

٥-٤-١ الفحص بطريقة التيارات الدوامة:

يعتمد الفحص بالتيارات الدوامة على قواعد الحث الكهرومغناطيسي وهي انه إذا قطع جسم موصل خطوط المجال المغناطيسي والعكس صحيح اي إذا قطعت خطوط المجال المغناطيسي الجسم الموصل فسيولد به تيار كهربائي.

يستخدم هذا الفحص للتعرف او التفريق بين مختلف الحالات الفيزيائية و الكيماوية والميتالورجية للمواد الموصلة كهربائياً سواء كانت مغناطيسية ام غير مغناطيسية، وبناءً على ذلك يمكن استخدام هذه التقنية للأغراض التالية:

١- قياس او التعرف على بعض ظروف وخواص المادة كالتوصيلية الكهربائية والمنفذية المغناطيسية والحجم الحبيبي ونوع المعاملة الحرارية والصلادة، والأبعاد الفيزيائية.

٢- للكشف عن الطيات والثنيات والشقوق والفجوات والاكتنافات.

٣- للتفريق او عزل المعادن غير المتشابهة والكشف عن الفروقات في تكوينها الكيماوي وبنيتها الدقيقة والخواص الأخرى.

٤- لقياس سمك طبقة الطلاء للمواد غير الموصلة على المواد الموصلة أو سمك طبقة المعادن غير المغناطيسية على أساس من معدن مغناطيسي.

بما أن الفحص بالتيارات الدوامة هو تقنية حث كهرومغناطيسي أساساً، فهي لا تتطلب الإتصال المباشر بين المجس (الملف الخاص) والقطعة المراد فحصها. وتمتاز طريقة الفحص هذه بسرعة الإجراء، وحيث أنها طريقة فحص لا إتلافي، فيمكن اذن فحص كامل المنتج الصناعي وبسرعة إذا تطلب الأمر ذلك.

تمتلك تقنية التيارات الدوامة مزايا ومحدوديات، فتأثرها بعدد كبير من العوامل كالخواص الفيزيائية والبنوية والكيماوية يعد من المحاسن والمساوئ في آن واحد. فقد تحجب او تشوش الإشارة الصادرة عن بعض المتغيرات، غير المؤثرة على المادة أو أداؤها أو على الأقل غير المقصودة، الإشارة الصادرة من المتغيرات الحرجة والمطلوب كشفها وبالتالي قد يؤدي ذلك الى استنتاج خاطئ.

تتوفر الآن تجارياً العديد من أجهزة الفحص بالتيارات الدوامة. تستخدم بعض هذه الأجهزة للفحص الاستكشافي أو لفحص الأجزاء البسيطة الشكل. لقد تم أيضاً تصميم أجهزة خاصة لاستخدامها للقطع المعدنية المنتجة من صفائح أو قضبان أو أنابيب.

أسس الفحص:

تتشابه طريقة الفحص بالتيارات الدوامة، من أوجه كثيرة، مع تقنية التسخين بالحث التي تستعمل لتسخين المعادن أو تصليدها أو مراجعتها. فكليهما يعتمد على الحث الكهرومغناطيسي لتوليد أو حث التيارات الدوامة في الجزء الموضوع داخل أو بالقرب من ملف واحد أو أكثر. يسبب التغيير في التقارب بين الملفات الحثية والأجزاء المراد فحصها وكذلك التغيير في الخواص الكهربائية للجزء، تغيرات في التحميل الكهربائي والرنين للمولد.

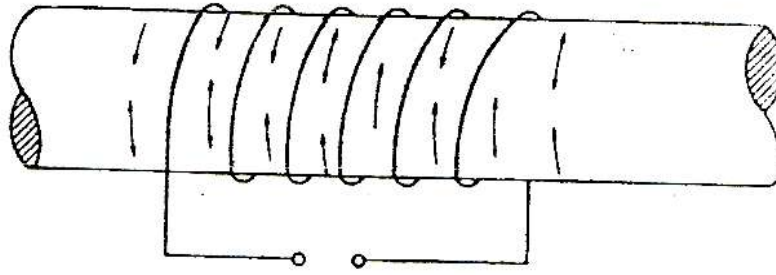
تعمل أنظمة التسخين بالحث عند قدرة عالية في حين أن أنظمة الفحص بالتيارات الدوامة تعمل عند قدرة واطئة جداً، بالمقارنة، وذلك للتقليل من مستوى التسخين الناتج. تتم مراقبة التغيير في التحميل الكهربائي، في حالة أنظمة التيارات الدوامة، الناتج من التغيير في الأبعاد بواسطة دوائر الكترونية خاصة.

يتأثر مقدار العمق المراد فحصه في الجزء بمقدار التردد المستخدم لأن شدة التيارات الدوامة تكون على أوجها عند السطح وتندرج في الإنخفاض كلما ابتعدنا عن السطح إلى داخل الجزء حتى تصل قيمتها إلى الصفر عند مسافة معينة وهذا ما يسمى بالظاهرة السطحية (skin effect).

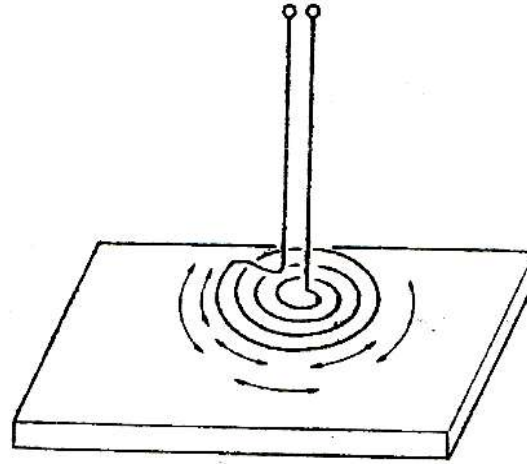
يختلف تصميم الملفات المستخدمة في التسخين بالحث عن تلك المستخدمة في الفحص بالتيارات الدوامة.

وظائف نظام الفحص الأساسية:

يوضع الجزء المراد فحصه في داخل أو بالقرب من ملف يمر فيه تيار متناوب كما مبين في الشكل (1-33). يدعى التيار المتناوب هذا بالتيار المهيج (exciting current) والذي يؤدي إلى تكوين التيارات الدوامة في الجزء كنتيجة للحث



(a)



(b)

الشكل 33-1

(a) ملف لولبي حول قضيب يولد تيارات دوامة محيطية

(b) ملف حلزوني مسطح، يولد تيارات دوامة دائرية في لوح معدني مسطح.

الكهرومغناطيسي. يكون مسار هذه التيارات في الجزء على شكل دوائر مغلقة ويعتمد مقدارها وطورها على:

أ- المجال الكهرومغناطيسي الأساسي المتكون من مرور التيار المهيج في الملف.

ب- الخواص الكهربائية للجزء المراد فحصه.

ج- المجال الكهرومغناطيسي المتولد نتيجة لمرور التيارات الدوامة في الجزء. يعتمد

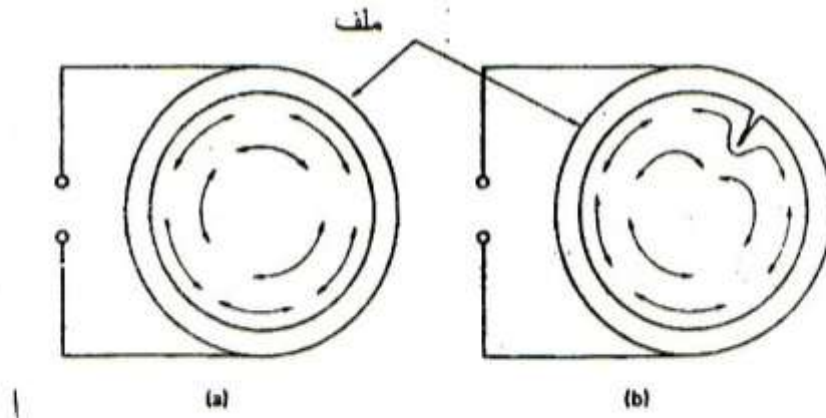
مقدار المجال الكهرومغناطيسي في الجزء وحوله على كل من التيار المهيج المار

في الملف والتيارات الدوامة المارة في الجزء. وتعتمد التيارات الدوامة المارة

بالجزء بدورها على الخواص الكهربائية لمادة الجزء ووجود أو عدم وجود عيوب

أو تقطعات في الجزء وأخيراً على المجال الكهرومغناطيسي المتولد في الجزء.

يبين الشكل (34-1) التغيير الحاصل في مسارات مرور التيارات الدوامة الناتج بسبب وجود شق في قضيب ، والقضيب هنا في داخل ملف الفحص اي أن محوريهما متوازيين. لا يوجد اي عيب في المقطع (a) لذلك يلاحظ التناظر في مسارات التيارات الدوامة، في حين ان هناك شق في المقطع (b) لذا يعاق جريان التيارات الدوامة ومن ثم يتغير اتجاهها ، حيث يؤدي ذلك الى تغيرات واضحة في المجال الكهرومغناطيسي المصاحب لها.



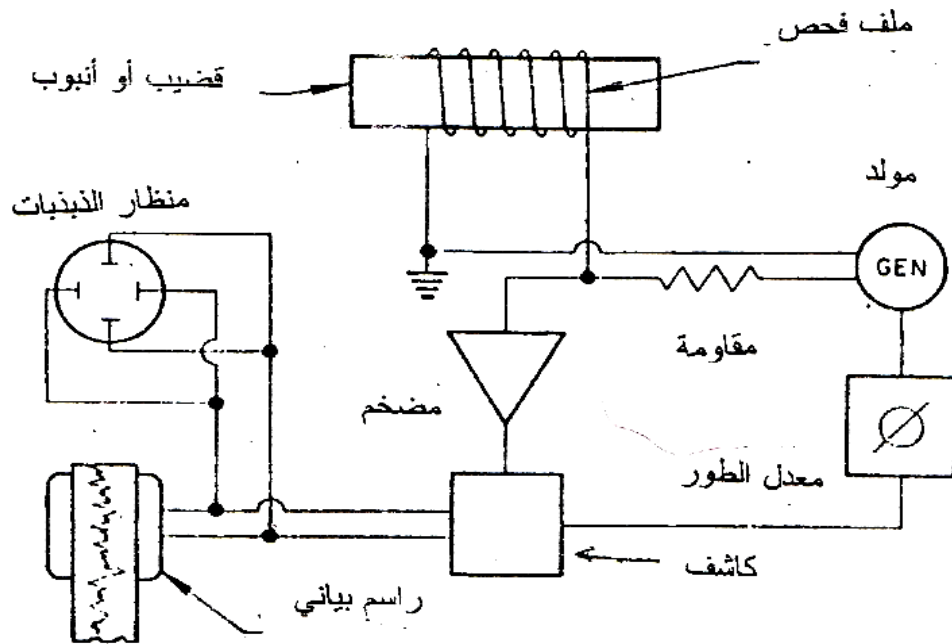
الشكل (34-1)

مقطع عرضي للقضيب مع الملف اللولبي، تلاحظ نمط التيارات الدوامة (a) مقطع خالي من العيب، تلاحظ تيارات دوامة منتظمة (b) نمط التيارات الدوامة المشوه بسبب وجود عيب.

ومما تقدم يتضح انه يمكن مراقبة حالة الجزء بملاحظة تأثير المجال الناتج على الخواص الكهربائية للملف المتهيج مثل الممانعة الكهربائية **impedance** والفولتية المحتثة او التيارات المحتثة. ويمكن ايضاً مراقبة تأثير المجال الكهرومغناطيسي بملاحظة الفولتية المحتثة في واحد أو أكثر من الملفات الأخرى الموضوعة داخل المجال بالقرب من الجزء المراد فحصه.

تتباين أنظمة التيارات الدوامة في التعقيد اعتماداً على متطلبات الفحص كل على انفراد إلا أنه يجب تزويد معظم الأنظمة ببعض الأجهزة بحيث يمكن عمل مايلي:

- ١- تهيج ملف الفحص.
 - ٢- تغيير الإشارة الخارجة لملف الفحص بواسطة الجزء المراد فحصه.
 - ٣- معالجة إشارة ملف الفحص قبل تضخيمها.
 - ٤- تضخيم إشارة ملف الفحص.
 - ٥- تحسس إشارة ملف الفحص وعادةً ما يصاحب ذلك بعض التحليل أو التمييز للإشارات.
 - ٦- عرض الإشارات على مقياس أو منظار الذبذبات (oscilloscope) أو راسم الذبذبات أو راسم بياني أو تسجيل الإشارات على الأقراص المرنة أو الأقراص المدمجة الخاصة بالحاسوب.
 - ٧- مداولة الجزء المراد فحصه وتثبيت مجموعة ملف الفحص.
- نلاحظ العناصر الأساسية لنظام الفحص في الرسم التخطيطي (شكل 35-1).
 طوّرت الأجهزة الملاحظة في الشكل (35-1) لتلائم فحص القضبان أو الأنابيب.



الشكل (35-1)

رسم تخطيطي يبين العناصر الأساسية لنظام الفحص بالتيارات الدوامة.

يزود المولد ملف الفحص بالتيار المهيج ويزامن الإشارة الى مغير الطور والذي بدوره يزود الكاشف بإشارات التبديل. يتغير المجال الكهرومغناطيسي للملف نتيجة لتحميل ملف الفحص بالجزء المراد فحصه.

تتم تغذية الإشارة الخارجة من ملف الفحص الى جهاز التضخيم ويتم كشفها او تعديلها بالكاشف ، ثم تعرض على شاشة عرض منظار الذبذبات (oscillo-scope) او ترسم بالراسم البياني أو أية وسيلة أخرى.

تتأثر عملية الفحص بالتيارات الدوامة بالمتغيرات الأساسية التالية:

١- ممانعة الملف.

٢- التوصيلية الكهربائية للجزء المراد فحصه.

٣- المنفذية المغناطيسية.

٤- عوامل التباعد والملء.

٥- الظاهرة السطحية.

٦- تأثير الحافة.

ممانعة الملف coil impedance:

يصل المجال المغناطيسي للملف الى مستوى ثابت عندما يمر تيار مباشر فيه وتكون المقاومة الكهربائية للسلك هي المحدد الوحيد لمرور التيار. أما عندما يمر تيار متناوب في الملف فهناك عاملان للتحديد (للإعاقة) هما مقاومة السلك للتيار المتناوب والمفاعلة الحثية (inductive reactance) (X_L). تكون قيمة المقاومة الكهربائية للتيار المتناوب في الملفات المعزولة (الفارغة القلب) والتي تعمل عند ترددات واطئة او أن قطر سلكها صغير، مقاربة جداً لقيمة مقاومة التيار المباشر لسلك الملف.

تزداد نسبة قيمة مقاومة التيار المتناوب الى قيمة مقاومة التيار المباشر بزيادة

التردد أو قطر سلك الملف. تهمل مقاومة سلك الملف غالباً، عند مناقشة أسس التيارات المحتثة، لأنها ثابتة تقريباً. لكنها تتغير بصوره ملحوظة مع درجة حرارة السلك والتردد وتوزيع المجال المغناطيسي الناتج عن الملف.

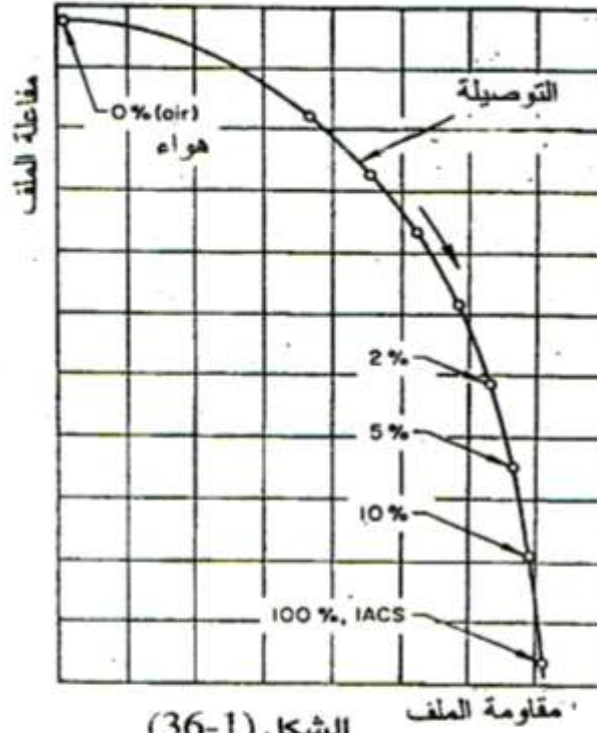
يتحد تأثير المفاعلة الحثية للمحثة (inductance) والتردد ويتم التعبير عنها بالأوم. تسمى مجموع المقاومة للتيار المتناوب في اي ملف بالممانعة "Z" "impedance" وتتضمن كلاً من مقاومة التيار المتناوب "R" والممانعة الحثية (X_L).

عندما توضع قطعة معدنية بالقرب او في داخل ملف الفحص، يتغير المجال الكهرومغناطيسي الناتج من الملف نتيجة لجريان تيار محث في القطعة المراد فحصها. وبهذا تتأثر، بشكل عام، كل من مقاومة التيار المتناوب والمفاعلة الحثية للملف. وتتألف مقاومة الملف المحمل من مركبتين هي على وجه التحديد مقاومة أسلاك الملف للتيار المتناوب والمقاومة الظاهرية او المزدوجة الناتجة عن وجود القطعة المفحوصة. تنعكس ظروف القطعة المفحوصة (وجود العيوب او عدمه على سبيل المثال) على التغيرات في هاتين المركبتين.

ترسم الممانعة عادةً على مخطط مستوى الممانعة. فترسم المقاومة في هذا المخطط على أحد الإحداثيات وترسم المفاعلة الحثية (المحثة) على الآخر. وحيث ان كل ظرف معين للمادة المراد فحصها يمكن أن ينتج عنه ممانعة ملف معينه، فيكون كل ظرف مطابق لنقطة معينة على مخطط مستوى الممانعة. فعلى سبيل المثال، إذا وضع الملف على قطع معدنية ذات أسماك مختلفة متدرجة كل لها مقاومة (ρ) مختلفة، فكل قطعة سوف تسبب ممانعة مختلفة في الملف وسوف تتبع لنقط مختلفة على المحل الهندسي لمستوى الممانعة، يشبه المنحنى المتكون، المنحنى الموجود في الشكل (1-36)، والذي يعتمد أساساً على تصنيف I A C S (International Annealed Copper Standard) للتوصيلية. يمكن توليد منحنيات أخرى اعتماداً على متغيرات أخرى للمادة كسمك المقطع ونوع العيوب السطحية.

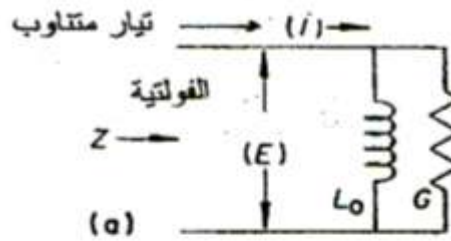
مركبات الممانعة:

يبين الشكل (1-37) دائرة مكافئة بسيطة لملف فحص والجزء المراد فحصه.



الشكل (36-1)

رسم مستوى للممانعة النموذجية المستخرجة بواسطة وضع ملف فحص بالتتابع على سلسلة من القطع السميكة، لمعادن، كل واحدة، لها قيمة مختلفة من المقاومة الكهربائية أو التوصيلية حسب IACS. كان تردد التيار المار بملف الفحص 100kHz.

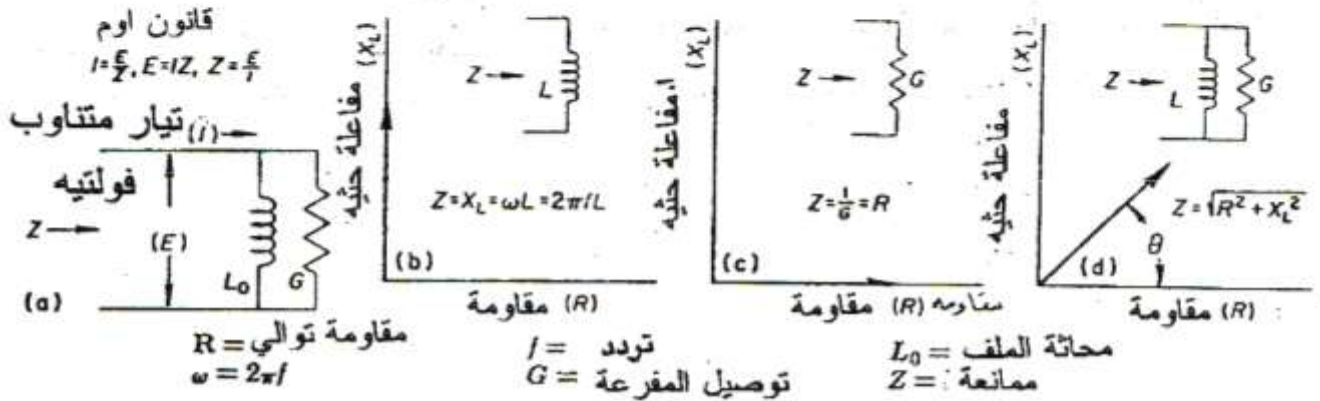


قانون أوم $Z = \frac{E}{I}$ و $E = IZ$ و $I = \frac{E}{Z}$

الشكل (37-1)

دائرة مكافئة بسيطة لملف فحص والجزء تحت الفحص.

يفترض ان للملف محاثية هي L_0 ومقاومة قليلة يمكن إهمالها. يتألف الجزء المراد فحصه من أنبوب خفيف الجدران له توصيل مفرعه (shunt conductance) G موضوع قريباً من الملف. عندما يمر تيار متناوب في الدائرة تحت ظروف الحالة المستقرة، فسوف يخزن قسم من الطاقة في الدائرة وتعود الى المولد في كل دوره والقسم الآخر منها سيضمحل او يفقد على شكل حرارة في كل دورة. فالمفاعلة الحثية X_L ، مركبة الممانعة " Z "، للدائرة الكهربائية تتناسب مع الطاقة المخزونة بالدوره الواحدة اما المقاومة R ، مركبة الممانعة، فتناسب مع الطاقة المضمحلة في الدورة الواحدة. تساوي الممانعة " Z " نسبة معقدة من الفولتية المسلطة (E) مقسومة على التيار وحسب قانون اوم.



الشكل 38-1

(d,c,b) مخططات الممانعة لثلاث حالات للدائرة المكافئة في (a) اي الشكل 37-1.

يستعمل اصطلاح معقدة ليشير، بشكل عام، الى أن التيار المتناوب والفولتية ليستا بنفس زاوية الطور.

يبين الشكل (1-38) ثلاثة مخططات ممانعة لدائرة مكافئة لتلك التي في الشكل (1-37) ولثلاث ظروف . تكون الدائرة عند وجود الملف مفاعله فقط، كما في (1-38b)، اي ان :

$$Z = X_L = \omega L = 2 \pi f L \quad \dots\dots\dots(1-7)$$

حيث تمثل L المحاثّة الذاتية و f التردد.

أما عند وجود التوصيل (conductance) لمكافئ الدائرة (وهي الحالة الافتراضية للوجود الفعلي ملف الفحص والجزء المراد فحصه) فالممانعة تولد مقاومة نقيه اي أن $Z = \frac{1}{G} = R$ ، كما في الشكل (1-38c). أما عند ربط كلاً من الملف والتوصيل فالممانعة لها مركبتين أحدهما للمفاعلة والأخرى للمقاومة بشكل عام وعندها تكون $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ كما في الشكل (1-38d) تكون R المقاومة على التوالي ، X_L المفاعلة على التوالي. تشترك الزاوية θ مع الممانعة وهذه الزاوية دالة للنسبة بين مركبتي الممانعة R و X_L . وتظهر قيمة الزاوية θ في الشكل (1-38d) مساوية للزاوية 45 تقريباً.

يمكن أن تبين النقاط والمحال الهندسية على مخططات مستوى الممانعة باستخدام التمثيل الطوري وذلك للعلاقة الوثيقة بين مخططات الممانعة والمخططات الطورية حيث ان فولتية الاشارة تتناسب تناسباً مباشراً مع الممانعة عند ثبوت التيار.

التوصيلية الكهربائية:

لجميع المواد مقاومة مميزة لمرور التيار الكهربائي. تصنف المواد التي لها مقاومة عالية جداً على أنها عوازل ، أما المواد ذات المقاومة المتوسطة فتصنف على أنها شبه موصلة، في حين تصنف المواد التي لها مقاومة (ρ) قليلة على أنها مواد موصلة. تكون المواد الموصلة، التي تتضمن أغلب المعادن، ذات اهمية كبيرة في فحص التيارات الدوامه. تتغير التوصيلية النسبية لعامة المعادن والسبائك على مدى واسع جداً.

يمكن ان تقاس قابلية المواد لتوصيل التيار بدلالة التوصيلية او المقاومة تكون القياسات في الفحص بالتيارات الدوامة تعتمد في الغالب على النحاس القياسي العالمي الملدن (IACS). تم جعل التوصيلية النسبية للنحاس النقي الملدن في هذا النظام هي 100% ، ويُعبر عن توصيلية بقية المعادن بالنسبة المئوية لهذه القيمة القياسية. فعلى سبيل المثال تصنف توصيلية الألمنيوم النقي على أنها 61% IACS أو 61% من تلك التي للنحاس النقي. أن قيم المقاومة وتصنيف التوصيلية لبعض المعادن والسبائك الشائعة مدرجة في الجدول (13-1).

جدول (13-1) قيم المقاومة والتوصيلية لبعض المعادن والسبائك الشائعة.

المعدن او السبيكة	المقاومية أوم.سم $\times 10^{-6}$	التوصيلية % IACS
الفضة	1.63	105
النحاس الملدن	1.72	100
الذهب	2.44	70
الألمنيوم	2.82	61
سبائك الألمنيوم		
6061-T6	4.1	42
7075-T6	5.3	32
2024-T4	5.2	30
المغنيسيوم	4.6	37
النحاس الأصفر (70-30)	6.2	28
برونزيات الفوسفور	16	11
سبيكة المونيل (Monel)	48.2	3.6
الزركونيوم	50	3.4
زرك الوي-2 (Zircaloy-2)	72	2.4
التيتانيوم	54.8	3.1
سبيكة Ti-6Al-4V	172	1.0
الفولاذ المقاوم للصدأ 304	70	2.5
انكونيل 600 (Inconel 600)	98	1.7
هاستيلوي X (Hastelloy X)	115	1.5
واسبالوي (waspaloy)	123	1.4

ترددات الفحص:

يستخدم مدى من الترددات يتراوح بين 200 هيرتز الى 6 ميكاهيرتز أو أكثر في تقنية الفحص بالتيارات الدوامة. يتم فحص اغلب المواد غير المغناطيسية عند ترددات بحدود بضعة آلاف هيرتز (Hertz). تستعمل ترددات واطئة، بصورة عامة، ابتداءً من حوالي 1 كيلو هيرتز لفحص المواد المغناطيسية. مع أن التردد المستخدم واقعاً يعتمد على سمك الجزء المراد فحصه وعمق الاختراق المرغوب ودرجة الحساسية او قدرة التمييز (resolution) المطلوبة والهدف من الفحص.

يكون تردد الفحص عادةً حالة متوسطة، فاعى في ذلك ظروف الفحص، على سبيل المثال، يجب ان يكون الاختراق كافياً للوصول الى أي عيوب قريبة من السطح (تحت السطحية) ومن ثم يمكن كشفها. وبالرغم من ان مقدار الاختراق يزداد بنقصان التردد فهذا لايعني انه يجب استخدام الترددات الواطئة لأن الحساسية على كشف العيوب سوف تنخفض الى حد ما كما تقل سرعة الفحص، اذن يجب أن يكون تردد الفحص منسجماً مع عمق الاختراق المطلوب. وتنشأ المشكلة عند فحص العيوب التي هي تحت السطح والى عمق معين ففي هذه الحالة تستخدم ترددات واطئة ويكون ذلك على حساب الحساسية اي أنه لايمكن كشف العيوب الصغيرة. تستخدم الترددات الواطئة نسبياً عند فحص المواد المغناطيسية نظراً للاختراق القليل في هذه المواد. ويمكن الرجوع الى المصادر المختصة في اختيار التردد الملائم وحسب مواصفات المادة المراد فحصها.

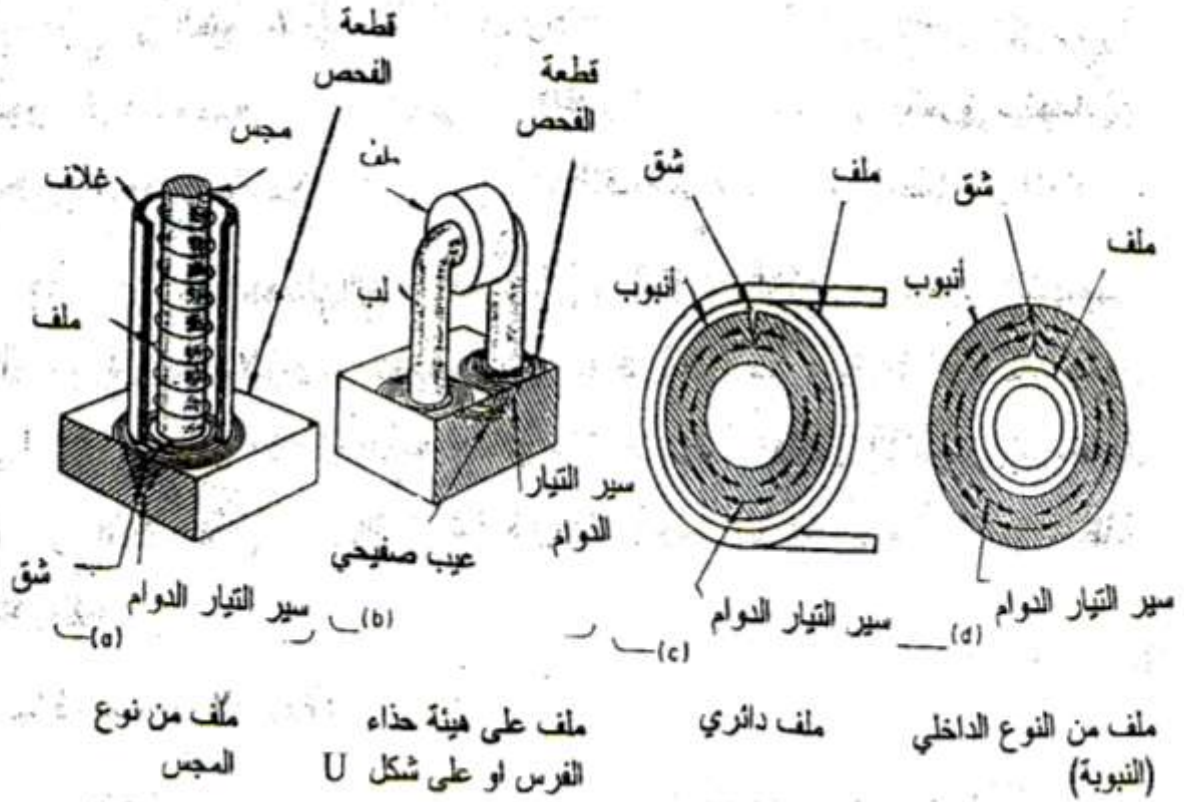
ملفات الفحص:

ان ملف الفحص جزء أساسي في أي منظومة فحص بالتيارات الدوامة . يعتمد شكل ملف الفحص الى حد كبير على الغرض من الفحص وعلى شكل الجزء المراد فحصه . فعند الفحص عن عيوب كالشقوق والثنيات فمن الضروري ان يكون مسار التيارات الدوامة عمودياً تقريباً على العيوب مهما أمكن لأجل الحصول على أعظم استجابة منها . ولا يحدث اي تشويه او قد يحدث قليل من التشويه للتيارات إذا كان مسار التيارات الدوامة موازيه للعيوب وعليه سيحدث رد فعل قليل جداً على ملف الفحص .

الملفات المحيطة وملفات المجسات:

تبقى نوعاً الملفات المحيطة وملفات المجسات هي الأكثر استخداماً في فحص التيارات الدوامة من بين العديد من أنواع الملفات المستخدمة . يتم في العادة استعمال ملف المجس في فحص الشقوق السطحية لأن هذا النوع من الملفات يستحث تيارات مسارها موازي للسطح ومن ثم تقطع الشقوق كما في شكل (45a-1) . في حين ان ملفات المجسات غير ملائمة للكشف عن العيوب الصفائحية . يستخدم للعيوب الصفائحية ملف على شكل حذاء الفرس كما في شكل (45b-1) .

يتم استخدام الملفات المحيطة بشكل عام لفحص الأنابيب والقضبان (الشكل 45c-1) وذلك لملائمة شكل الأجزاء والسرعة العالية لهذا النوع من الملفات ، إلا أن هذا النوع من الملفات ملائم فقط للعيوب الموازية لمحور الجزء . ان أغلب العيوب الموجودة في مثل هذه الأجزاء والمتولدة أثناء عمليات تصنيعها موازية للمحور . أما إذا أريد فحص عيوب غير موازية للمحور فيستخدم ملف المجس لذلك . وللكشف عن العيوب في السطوح الداخلية للأنابيب فيستخدم ملف داخلي كما في شكل (45d-1) .



شكل (1-45)

أنواع وتطبيقات الملفات المستخدمة في فحص التيارات الدوامة.

a- ملف من نوع المجس يستخدم للألواح المسطحة للكشف عن الشقوق.

b- ملف على هيئة حذاء الفرس (اي شكل U) يستخدم مع الألواح المسطحة للكشف عن العيوب الصفيفية.

c- ملف دائري يستخدم لفحص الأنابيب.

d- ملف داخلي (نوع النبوي) يستخدم لفحص الأنابيب.

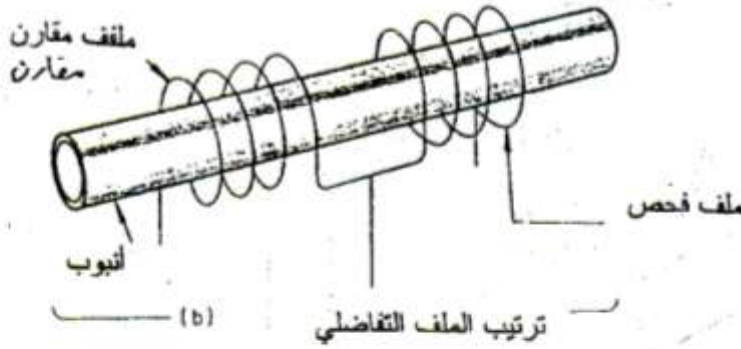
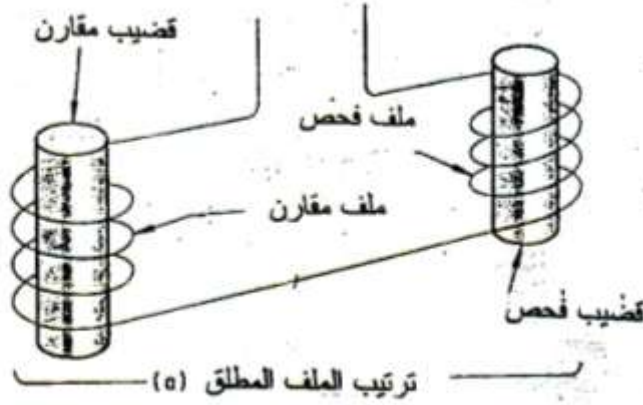
الملفات المتعددة:

تستخدم في العديد من فحوصات التيارات الدوامية ملفين مربوطين على التوالي بشكل متخالف بحيث أنه عندما تكون ممانعتا هما متساوية لا ينتج أي حاصل من هذا الإزدواج. ويمكن استخدام زوج الملفات إما بالشكل المطلق أو بالشكل التفاضلي كما في الشكل (1-46). ففي الحالة المطلقة يوضح نموذج مقبول (مستوفى للشروط أي خالي من العيوب) في أحد الملفين ويستخدم الآخر للفحص. وهنا تتم معايرة الجزء المراد فحصه مع الجزء القياسي (المقبول) ويتم التحسس بالفرق بينهما، إن وجد، بواسطة جهاز ملائم. تستخدم هذه التقنية في التفريق أو الفصل بين المواد.

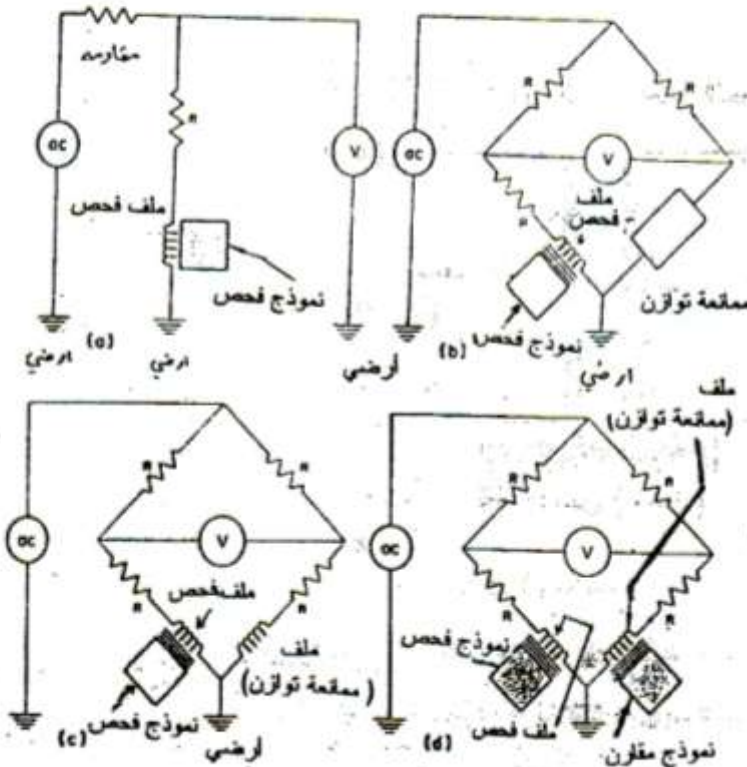
ومن الممكن استخدام الربط التفاضلي (الشكل 1-46b) عندما يراد التحسس بالفروق في قطر الأنبوب. فعندما تكون مقاطع الأنبوب متساوية فلا يكون هناك أي حاصل نهائي (out put) أما إذا كان هناك فرق بين مقطعي الأنبوب عند منطقة كل من الملفين فيمكن ملاحظة الإشارة وكذلك الحال عندما يوجد عيب في منطقة أحد الملفين.

أجهزة التيارات الدوامية:

يبين الشكل (1-47a) مخطط لجهاز فحص بسيط بالتيارات الدوامية والذي تراقب فيه الفولتية على طرفي ملف الفحص. وهذه الدائرة ملائمة لقياس تغييرات تباعد كبيره، إذا كانت الدقة غير مهمة جداً. أما الدائرة المبينة في الشكل (1-47b) فمصممة لدقة أكبر. وهذا الجهاز يتألف من مصدر منفرد وقنطرة ممانعة مع مقاومات اسقاطية وملف فحص في أحد أذرع القنطرة وممانعه معادلة في الذراع الأخرى. يقاس الفرق في الفولتية بين ذراعي القنطرة بفولتيميتر التيار المتناوب. وكبديل فالممانعة المعادلة في الذراع المقابل لملف الفحص يمكن أن تكون ملف مشابه لملف الفحص كما في الشكل (1-47c) وقد يكون هناك نموذج أساس (قياسي) في الملف (الشكل 1-47d). ففي الحالة الأخيرة إذا كانت كل أجزاء القنطرة متناظرة فتحدث الإشارة فقط عندما تحيد ممانعة ملف الفحص عن تلك التي لملف النموذج الأساس.

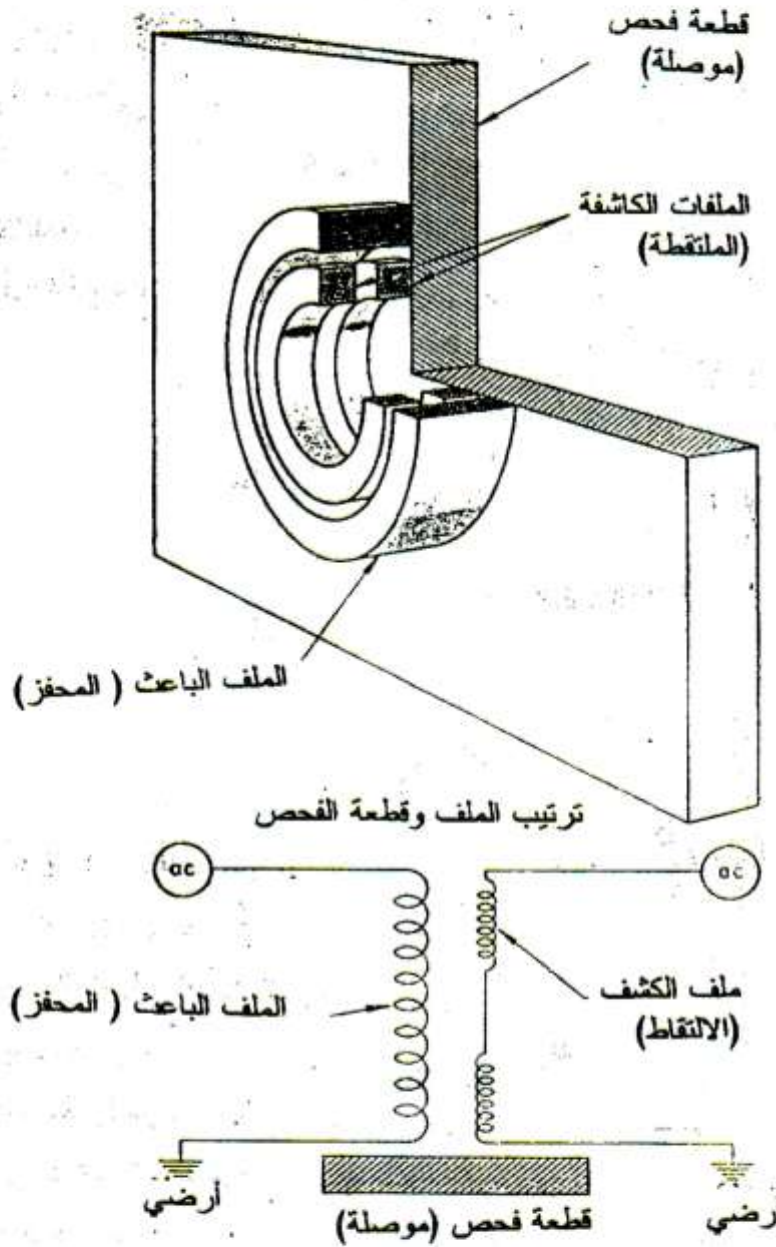


شكل (1-46)
الترتيبات المطلق
والتفاضلي
للملفين المضاعفين
المستخدمين في
الفحص
بالتيارات الدوامة



شكل (1-47)
أربعة أنواع من أجهزة
الفحص بالتيارات الدوامة
(a) ترتيب بسيط وفيه تتم
السيطرة على الفولتية على
طرفي الملف (b) قنطره
ممانعه نموذجية (c) قنطره
ممانعه بزواج من الملفات
(d) قنطرة ممانعه بزواج
من الملفات ونموذج قياس
(مقارن) في الملف الثاني

يوجد نوع آخر من القنطرات المستخدمة في الفحص والتي تنتقل إشارة القدرة فيها بواسطة محول مزدوج الى ملفين أحدهما الملف الأساس والآخر ملف الفحص كما في الشكل (48-1) . أما مبدأ الفحص فمتمشابه في كل أجهزة الفحص تقريباً وكما تم شرحه سابقاً.



الشكل (48-1)

مجس قنطرة حث في مكان على سطح القطعة المراد فحصها.
رسم تخطيطي يبين كيفية التحويل المزدوج للإشارة عالية الطاقة من الملف الباعث الى ملفي الكشف (ملف الفحص في الأسفل والملف القياسي في الأعلى).