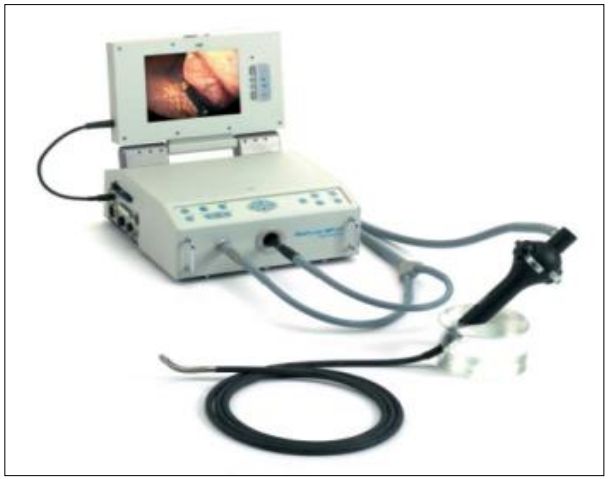
- المنظار الداخلي الصلد ***RIGID BORESCOPE***



مثال لفحص سلامة الفتحات والثقوب الداخلية للمشغولات المعدنية

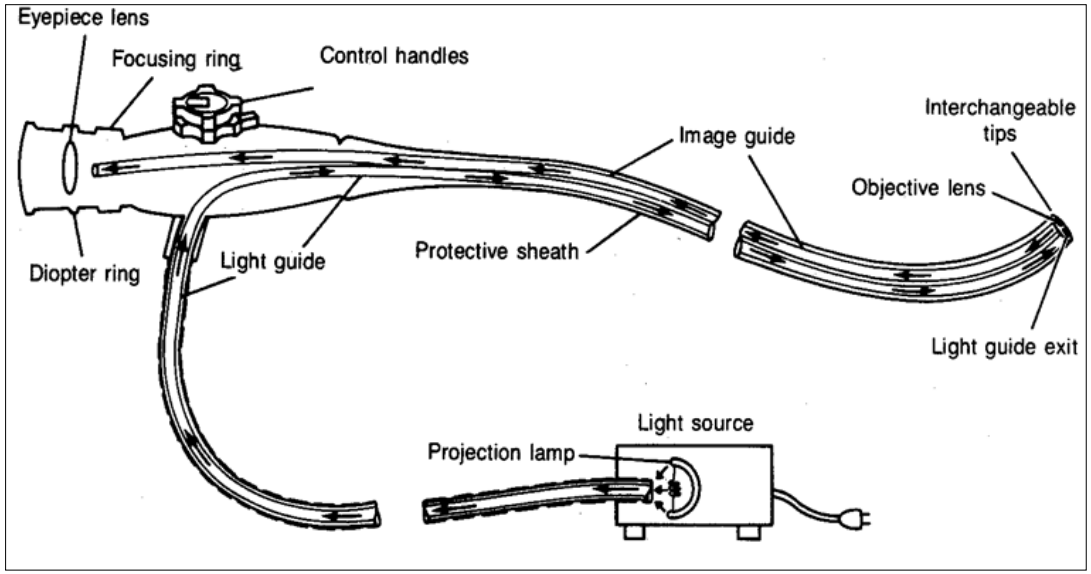
- **المنظار الداخلي الليفي** (Endoscope) - ***FLEXIBLE FIBRESCOPE***

وهو أداة دقيقة ذات إضاءة ذاتية تستخدم في الاختبار البصري لرؤية السطوح الداخلية للأنابيب والتجاويف والثقوب وكذلك في معاينة الأجزاء وتكبيرها في الأماكن التي لا تستطيع العين المجردة كشف تفاصيلها أو الوصول إليها.
ومن الشائع ربط المنظار بكاميرا رقمية أو بحاسب لرؤية وتخزين الصور.



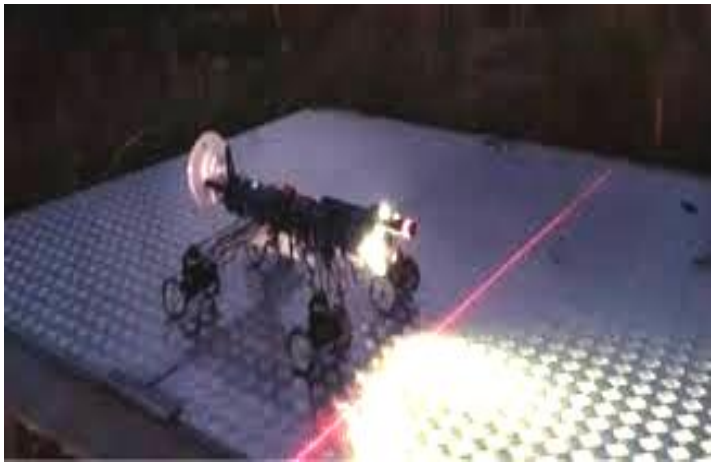
**الأشكال المختلفة للمنظارالداخلي الليفي دون شاشة أظهار ومعها.**

## مكونات المنظار الليفي



**استخدام المنظار الليفي في اختبار الأنابيب في مبادل حراري  وفي اختبار تجاويف المكونات المعدنية**

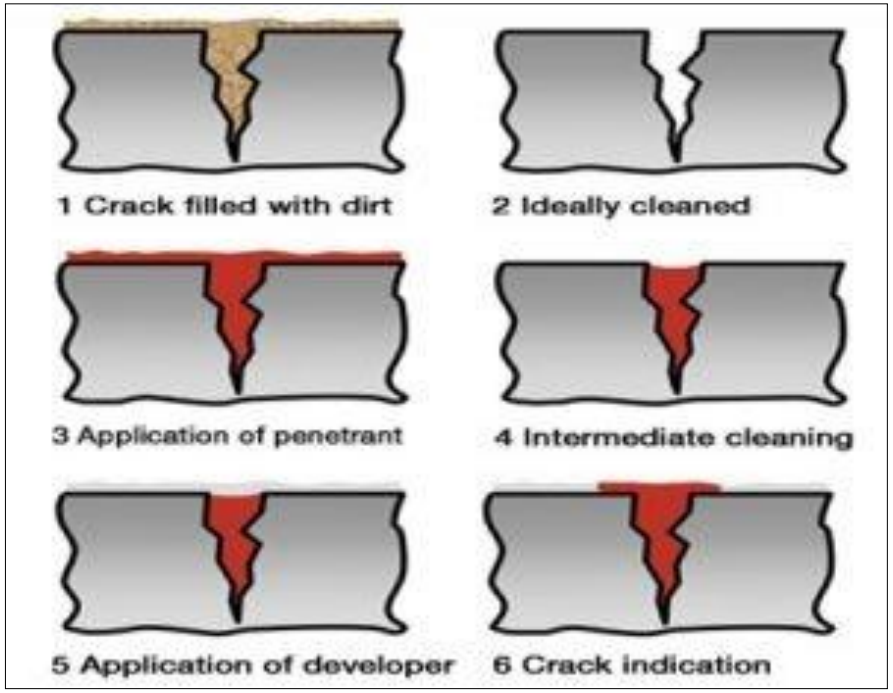
- أجهزة الرؤيا الإلكترونية



زواحف آلية تستخدم في الاختبارات البصرية للمواد في المواضع الخطرة
أو التي من الصعب الوصول إليها

## ٢ـ طريقة الاختبار بالسوائل النافذة

تطبق طريقة الاختبار بالسوائل النافذة في الكشف عن التشققات والكسور المفتوحة على السطح التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة من مرتبة الميكرومتر يبين الشكل مراحل الاختبار بالسوائل النافذة.




**مراحل اختبار المكونات والقطع بالسوائل النافذة.**

**أنواع السوائل النافذة:**

يوجد ثلاثة أنواع من السوائل النافذة هي:

أ- الصباغ الأحمر النافذ (Red dye penetrant): ويكون أحمراً أو بنفسجياً ويجري الاختبار بتسليط الإضاءة الجيدة وفقاً لزوايا مناسبة.

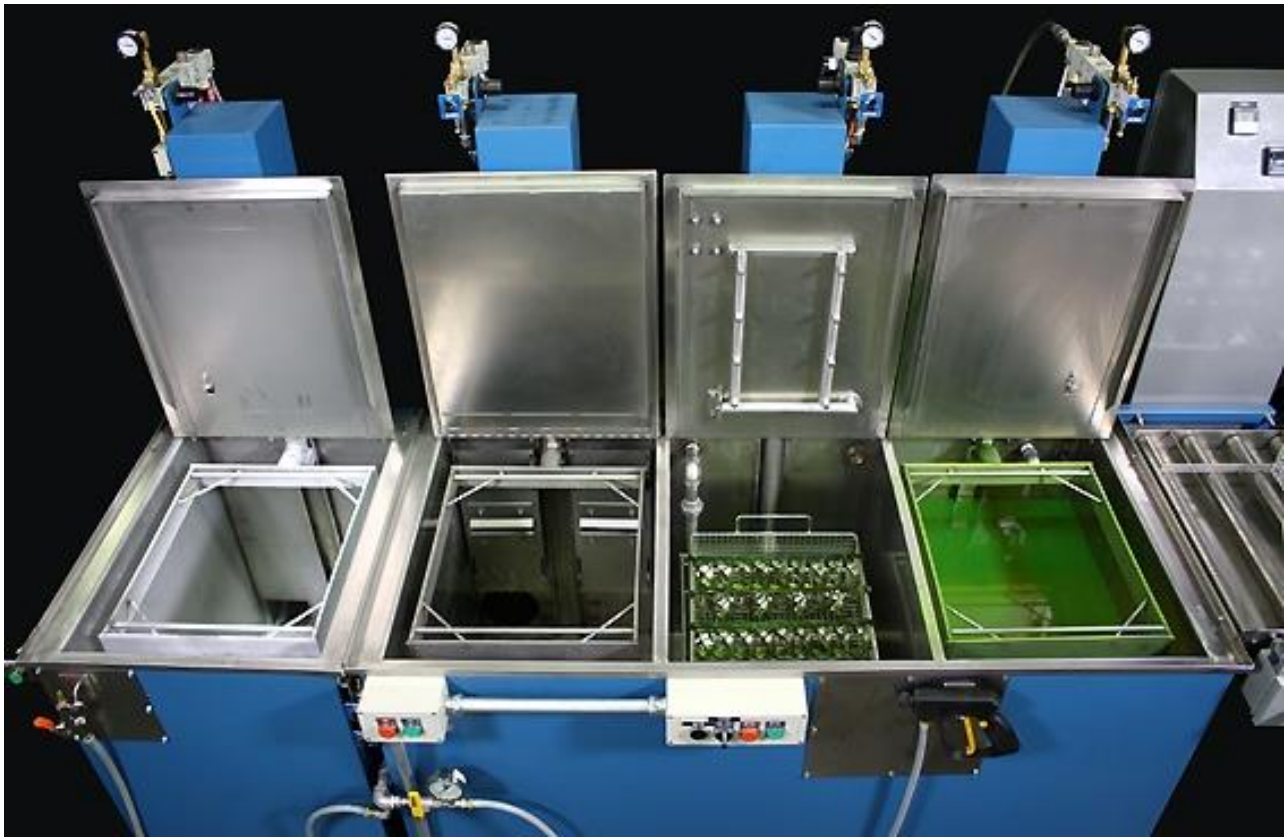
**ب**- السائل النافذ المتفلور (Fluorescent penetrant): ويتطلب الاختبار بهذا النوع من السوائل النافذة استخدام مصباح أشعة فوق بنفسجية أو مصباح الضوء الأسود (Black light).

**ج**- السائل النافذ المختلط الذي يمكن فحصه بالضوء العادي أو بالأشعة فوق البنفسجية على السواء.

SPOTCHECK®
SKC-S
Cleaner/Remover
MAGNAFLUX
SPOTCHECK®
SKL-SP1
Penetrant
MAGNAFLUX
SPOTCHECK®
SKD-S2
Developer
MAGNAFLUX

ARDROX
970P25E
FLUORESCENT
WATER WASHABLE
PENETRANT
PÉNÉTRANT
FLUORESCENT
LAVABLE À L'EAU
A Chemetall Product
ARDROX
9PR50
CLEANER
REMOVER
NETTOYEUR
DISSOLVANT
Meets the requirements of ASTM, ASME, AMS, Military Specifications, and Nuclear Codes for liquid penetrant inspection.
A Chemetall Product
Chemetall Oakite
ARDROX
9D1B
DEVELOPER
RÉVÉLATEUR
A Chemetall Product

SKL-SP2
SKL-SP2
SKL-SP2



## تصنيف السوائل النافذة

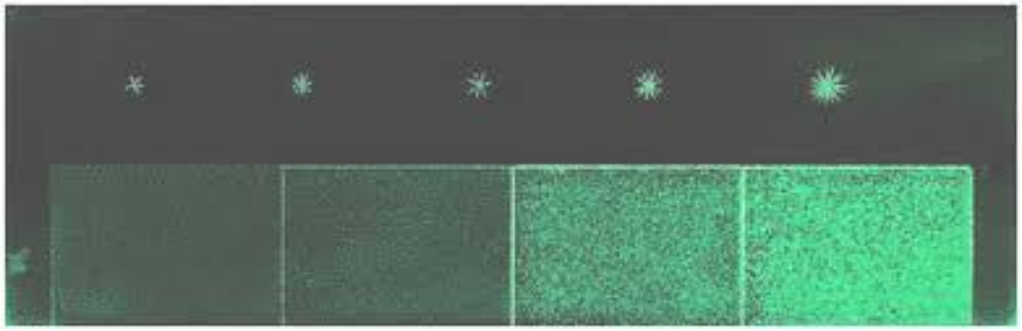
- *Water Washable*
- *Post-Emulsifiable, Lipophilic*
- *Solvent Removable*
- *Post-Emulsifiable, Hydrophilic*

**حساسية السوائل النافذة ونظام الاختبار:**

٥ مستويات

- *Ultra Low Sensitivity*
- *Low Sensitivity*
- *Medium Sensitivity*
- *High Sensitivity*
- *Ultra-High Sensitivity*

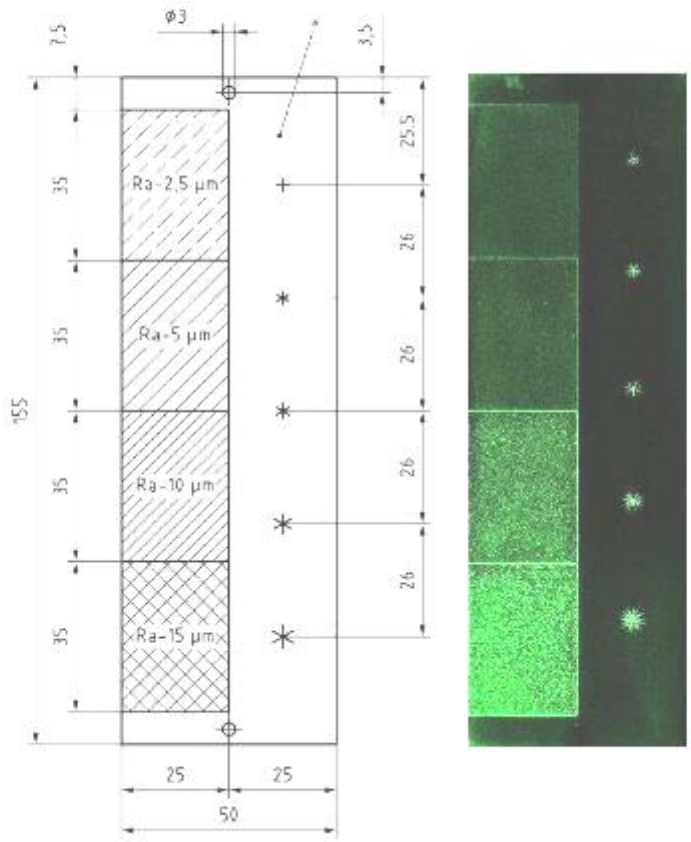
## تحديد حساسية الاختبار والخشونة والاهتراء باستخدام TAM OR TEST PANEL



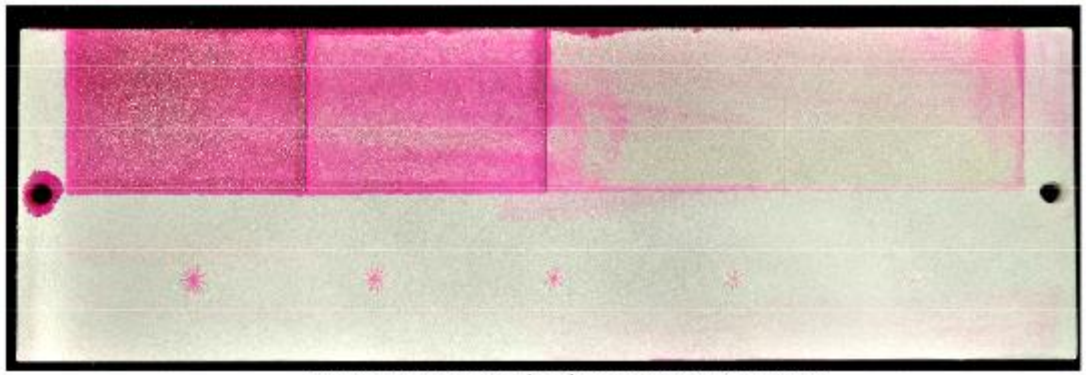
| Crack no. | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| Photos<br>Magnification factor 1 : 2.6 | | | | | |
| MEASURED SIZE | .11 inches | .13 inches | .15 inches | .17 inches | .21 inches |
| SPECIFICATION | .10" - .13" | .12" - .15" | .14" - .17" | .16" - .20" | .20" - .24" |
| | | | | | |
| MEASURED SIZE | 2.76 mm | 3.36 mm | 3.72 mm | 4.36 mm | 5.37 mm |
| SPECIFICATION | 2.70 - 3.30 mm | 3.15 - 3.85 mm | 3.60 - 4.40 mm | 4.05 - 4.95 mm | 4.95 - 6.05 mm |

| defect number | typical (diameter) dimensions [mm] |
|---|---|
| 1 | 3 |
| 2 | 3,5 |
| 3 | 4 |
| 4 | 4,5 |
| 5 | 5,5 |

**Table 1:** Dimensions of crack ares




Test panel type 2 according to ISO 3452-3
(determined dimensions in mm due to ISO 3452-3 on left size and using a fluorescent penetrant on right side)

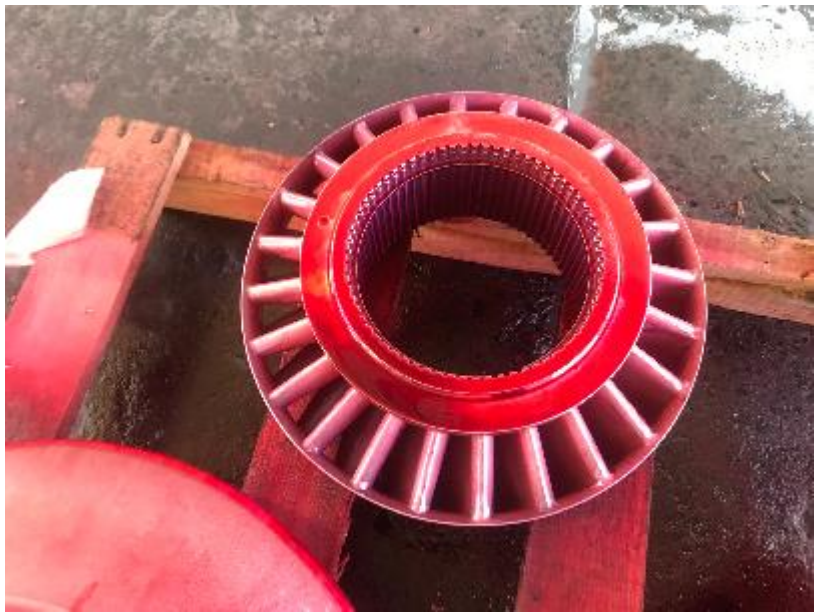


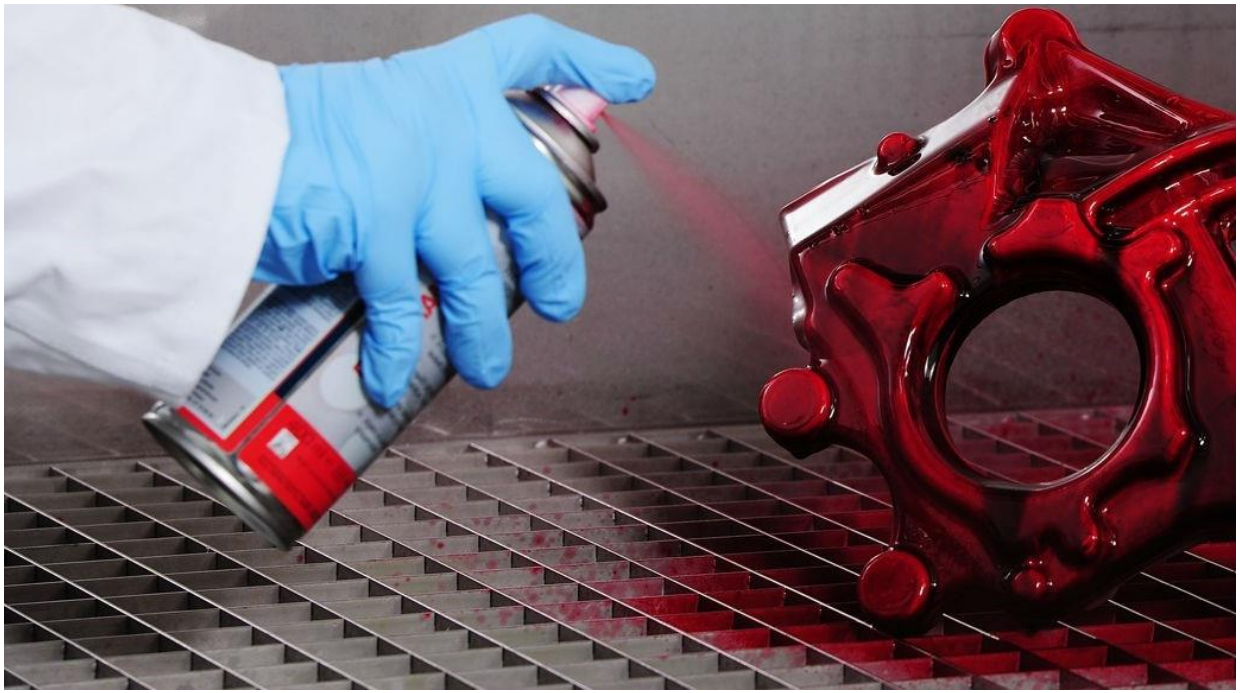
Test panel type 2 used with colour contrast penetrant

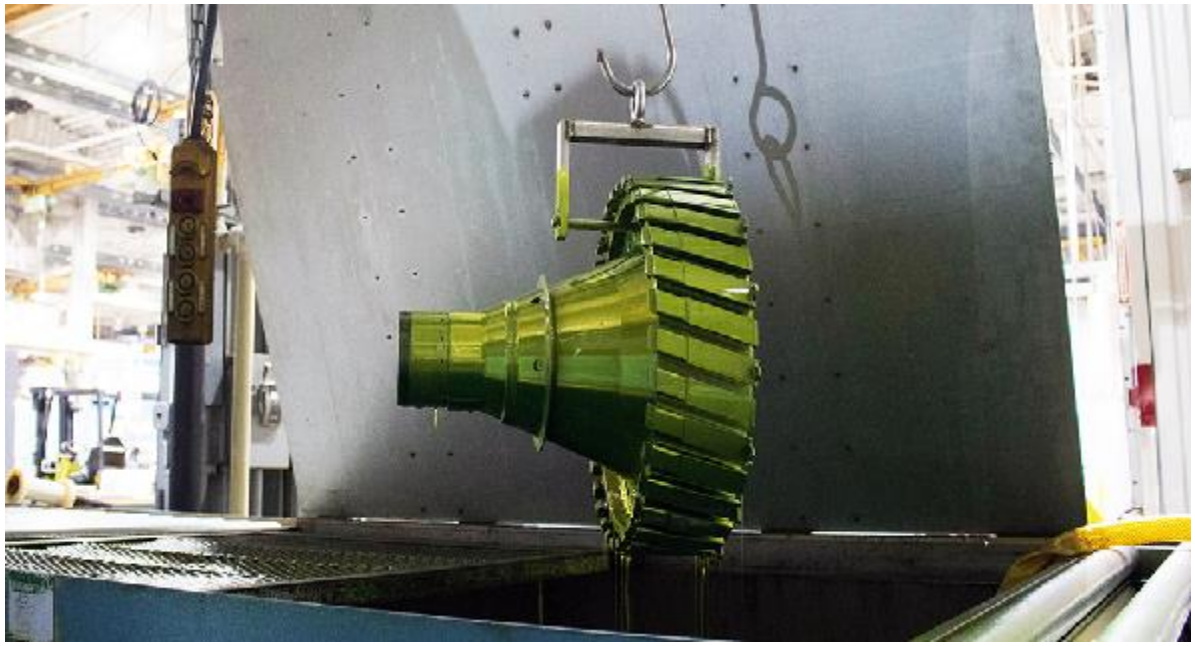
**Steel:**

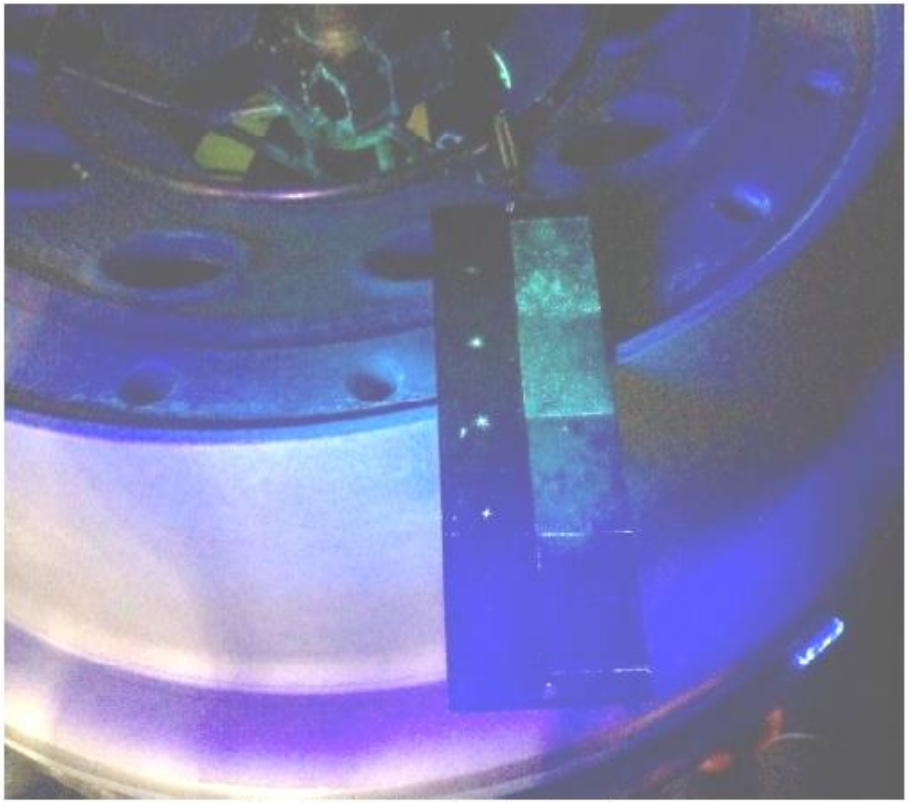
| Source: | Form: | Discontinuity: | Dwell Time for Water Washable (minutes) | Dwell Time for Post Emulsifiable (minutes) |
|---|---|---|---|---|
| Military Technical Order 33B-1-1 | Castings | Porosity | 5 to 10 | 10 |
| | | Cold Shuts | 5 to 15 | 10 |
| | Extrusions/Forgings | Laps | *NR | 10 |
| | Welds | Lack of Fusion | 30 | 20 |
| | | Porosity | 30 | 20 |
| | All | Cracks | 30 | 20 |
| | All | Fatigue Cracks | *NR | 30 |
| ASME Boiler and Pressure Vessel Code | Castings | Porosity | 30 | |
| | | Cold Shuts | 30 | |
| | Extrusions/Forgings | Laps | 60 | |
| | Welds | Lack of Fusion | 60 | |
| | | Porosity | 60 | |
| | All | Cracks | 30 | |
| ASTM E-1209/ E-1210 | Castings | Porosity | 5 | 5 |
| | | Cold Shuts | 5 | 5 |
| | Extrusions/Forgings/ and Plate | Laps/Cracks | 10 | 10 |
| | Welds | Lack of Fusion | 5 | 5 |
| | | Porosity | 5 | 5 |
| | All | Cracks | 5 | 5 |

أمثلة في اختبار مكونات طائرات بالسوائل النافذة



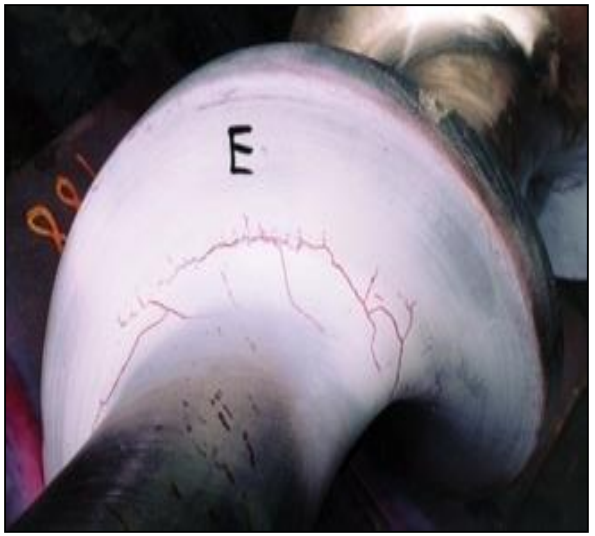




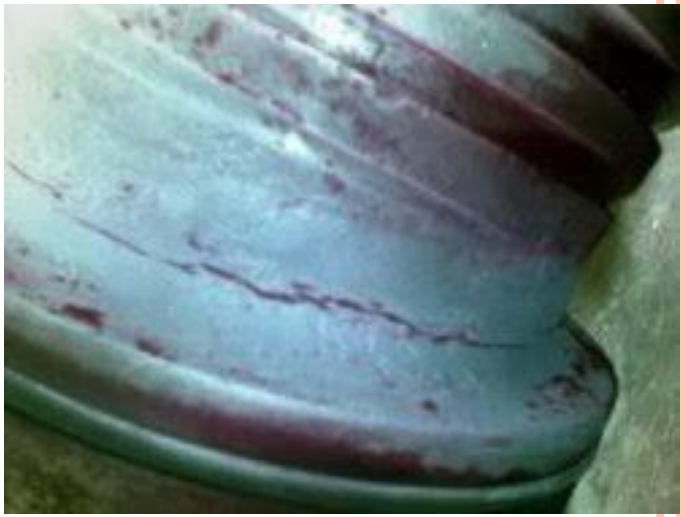


Aircraft wheel rim incl. test panel

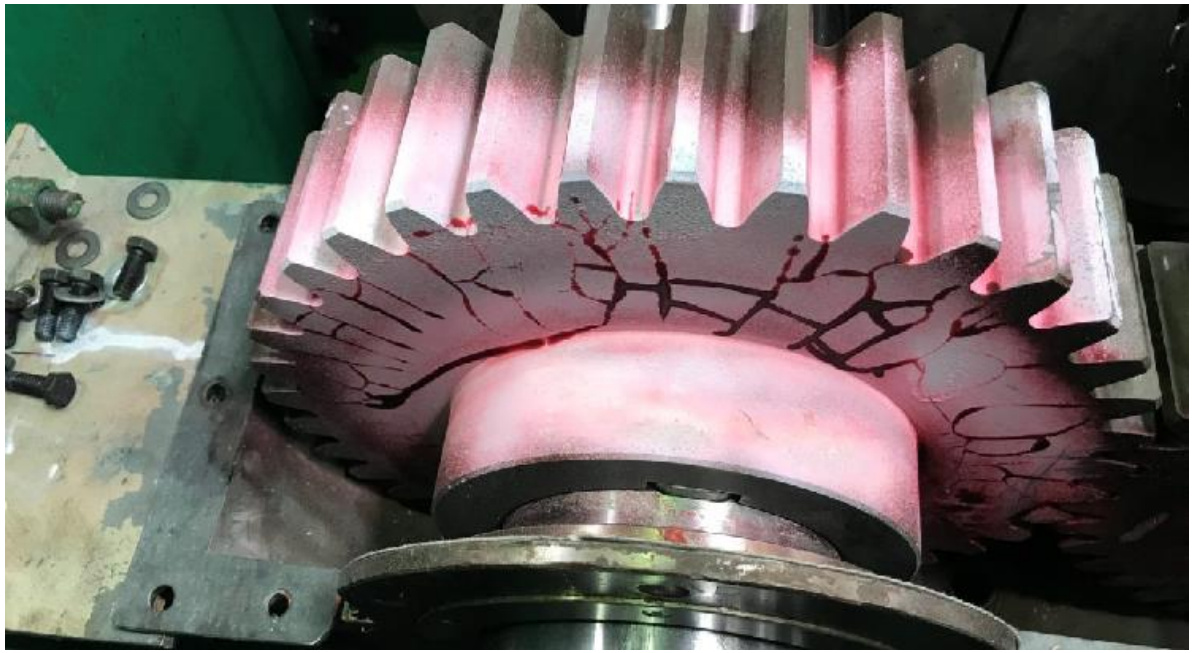
# أمثلة اختبار عينات

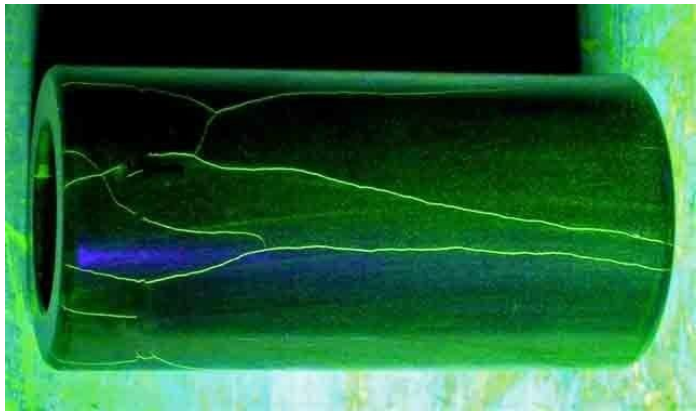


صور مكونات من الفولاذ بعد اختبارها بالصباغ الأحمر تظهر مواضع الكسور عليها.



pentrant testing of the welded joints from front sides during dwell time and during development time.





**صور لعينتين من الفولاذ بعد اختبارهما بالسائل النافذ المتفلور تظهران مواضع الكسور عليهما.**

Penetrant test processing line for turbo-jet engine components

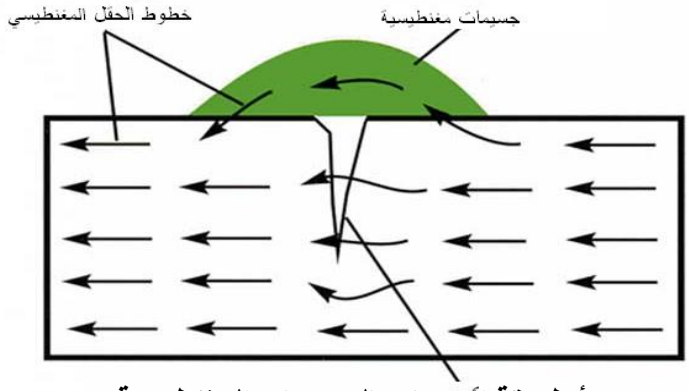
تطبق هذه الطريقة للكشف عن:

- Small round defects than small linear defects.
- Deeper flaws than shallow flaws.
- Flaws with a narrow opening at the surface than wide open flaws.
- Flaws on smooth surfaces than on rough surfaces.
- Flaws with rough fracture surfaces than smooth fracture surfaces.
- Flaws under tensile or no loading than flaws under compression loading.

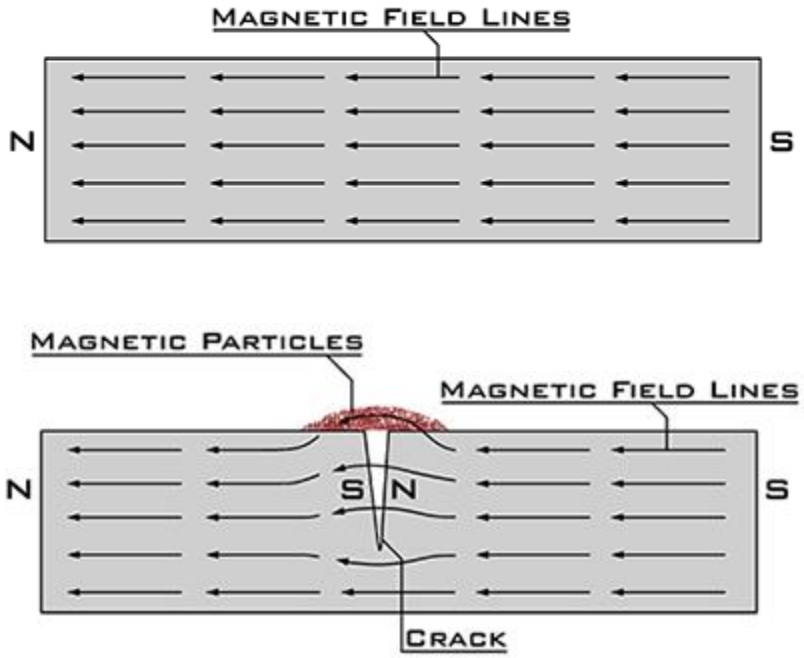
## ٣- طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية:

تُعدُ هذه الطريقة واحدةً من أفضل الطرق المستخدمة في الكشف عن التشققات والعيوب المتواجدة على سطوح المواد الحديدية المغنطيسية والواقعة على بعد (mm) ٦-2 تحت السطح. تقوم هذه الطريقة على وضع طبقة رقيقة من برادة أكسيد الحديد على سطح القطعة المراد اختبارها ويتم في الوقت نفسه تطبيق حقل مغنطيسي ذي شدة كافية وباتجاه مناسب عليها، إذ تنحرف خطوط الحقل المغنطيسي عن مسارها الطبيعي داخل القطعة في أماكن تواجد التشققات أو المتضمنات ذات الطبيعة اللامغنطيسية أو في أماكن تواجد الفراغات الهوائية، مما يؤدي إلى ظهور حقل مغنطيسي متسرب ونشوء مغانط موضعية قادرة على جذب برادة الحديد نحوها.

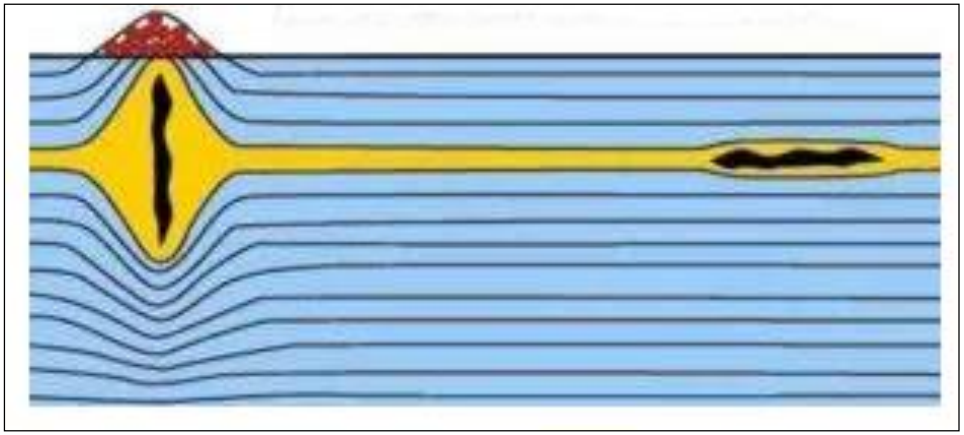
يمكن معرفة مواضع العيوب وشكلها وأبعادها من خلال تفحص البرادة الحديدية المجتمعة. يبين الشكل مبدأ طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية.



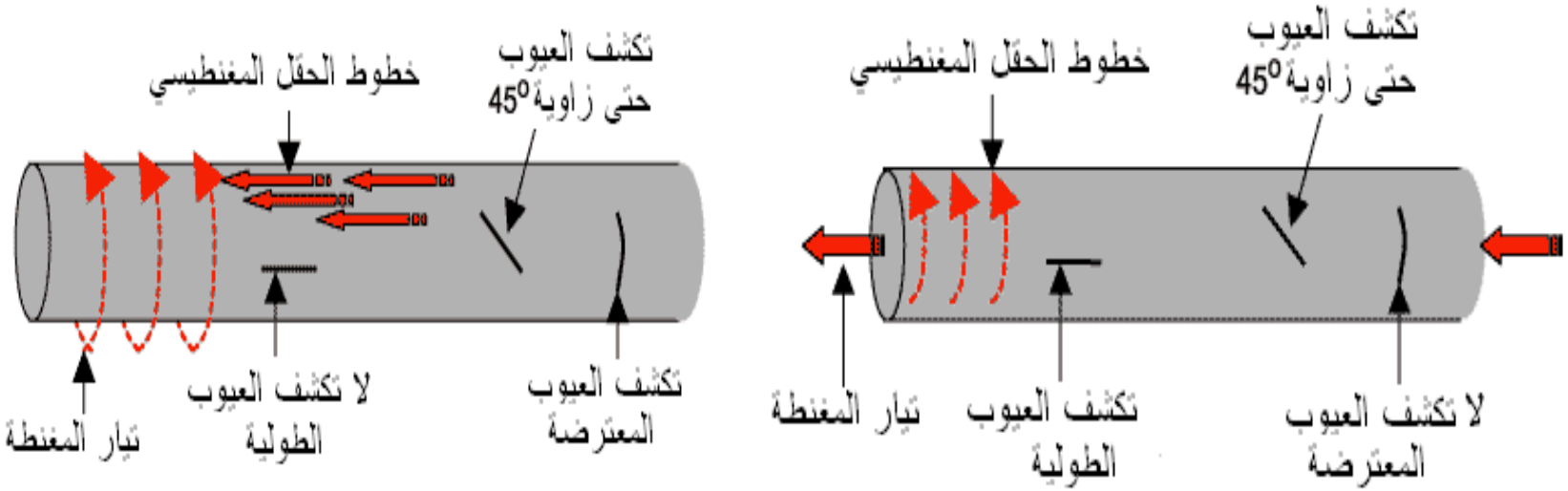

مبدأ طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية




مبدأ طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية



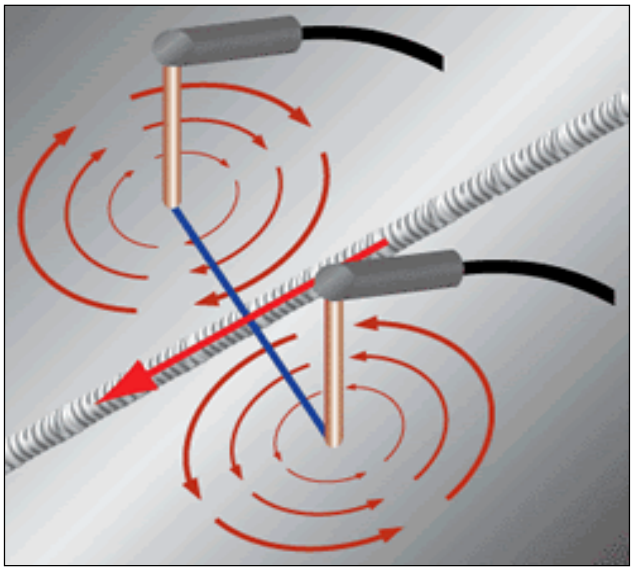
يمكن كشف الكسور في المكونات المعدنية القابلة للمغنطة بإخضاعها للحقول المغنطيسية الطولية والدورانية أو لكلاهما على التناوب كما هو مبين في الشكل

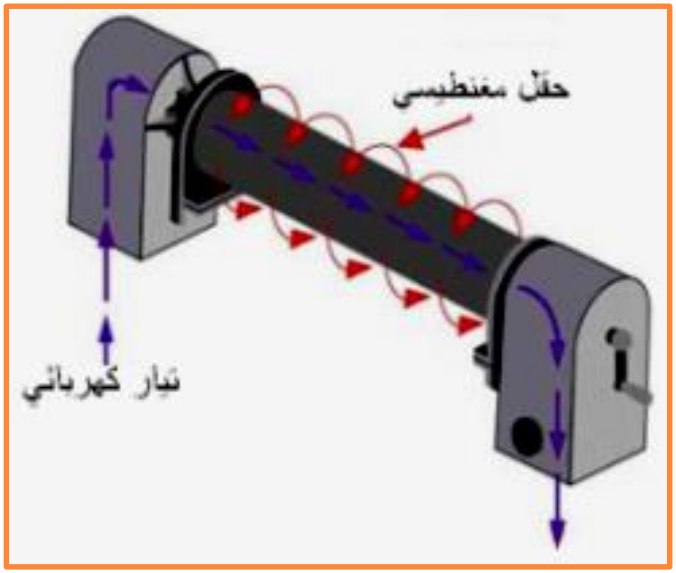



مبدأ تطبيق الحقل المغنطيسي الطولي والدوراني
على المكونات المراد اختبارها.

**توليد الحقل المغنطيسي اللازم للاختبار بالدقائق المغنطيسية**

**أ-بإمرار تيار كهربائي في القطعة المراد اختبارها وذلك وفق لما يلي:**



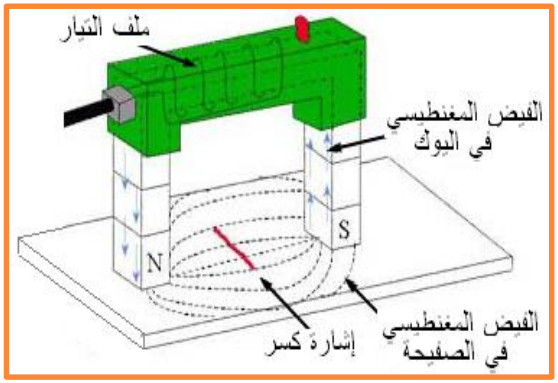



**اختبار عينات بمغنطتها بالصدمة الرأسية أو بالقطبين**

.

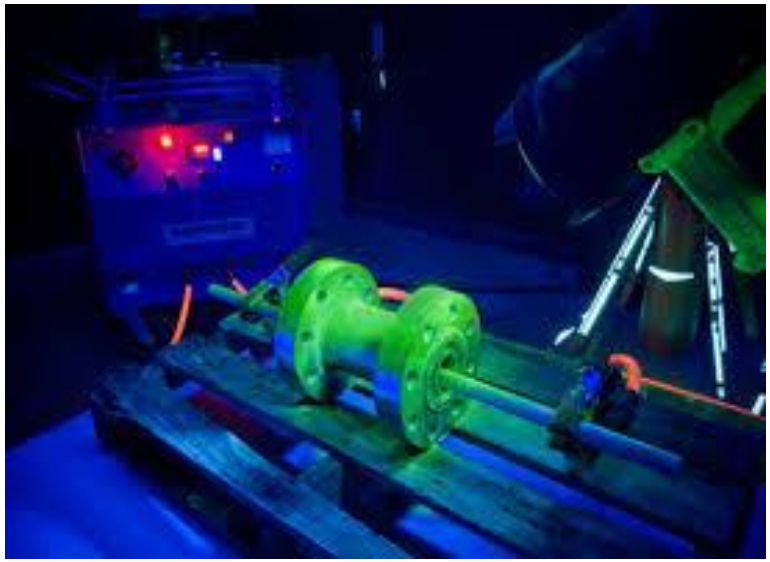
ب- دون إمرار تيار كهربائي في القطعة المراد اختبارها وذلك بمغنطتها كما يلي:

- باستخدام مغنطيس دائم أو مغنطيس كهربائي يوك كما هو مبين في الشكل

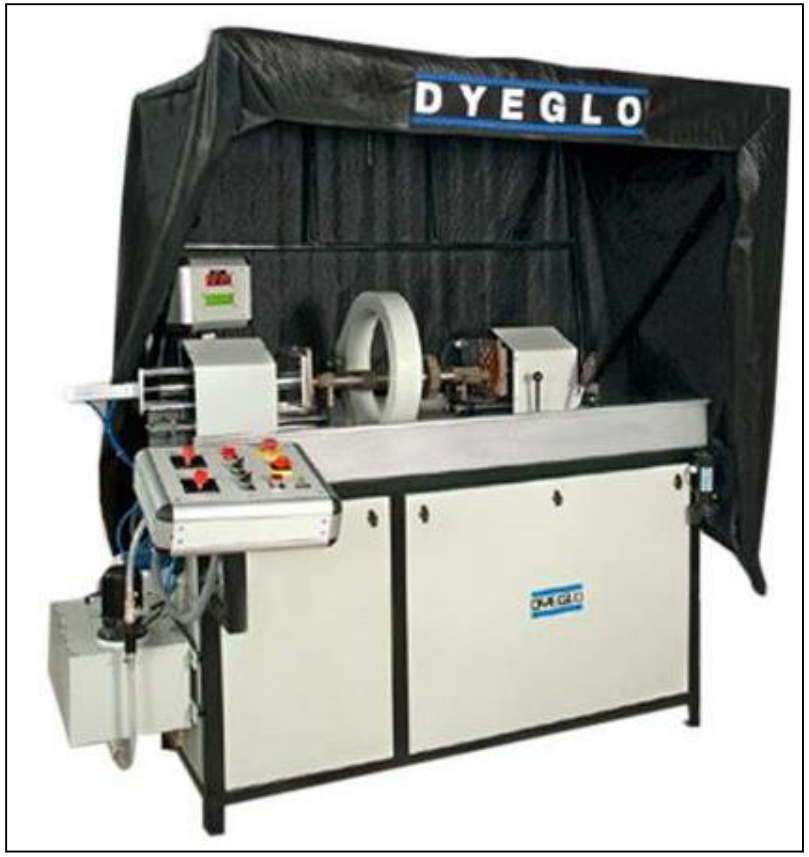


المغنطة باستخدام مغنطيس دائم أو مغنطيس كهربائي

- بوضع القطعة المختبرة حول ناقل مركزي يمر به تيار المغنطة



• **بوضع القطعة المختبرة ضمن الحقل المغنطيسي لملف (Coil)** ذي عدد محدد من اللفات، خمس لفات. يُشكَل الملف من كبل ذي مقطع مناسب لإمرار تيار المغنطة، كما يمكن أن يكون الملف جزءاً من جهاز الاختبار بالجسيمات المغنطيسية الذي يسمى في هذه الحالة بملف الصدمة (Coil shot) كما هو مبين في الشكل.

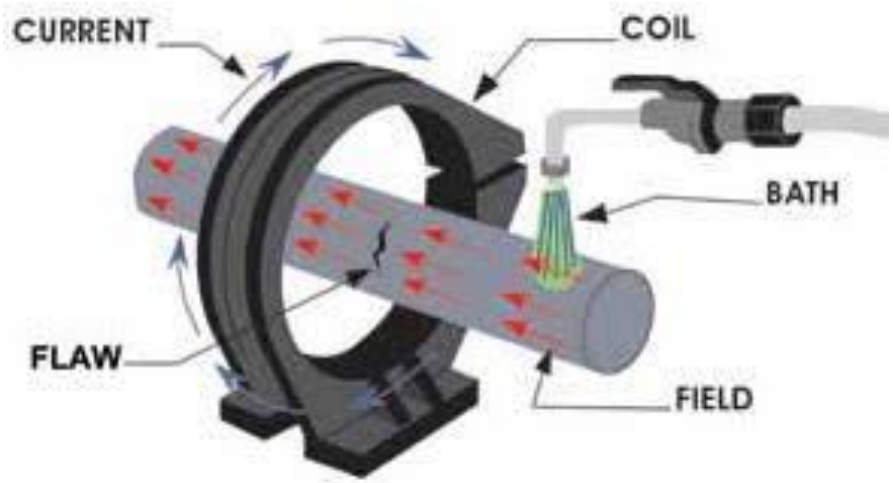



**مغنطة القطع المراد اختبارها بالملف.**

Magnetic Powders For Dry Application
Highly Sensitive-Bright Colours

ANCOLOR
HEALTH
FLAMMABILITY
REACTIVITY
PROTECTIVE EQUIPMENT

أمثلة على اختبار مكونات معدنية بالجسيمات المغنطيسية الملونة بالطريقة الجافة والرطبة.



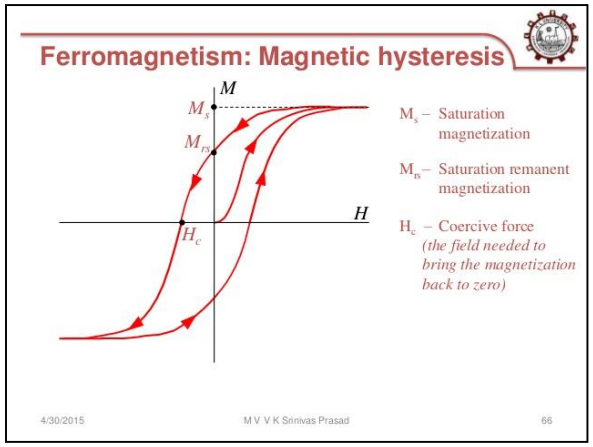
أمثلة على اختبار مكونات معدنية بالجسيمات المغنطيسية المتفلورة بالطريقة الرطبة.

اختبار اسطوانات فولاذية بتقنية الناقل المركزي

## إزالة المغنطة

يبين الشكل عملية إزالة المغنطة لذراع تدوير (Crank) بعد اختباره بالجسيمات المغنطيسية.

**إزالة مغنطة ذراع تدوير بعد اختباره بالجسيمات المغنطيسية.**



MAGNAFLUX
Tel : USA - (+1) (847) 657 5300 . UK - (+44) (01793) 524566
www.magnaflux.com
Instructions for the use of Magnetic
Flux Indicators

# Advantages:

• Can detect both surface and near-surface indications.

• Surface preparation is not as critical compared to other NDE methods. Most surface contaminants will not hinder detection of a discontinuity.

• A relatively fast method of examination.

• Indications are visible directly on the surface.

• Low-cost compared to many other NDE methods.

• A portable NDE method, especially when used with battery-powered yoke equipment.

• Post-cleaning generally not necessary.

• A relatively safe technique; materials generally not combustible or hazardous.

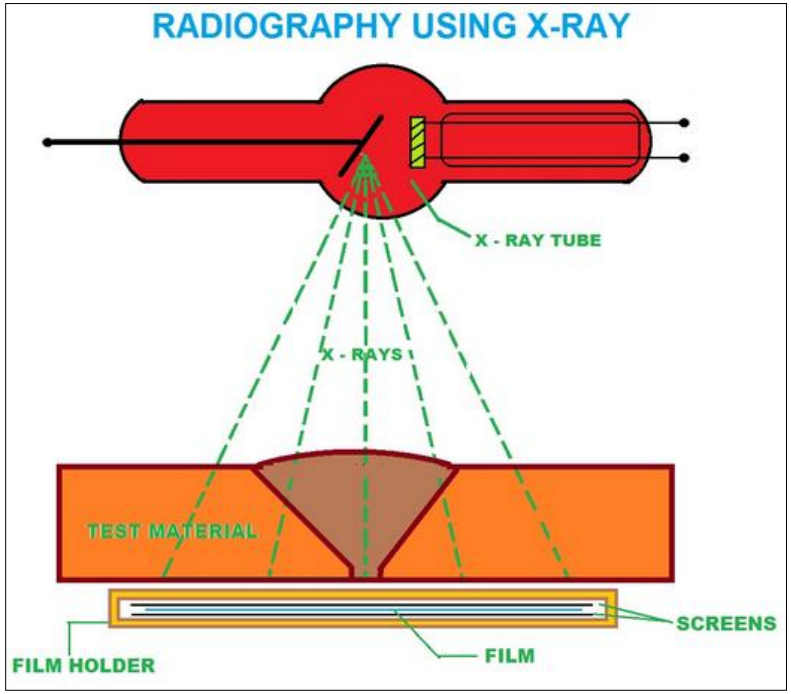
• Indications can show relative size and shape of the discontinuity.

## ٤- اختبار المواد والمكونات المعدنية بالتصوير الشعاعي

تستخدم طريقة الاختبار بالتصوير الشعاعي بالأشعة السينية أو بالأمواج الكهرمغنطيسية ذات الأطوال الموجية القصيرة $\mu m(10^{-7}–10^{-3})$ والترددات العالية وتكون عادةً ذات طاقة فوتونية من $Kev(300 – 0.2)$.

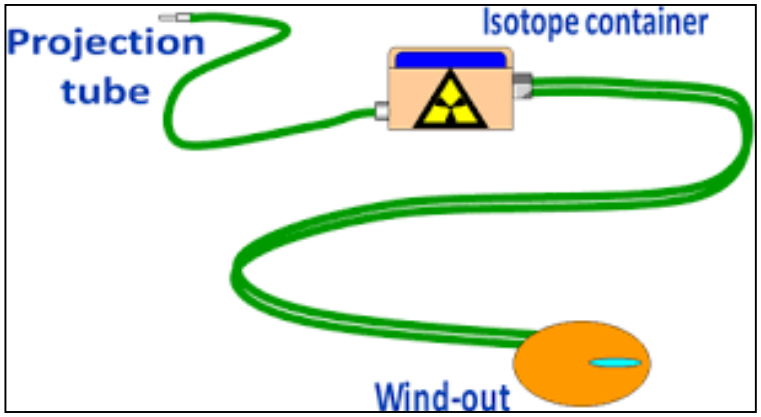
تكشف هذه الأشعة لدى اختراقها الأجسام المعدنية عن البنية الداخلية للأجسام وإظهار أي تغير في الثخانة أو الكثافة أو العيوب فيها ويتم تسجيل الصور الشعاعية الناتجة لهذه الأجسام إما على أفلام حساسة أو على شاشة إلكترونية.

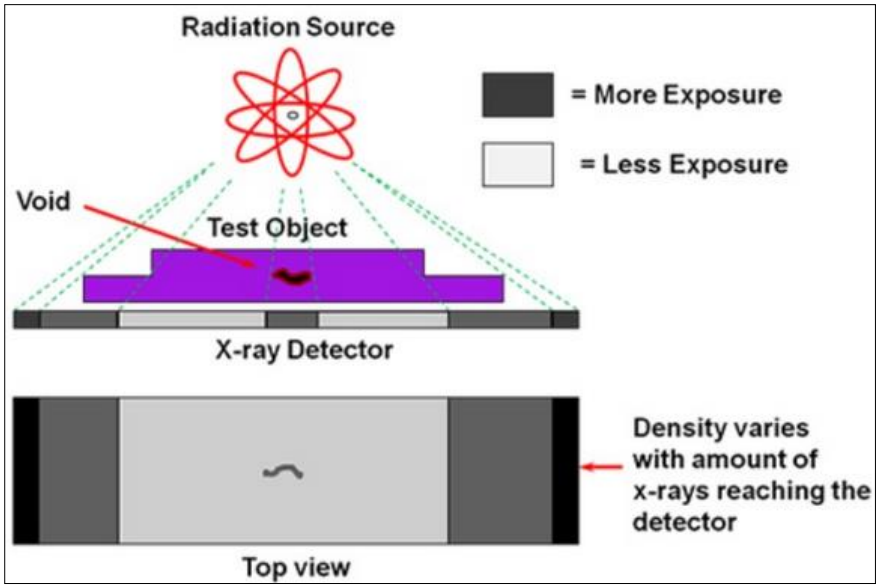
يبين الشكل مبدأ طريقة  التصوير الشعاعي بالأشعة السينية




**مبدأ اختبار المكونات بالتصوير الشعاعي**

يبين الشكل مبدأ طريقة  التصوير الشعاعي بأشعة غاما



**تطبق طريقة الاختبار بالتصوير الشعاعي في مجالات عديدة منها:**

- اختبار الأجسام المعدنية بعد مراحل تصنيعها المختلفة (الصب – الطرق – السحب – المعالجات الحرارية).
- في تشييد الجسور والسفن والطائرات ومحطات توليد الطاقة ومنشآت الصناعات البترولية والكيميائية والبتروكيميائية وفي الصيانة الدورية لهذه المنشآت.
- الكشف عن الاهتراءات وكسور التعب للقطع والمكونات المعدنية أثناء خدمتها في المنشآت .
- اختبار جودة الوصلات اللحامية المنفذة بطرائق:

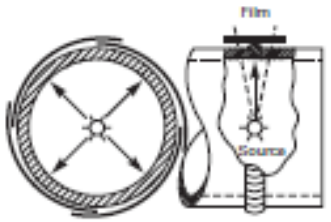
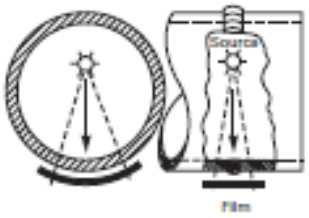
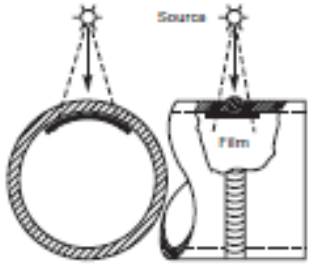
LRW – OW – LHW –LW – EBW – FSW – SAW – MIG – TIG – SMAW – RW

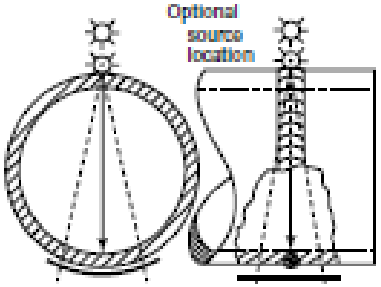
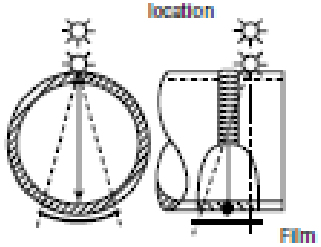
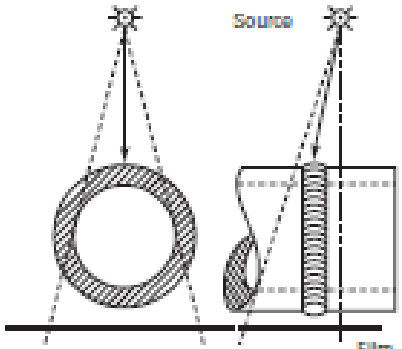
والكشف عن العيوب المتواجدة فيها وتقيمها وفقاً للكودات.

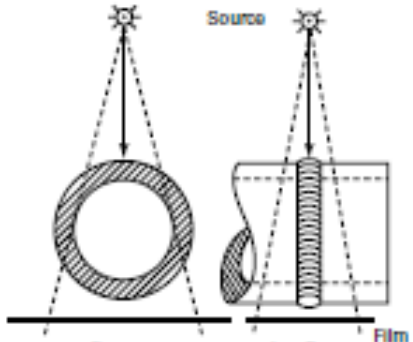
## التجهيزات المستخدمة في التصوير الشعاعي

يبين الشكل أمثلة لمكونات تتطلب اختبار بالتصوير الشعاعي

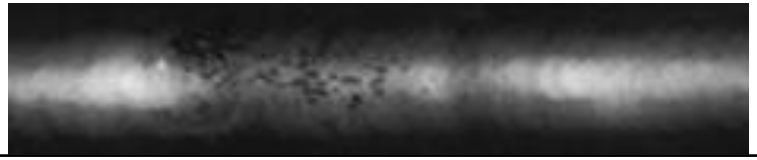
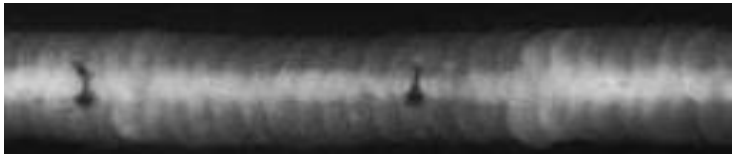
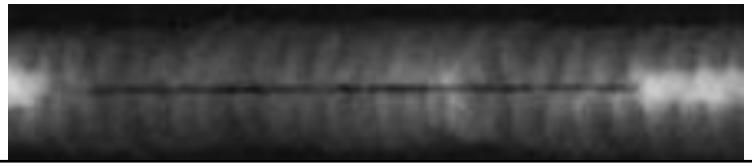
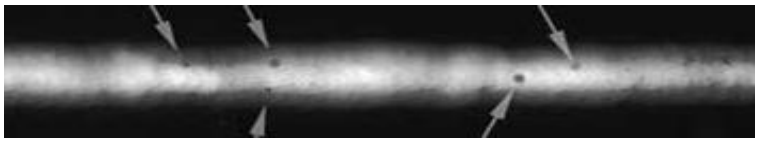
أمثلة للمكونات الملحومة التي تتطلب اختبارات بالتصوير الشعاعي

| Radiograph Viewing | Source-Weld-Film Arrangement | |
|---|---|---|
| | End View | Side View |
| Single-Wall |  Exposure Arrangement — A | |
| Single-Wall |  Exposure Arrangement — B | |
| Single-Wall |  Exposure Arrangement — C | |

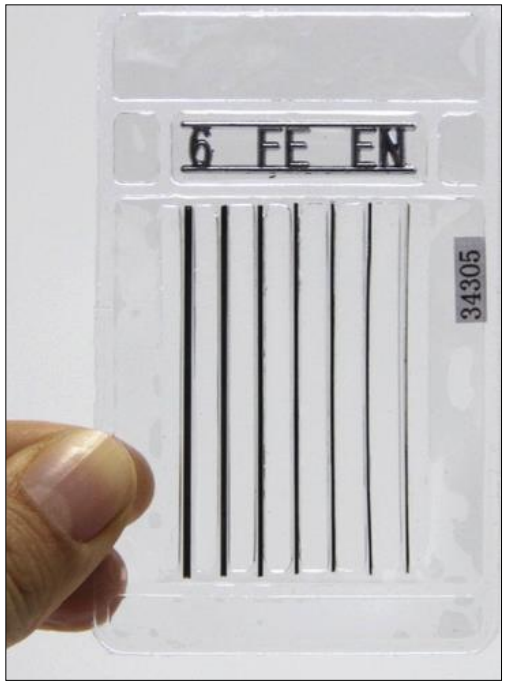
| Radiograph Viewing | Source-Weld-Film Arrangement | |
|---|---|---|
| | End View | Side View |
| Single-Wall |  Exposure arrangement — D | |
| Single-Wall |  Exposure arrangement — E | |
| Double-Wall (Ellipse): Read DH-set Source Side and Film Side Images |  Exposure arrangement — F | |

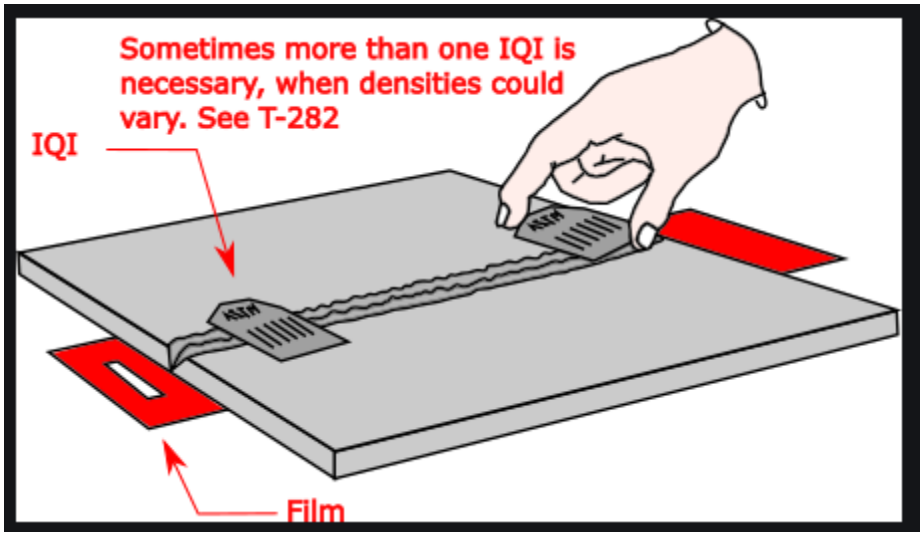
| Source-Weld-Film Arrangement | |
|---|---|
| End View | Side View |
|  Exposure arrangement — G | |

## صور شعاعية لوصلات لحامية تظهر احتواؤها على عيوب

| | |
|---|---|
| تجمعات مسامية (Clustered porosity) |  |
| حفر دودية (Warmholes) | |
| متضمنات أوكسيدية (Oxide inclusion) |  |
| متضمنات تنغستين (Tungsten inclusion) | |
| نقص اختراق (Lack of penetration) |  |
| مسامات غازية (Porosity) |  |

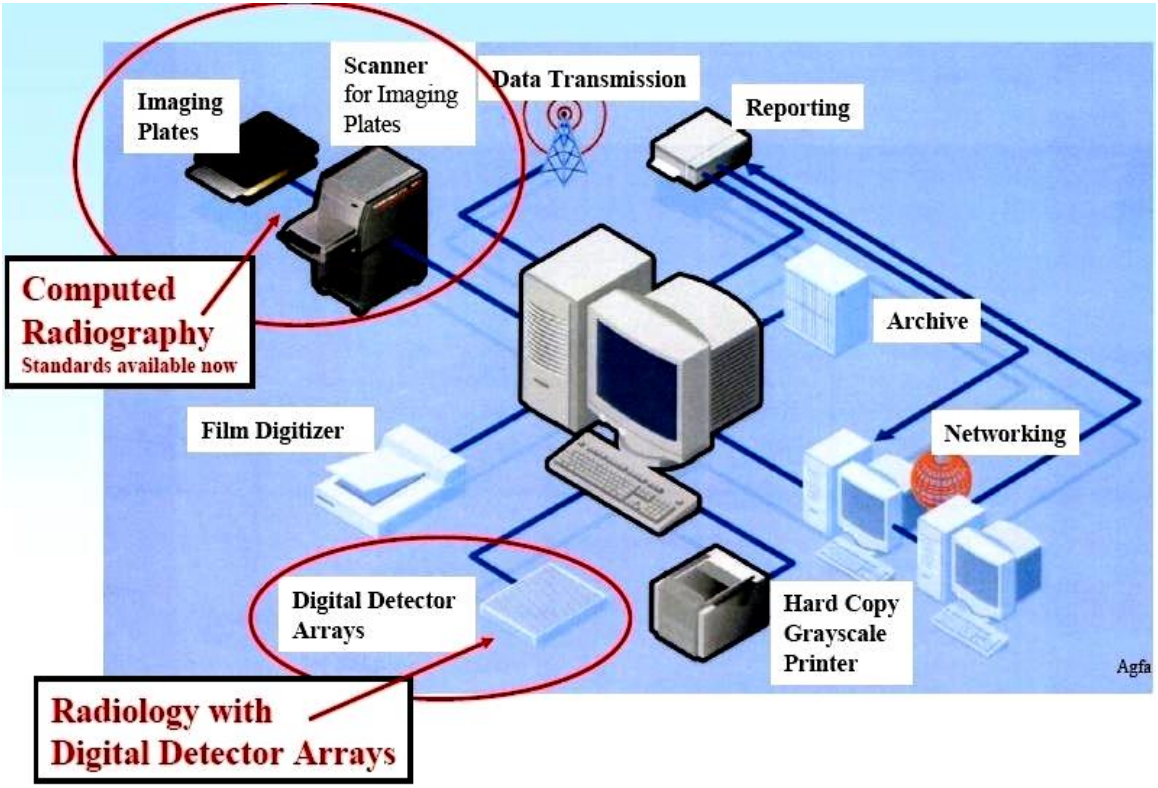
صورة شعاعية لوصلة لحامية منفذة على صفيحة من الألمنيوم
ذات ثخانة ١٤ مم تظهر نقصاً في الاختراق.


34305


Sometimes more than one IQI is necessary, when densities could vary. See T-282
IQI
Film

## تقنيات التصوير الشعاعي البديلة عن تقنيات التصوير باستخدام الأفلام

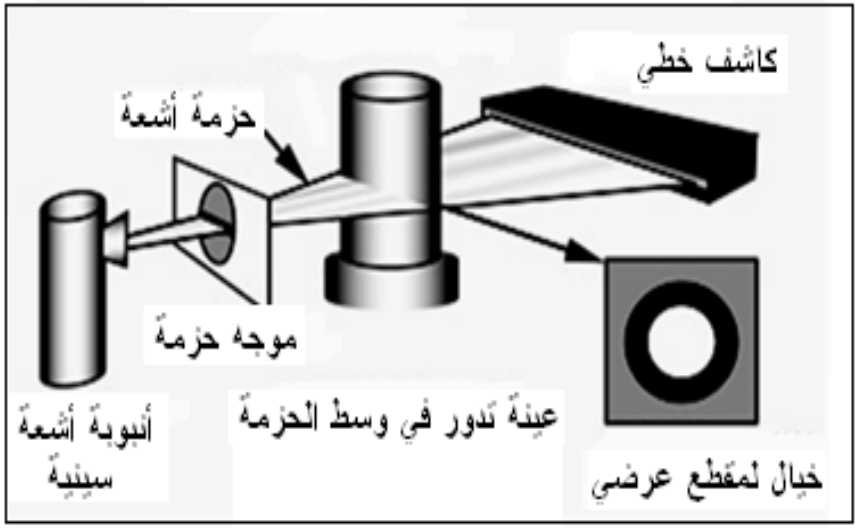
يبين الشكل مخطط لأنظمة التصوير الشعاعي المستخدمة في التطبيقات الصناعية بدلاً عن نظام التصوير الشعاعي التقليدي.

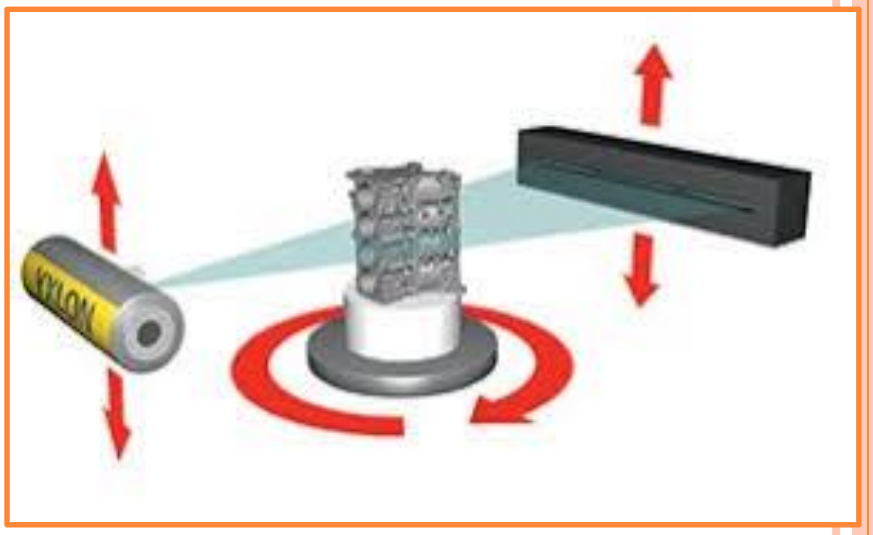



أنظمة التصوير الشعاعي الرقمي والحاسوبي المطبقة في الصناعة.

تجهيزات التصوير الشعاعي الحاسوبي والرقمي

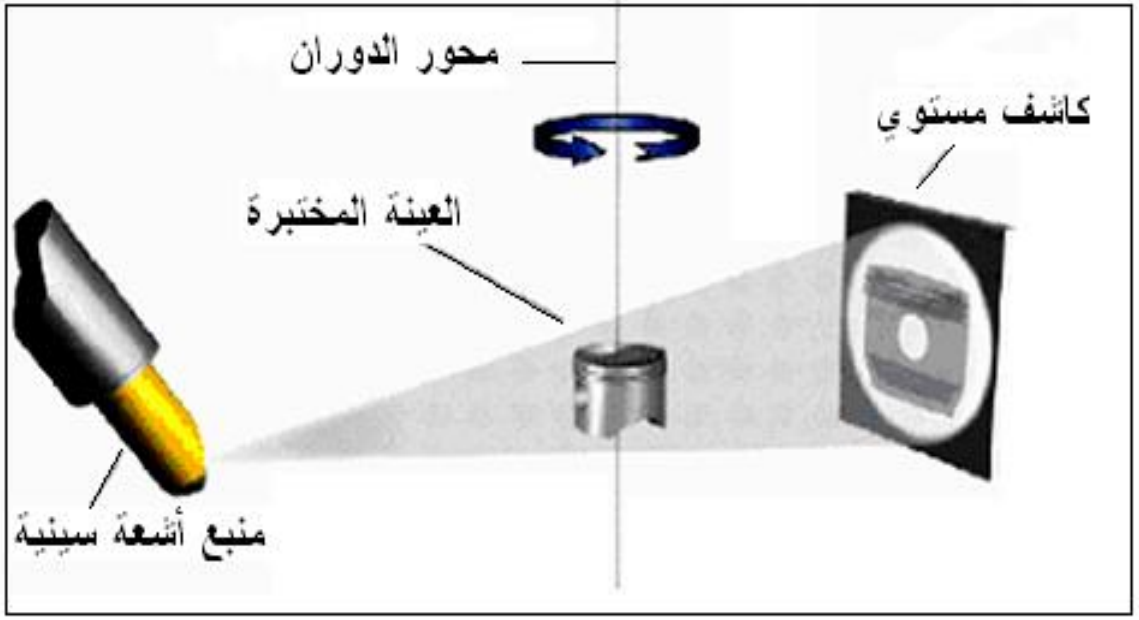
## تجهيزات التصوير الشعاعي الرقمي ذو البعدين



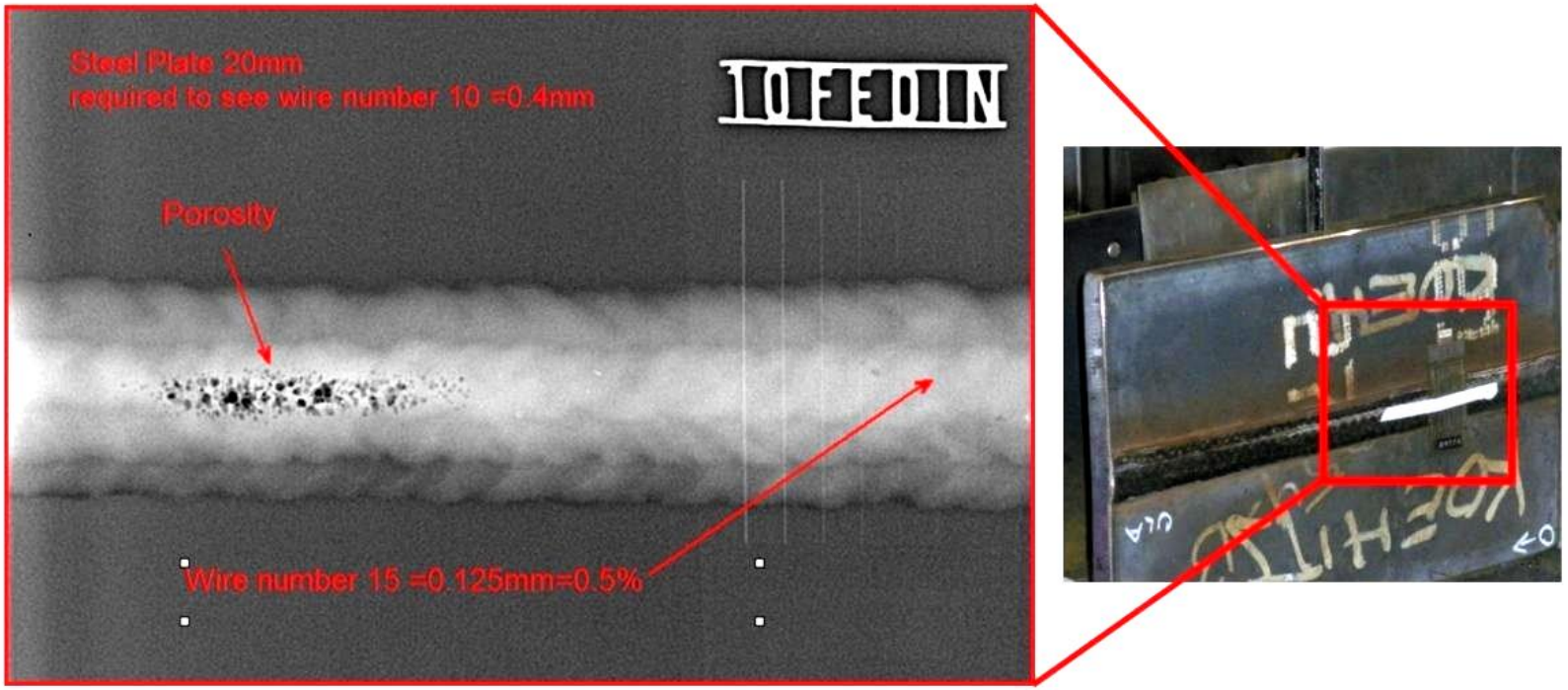




نظام التصوير الشعاعي الطبقي الرقمي ذو البعدين.

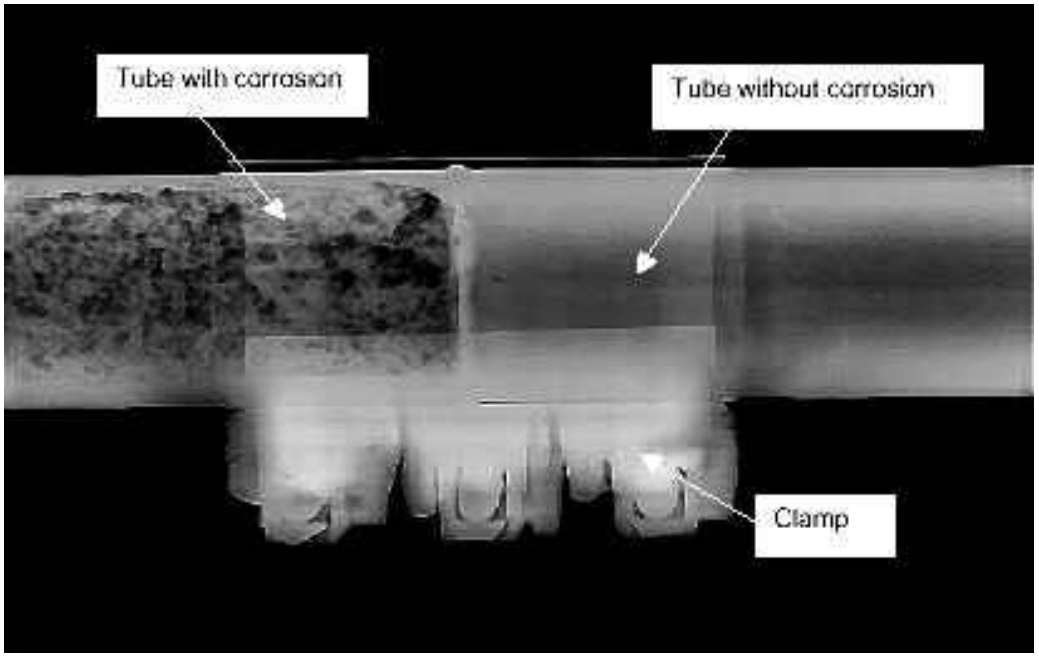
**نظام التصوير الشعاعي الطبقي الرقمي ذو الحزمة المخروطية أو**
**نظام التصوير الطبقي الرقمي بالأبعاد الثلاثة.**

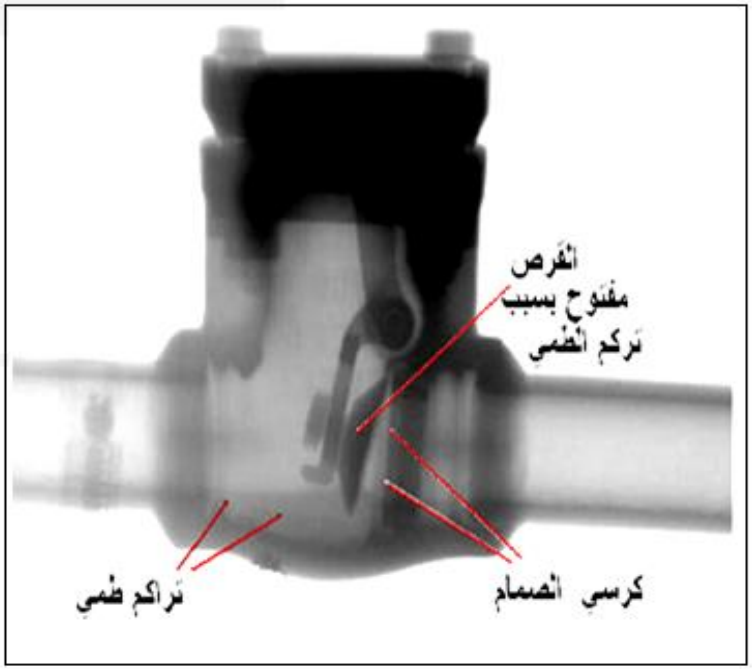



**نظام تصوير شعاعي طبقي رقمي ذو الحزمة المخروطية.**




صورة شعاعية رقمية


Tube with corrosion
Tube without corrosion
Clamp




**صورة رقمية لصمام التقطت لبيان سلامة عمله والكشف عن الاهتراء فيه.**

## عواقب التعرض للأشعة من قبل مصورين بالأشعة لا ينفذون تعليمات الوقاية من الأشعة

**- طرق الوقاية من الإشعاع**

يتم الوقاية من الإشعاع عن طريق التحكم بثلاثة عوامل أساسية هي :

**أ- الزمن**

**ب- المسافة**

**ج- التدريع أو الحجب الشعاعي**

**حدود الجرعة (Dose limit)**

تعتبر الجرعات الشعاعية الناتجة عن أي تعرض غير مبرر للأشعة بأنها جرعات زائدة حتى ولو لم تتجاوز قيمتها الحد المسموح به. يتم في تحديد الجرعة التمييز بين قيمة الجرعة المسموحة للعاملين في المجال الشعاعي وقيمة الجرعة المسموحة لغير العاملين فيه.

-الجرعة المسموحة للعاملين في المجال الشعاعي

-تحدد الجرعة الأعظمية المسموح بها لكامل الجسم بمقدار (mSv/y)٢٠.

-الجرعة المسموحة لغير العاملين في المجال الشعاعي

-الجرعة الأعظمية المسموح بها لغير العاملين في المجال الشعاعي بمقدار (mSv/y)١.

## وسائل الوقاية من الأشعة للمصورين الشعاعيين

أ- **فلم المراقبة الفردية** (TLD Thermo luminescent dosimeter)

عند تعرض شريحة الكاشف المصنوعة من إحدى المواد المتألقة حرارياً كمادة (Lithium fluoride) للأشعة يتم إثارة إلكترونات من الشبكة البلورية ورفع مستوى الطاقة للإلكترونات من مستوى إلى مستوى إثارة أعلى ومستقر، ويتناسب عدد الإلكترونات المثارة طرداً مع شدة الأشعة. يتم الحفاظ على حالة الإلكترونات المثارة إلى أن يتم تسخين الشريحة لتعود الإلكترونات إلى مستواها الأول محررة طاقة على شكل ضوء يتم التقاطه من قبل مضخم وتحويله إلى إشارة إلكترونية رقمية تتناسب مع شدة تعرض الشريحة للإشعاع ومقدار التعرض للأشعة.

## ب- مجراع الجيب

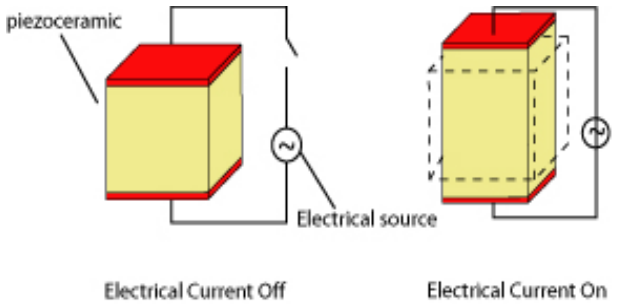
## ج- أجهزة المسح الشعاعي

جهاز مسح شعاعي للكشف عن الأشعة
ذات الشدة العالية والمنخفضة

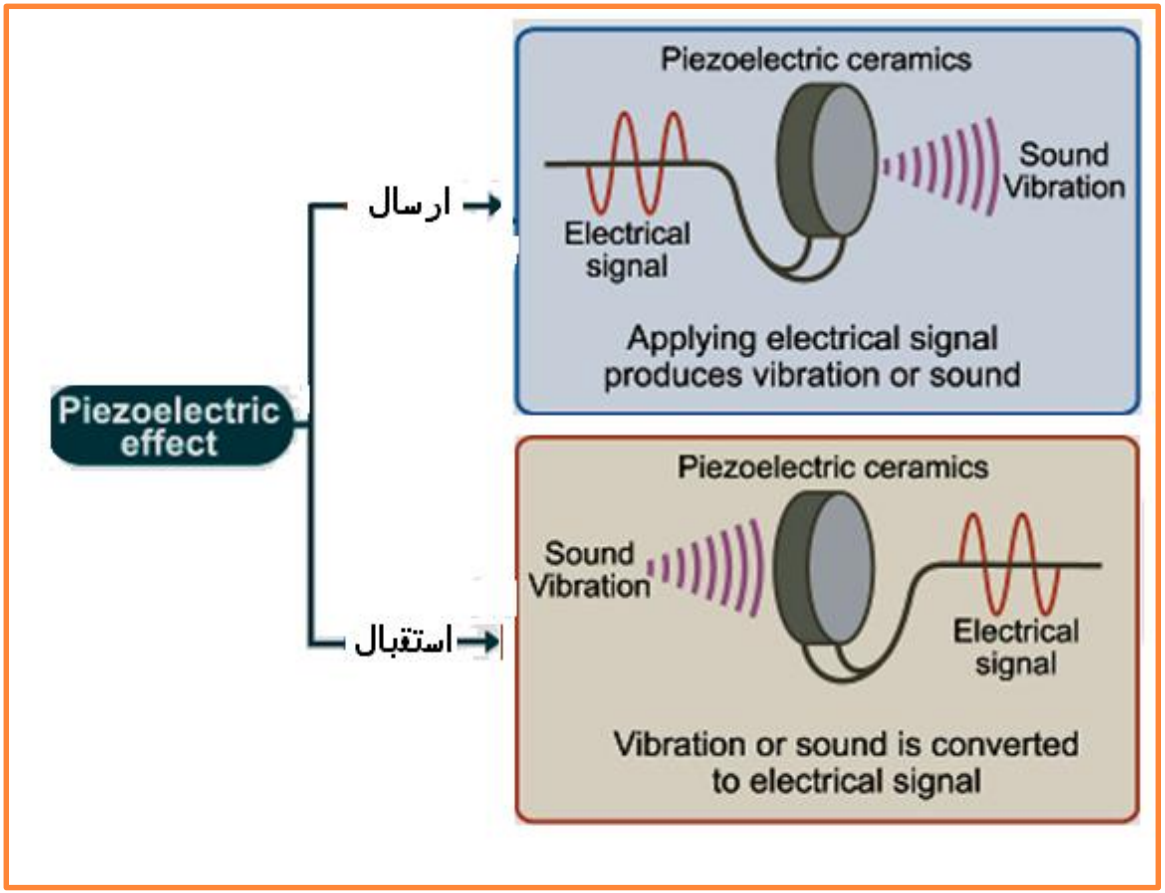
## ٥- اختبار المواد بالأمواج فوق الصوتية

الأمواج فوق الصوتية هي اهتزازات ميكانيكية ذات ترددات فوق سمعية واقعة في المجال ما بين ٢٠ كيلوهرتز و ٢٥ ميغاهرتز.

يتم إدخال الأمواج فوق الصوتية في المواد المختبرة عن طريق مسابر تحوي بلورات ذات خواص كهرضغطية (Piezoelectric) التي تولد الأمواج فوق الصوتية وتستقبلها مثل تيتانات الباريوم وكبريتات الليثيوم والكوارتز الطبيعي



ينتج على سطح بلورات المواد الكهرضغطية جهد كهربائي عند إخضاعها إلى ضغط ميكانيكي وتولد هذه البلورات اهتزازات ميكانيكية عند تطبيق فرق جهد كهربائي عليها.



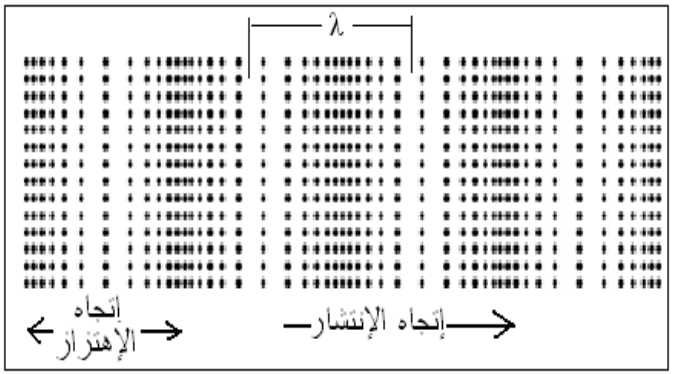

توليد الأمواج فوق الصوتية واستقبالها

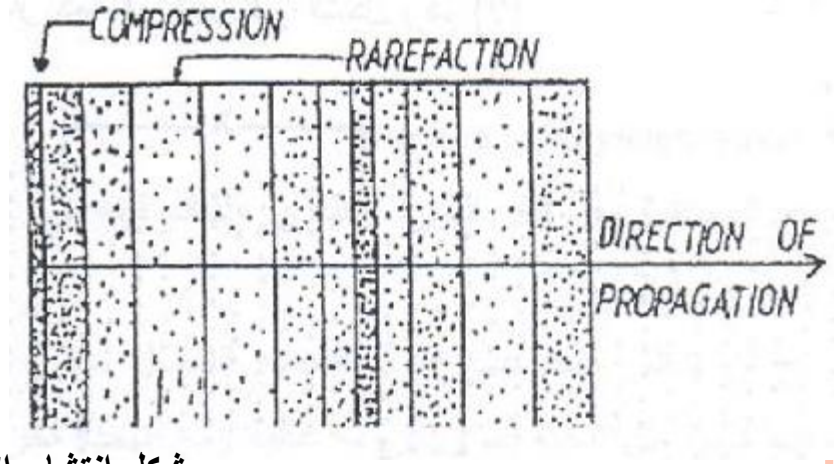
# أنماط الأمواج فوق الصوتية وتطبيقاتها

تصنف الأمواج فوق الصوتية وفق لنمط اهتزاز جسيمات الوسط بالنسبة لاتجاه انتشار الموجة وبذلك يتم تميز أربعة أنماط من الأمواج فوق الصوتية هي الأمواج الطولية وأمواج القص والأمواج السطحية وأمواج لامب.

**-الأمواج الطولية longitudinal waves**

وفيها تهتز جسيمات المادة بشكل موازي لاتجاه انتشار الموجة حيث يتولد نتيجة لذلك مناطق انضغاط ومناطق تخلخل على التناوب كما هو مبين في الشكل



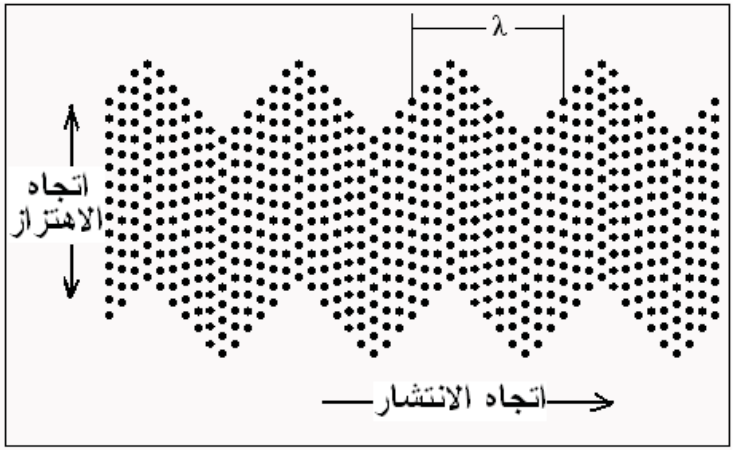



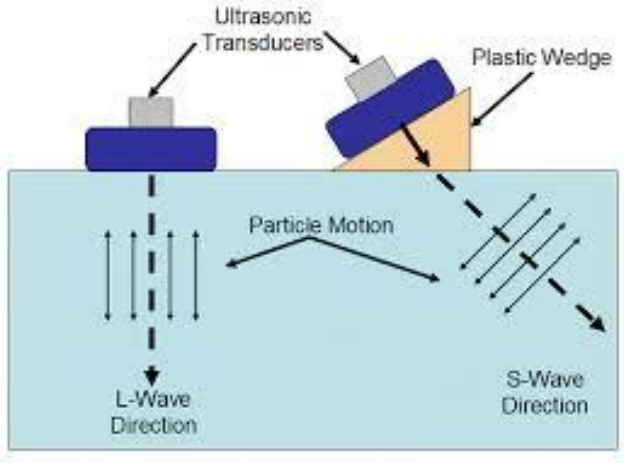

**شكل انتشار الأمواج الطولية**

**تنتشر الأمواج الطولية في الأجسام الصلبة والسائلة والغازية على السواء.**

- **الأمواج المستعرضة أو أمواج القص Transverse or shear waves**

سميت هذه الأمواج بالأمواج المستعرضة أو أمواج القص نظراً لأن اتجاه انزياح جسيمات المادة متعامداً على اتجاه الانتشار كما هو مبين في الشكل.



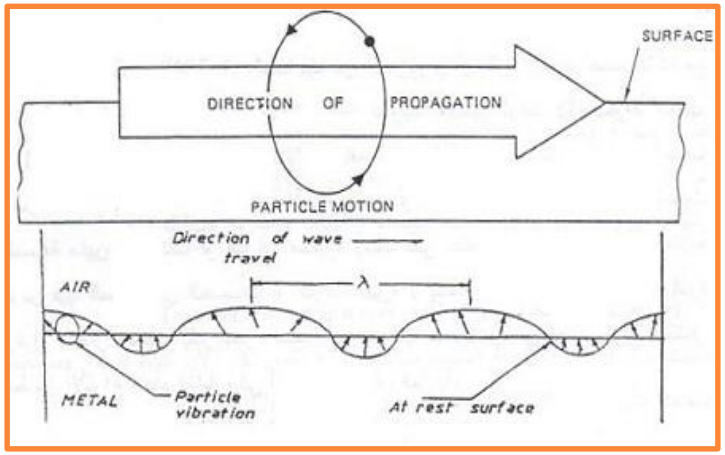




**شكل انتشار موجة القص**

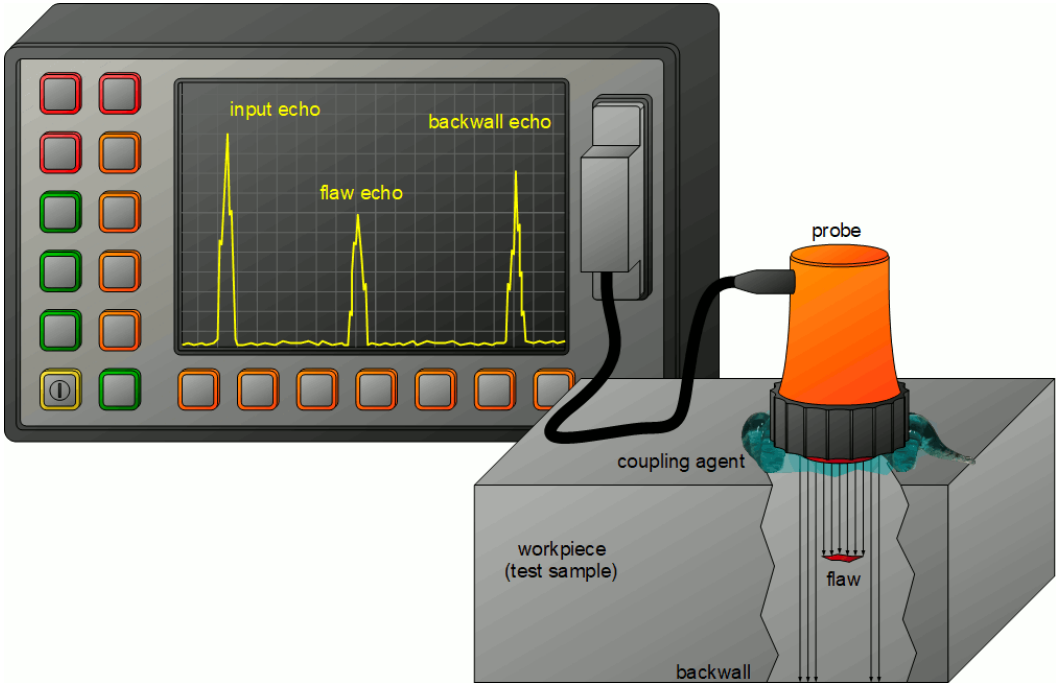
**يمكن لأمواج القص أن تنتشر فقط في الأجسام الصلبة** حيث تكون المسافة مابين الجزيئات أو الذرات صغيرة وذلك على عكس الأجسام السائلة أو الغازية التي تكون فيها المسافة بين الجزيئات أو الذرات كبيرة ممالا يسمح للذرة أن تحرك الذرة المجاورة إلا بمقدار ضعيف يقدر بجزء صغير من حركتها مما يؤدي **إلى تخامد سريع لانتشار هذا النمط من الأمواج وعدم انتشاره في الأجسام السائلة والغازية**

## الأمواج السطحية Surface waves:

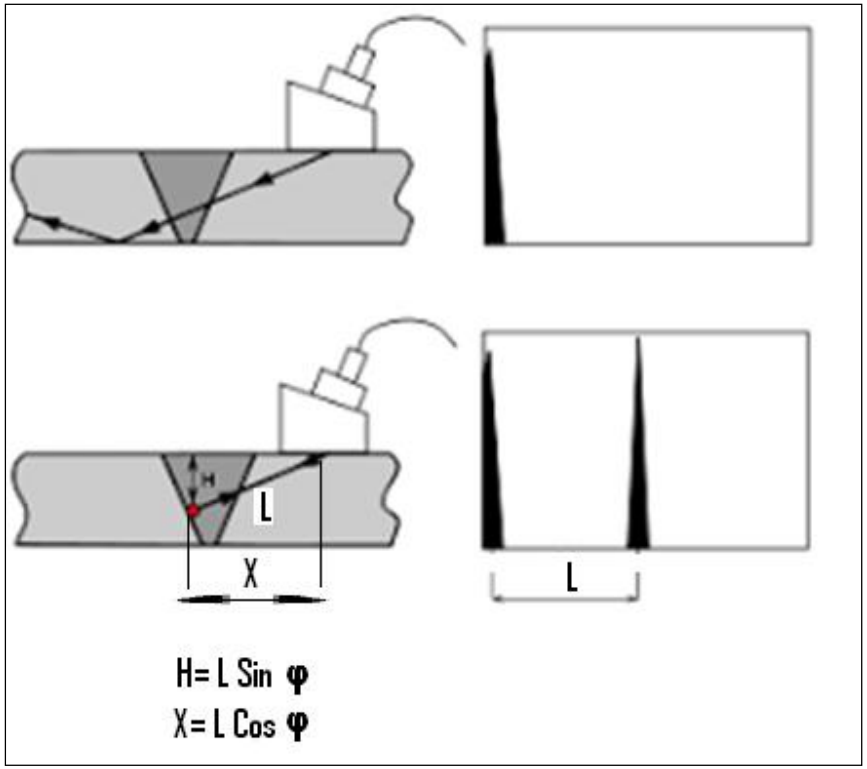
يمكن لهذه الأمواج أن تنتشر فقط على طول السطح الفاصل مابين جسم صلب وغاز حيث تترابط الجزيئات فيما بينها من ناحية بقوى مرونة عالية ومن ناحية أخرى بقوى مرونة معدومة (غاز).
تبلغ سرعة الموجة السطحية 90% من سرعة موجة القص في ذات المادة ويمكن لهذه الموجة أن تنتشر في منطقة ذات ثخانة لا تزيد عن طول موجة واحدة تحت السطح،



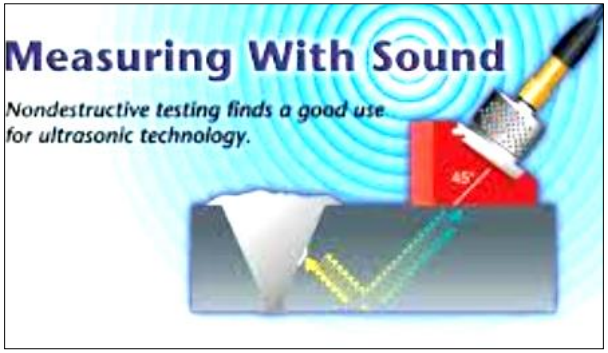
**شكل موجة سطحية تنتشر على السطح الفاصل ما بين معدن–هواء**
**تشير الأسهم إلى اتجاهات حركة الجسيمات**



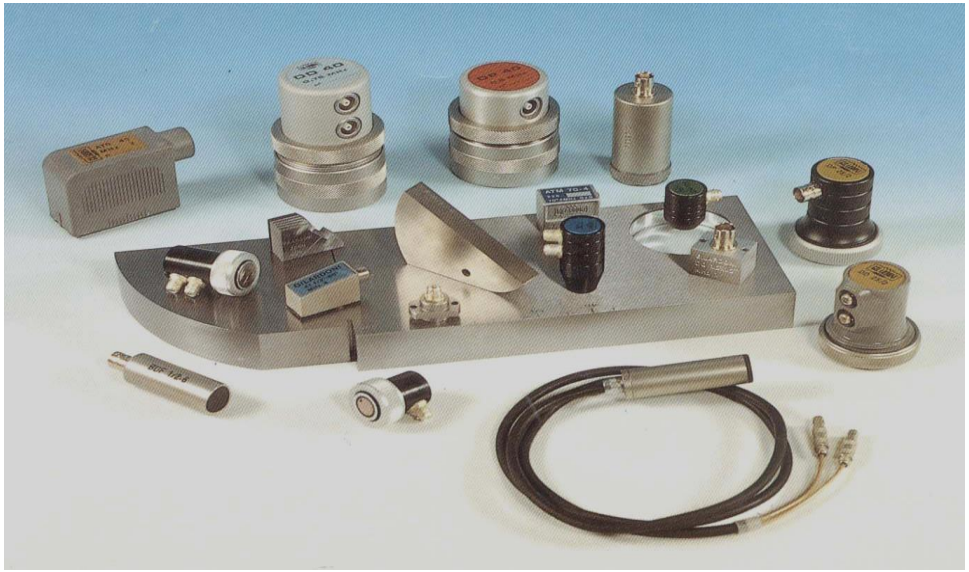

**انعكاس الأمواج فوق الصوتية على السطوح الفاصلة في المادة المختبرة**
**عند اختبار العينة بمسبار أمواج طولية**

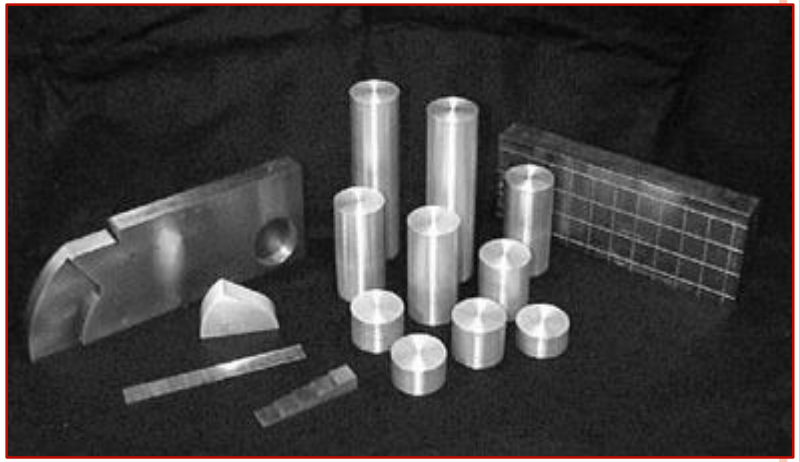



انعكاس الأمواج فوق الصوتية على السطوح الفاصلة في وصلة لحامية عند اختبار العينة بمسبار أمواج قص



يبين الشكل مجموعة من مسابر الاختبار وبلوكات المعايرة المستخدمة في طريقة الاختبار التقليدية بالأمواج فوق الصوتية.

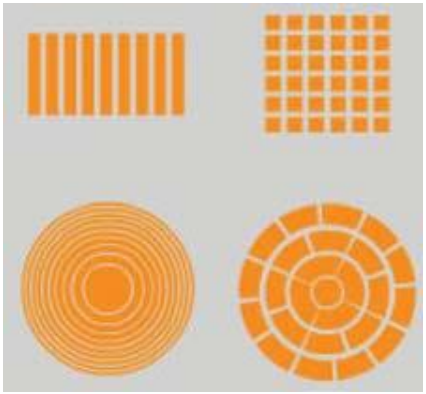




**مجموعة من المسابر وبلوكات المعايرة المستخدمة في الاختبار بالأمواج فوق الصوتية.**

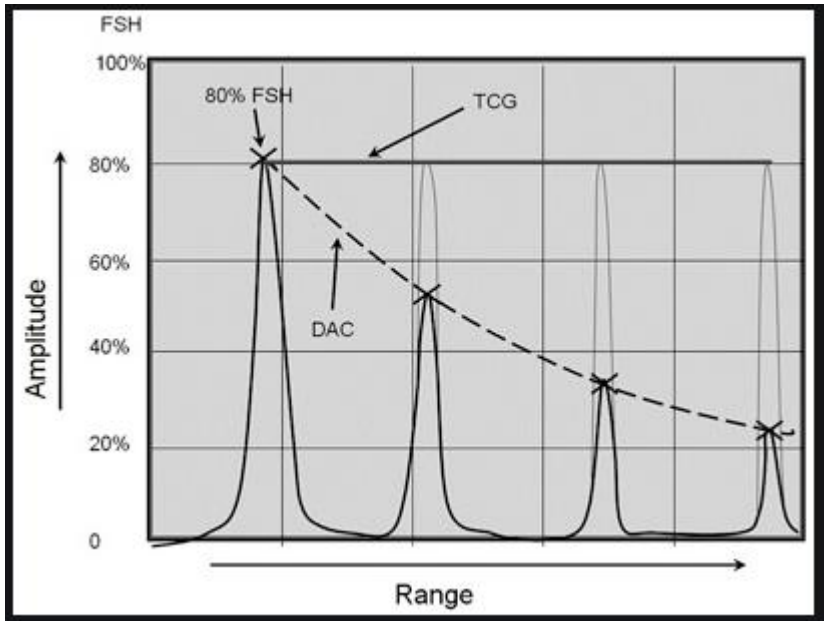
**مسابر الاختبار بتقنية الأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة**
(Phased array transducers)

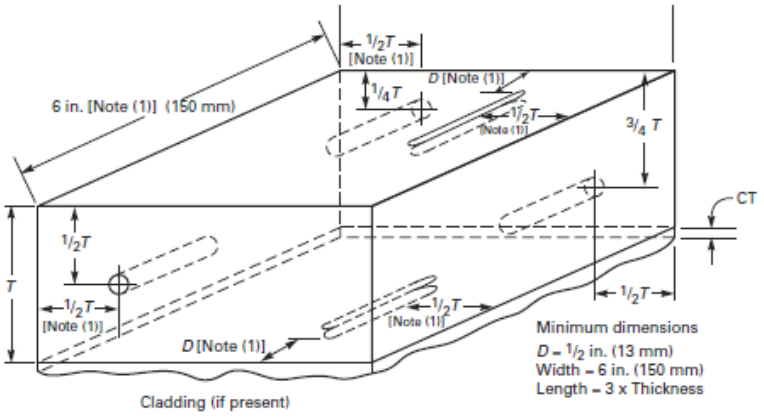
يتألف مسبار الحزمة الموجهة من مجموعة من المسابر الإفراد ية يتراوح عددها من ١٦ إلى ٢٥٦
ولكلّ مسبار من هذه المسابر الإفراد ية **بلورة كهرضغطية ودارة إلكترونية مكونة من**
**منبع تغذية ودارة إرسال واستقبال** وبحيث ينظر إليه كمنبع توليد واستقبال أمواج فوق صوتية نقطي، ويتم التحكم بتواتر النبضات الكهربائية المطبقة على البلورات وتعاقبها بواسطة دارة التحكم في جهاز الاختبار بالأمواج فوق الصوتية التي تستخدم هذا النوع من المسابر.



**نماذج من مسابر الاختبار بتقنية الأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة**

*16, 32, 48, 64, .....*

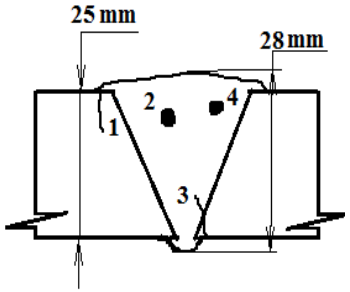


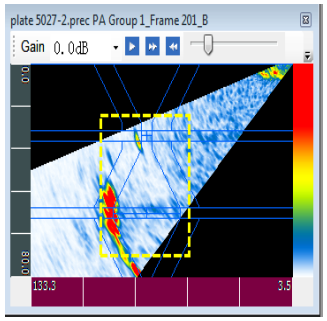



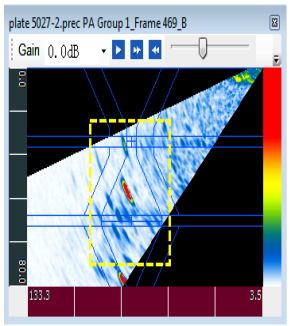

| Notch Dimensions, in. (mm) |
|---|
| Notch depth = 1.6% *T* to 2.2% *T* |
| Notch width = 1/4 (6) max. |
| Notch length = 1 (25) min. |

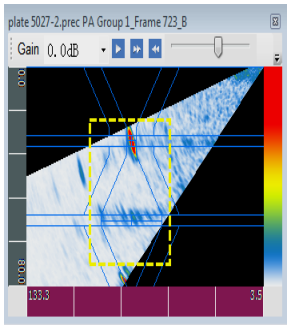
| Weld Thickness (*t*), in. (mm) | Calibration Block Thickness (*T*), in. (mm) | Hole Diameter, in. (mm) |
|---|---|---|
| Up to 1 (25) | 3/4 (19) or *t* | 3/32 (2.5) |
| Over 1 (25) through 2 (50) | 1 1/2 (38) or *t* | 1/8 (3) |
| Over 2 (50) through 4 (100) | 3 (75) or *t* | 3/16 (5) |
| Over 4 (100) | *t* ±1 (25) | [Note (2)] |

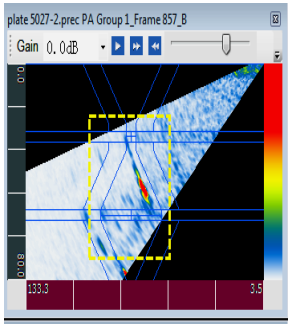
تسهل أجهزة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة عملية اختبار المكونات وتسريع تنفيذها وذلك بعرض صور إلكترونية للمقاطع العرضية تبيّن مواضع العيوب في المادة المختبرة التي من الممكن أن تكون وصلات لحامية منفذة على المكونات والهياكل المعدنية والأنابيب.

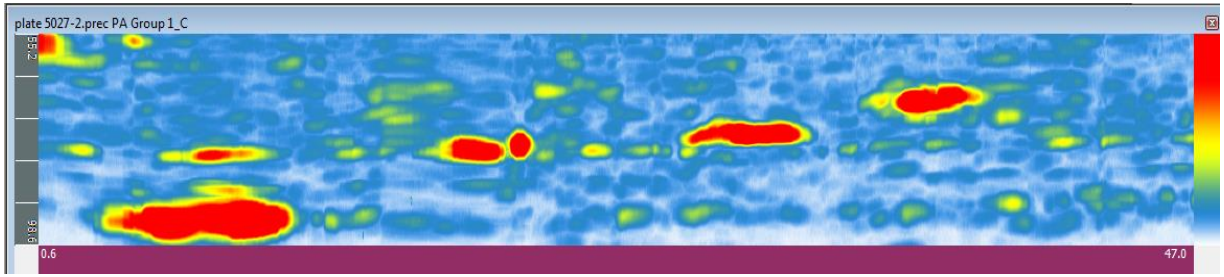


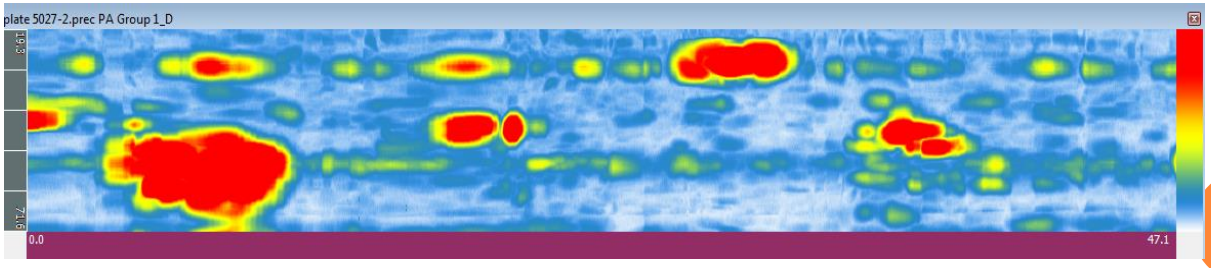



# تقنية الاختبار TOFD

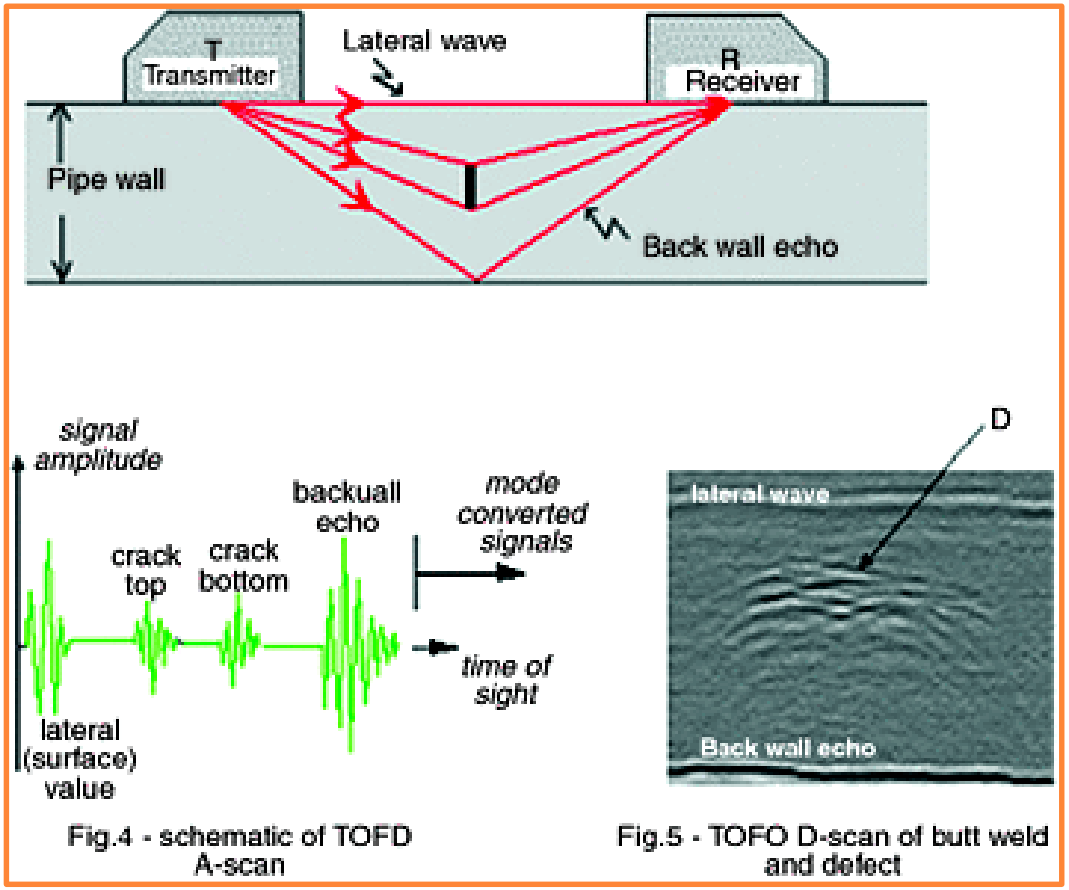



Fig.4 - schematic of TOFD A-scan

Fig.5 - TOFO D-scan of butt weld and defect

تطبق طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية في العديد من المجالات منها:

اختبار الوصلات اللحامية للأوعية المضغوطة بتقنية TOFD& Phased array

Fig. 8 TOFD being done for a heavy walled pressure vessel at shop [5]

# اختبار الوصلات اللحامية لخزانات الغاز الكروية بالأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة

اختبار سلامة المواد المعدنية وغير المعدنية ذات الثخانات الكبيرة كالمشغولات والوصلات اللحامية المنفذه عليها.

**تحديد مواضع التآكل وقياس مقداره في المواد المعرضة للتآكل**

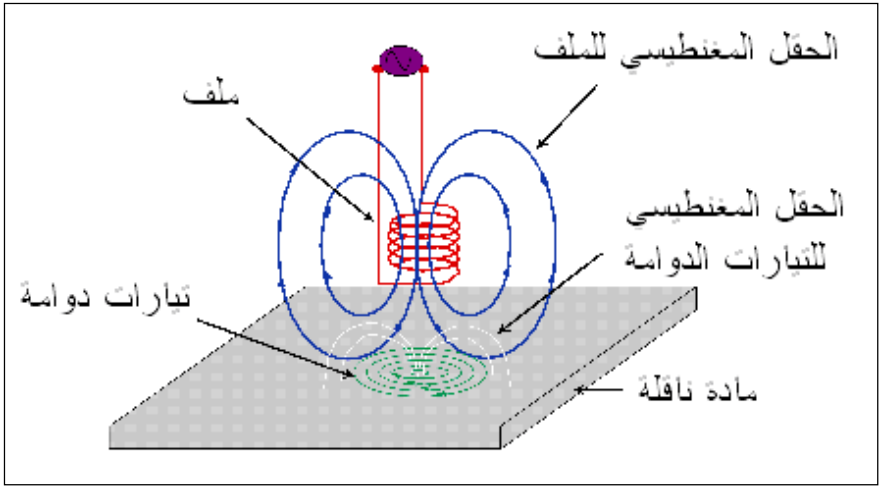
**يبين الشكل مثال لاختبار الثخانة المتبقية لجدار مولد بخار بالأمواج فوق الصوتية.**

Corrosion Testing of Coal Fired Boiler ...

## ٦- اختبار المواد بالتيارات الدوامة:

يستخدم في تطبيق الطريقة مسابر اختبار تعمل على توليد حقول مغنطيسية تؤثر على الأجسام الناقلة للكهرباء المتواجدة بالقرب منها مما يؤدي إلى تحريض تيارات موضعية تسمى التيارات الدوامة.

يتم التعرف على مكونات الأجسام المختبرة وعيوبها بدراسة الحقل المغنطيسي المحصل والناتج عن التفاعل ما بين الحقل المغنطيسي المحرض والحقل المغنطيسي المتحرض الذي تنشره التيارات الدوامة. في القطعة المعدنية المختبرة يبين الشكل مبدأ الطريقة.




**مبدأ اختبار المواد بالتيارات الدوامة**

**الشكل الهندسي لمسابر الاختبار**

يقتصر تدفق التيارات الدوامة في المادة على المنطقة المتأثرة بالحقل المغنطيسي والمتعلقة بالشكل الهندسي للملف، إذ تختلف المسابر المستخدمة في اختبار العيّنات المسطحة عن مسابر اختبار السطوح الداخلية للفجوات. كما تختلف مسابر الاختبار الداخلي للأنابيب عن مسابر الاختبار المحيطي لها.

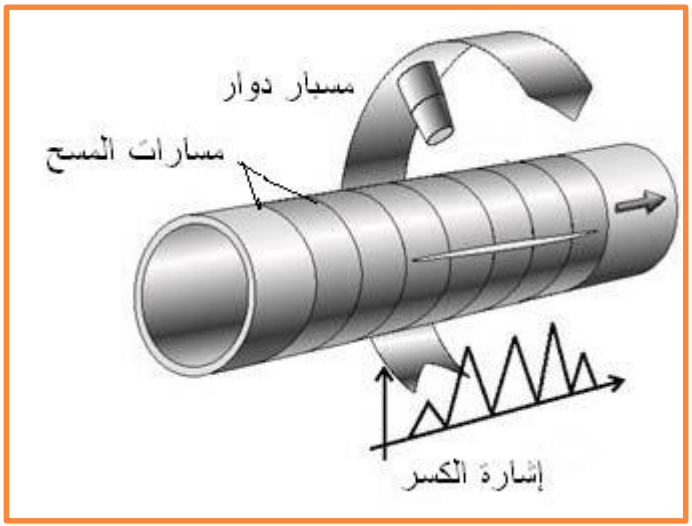
**نماذج من مسابر الاختبار بالتيارات الدوامة**

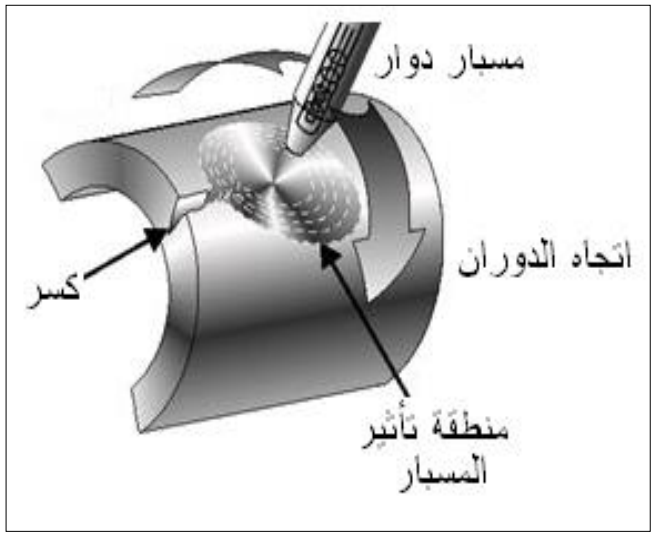
## تطبق طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة في:

أ- اختبار المواد والقطع المعدنية والتحري عن وجود العيوب السطحية وتحت السطحية فيها وذلك أثناء إنتاج هذه المواد والقطع وأثناء التشغيل وخاصة المكونات المخصصة للصناعات الفضائية والصناعات النووية وتعد هذه الطريقة من أكثر الطرق ملائمة في اختبار المكونات المعدنية ذات الشكل الدائري كالمكونات المبينة في الشكل.

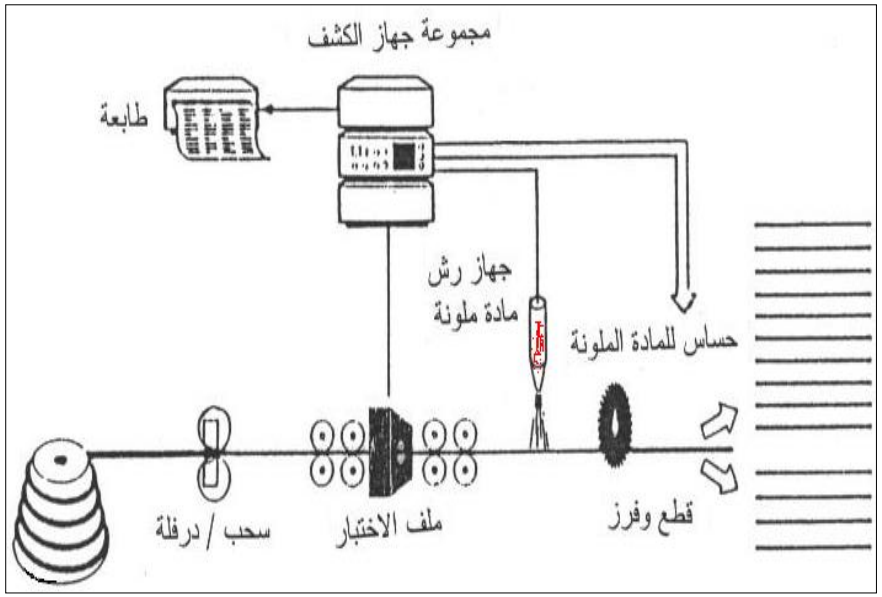
**عينات قابلة للاختبار بالتيارات الدوامة**

**ب**- اختبار جميع أنواع القضبان المعدنية والأنابيب بعد عملية الدرفلة على الساخن أو على البارد وبسرعة 100[m/min] وبحيث يتم بعد الاختبار قطع القضبان وفرزها إلى مستويات جودة مختلفة، كما هو مبين في الشكل.




**اختبار الاسطوانات والقضبان المعدنية المصمتة على مختلف أنواعها بواسطة مسابر دواره للكشف عن الكسور السطحية**




**طريقة اختبار القضبان المعدنية بعد عملية الدرفلة بمسبار اختبار محيطي**

ج- اختبار المواد المتماثلة والكشف عن آي اختلاف في تركيبها الكيميائي أو في المعالجة الحرارية أو في ناقليتها الكهربائية أو في القساوة وذلك بالاستناد إلى مبدأ تغير الناقلية الكهربائية للمادة المعدنية عند حدوث أي تغير في خواصها الفيزيائية أو فى خواصها الكيميائية، كما هو مبين في الشكل.

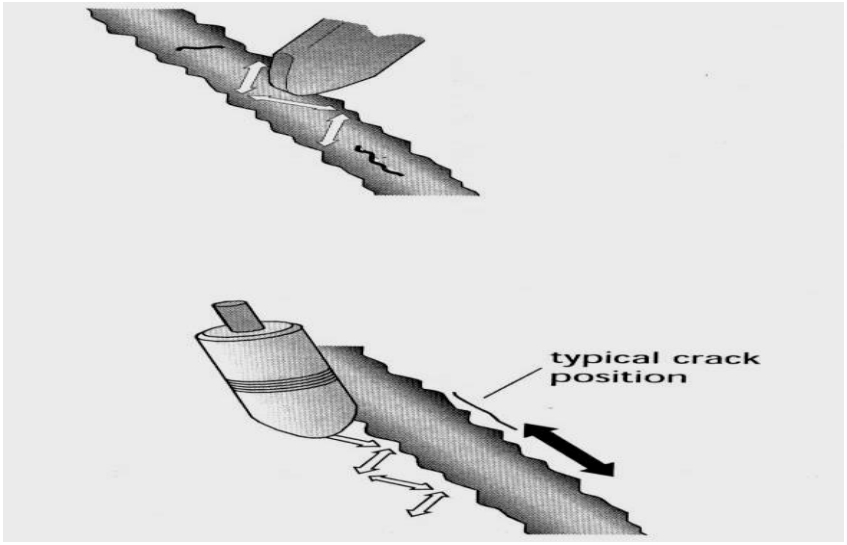
**فرز المعادن وفقاً لناقلتيها الكهربائية وفقاً للنظام الدولي (IACS )**

د- قياس الثخانات وتحديد مواضع الاهتراءات في الأنابيب والصفائح المعدنية المعرضة للتآكل ويعتمد مبدأ القياس على تحسس معدل تغير دخول التيارات الدوامة في القطعة المعدنية عند تغير ثخاناتها.

هـ - قياس ثخانات الطبقات غير الناقلة (Coating) كالدهان والبلاستيك المتوضعة فوق المواد الناقلة.

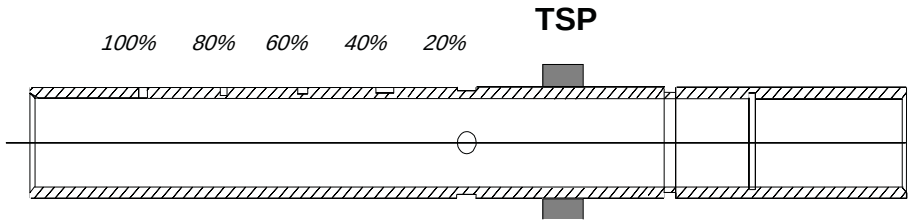
و- قياس ثخانات الطبقات الناقلة المتوضعة فوق المواد الناقلة ذات الطبيعة المختلفة.

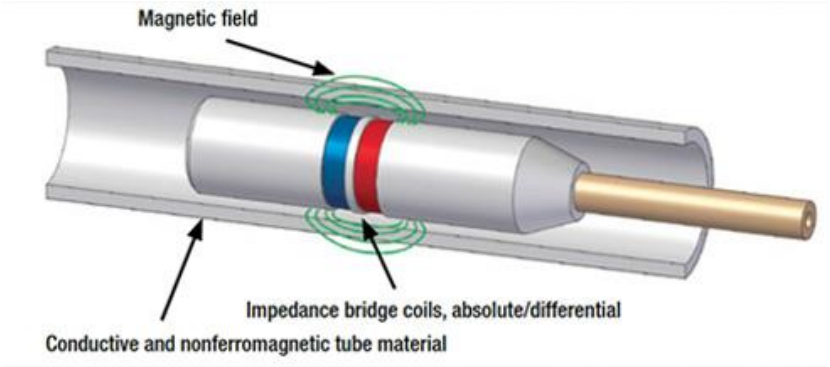
ز- الكشف عن الكسور السطحية وكسور ما تحت السطح في الوصلات اللحامية وفي HAZ، كما هو مبين في الشكل.



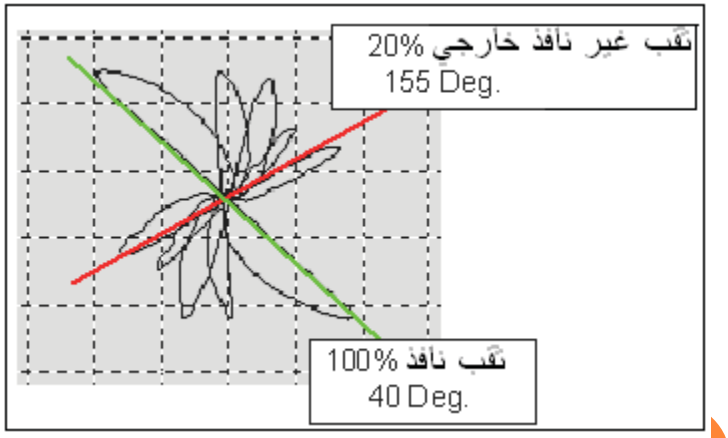

**الكشف عن الكسور في الوصلات اللحامية وفي المنطقة المتضررة بالحرارة**

ح- اختبار أنابيب المبادلات الحرارية والمكثفات في محطات توليد الطاقة الكهربائية وذلك لتحديد الأنابيب المتآكلة ونسبة التآكل مما يسمح باتخاذ الإجراءات اللازمة للحفاظ على وثوقية عمل عالية لمحطات الطاقة بشكل خاص وللمنشات الصناعية بشكل عام ويبين الشكل مخطط مبادل حراري والأنابيب فيه .

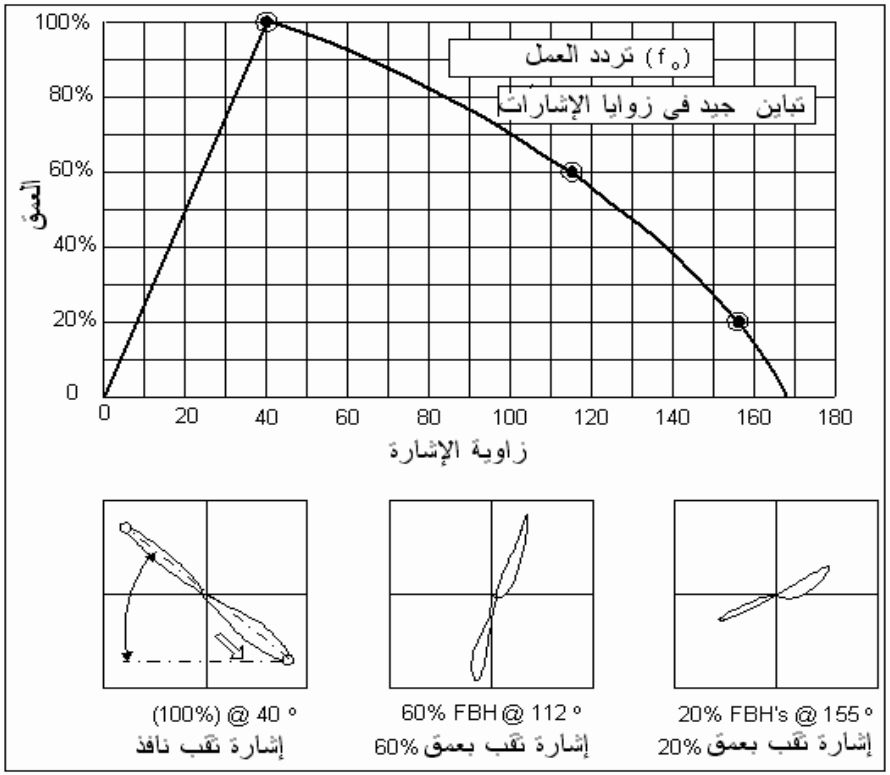


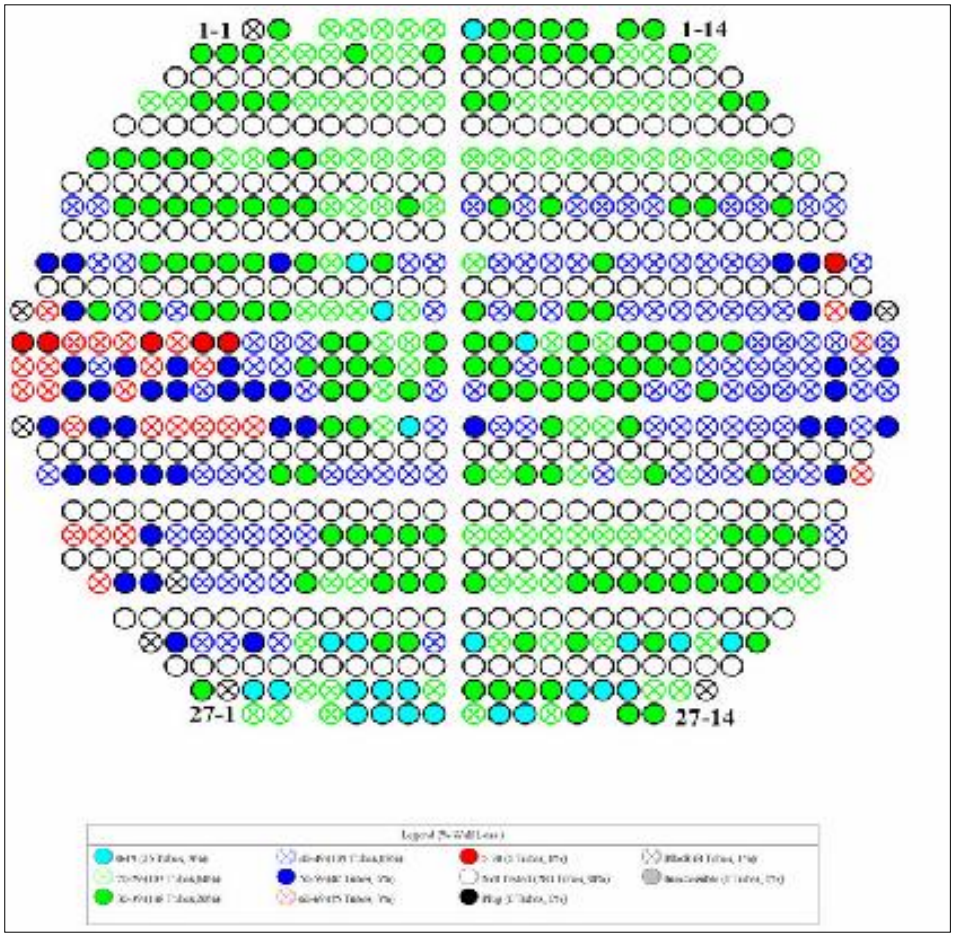

| عمق الثقب على الجدار | زاوية الإشارة |
|---|---|
| 100% | °40 |
| 80% | °83 |
| 60% | °112 |
| 40% | °135 |
| 20% | °155 |




**الأنابيب في مبادل حراري**



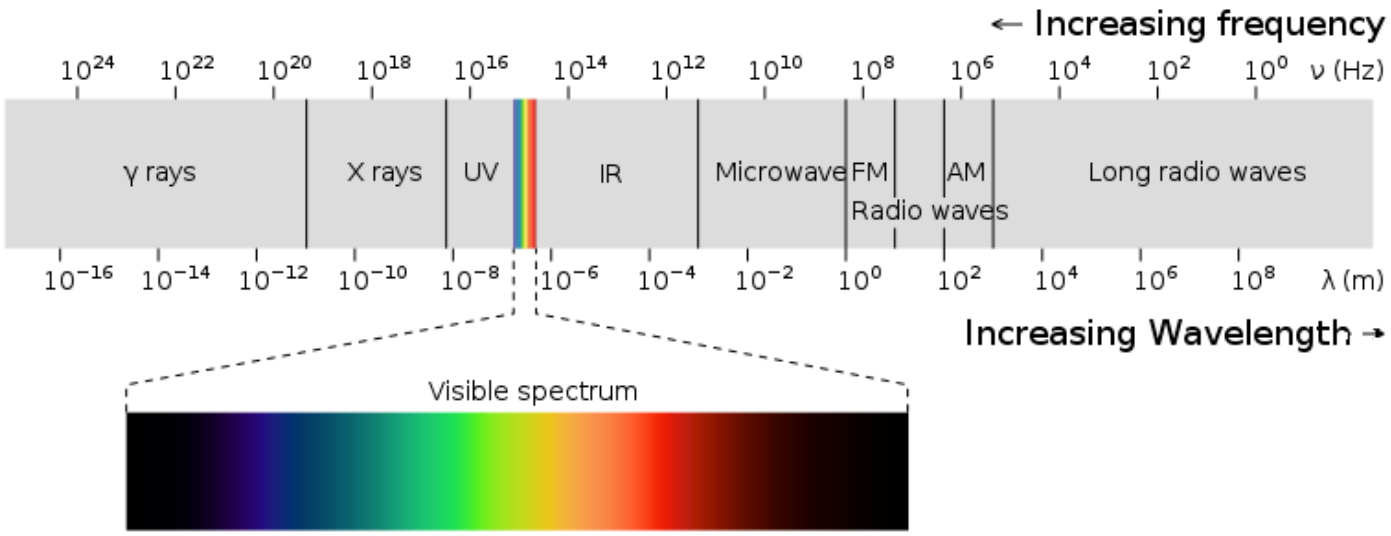

**منحني علاقة عمق عيوب الأنبوب المعياري وزوايا الإشارات الناتجة عنها.**




نتيجة اختبار أنابيب مبادل حراري بالتيارات الدوامة

## ٧- طريقة الاختبار بالأشعة تحت الحمراء

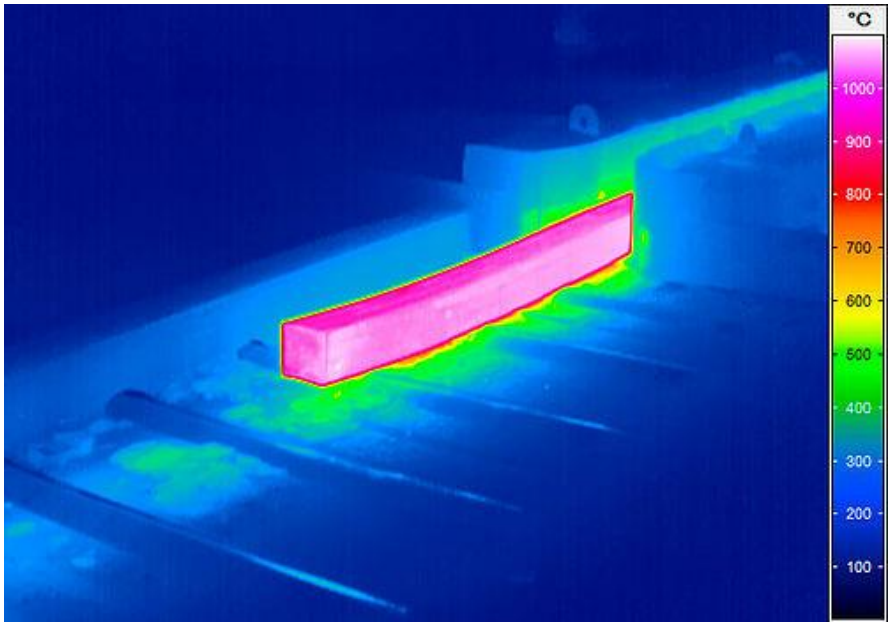
الأشعة تحت الحمراء IR هي أشعة كهرطيسية غير مرئية ذات أطوال موجية أكبر من الأطوال الموجية للضوء المرئي وواقعة في المجال (mμ) 0.7-300. يبين الشكل (١) موقع الأشعة تحت الحمراء ضمن طيف الأشعة الكهرطيسية.



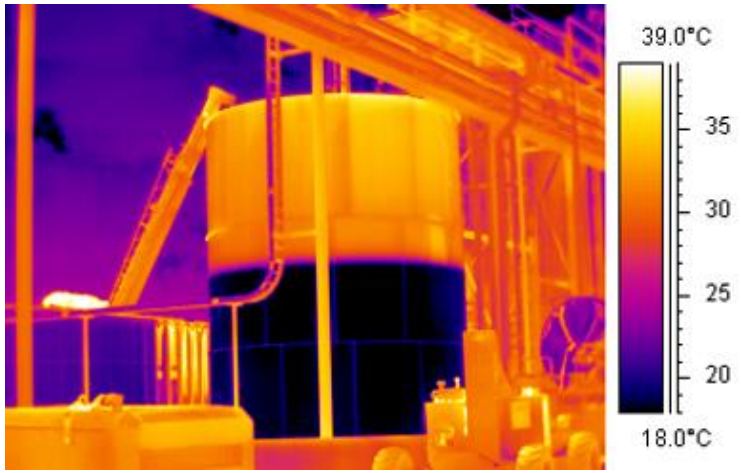

*موقع الأشعة تحت الحمراء ضمن طيف الأشعة الكهرطيسية.*

**نموذجان من نماذج كاميرات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء.**

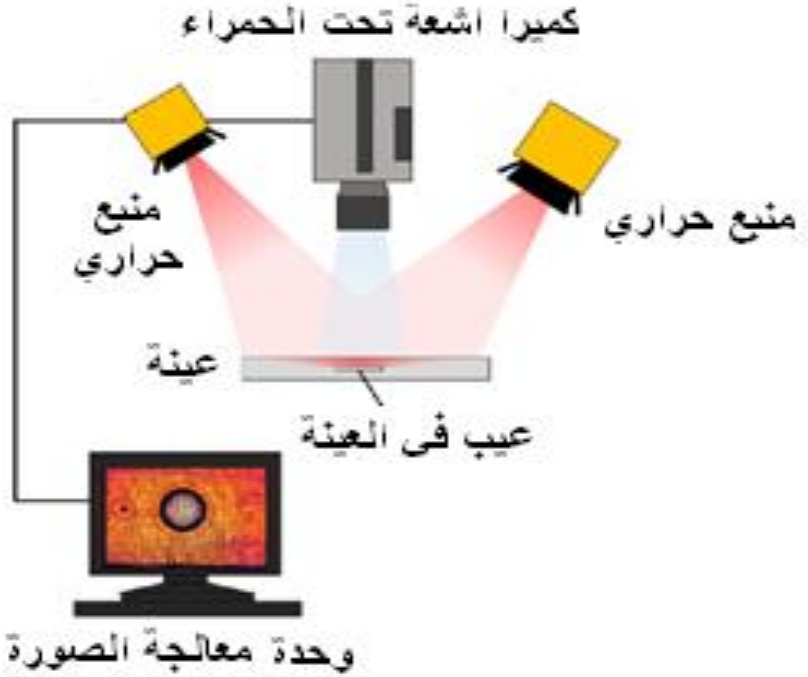
## أنظمة الاختبار بالتصوير الحراري النشطة وغير النشطة



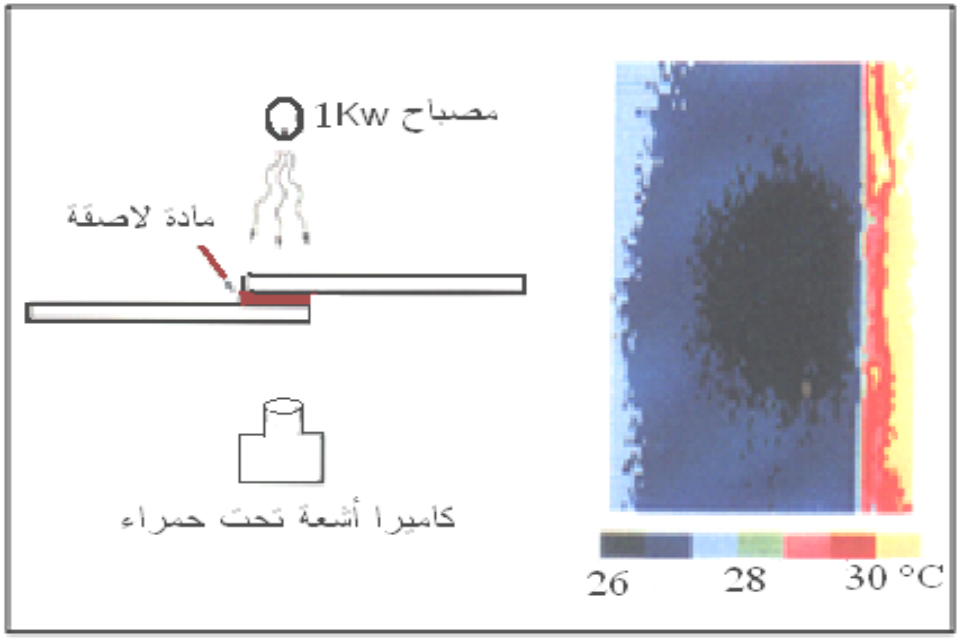

صورة بالأشعة تحت الحمراء خلال عملية انتاج الصفائح الفولاذية بالدرفلة لضمان جودتها وللكشف عن خلوها من الخبث.




***صورة بالأشعة تحت الحمراء تبين مستوى السائل في الخزان.***




***مبدأ كشف العيوب في التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء* بالطريقة النشطة.**




**صورة حرارية ذات مساحة ($cm^2$) 4×5 لصفيحتين من الألمنيوم مربوطتين بمادة لاصقة تظهر وجود بقعة ذات مساحة ($cm^2$) 1.5×1.5 خالية من المادة اللاصقة.**