بسم الله الرحمن الرحيم

مدخل إلى الاختبارات اللاإتلافية للمواد

الدكتور المهندس وفيق حرارة

مستوى ثالث في اختبار المواد بالتصوير الشعاعي
وبالأمواج فوق الصوتية وبالتيارات الدوامة (تيارات فوكو)

مدير بحوث في هيئة الطاقة الذرية

الاختبارات اللاإتلافية

هي فرع من علم المواد يهدف إلى التعرف على بنية المواد والمنتجات وخصائصها والتحري عن الإنقطاعات فيها وتقييم هذه الإنقطاعات وبالتالي تحديد مقدرة هذه المواد والمنتجات على أداء الخدمات المطلوبة منها أثناء الاستثمار وذلك دون التأثير على شكلها أو على بنيتها أو على خواصها.

تتطور طرائق الاختباراتٍ اللاإتلافية وتقنياتها باستمرار، وتُعقد عشرات المؤتمرات العلمية في مجال هذه الاختبارات سنوياً، ويُنشر الكثير من الأبحاث والمؤلفات حول هذه الاختبارات وتقاناتها وتطبيقاتها بهدف تحسين خصائص ومواصفات وجودة المكونات والهياكل المعدنية وغير المعدنية المستخدمة في الصناعة وخاصة فيما يتعلق بالصناعات الفضائية والنووية والصناعات البترولية والبتروكيميائية ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وذلك خلال مراحل التصنيع والتركيب والاستثمار.

فوائد تطبيق طرائق الاختبارات اللاإتلافية

يمكن تلخيص الفوائد بما يلي:

- هي وسيلة أساسية من وسائل ضمان وضبط جودة المكونات المعدنية خلال مراحل تصنيعها المختلفة وخلال الاستثمار وبيان مطابقتها للمواصفات والمعايير الدولية وتستخدم نتائج هذه الاختبارات في قبول المواد والمكونات المعدنية أو رفضها.

- تعد وسيلة فعالة في خفض معدل حوادث انهيار المراجل والأوعية المضغوطة والجسور وحوادث تحطم الطائرات وحوادث التسرب من المنشآت الكيميائية والبتروكيميائية والمفاعلات النووية وغيرها.

-هي الوسيلة الوحيدة لبيان سلامة المكونات المعدنية والكشف عن العيوب فيها أثناء الاستثمار وعند فترات الصيانة المبرمجة.

– يجري بالاعتماد على نتائج الاختبارات اللاإتلافية للمكونات تمديد الفترة الزمنية لاستثمار المنشآت الصناعية والطائرات والمفاعلات النووية وتجهيزاتها.

مبررات تطبيق طرائق الاختبارات اللاإتلافية في فحص المكونات المعدنية :

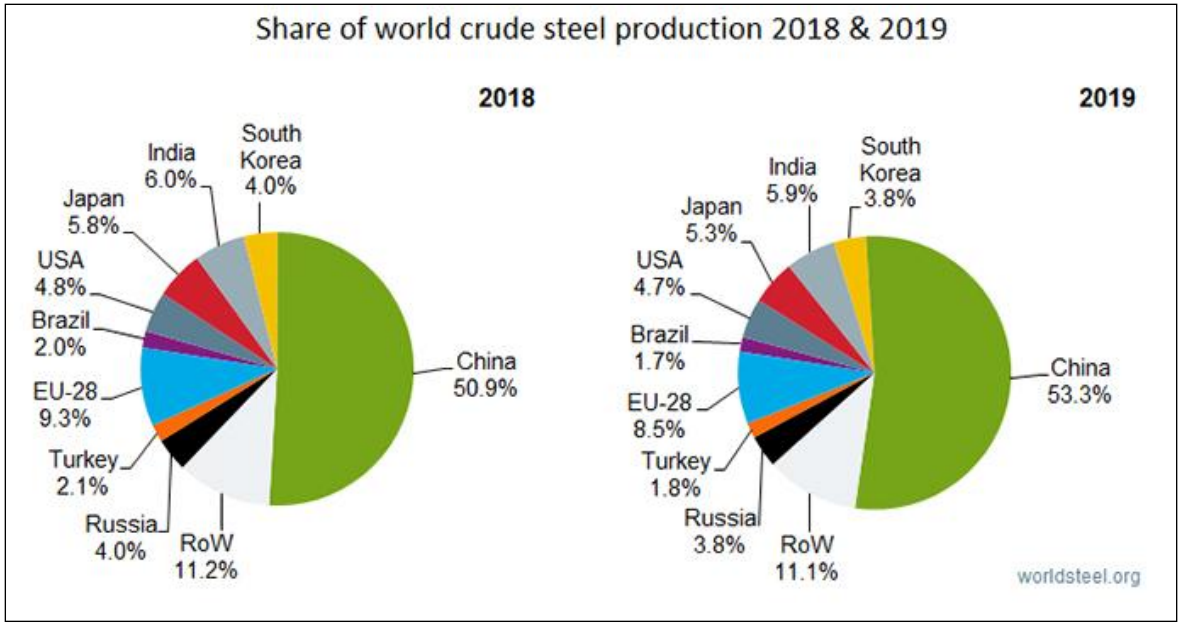
– ازدياد الطلب على مكونات معدنية ومنتجات ذات مواصفات وجودة عالية.
- ارتفاع معدل الاستهلاك العالمي للمعادن بشكل عام وللفولاذ بشكل خاص حيث يبلغ مجموع الاستهلاك العالمي للفولاذ ١٨٧٠ M tons/year وبنسبة نمو سنوية **(1.4%)**.
-ارتفاع معدل استهلاك معدن الألمنيوم على المستوى العالمي أيضاً عاماً بعد عام ويبلغ مجموع استهلاك معدن الألمنيوم بحدود 41 M tons/year.
-التشدد في طلب اختبار جودة المكونات المعدنية وبيان مطابقتها للمواصفات والكودات الدولية.
- يجري وصل ما يقارب نصف وزن الفولاذ المستهلك عالمياً بتقانات اللحام ويطلب اختبار جودة هذه الوصلات وخاصة تلك العائدة لمشاريع ومنشآت الصناعات البترولية والبتروكيميائية والصناعات الفضائية ومحطات الطاقة. ويعد اختبار الوصلات اللحامية وتحقيقها لمتطلبات المواصفات الدولية في غالبية الحالات إلزامياً وتكون في كثير من الأحيان وثيقة من الوثائق المطلوبة من شركات التأمين على المنشآت والتجهيزات كالسفن والجسور ومولدات الكهرباء العاملة على طاقة الرياح.

أسباب زيادة استهلاك معدن الفولاذ على المستوى العالمي

ازدياد إنتاج الصين لمعدن الفولاذ فهي اكبر المنتجين والمستهلكين للفولاذ في العالم حيث تنتج ما يقارب نصف الإنتاج العالمي وتستهلك ٢٦% من الإنتاج العالمي وذلك للأسباب التالية:

أ- زيادة عدد مصانع السيارات.

ب- تشغيل أكبر منشأة في العالم لصناعة السفن (ناقلات النفط والغاز والسفن السياحية).



إنتاج الدول من الفولاذ

أسباب زيادة استهلاك معدن الألمنيوم على المستوى العالمي :

– استخدام هذا المعدن في صناعة السيارات ووسائل النقل الأخرى حيث يمارس ضغوط قوية على المنتجين لزيادة معدلات استخدام معدن الألمنيوم بدلاً عن الفولاذ للحفاظ على البيئة بإنقاص أوزان السيارات وبالتالي خفض استهلاك الوقود والانبعاثات الغازية.

– ازدياد حصة معدن الألمنيوم في السيارة الواحدة من 100Kg إلى 150Kg وازدياد تصنيع السيارات ذات هيكل الألمنيوم وتنفيذ الوصلات اللحامية على الهيكل باستخدام أجهزة اللحام الهجينة (MIG + Laser).

– تصنيع أنواع جديدة من خلائط الألمنيوم بمواصفات ميكانيكية عالية تضاهي الخواص الميكانيكية للفولاذ وتحل مكانه حالياً في العديد من المنشآت والصناعات المدنية والعسكرية.

إن الصناعات التي تستهلك الجزء الأكبر من معدن الفولاذ والألمنيوم والكترودات اللحام على المستوى العالمي هي:

- صناعة السيارات ووسائل النقل.

- صناعة السفن (٩٠% من السفن مصنوعة في أسيا).

- محطات توليد الطاقة الكهربائية على مختلف أنواعها (المحطات الحرارية، المحطات الغازية، المحطات المائية، المولدات العاملة على طاقة الرياح...) .

تتطلب الصناعات المذكورة تنفيذ عمليات لحام ضخمة وبجودة عالية وبكلفة منخفضة وبالتالي تعمل الشركات المنتجة بكل ما أوتيت من وسائل لتحسين جودة المواد المعدنية المستخدمة وجودة الوصلات اللحامية المنفذة عليها وخفض كلفة تنفيذها للمنافسة في الأسواق العالمية .

يطبق في اختبار المكونات المعدنية طرائق اختبارات لا إتلافية عديدة منها ستة طرائق واسعة التطبيق هي:

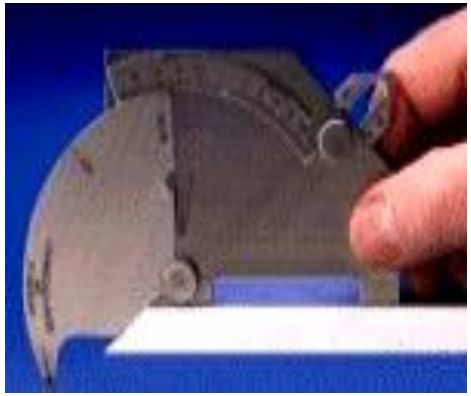
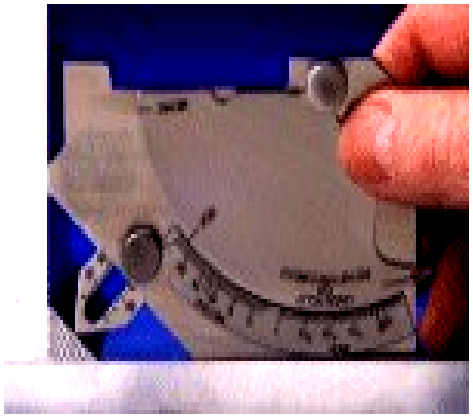
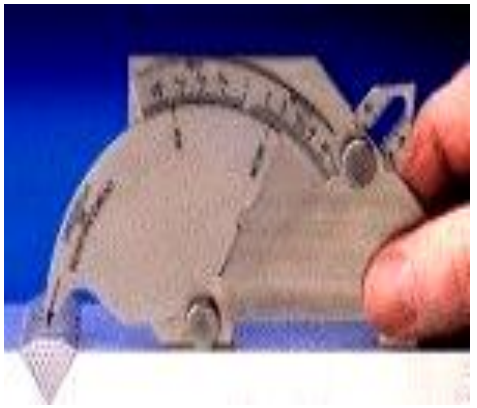
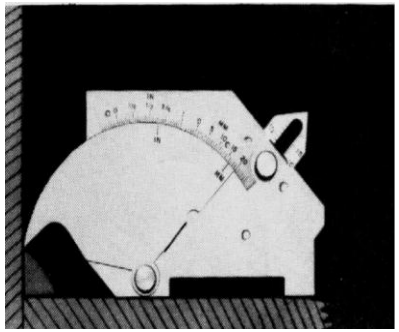
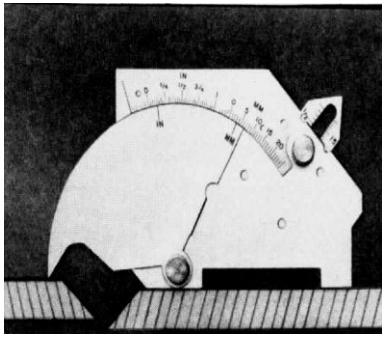
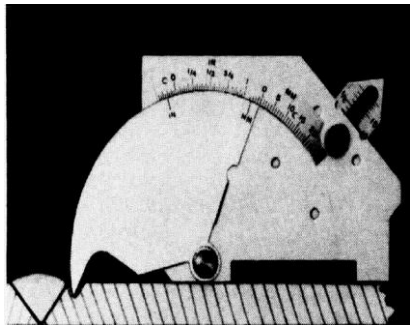
١- طريقة الاختبار البصري **Visual testing method**
2- طريقة اختبار المكونات بالتصوير الشعاعي **Radiography testing method**
3- طريقة اختبار المواد بالتيارات الدوامة **Eddy current testing method**
4- طريقة اختبار المواد بالأمواج فوق الصوتية **Ultrasonic testing method**
5- طريقة اختبار المواد بالجسيمات المغنطيسية **Magnetic particles testing method**
6- طريقة اختبار المواد بالسوائل النافذة **Liquid penetrant testing method**

١- طريقة الاختبار البصري

تطبق طريقة الاختبار البصري للتأكد من سلامة المواد من العيوب الداخلية والخارجية التي يمكن رؤيتها بالعين أو بمساعدات الرؤيا والكشف عنها وذلك لإزالتها قبل تطبيق طرائق الاختبارات اللاإتلافية الأخرى.

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).

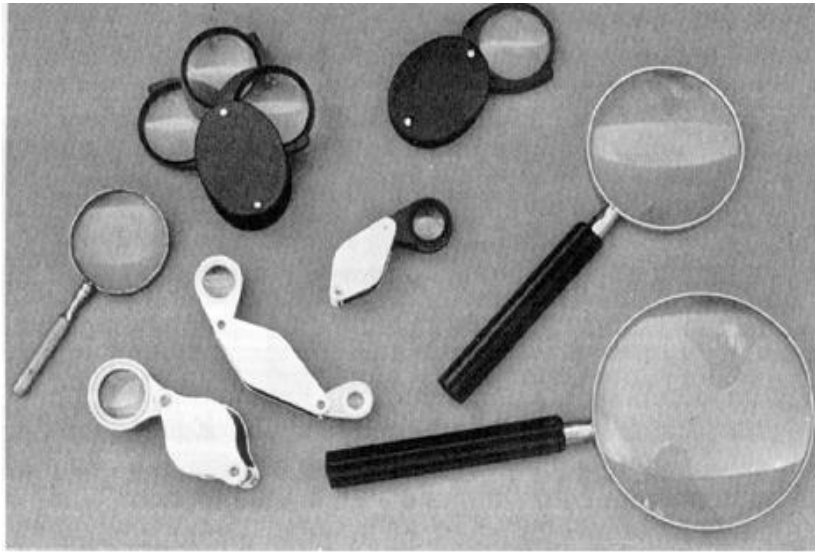
أداة قياس محددات اللحام **Bridge cam gage**.

قياس محددات تنفيذ الوصلات اللحامية.

يستخدم في الاختبار البصري مساعدات الرؤية كالتالي:

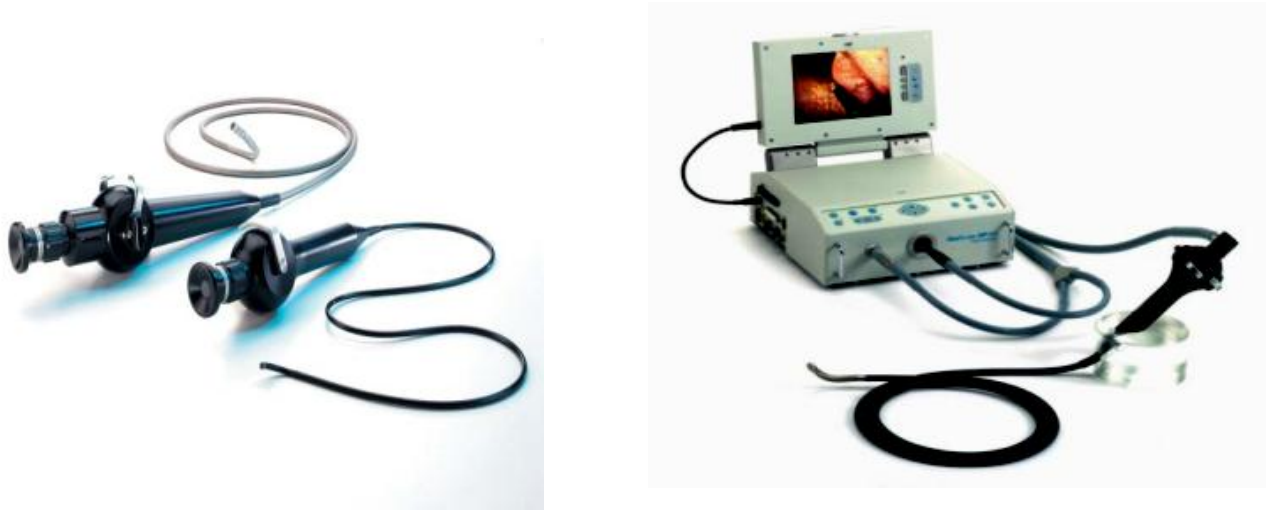
أ- المرايا المكبرة:



عدسة مكبرة (5× إلى 10×)

ب- المنظار الداخلي الليفي (Endoscope)

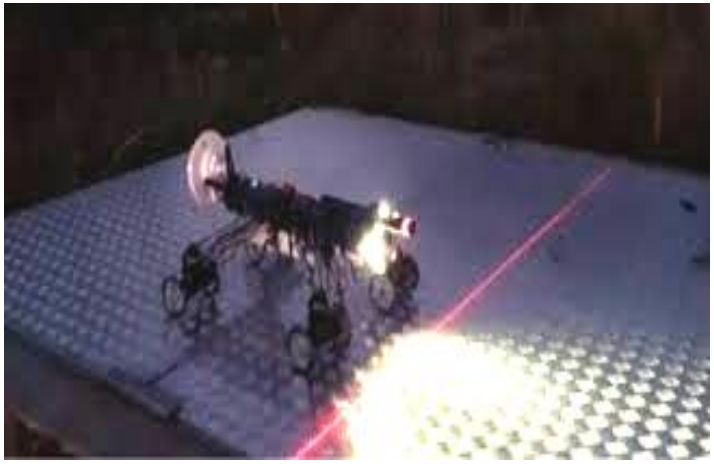
وهو أداة دقيقة ذات إضاءة ذاتية تستخدم في الاختبار البصري لرؤية السطوح الداخلية للأنابيب والتجاويف والثقوب وكذلك في معاينة الأجزاء وتكبيرها في الأماكن التي لا تستطيع العين المجردة كشف تفاصيلها أو الوصول إليها.
ومن الشائع ربط المنظار بكاميرا رقمية أو بحاسب لمعالجة وتخزين الصور.



الأشكال المختلفة للمنظارالداخلي الليفي دون شاشة أظهار ومعها.

استخدام المنظار الليفي في اختبار سلامة أجزاء محرك طائرة
وفي اختبار الأنابيب في مبادل حراري لتحديد مواضع الاهتراء.

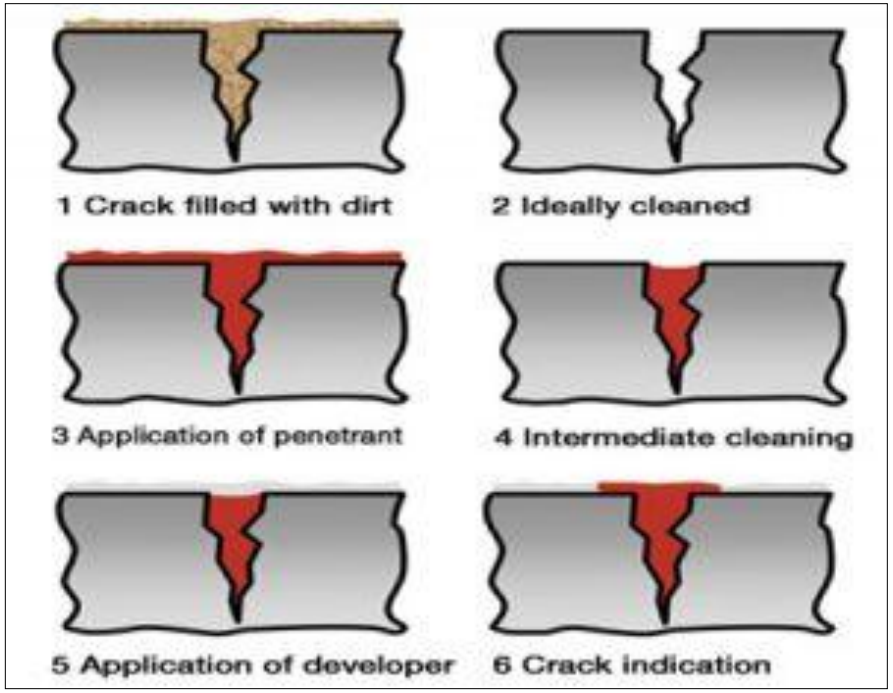
ج- أجهزة الرؤيا الإلكترونية



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.



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.

تصنيف السوائل النافذة

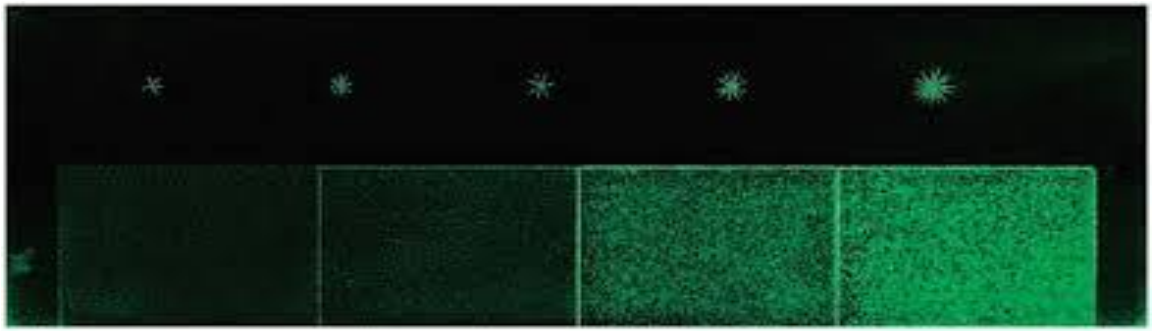
Method A - Water Washable
Method B - Post-Emulsifiable, Lipophilic
Method C - Solvent Removable
Method D - Post-Emulsifiable, Hydrophilic

حساسية السوائل النافذة ونظام الاختبار:

٥ مستويات

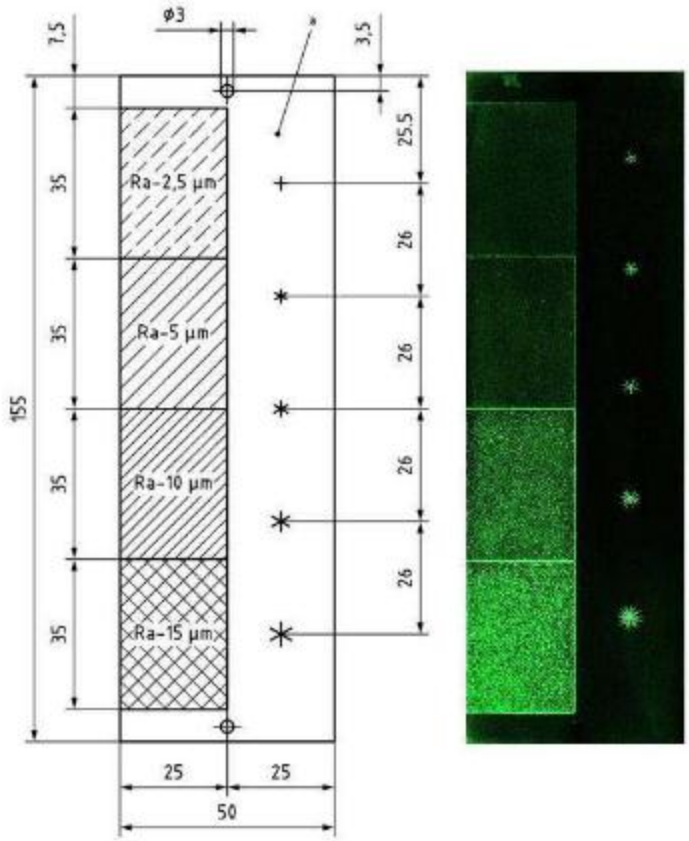
- *Ultra Low Sensitivity*
- *Low Sensitivity*
- *Medium Sensitivity*
- *High Sensitivity*
- *Ultra-High Sensitivity*

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



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

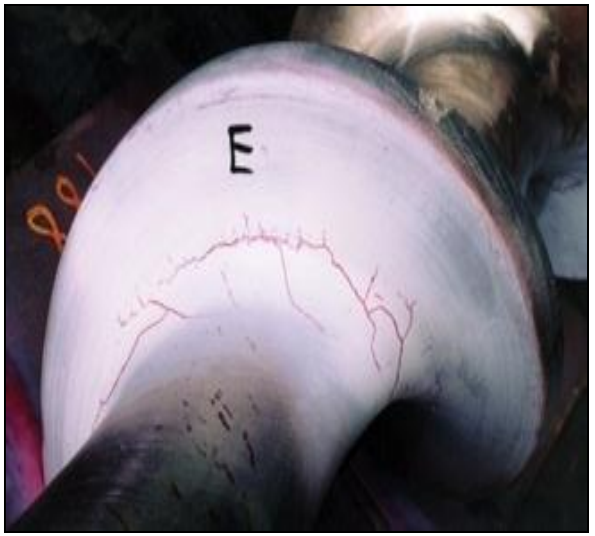


Test panel type 2 according to ISO 3452-3
(determined dimensions in mm due to ISO 3452-3 on left size and using a fluorescent penetrant on right side)

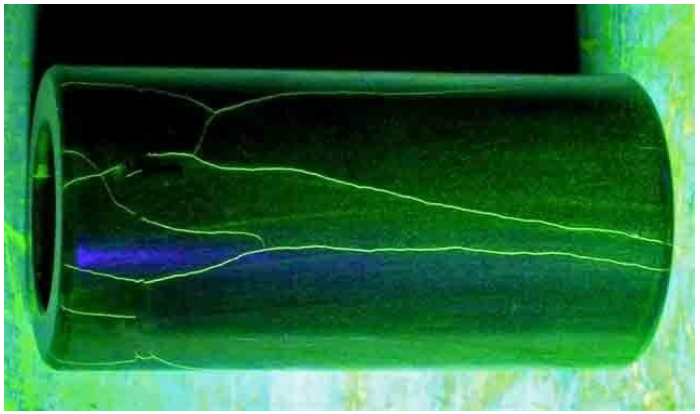
SPOTCHECK
SKC-S
Cleaner/Remover
MAGNAFLUX
SPOTCHECK
SKL-SP1
Penetrant
MAGNAFLUX
SPOTCHECK
SKD-S2
Developer
MAGNAFLUX

SKL-SP2
SKL-SP2
SKL-SP2

Penetrant test processing line for turbo-jet engine components



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



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

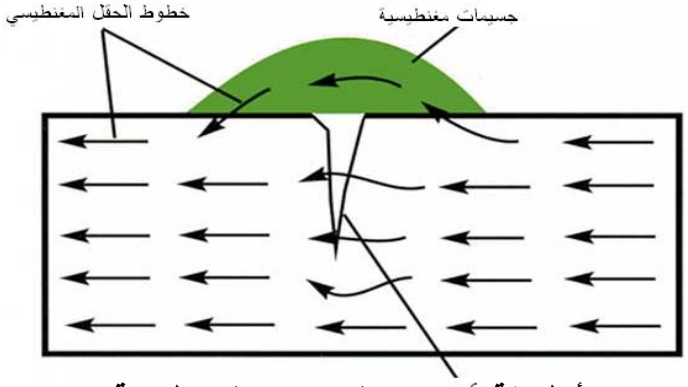
تستخدم هذه الطريقة للكشف عن:

- 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.

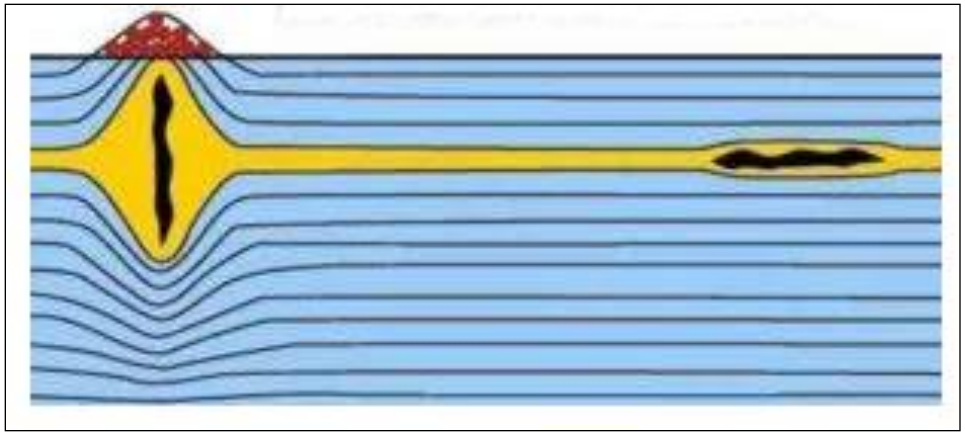
٣- طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية:

وهي من أفضل الطرائق المستخدمة في الكشف عن التشققات والعيوب المتواجدة على سطوح المواد الحديدية المغنطيسية أو الواقعة 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 ذو شدة كافية وباتجاه مناسب عليها، إذ تنحرف خطوط الحقل المغنطيسي عن مسارها الطبيعي داخل القطعة في أماكن تواجد التشققات أو المحتويات 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.

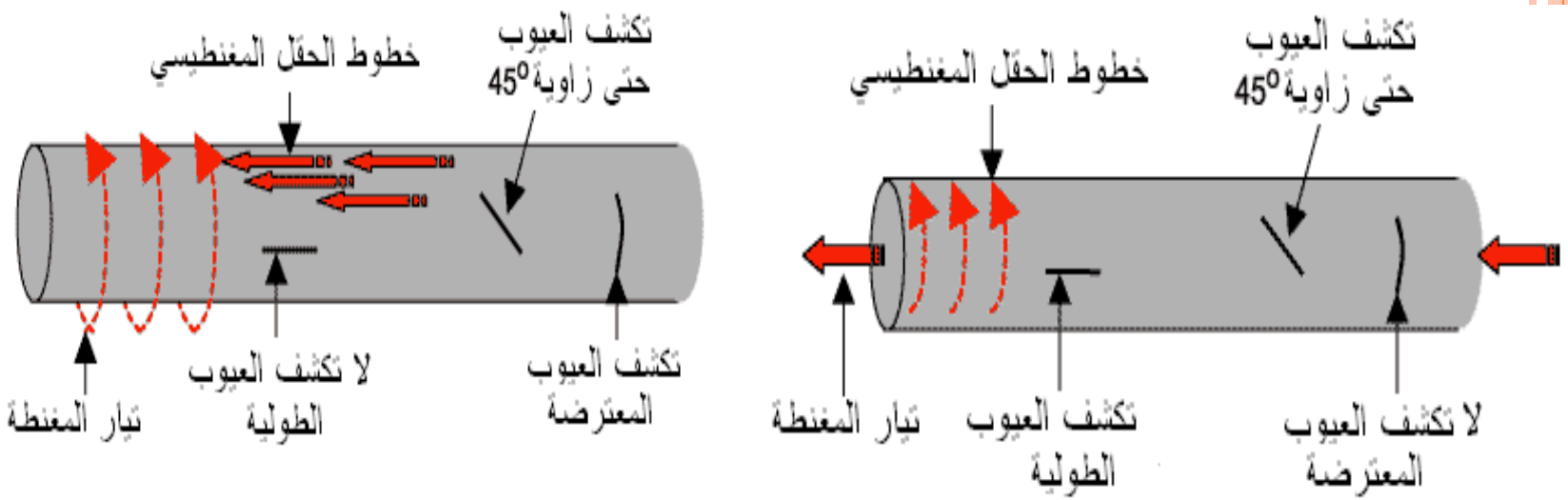
يمكن معرفة مواضع العيوب وشكلها وأبعادها من خلال تفحص البرادة الحديدية المجتمعة. يبين الشكل مبدأ طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية.



مبدأ طريقة الاختبار بالجسيمات المغنطيسية



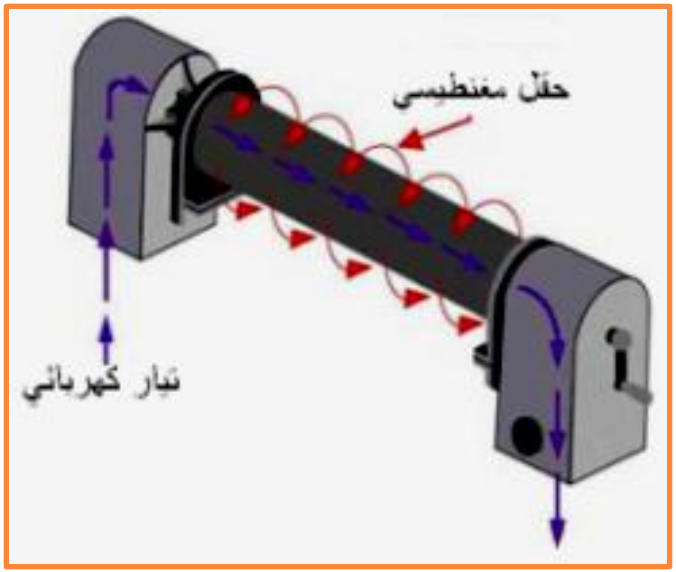
يمكن كشف الكسور في المكونات المعدنية القابلة للمغنطة بإخضاعها للحقول المغنطيسية الطولية والدورانية أو لكلاهما على التناوب كما هو مبين في الشكل

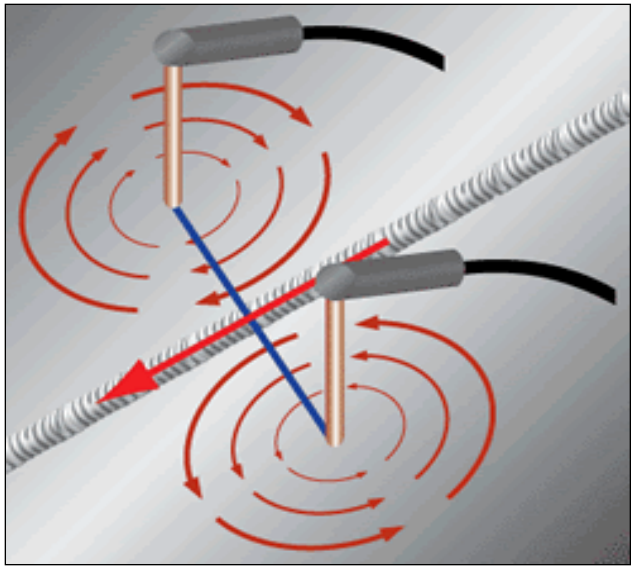


مبدأ تطبيق الحقل المغنطيسي الطولي والدوراني
على المكونات المراد اختبارها.

توليد الحقل المغنطيسي اللازم للاختبار بالدقائق المغنطيسية

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



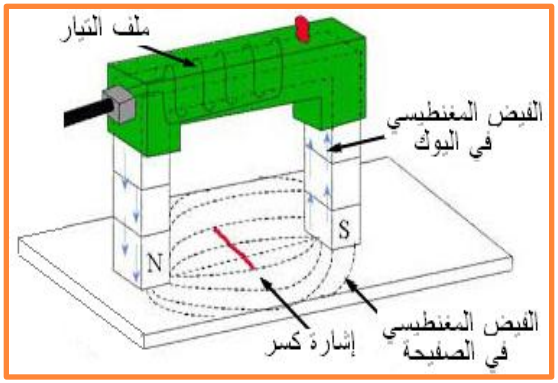


اختبار عينات بمغنطتها بالصدمة الرأسية أو بالقطبين

.

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

❑- **باستخدام مغنطيس دائم أو مغنطيس كهربائي** كما هو مبين في الشكل

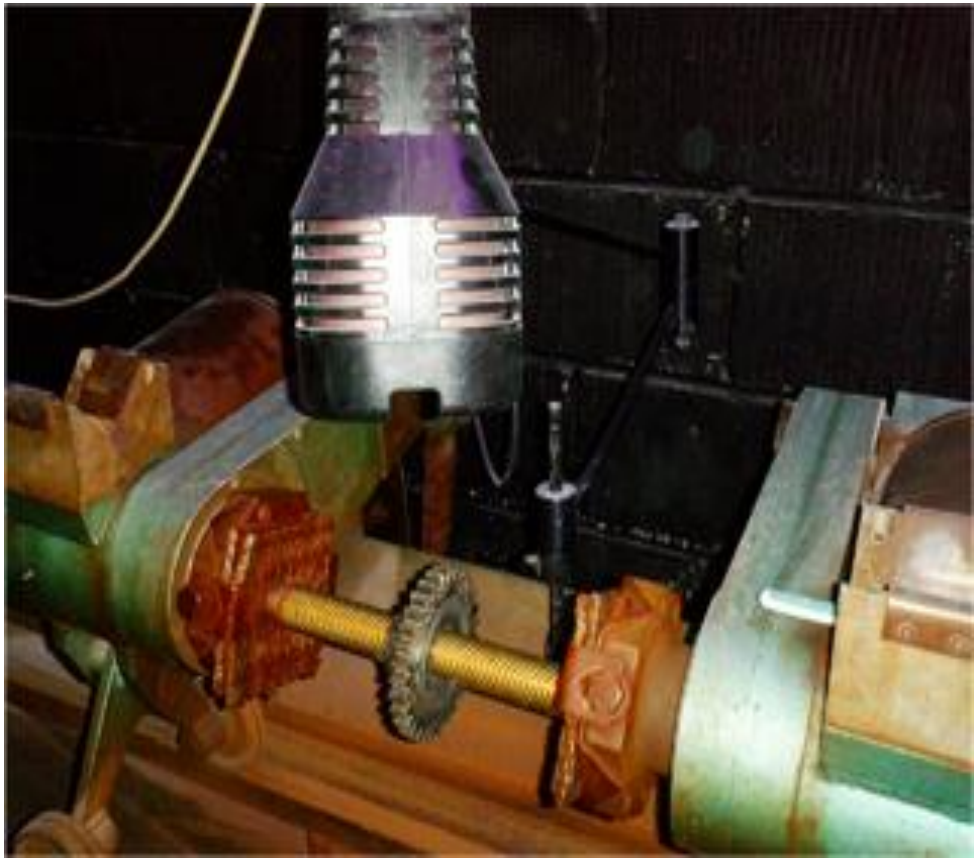


المغنطة باستخدام مغنطيس دائم أو مغنطيس كهربائي

❑- **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 أو بالناقل المركزي.

- بوضع القطعة المختبرة على ناقل مركزي يمر به تيار المغنطة:



أمثلة على اختبار مكونات معدنية بالجسيمات المغنطيسية الملونة بالطريقة الجافة.

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.

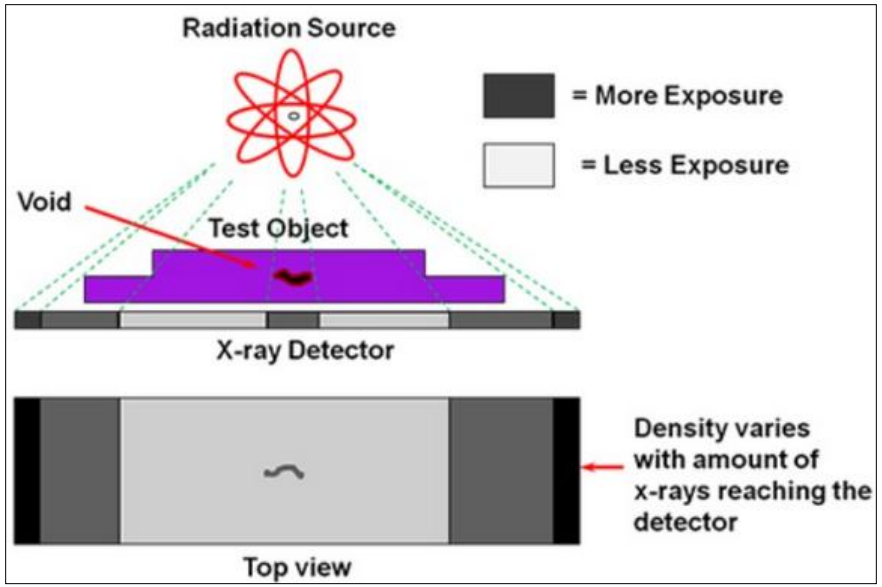
إزالة مغنطة ذراع تدوير بعد اختباره بالجسيمات المغنطيسية.

٤- اختبار المواد والمكونات المعدنية بالتصوير الشعاعي

تستخدم طريقة الاختبار بالتصوير الشعاعي بالأشعة السينية والتي هي امواج كهر مغنطيسية ذات أطوال موجية قصيرة $\mu m(10^{-7}–10^{-3})$ وترددات عالية وتكون عادةً ذات طاقة فوتونية من $(0.2 – 300)Kev$.

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.

مبدأ طريقة التصوير الشعاعي بالأشعة السينية



مبدأ اختبار المكونات بالتصوير الشعاعي

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:

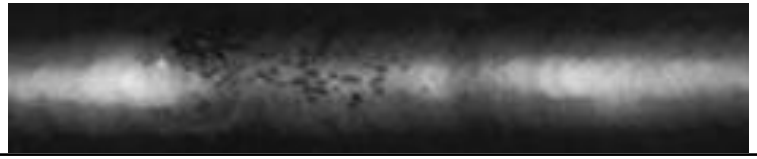
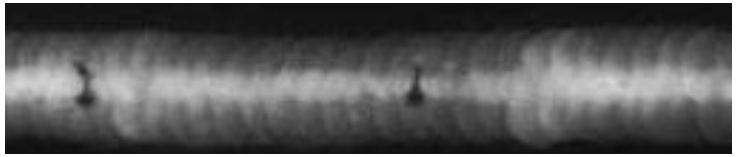
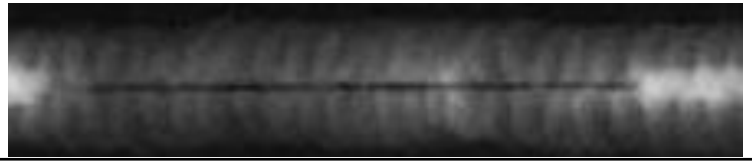
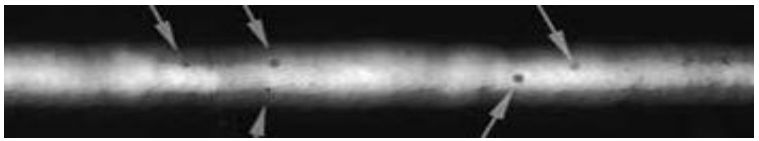
RW – SMAW – TIG – MIG – SAW – FSW – EBW – LW– LHW – OW – LRW والكشف عن العيوب المتواجدة فيها وقبول هذه الوصلات أو طلب إصلاحها أو قصها.

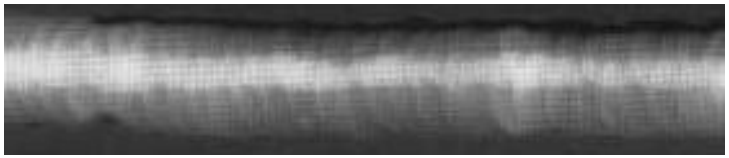
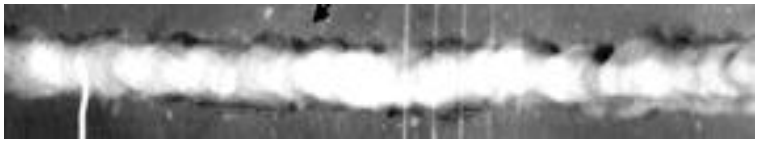
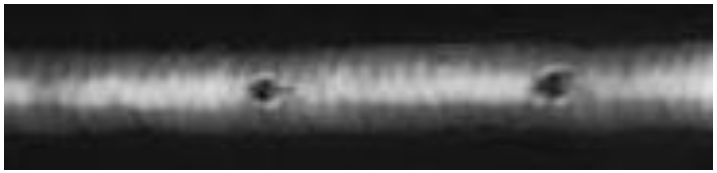
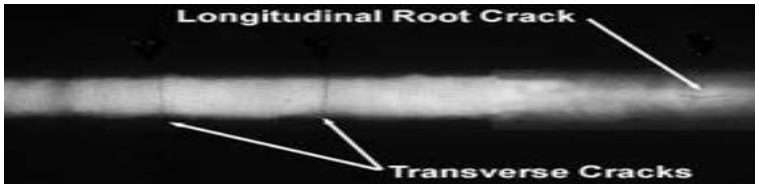
أمثلة لمكونات تتطلب اختبار بالتصوير الشعاعي

أمثلة للمكونات الملحومة التي تتطلب اختبارات بالتصوير الشعاعي

وصلة ملحومة تتطلب اختبار بالتصوير الشعاعي

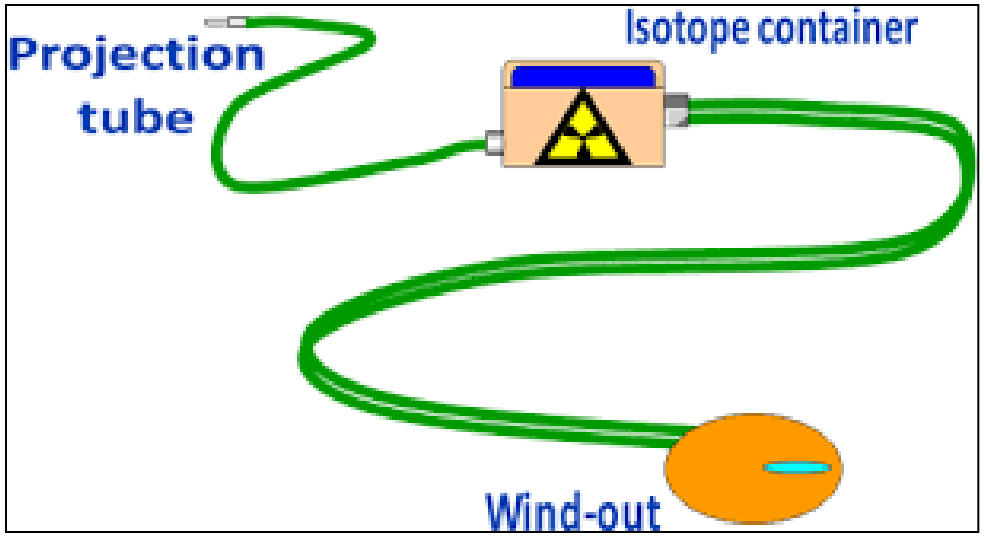
صور شعاعية لوصلات لحامية تظهر احتواؤها على عيوب

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

	اخدود مستمر (Continuous undercut)
	اخدود متقطع (Intermittent undercut)
	اختراق زائد (Excess penetration)
	حفرة في الجذر (Root concavity)
	كسور (Crack)

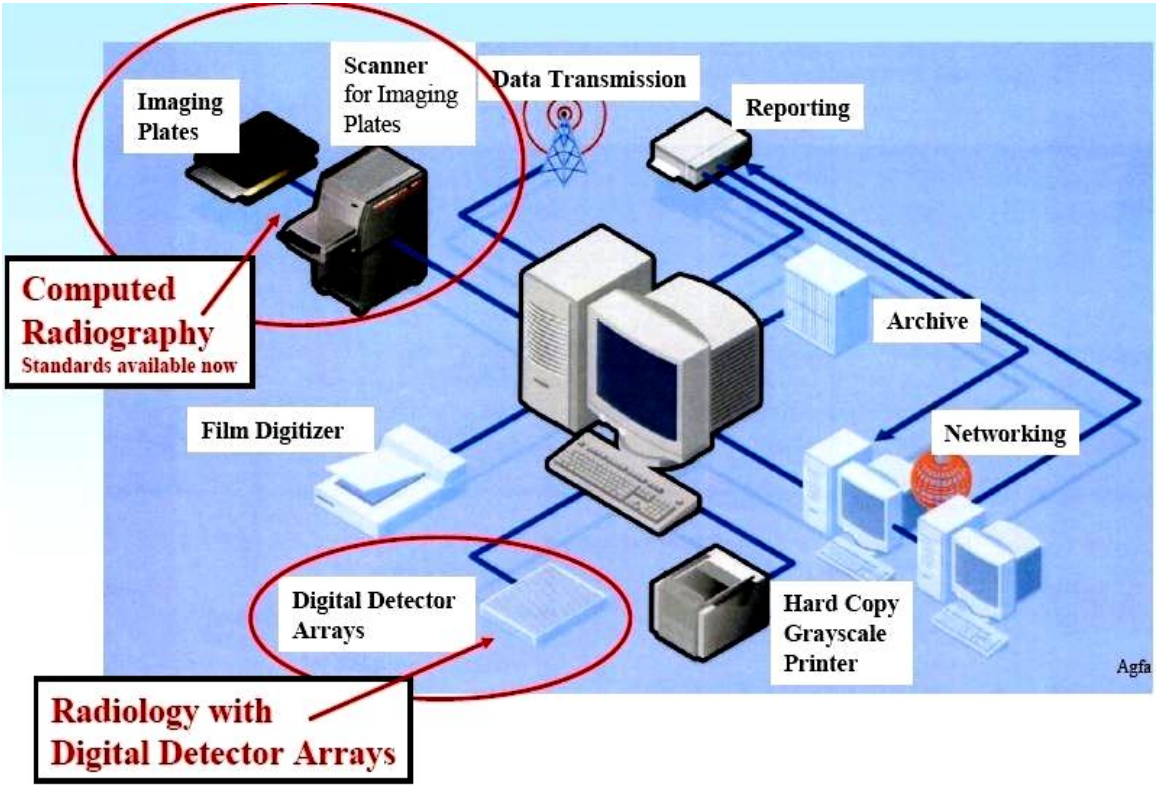
صورة شعاعية لوصلة لحامية منفذة على صفيحة من الألمنيوم ذات ثخانة ١٤ مم تظهر نقصاً في الاختراق.

التجهيزات المستخدمة في التصوير الشعاعي


Projection
tube
Isotope container
Wind-out

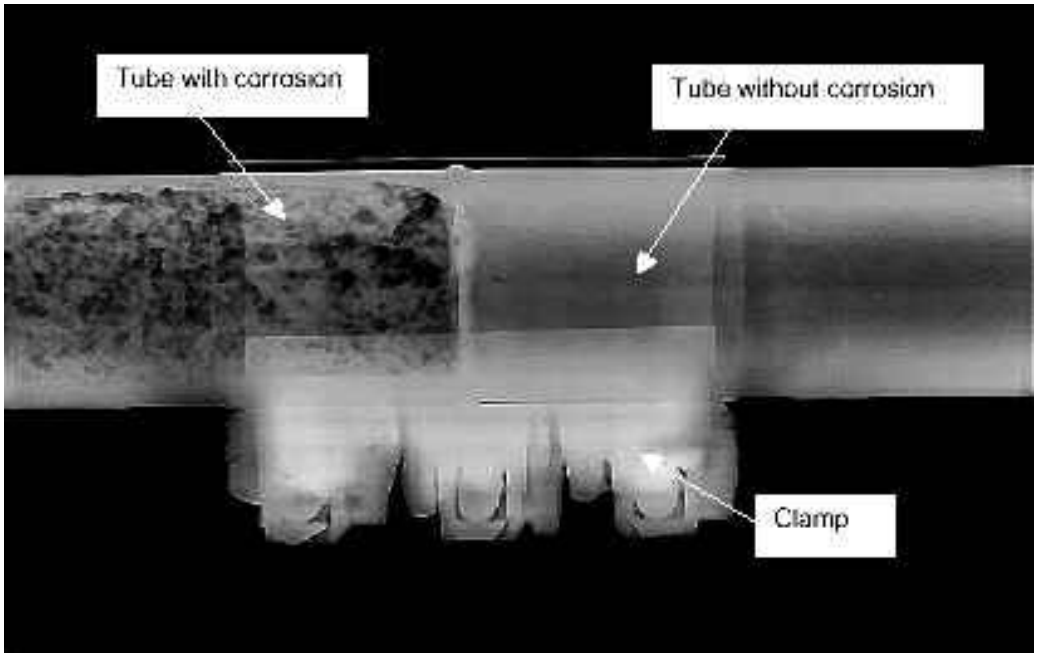
تقنيات التصوير الشعاعي البديلة عن تقنيات التصوير باستخدام الأفلام

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



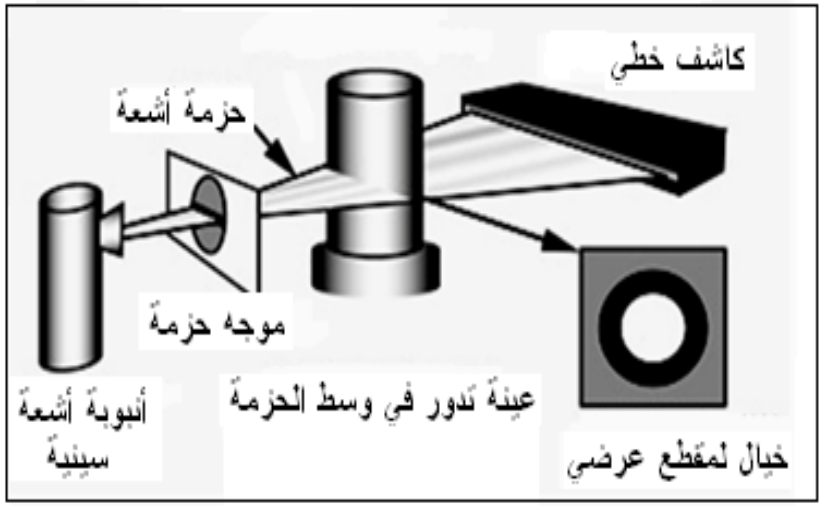
أنظمة التصوير الشعاعي الرقمي والحاسوبي المطبقة في الصناعة.

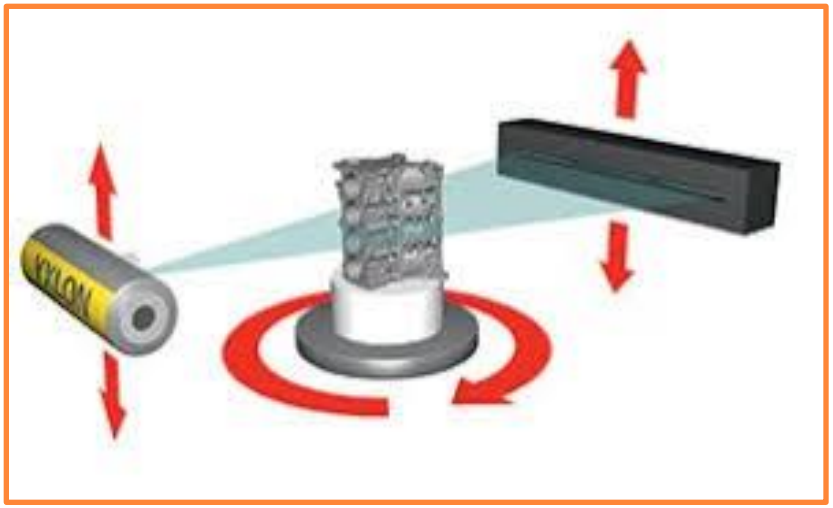
تجهيزات التصوير الشعاعي الحاسوبي والرقمي


Tube with corrosion
Tube without corrosion
Clamp

تجهيزات التصوير الشعاعي الرقمي ذو البعدين

يبيّن الشكل نظاماً للتصوير الشعاعي الطبقي الرقمي ذي الحزمة الضيقة المروحية أو نظام التصوير الطبقي الرقمي ذي البعدين (Fan beam or 2D-CT imaging system). يسمح هذا النظام بإظهار البنية الداخلية لكل شريحة أو طبقة من المادة المختبرة في كل تعريض، حيث يقوم الكاشف الخطي بقياس توهين الأشعة عبر الطبقة خلال دوران كامل ويتم تحويل القياسات إلى قيم رقمية وإظهار صورة ببعدين عن بنيتها الداخلية على شاشة الحاسوب.
يتطلب اختبار كامل العيّنة أن تتحرك العيّنة حركة انسحابية ودورانية أمام منبع الأشعة والكاشف الثابتين أو يتحرك الكاشف الخطي والمنبع على طول العيّنة المتواجدة على طاولة دوارة

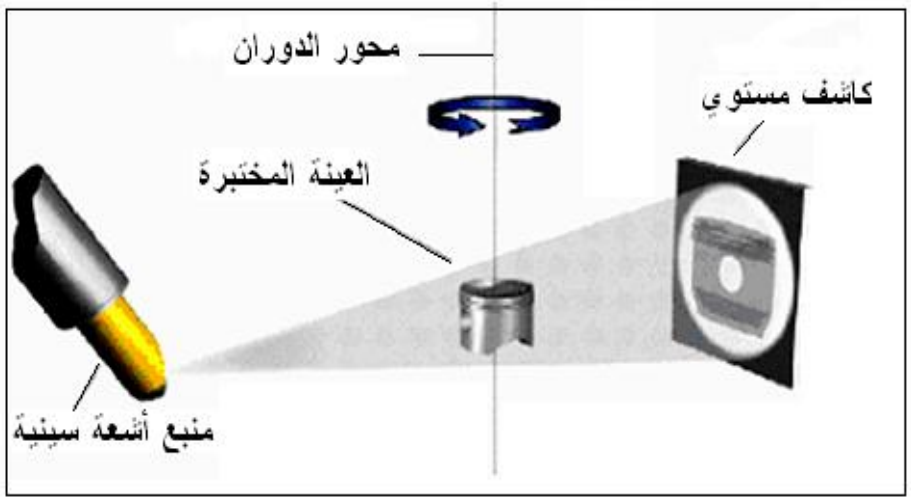




نظام التصوير الشعاعي الطبقي الرقمي ذو البعدين.

نظام التصوير الطبقي الرقمي ذو الحزمة المخروطية بالأبعاد الثلاثة.

تستخدم كواشف مستوية، (Digital detector array -DDA)، مكونة من مجموعة من الكواشف الخطية للعمل ضمن حزمة أشعة مخروطية، ويدعى هذا النظام (Cone beam or 3D-CT imagining system).
يستخدم في هذا النظام كاشف مستوٍ مكون من مجموعة من الكواشف الخطية، إذ تدور العيّنة ضمن الحزمة المخروطية للأشعة. وللحصول على شرائح تبيّن بنية العيّنة عند كل مقطع منها، يدخل إلى برنامج التصوير الشعاعي الطبقي ثخانة الشريحة، مثلاً 3(mm)، وزاوية كل دوران للعيّنة عند كل مسح كامل لها، مثلاً كل ٥ درجات، ويقوم الحاسوب باستخلاص الصورة الوسطية لمجموعة الصور التي جرى التقاطها لكل شريحة ولكل زاوية دوران للعيّنة. ونحصل على مقاطع تبيّن البنية الداخلية للعينة عند كل 3(mm) منها وذلك بعد إدارة العينة ٣٦ مرة وذلك من الزاوية صفر درجة إلى الزاوية ١٨٠ درجة.



نظام تصوير شعاعي طبقي رقمي ذو الحزمة المخروطية.

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

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.

صور التعرض للأشعة من قبل مصورين بالأشعة لا ينفذون تعليمات الوقاية من الأشعة

وسائل الوقاية من الأشعة

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

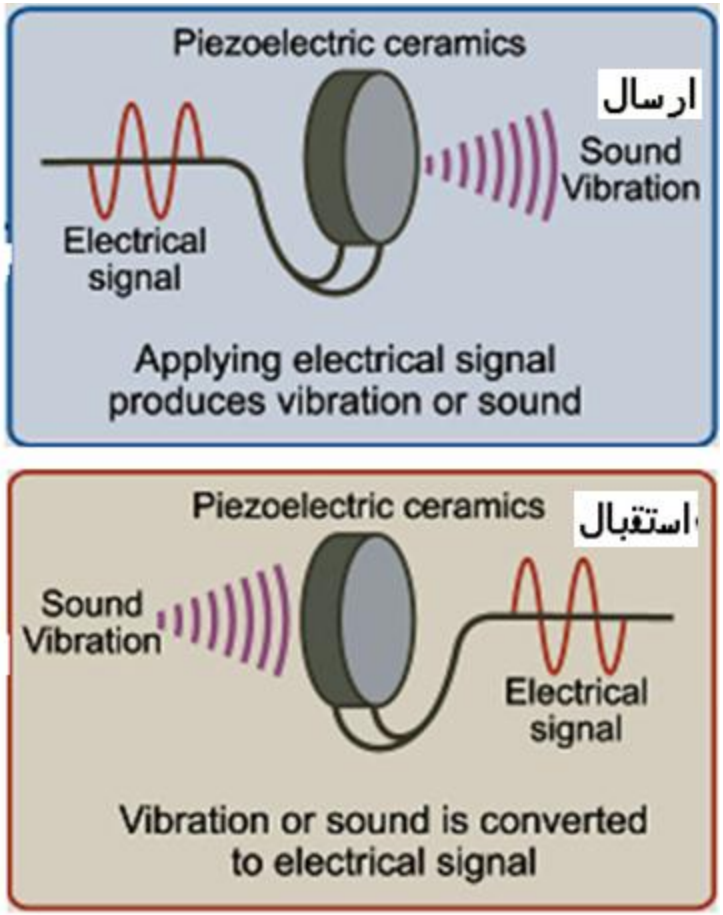
ج- أجهزة المسح الشعاعي

جهاز مسح شعاعي للكشف عن الأشعة

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.

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



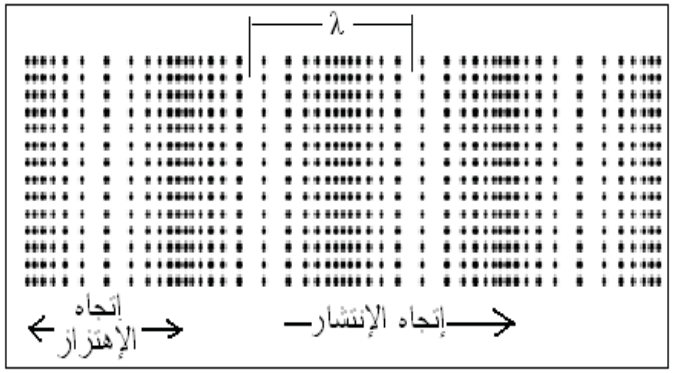
توليد الأمواج فوق الصوتية واستقبالها

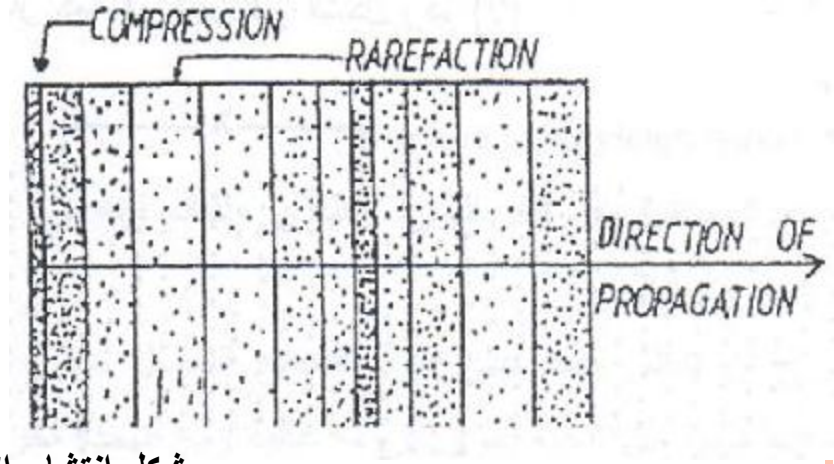
أنماط الأمواج فوق الصوتية وتطبيقاتها

تصنف الأمواج فوق الصوتية وفق لنمط اهتزاز جسيمات الوسط بالنسبة لاتجاه انتشار الموجة ونذكر ثلاثة أنماط من الأمواج فوق الصوتية شائعة الاستخدام في التطبيقات هي الأمواج الطولية وأمواج القص والأمواج السطحية.

1-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



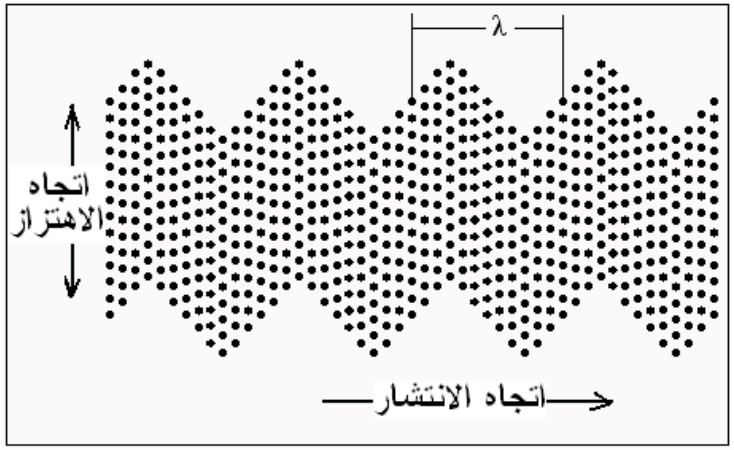


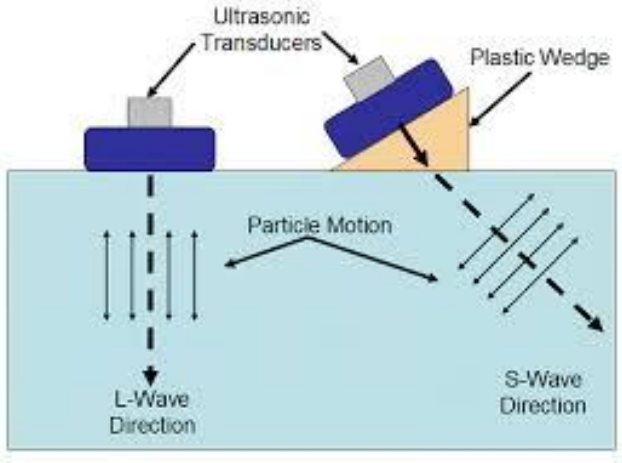
شكل انتشار الأمواج الطولية

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.





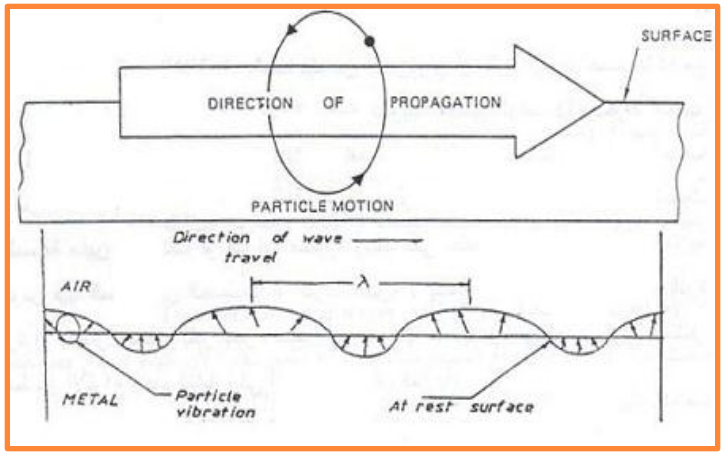
شكل انتشار موجة القص

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.**

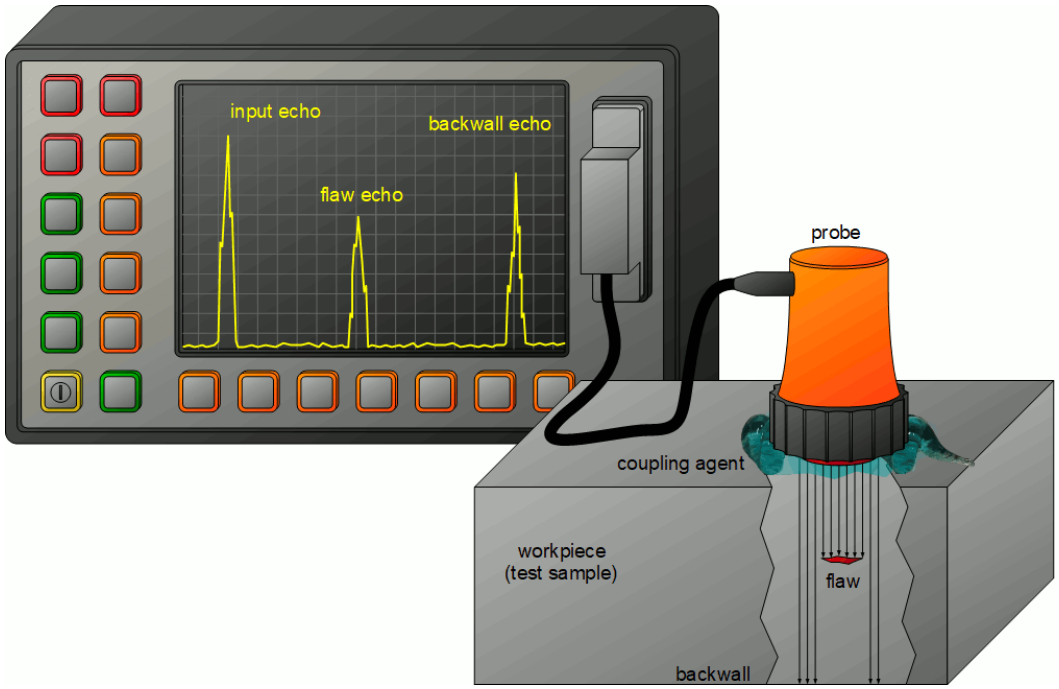
الأمواج السطحية Surface waves:

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).

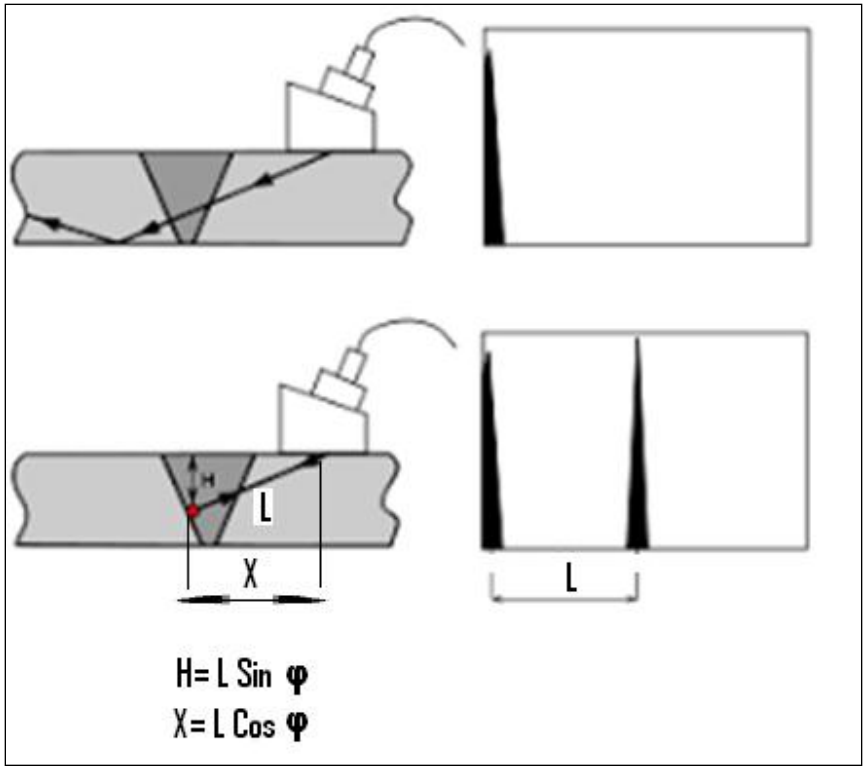
يمكن لهذه الموجة أن تنتشر في منطقة ذات ثخانة لا تزيد عن طول موجة واحدة تحت السطح،



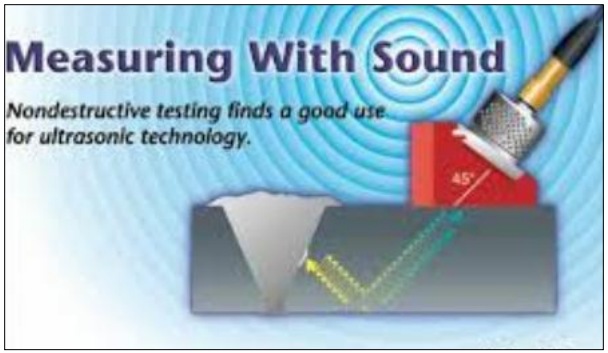
شكل موجة سطحية تنتشر على السطح الفاصل ما بين معدن–هواء
تشير الأسهم إلى اتجاهات حركة الجسيمات



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

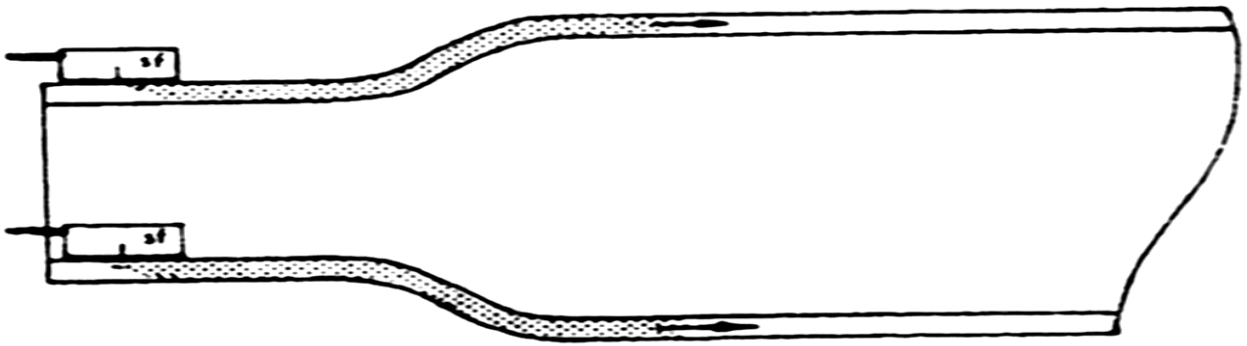


$v = \lambda \cdot f$

يمكن الاستفادة من خاصة عمق دخول الموجة السطحية في المعدن في اختبار العينات ذات الجدران الرقيقة كالأنبوب المبين في الشكل والذي يتم اختباره بحساب التردد بحيث نجعل ثخانة الجدار مساوياً تقريباً لطول الموجة وبالتالي فإن الموجة السطحية ستملأ الجدار وتتبع المقطع لتنعكس عن العيوب السطحية وعيوب ما تحت السطح.

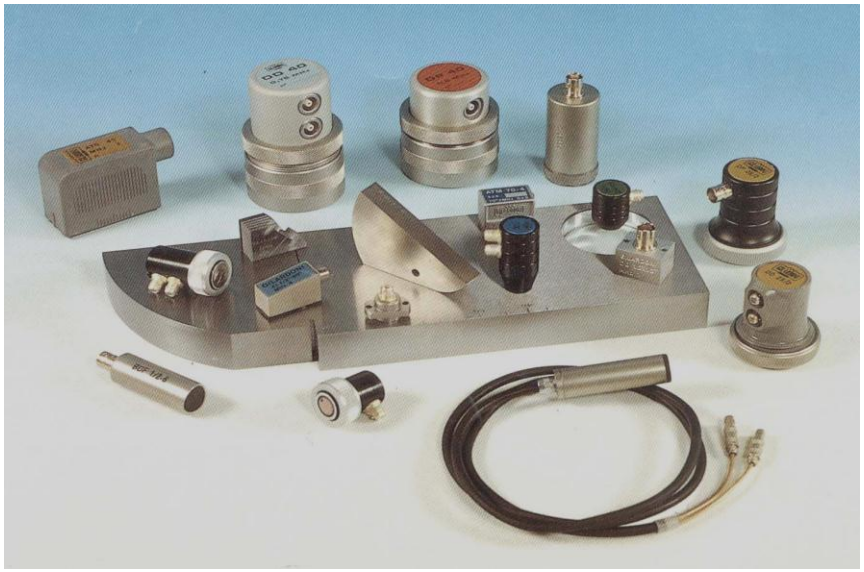
$$v = \lambda \cdot f$$

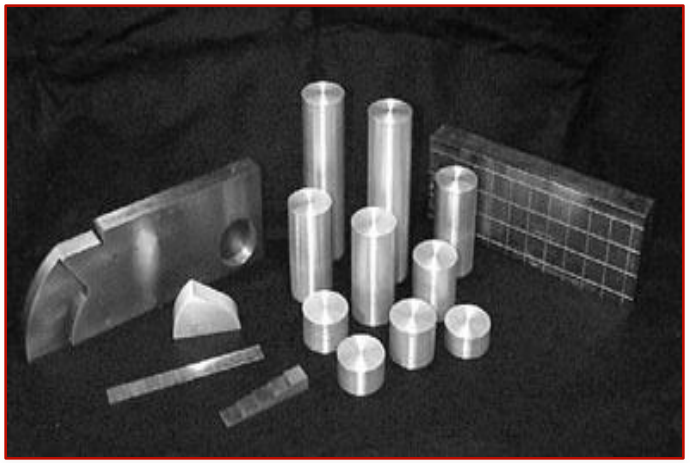
فإذا ما تم تقدير التردد بواحدة الهرتز (Hz) وطول الموجة بواحدة المتر (m)، فإن السرعة تقدر بواحدة (m/s).



اختبار أنبوب متعدد الأقطار بالأمواج السطحية

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

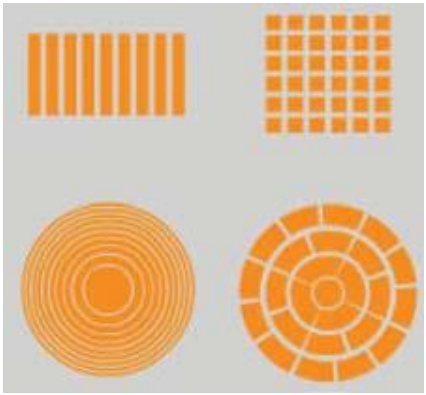




مجموعة من المسابر وبلوكات المعايرة المستخدمة في الاختبار بالأمواج فوق الصوتية.

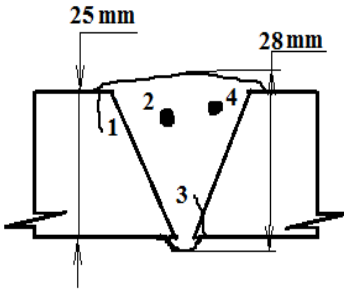
مسابر الاختبار بتقنية الأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة
(Phased array transducers)

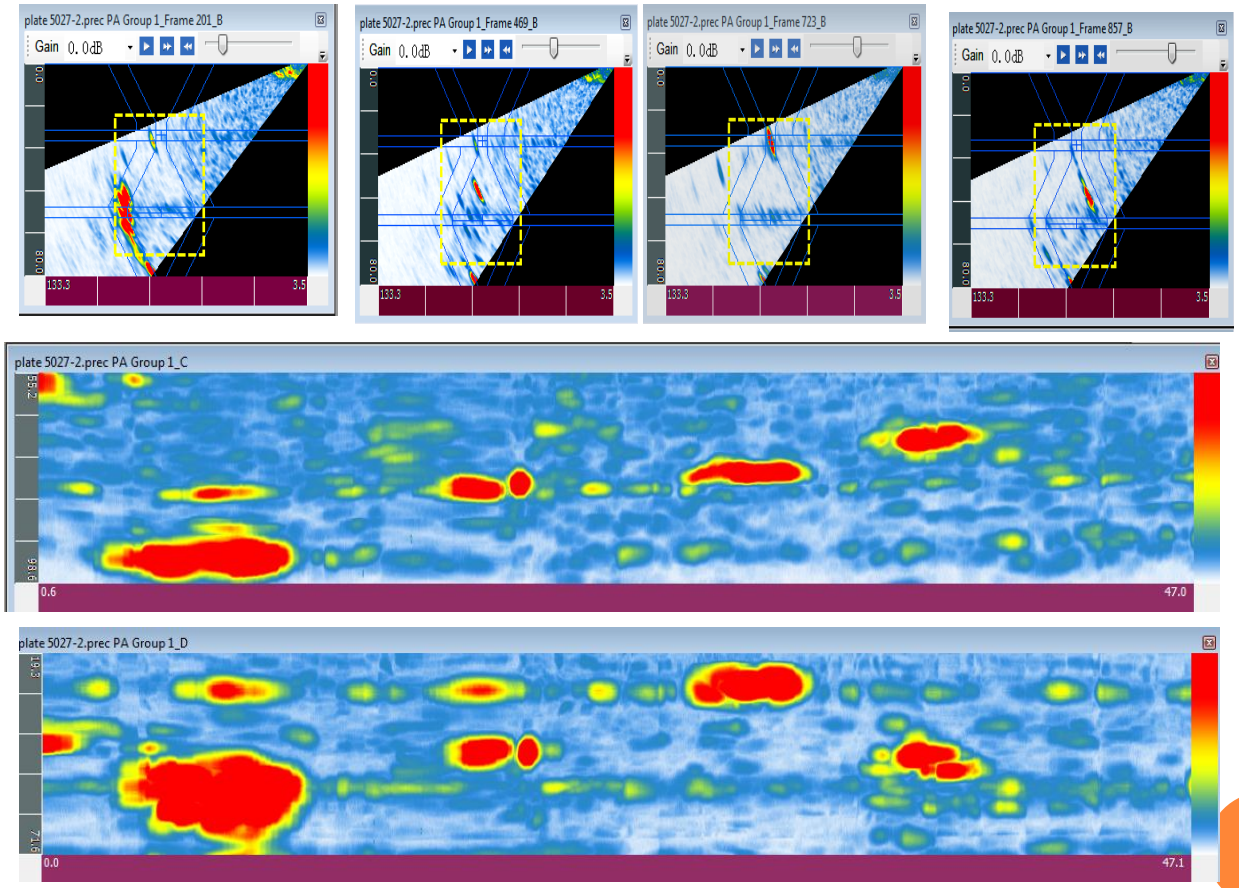
يتألف مسبار الحزمة الموجهة من مجموعة من المسابر الإفراد ية يتراوح عددها من ١٦ إلى ٢٥٦ يخصّص لكلّ مسبار من هذه المسابر الإفراد ية **بلورة كهرضغطية ودارة إلكترونية مكونة من منبع تغذية ودارة إرسال واستقبال** وبحيث ينظر إليه كمنبع توليد أمواج فوق صوتية نقطي، ويتم التحكم بتواتر النبضات الكهربائية المطبقة 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

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

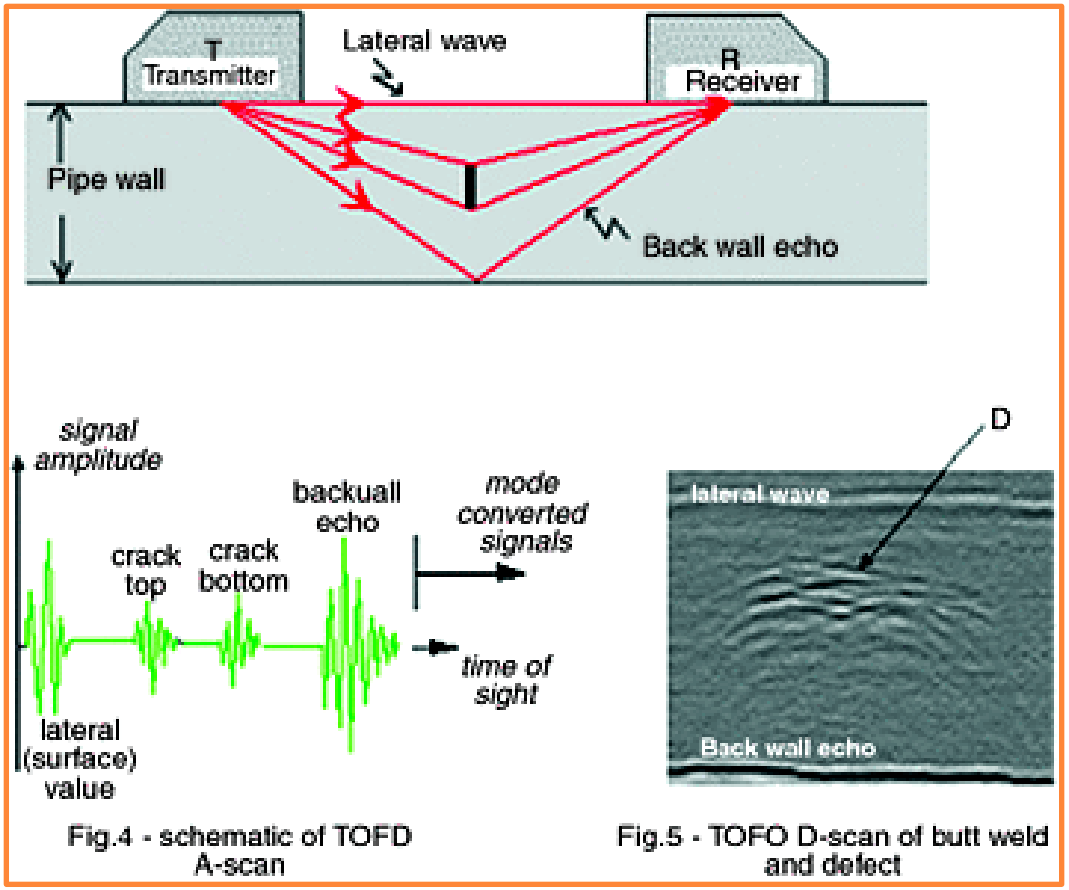


Fig.4 - schematic of TOFD A-scan

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 صدى النبضة أو بتقنية TOFD أو بتقنية Phased array

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

اختبار الوصلات اللحامية لخزانات الغاز الكروية بتقنية الأمواج فوق الصوتية ذات الحزم الموجهة

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

تحديد مواضع التآكل وقياس مقداره في المواد المعرضة للتآكل

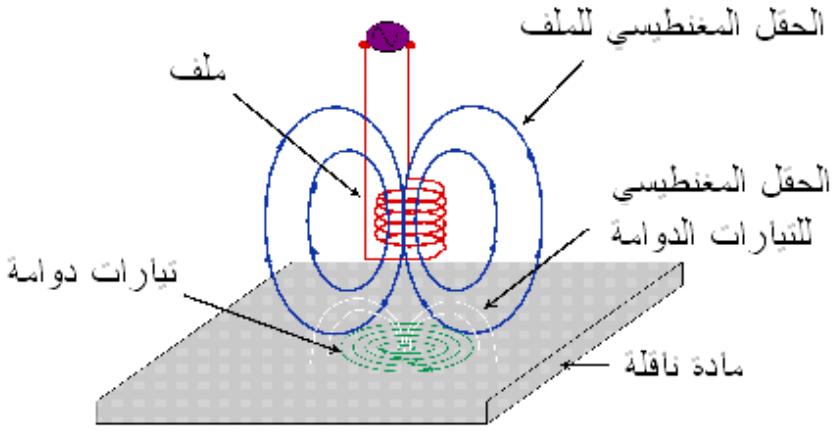
يبين الشكل مثال لاختبار سلامة أرياش محرك طائرة بالأمواج فوق الصوتية.

التحقق من سلامة أرياش محرك طائرة بالأمواج فوق الصوتية

٦- اختبار المواد بالتيارات الدوامة

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

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. يبين الشكل مبدأ الطريقة.



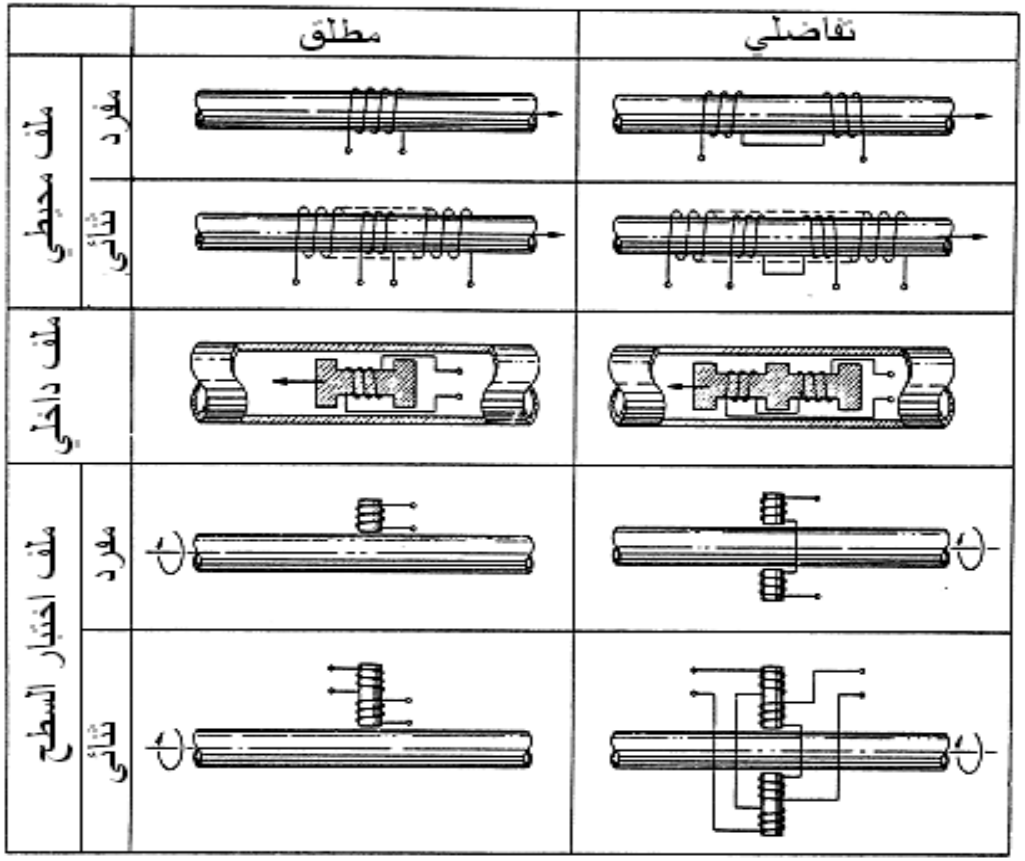
مبدأ اختبار المواد بالتيارات الدوامة

الشكل الهندسي لمسابر الاختبار

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

نماذج من مسابر الاختبار بالتيارات الدوامة لفحص الصفائح من الكسور السطحية واللحامات المنفذة عليها

مسابر فحص الأنابيب

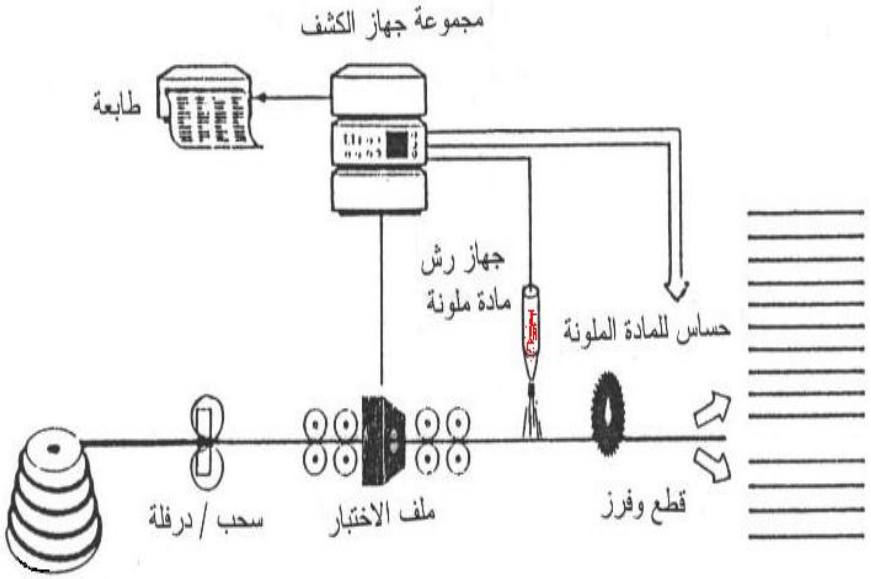


مجال تطبيقات طريقة الاختبار بالتيارات الدوامة

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

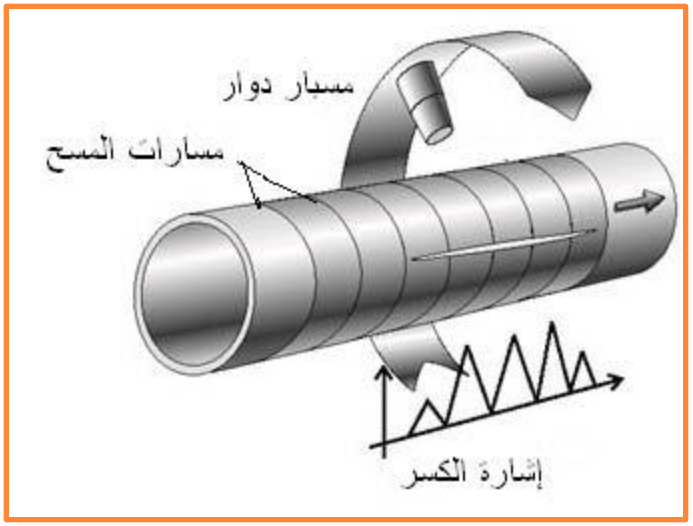
عينات قابلة للاختبار بالتيارات الدوامة

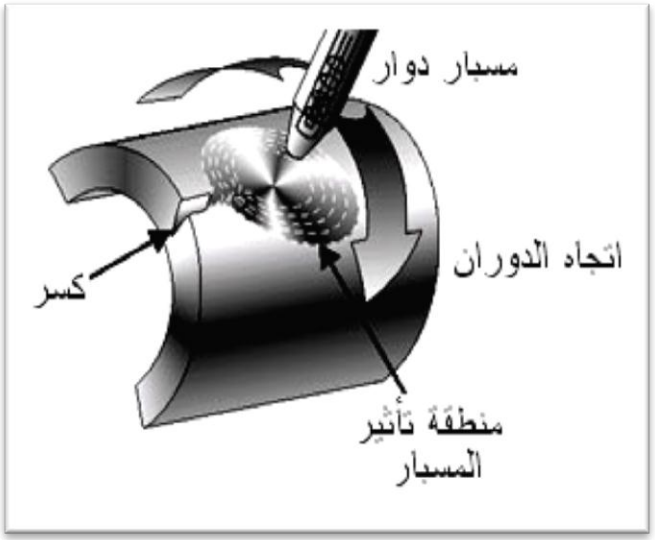
ب- اختبار جميع أنواع القضبان المعدنية بعد عملية الدرفلة على الساخن أو على البارد وبسرعة 100[m/min] وبحيث يتم بعد الاختبار قطع القضبان وفرزها إلى مستويات جودة مختلفة، كما هو مبين في الشكل.



طريقة اختبار القضبان المعدنية بعد عملية الدرفلة بمسبار اختبار محيطي

اختبار جميع أنواع الأنابيب المعدنية





اختبار الاسطوانات والأنابيب بواسطة مسابر دواره للكشف عن الكسور السطحية

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 المادن وفقاً لناقلتيها الكهربائية وفقاً للنظام الدولي (IACS)

المقاومة النوعية والناقلية النوعية لبعض المعادن عند درجة حرارة ٢٠°C

المقاومة النوعية μΩ.cm	الناقلية النوعية (×١٠^٧) S/m	المقاومة النوعية IACS%	المعدن
١.٦	٦.١٤	١٠٥	Silver
١.٧	٥.٨١	١٠٠	Copper
٢.٤	٤.١٠	٧٠	Gold
٢.٨	٣.٥٥	٦١	Aluminum
٥.٣	١.٨٩	٣٢	−٧٠٧٥ TAL Alloy
٥.٩	١.٧٥	٢٩	**Zinc**
٤.٦	٢.١٧	٣٧	**Magnesium**
٧.٠	١.٤٣	٢٤	**Admiralty Brass**
٩.٧	١.٠٣	١٨	**Iron**
١٦	٠.٦٣	١١	**Phosphor Bronze**
٢٠.٦	٠.٤٩	٨.٤	**Lead**
٣٧.٤	٠.٢٧	٤.٥	**٧٠Cu٣٠ – Ni**
٤٨.٢	٠.٢١	٣.٦	**Monel**
٥٠	٠.٢٠	٣.٤	**Zirconium**
٥٤.٨	٠.١٨	٣.١	**Titanium**
٧٠	٠.١٤	٢.٥	**٣٠٤SS**
٧٢	٠.١٤	٢.٤	**Zircaloy - 2**
٩٨	٠.١٠	١.٧	**Inconel 600**
١١٥	٠.٠٨٧	١.٥	**Hastelloy X**
١٢٣	٠.٠٨١	١.٤	**Waspaloy**
١٧٢	٠.٠٥٨	١.٠	**Ti٦–Al٤–V**

IACS % = (172.41/resistivity)

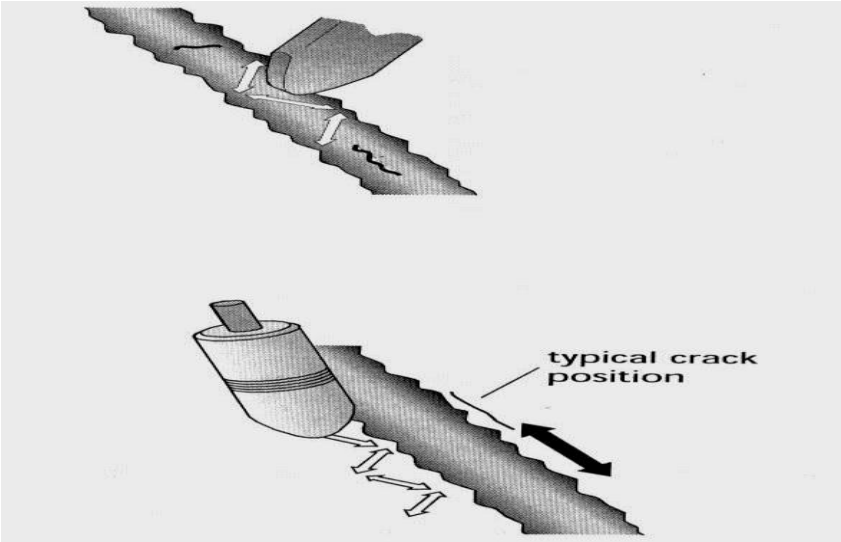
where resistivity, ρ,(ro) is in micro-ohms per centimeter.

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.

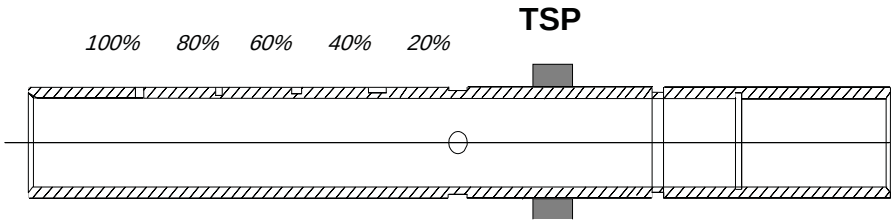
و- قياس ثخانات الطبقات الناقلة المتوضعة فوق المواد الناقلة ذات الطبيعة المختلفة.

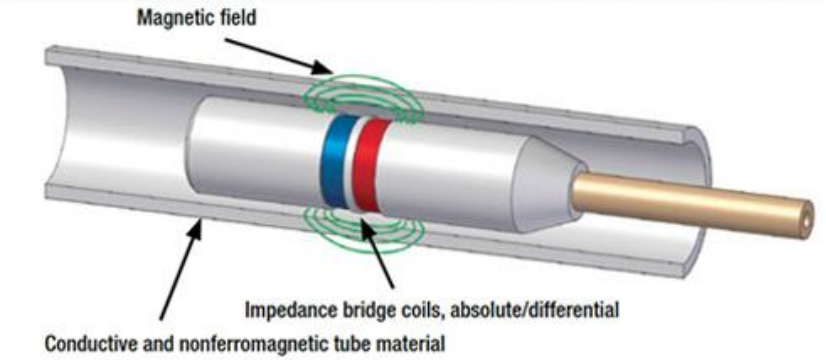
ز- الكشف عن الكسور السطحية وكسور ما تحت السطح في الوصلات اللحامية وفي HAZ، كما هو مبين في الشكل.



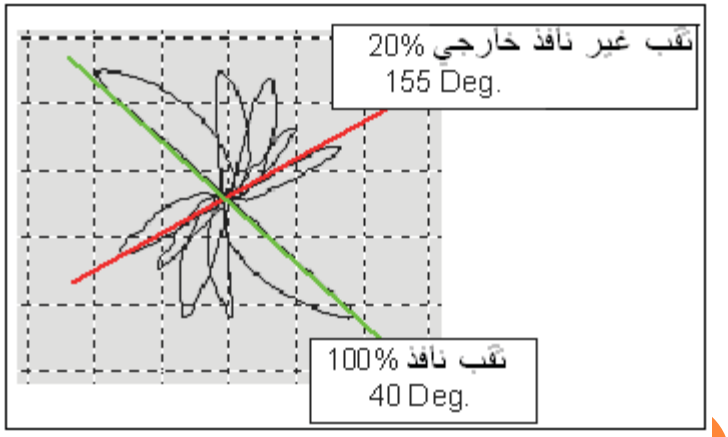
الكشف عن الكسور في الوصلات اللحامية وفي المنطقة المتضررة بالحرارة

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 .

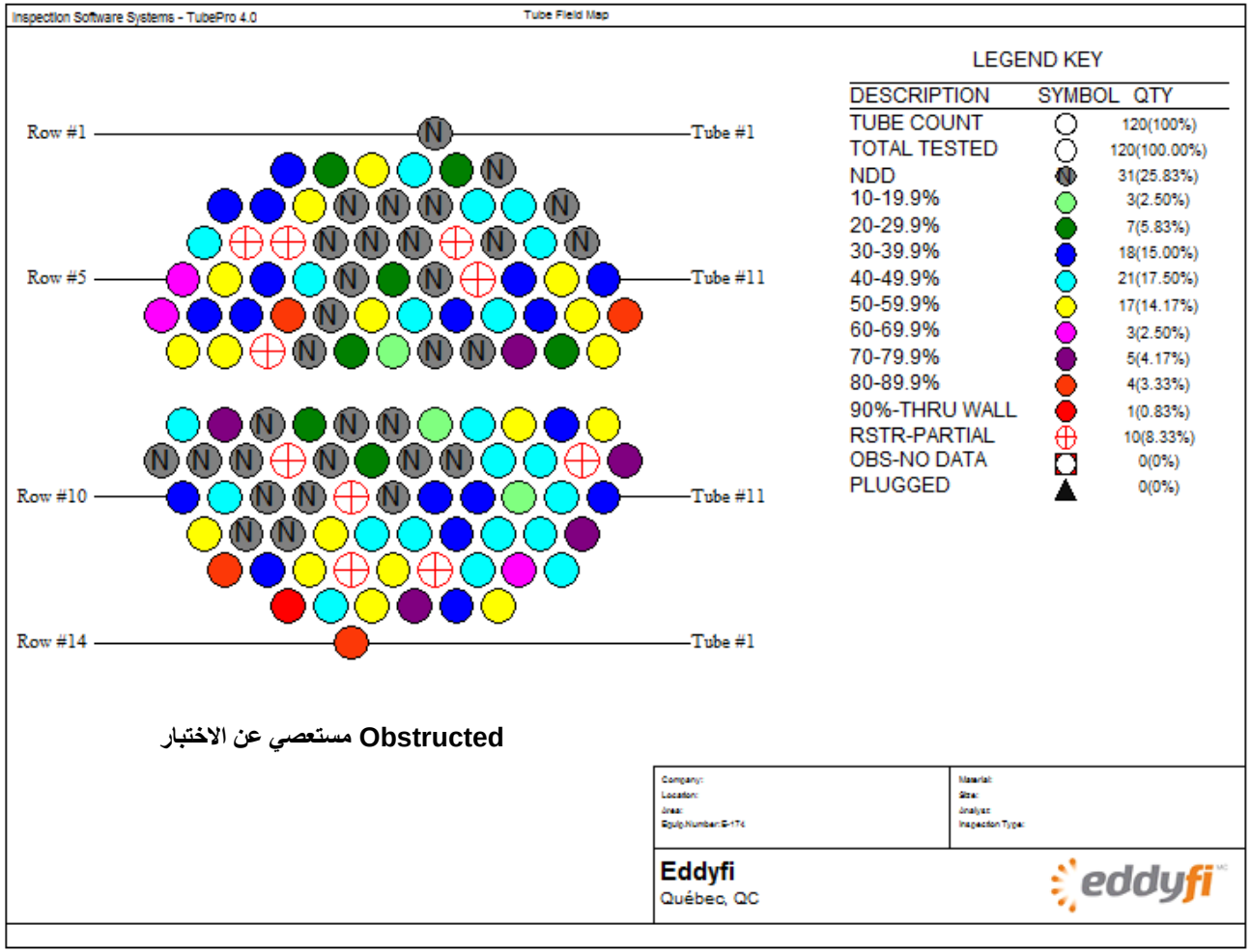




عمق الثقب على الجدار	زاوية الإشارة
100%	°40
80%	°83
60%	°112
40%	°135
20%	°155



الأنابيب في مبادل حراري


Inspection Software Systems - TubePro 4.0
Tube Field Map
Row #1
Tube #1
Row #5
Tube #11
Row #10
Tube #11
Row #14
Tube #1
LEGEND KEY
DESCRIPTION SYMBOL QTY
TUBE COUNT 120(100%)
TOTAL TESTED 120(100.00%)
NDD 31(25.83%)
10-19.9% 3(2.50%)
20-29.9% 7(5.83%)
30-39.9% 18(15.00%)
40-49.9% 21(17.50%)
50-59.9% 17(14.17%)
60-69.9% 3(2.50%)
70-79.9% 5(4.17%)
80-89.9% 4(3.33%)
90%-THRU WALL 1(0.83%)
RSTR-PARTIAL 10(8.33%)
OBS-NO DATA 0(0%)
PLUGGED 0(0%)
Obstructed مستعصي عن الاختبار
Company:
Location:
Area:
Equip.Number:
Material:
Size:
Analyst:
Inspection Type:
Eddyfi
Québec, QC
eddyfi