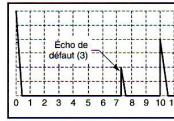


Le contrôle des soudures



mercredi 19 mai 2021

U4 ETUDE DE PREINDUSTRIALISATION / COMPETENCES :

- C01. Proposer et argumenter des modifications de la pièce liées aux difficultés techniques et aux surcoûts de production.
- C03. Pour chacun des procédés visés, proposer un processus prévisionnel et des principes d'outillages associés.
- C04. Valider le choix du couple matériau - procédé d'élaboration au regard de la géométrie et des spécifications de la pièce à produire.
- C05. Spécifier les moyens de production nécessaires (machines-outils, outils, outillages...).
- C06. Établir les documents destinés aux partenaires co-traitants et sous-traitants.

. BO ou Référentiel : BTS IPM 2005

SAVOIRS / Niveau 2 : Expression

S7.3 Procédés d'assemblage

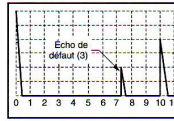
- Principe physique associé au procédé.
- Principe des outillages.
- Limites et performances (matériaux, formes et précisions réalisables).
- Incidences sur le matériau et sur les procédés de transformation et de traitement ultérieurs éventuels.
- Notion sur les coûts.

Des procédés suivants : vissage, boulonnage, rivetage, goupillage, clavetage, collage, frettage, sertissage, clinchage, soudage, brasage, surmoulage.

- **Enumérer les principaux contrôles effectués lors des opérations de soudage**

Objectif Opérationnel

Le contrôle des soudures



mercredi 19 mai 2021

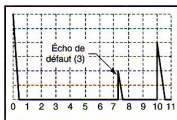
- . **SITUATION** : Classe de Deuxième Année de BTS IPM
- . **PREREQUIS** : - Procédés de soudage
- . **DONNEES DU PROBLEME, CONDITIONS DE REALISATION** :
 - **DUREE** : 2 Heures
- . **TRAVAIL DEMANDE** :
 - Décrire les méthodes de contrôle destructif
 - Décrire les méthodes de contrôle semi-destructif
 - Décrire les méthodes de contrôle non-destructif

PLAN ET DEROULEMENT DE L'ACTIVITE :

- . **METHODE** :
 - **ACTIVITE** (de Groupe, d'Equipe, Individuelle) : - Cours
- . **MOYENS DIDACTIQUES** :
 - **DOCUMENTS** : - Poly Cours
 - **AUDIO-VISUELS** : - Vidéos / Diaporamas et Animations
 - **AUTRES** : - /
 - **BIBLIOGRAPHIE** : - Les référentiels DUNOD
 - **LIENS** : http://www.otua.org/publication_dossier-soudage-assemblage.htm
<http://www.cofrend.com/>
<http://www.soudeur.com/>
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Soudage>

EVALUATION DE L'ACTIVITE :

- ☐ . *Evaluation Formative*
- ☐ . *Evaluation Sommative*



Le contrôle des soudures

Page 1/8

Les méthodes citées dans ce paragraphe ne sont considérées que dans le cadre de contrôles effectués pendant ou après soudage. Ces méthodes peuvent être :

- destructives,
- semi-destructives
- non destructives.

1 Les méthodes de contrôle destructif

Ces méthodes apportent des informations précieuses et précises sur le comportement mécanique des assemblages soudés ainsi que sur la nature et les caractéristiques des défauts décelés à l'aide des contrôles non destructifs.

Ces essais sont effectués sur des éprouvettes prélevées dans des portions de soudures appelées « appendices témoins » situés à l'extrémité de certains assemblages de production.

1.1 LES ESSAIS DE TRACTION

Ils sont réalisés transversalement à la soudure afin de prendre en compte le comportement de ces différentes zones (métal fondu, zones de liaison et thermiquement affectées).

Lors de la rupture d'une telle éprouvette, ne seront considérés comme paramètres significatifs que la position de la cassure et la charge de rupture de l'éprouvette en raison de l'hétérogénéité de ces différentes zones.

Une rupture hors soudure est imposée pour les aciers, ce qui garantit que l'assemblage ne constituera pas un point faible vis-à-vis des sollicitations statiques calculées. Pour d'autres matériaux, il est en revanche exigé que la rupture se situe dans la soudure.

1.2 LES ESSAIS DE FLUAGE

Ils ont pour but de déterminer, à chaud, l'allongement plastique d'une éprouvette soudée en fonction du temps de maintien d'une contrainte de traction qui lui est appliquée.

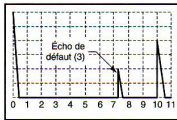
1.3 LES ESSAIS DE PLIAGE

Ces essais qui portent sur des assemblages soudés présentent l'intérêt de permettre d'évaluer non seulement la ductilité des différentes zones constitutives d'une soudure, mais également la qualité de celle-ci puisque la présence de défauts plans réduit très sensiblement la capacité de déformation de l'éprouvette.

1.4 LES ESSAIS DE DURETE

Ils consistent en la mesure de la pénétration d'un poinçon dans le métal sous l'effet d'une charge constante. La forme du poinçon (ou pénétrateur) ainsi que la valeur de la charge appliquée varient selon le type d'essai. On distingue

- l'essai Brinell (dureté HB)
- l'essai Rockwell,
- l'essai Vickers.



Le contrôle des soudures

Page 2/8

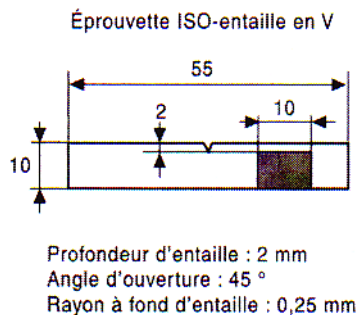
Dans le cas des soudures, l'essai de micro-dureté Vickers présente l'intérêt de donner des empreintes de très petites dimensions qui permettent ainsi d'apprécier des variations de dureté sur de très faibles distances, comme par exemple suivant la largeur des zones thermiquement affectées. C'est pourquoi, cet essai est très utilisé pour la caractérisation des soudures au moyen d'une succession de micro-empreintes régulièrement espacées dans une direction donnée appelée filiation de dureté.

Prélèvements dans l'axe de la zone fondue

1.5 L'ESSAI DE RÉSILIENCE CHARPY

C'est un essai de rupture qui permet d'évaluer le risque d'une rupture fragile dans un matériau ou un assemblage soudé, c'est-à-dire la possibilité pour une entaille de se développer brutalement. L'essai Charpy permet également de déterminer une température de transition en dessous de laquelle le matériau aura un comportement fragile.

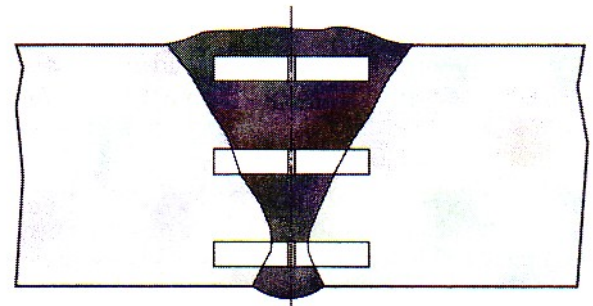
Dans le cas des soudures bout à bout planes ou circulaires, l'essai de résilience qui peut être effectué à toute température, est réalisé sur des éprouvettes entaillées en V. Une norme définit les emplacements de prélèvement des éprouvettes dans l'épaisseur de la soudure ainsi que par rapport aux différentes zones de celle-ci. Comme indiqué sur la figure, les éprouvettes sont toujours prélevées en travers de la soudure et le plan de l'entaille est disposé parallèlement à l'axe du joint soudé et perpendiculairement aux surfaces de l'assemblage.



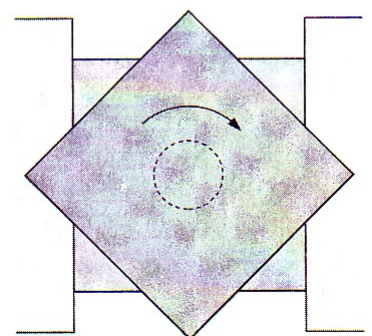
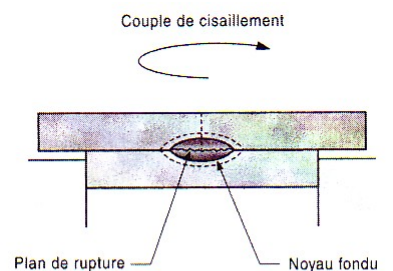
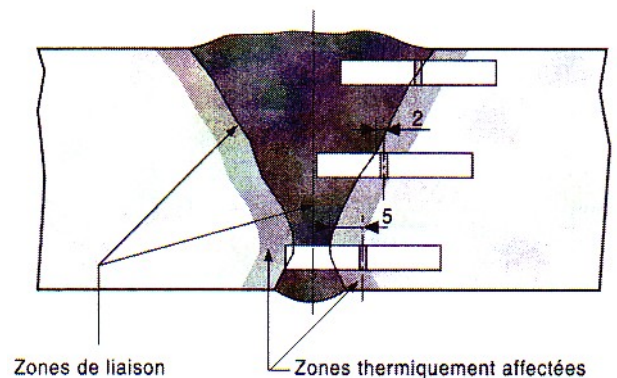
1.6. LES ESSAIS DE TORSION ET DE DÉBOUTONNAGE

Dans certains domaines comme le soudage par résistance par points qui est très utilisé en constructions automobile et aéronautique, le réglage initial des paramètres de soudage et la vérification de leur constance dans le temps sont encore basés sur la destruction de coupons de production par cisaillement (essai de torsion) ou arrachement (essai de déboutonnage) de chacun des points de ces coupons comme représenté sur la figure ci-contre

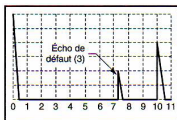
L'essai de cisaillement par torsion d'un point unique permet de mesurer la valeur du couple nécessaire à la rupture du point et d'en apprécier ainsi le comportement mécanique.



Prélèvements en zones de liaison et thermiquement affectées



Essai de torsion d'un point de soudure.



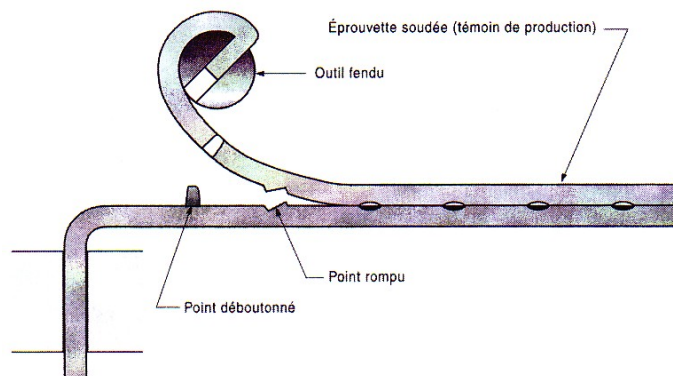
Le contrôle des soudures

Page 3/8

Plus rapide est l'essai de déboutonnage effectué dans un étau à l'aide d'un outil fendu tel un ouvre-boîte qui permet de mesurer la section réelle des noyaux fondus et de révéler la présence de défauts internes (collages, retassures, fissures).

1.7 LES COUPES MACROGRAPHIQUES

L'examen non destructif d'une soudure, notamment au cours d'un contrôle par ultrasons peut donner des indications qu'il n'est pas toujours possible d'identifier avec certitude. Si ces indications sont imputables au mode opératoire de soudage ou à une inaptitude du soudeur, Il est vraisemblable qu'elles affectent également la soudure de l'appendice témoin réalisée au moyen de ce mode opératoire ou de ce soudeur.



Essai de déboutonnage d'une série de points

Cette soudure devra faire l'objet de coupes transversales au droit des zones contenant des indications identiques à celles des assemblages de production.

1.8 LES ESSAIS HYDRAULIQUES

Ces essais sont :

- destructifs lorsque conduits jusqu'à l'éclatement d'une capacité,
- non destructifs s'il s'agit d'une épreuve hydraulique réglementaire.

Les essais d'éclatement réalisés sur des capacités ne sont applicables qu'à des fabrications en grande série d'appareils identiques dont les bouteilles à gaz liquéfié (butane, propane) sont l'exemple le plus important.

Destinés à un contrôle global d'une fabrication, ces essais ont un caractère statistique puisqu'ils ne sont effectués que par prélèvement d'une capacité par lot constitué d'un certain nombre d'appareils identiques.

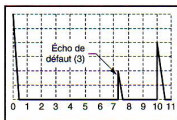
A l'issue de la rupture, il est procédé à l'examen visuel de la cassure qui ne doit pas avoir les soudures pour origine ainsi qu'à une mesure de l'augmentation volumétrique de la capacité qui, selon la réglementation, doit être supérieure ou égale à une valeur imposée.

2 Les méthodes de contrôle semi-destructif

Appartiennent à cette catégorie les trépanations locales auxquelles sont soumises les soudures lorsqu'un défaut non tolérable vis-à-vis des critères d'acceptation a été décelé.

Ces blessures intentionnelles du métal déposé et des zones adjacentes sont utilisées afin d'éliminer un défaut ou de mettre celui-ci à jour pour en permettre l'identification. Elles peuvent être effectuées

- par meulage,
- par burinage,
- ou de plus en plus fréquemment par gougeage au moyen du procédé « arc-air », lequel associe un arc électrique établi entre le métal à éliminer et une électrode en carbone, et un jet d'air comprimé qui chasse le métal en fusion. Ce dernier procédé ne doit pas être utilisé sur les aciers susceptibles de présenter un risque de trempe.



Le contrôle des soudures

Page 4/8

Ces contrôles semi-destructifs comprennent également le prélèvement mécanique par fraisage d'un échantillon de soudure contenant le défaut détecté qui sera soumis, en laboratoire, à des examens métallographiques destinés à déterminer la nature et l'origine de ce défaut.

Enfin, quelle que soit la technique retenue pour l'élimination du métal, la forme de la saignée doit en permettre une réparation aisée par soudage.

3 Les méthodes de contrôle non destructif

Les méthodes de contrôle non destructif à caractère industriel sont nombreuses et les plus utilisées d'entre elles dans l'industrie métallurgique sont transposables aux soudures. Ainsi sont mis en oeuvre pour l'examen des assemblages soudés de tous types

- le contrôle visuel,
- le contrôle par ressuage,
- le contrôle magnétoscopique,
- le contrôle par courants de Foucault,
- les contrôles radiologiques,
- le contrôle par ultrasons.

Ces méthodes sont utilisées tout au long d'une fabrication et notamment :

- **avant** soudage pour détecter les défauts dans les matériaux de base lors de leur réception et avant leur mise en œuvre ;
- **pendant** soudage afin de déceler, lorsque cela est possible, les défauts immédiatement après leur formation, donc avant que la soudure ne soit terminée, ce qui facilite leur réparation éventuelle en réduisant la quantité de métal à éliminer;
- **après** soudage pour rechercher et caractériser les défauts au stade final de la fabrication. Lorsqu'un traitement thermique doit être effectué, les contrôles sont mis en oeuvre avant et éventuellement après celui-ci si des fissures sont à redouter lors de ce traitement.

3.1 LES MÉTHODES DE CONTRÔLE SUPERFICIEL

Se classent dans cette catégorie, le contrôle visuel, le contrôle par ressuage, le contrôle magnétoscopique et le contrôle par courants de Foucault.

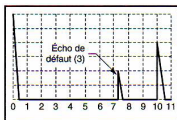
3.1.1 LE CONTRÔLE VISUEL

La détection et l'identification des défauts sont ici assurées directement par l'oeil de l'opérateur assisté ou non d'un dispositif optique approprié. Ce contrôle ne concerne donc que les défauts qui débouchent sur les surfaces accessibles des pièces ou des soudures.

3.1.2 LE CONTRÔLE PAR RESSUAGE

En raison de son principe, le contrôle par ressuage ne concerne que les défauts qui débouchent sur les surfaces accessibles des pièces en général et des soudures en particulier. Cette méthode permet la détection, l'identification et le dimensionnement de la partie apparente des défauts.

Le ressuage, et c'est le plus important de ses avantages, permet de contrôler tous les matériaux à condition qu'ils ne présentent pas une structure naturellement poreuse. Les phénomènes mis en jeu permettent notamment un grossissement de l'image du défaut



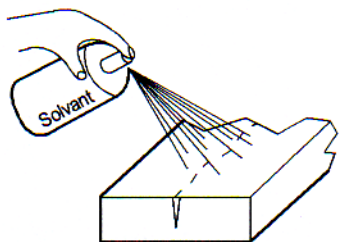
Le contrôle des soudures

Page 5/8

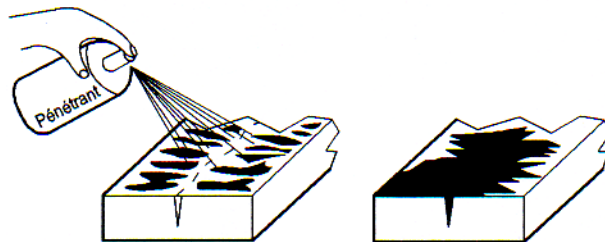
Ce procédé de contrôle permet de détecter des défauts débouchants en surface sur la plupart des matériaux tels que métaux, verre, céramique, plastique..., à condition que ceux-ci ne soient pas poreux ou que leur surface ne soit pas trop rugueuse. Il convient particulièrement pour l'examen des aciers inoxydables ou des alliages légers pour lesquels la magnétoscopie ne peut être utilisée. Il permet également la recherche de défauts dans les endroits difficiles d'accès pour les autres méthodes; c'est une méthode autonome, simple et concrète dont l'interprétation est directe.

Principe de la méthode

Sur une surface propre, exempte de pollutions susceptibles de colmater les défauts débouchants, on applique par pulvérisation, arrosage ou immersion, un liquide contenant un système de traceurs colorés, ou fluorescents, appelé pénétrant.

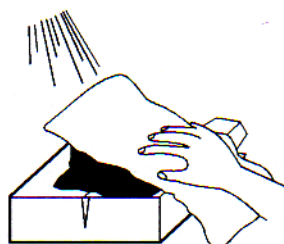


(a) Nettoyage préalable

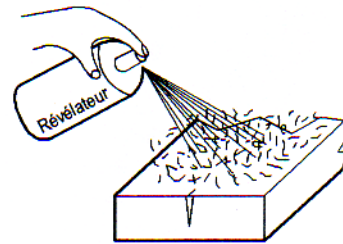


(b) Application du pénétrant et imprégnation

Après une période d'imprégnation de l'ordre de 15 à 20 min (valeur adoptée dans la plupart des codes de construction), au cours de laquelle le pénétrant vient, par capillarité, remplir les discontinuités de surface, on élimine l'excès de pénétrant en surface.

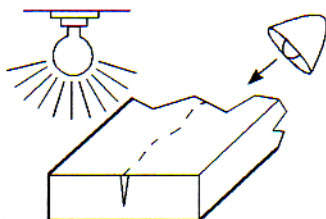


(c) Élimination du pénétrant en excès

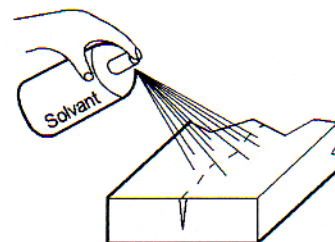


(d) Application du révélateur (humide ou sec)

Cette élimination peut se faire à l'aide d'eau, d'émulsifiant et/ou de solvant spécial, suivant le type de pénétrant employé. Cette phase doit s'effectuer avec un maximum de précautions afin de ne pas vider les défauts éventuels.



(e) Examen (lumière blanche ou U.V. si fluorescent)

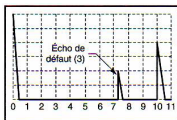


(f) Nettoyage final

Un second produit appelé révélateur, constitué d'agents capillaires puissants, est appliqué sur la surface, soit en poudre sèche soit en poudre en suspension, dans un liquide porteur aqueux ou volatil. Son action est de faire « ressuer », c'est-à-dire remonter le pénétrant hors des discontinuités dans lesquelles il s'était infiltré par rétention capillaire

Ressuage pénétrant pré-émulsionné en six étapes.

- a) Premier temps : nettoyage préalable.
- b) Deuxième temps : application du pénétrant et imprégnation.
- c) Troisième temps : élimination du pénétrant en excès.
- d) Quatrième temps : application du révélateur, humide ou sec.
- e) Cinquième temps : examen à la lumière blanche ou sous ultraviolets si fluorescent.
- f) Sixième temps : nettoyage final.



Le contrôle des soudures

Page 6/8

3.1.3 LE CONTRÔLE PAR MAGNÉTOSCOPIE

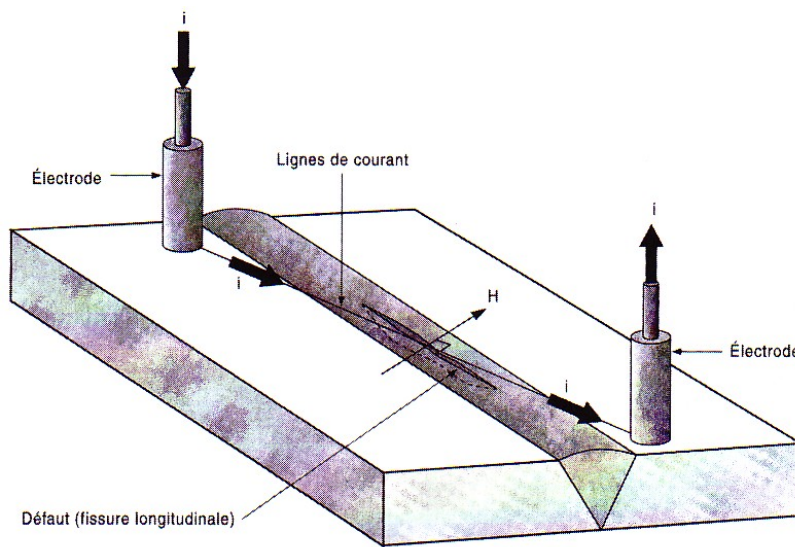
Le contrôle magnétoscopique ou contrôle par aimantation, ne s'applique qu'aux matériaux métalliques dont le caractère ferro-magnétique est suffisamment important. En d'autres termes, il apparaît ainsi que le domaine d'application de cette méthode est beaucoup plus réduit que celui du ressuage.

En revanche ce contrôle permet non seulement la détection de défauts plans débouchant, mais également celle des défauts plans non débouchant situés à moins de 4 à 5 mm de la surface examinée.

La méthode consiste à soumettre la pièce à contrôler à l'action d'un champ magnétique d'une intensité suffisante pour travailler dans une zone située au-dessus de la valeur maximale de la perméabilité magnétique.

Les discontinuités éventuelles provoquent un champ de fuite très intense et la différence de potentiel magnétique est matérialisée par l'application, par saupoudrage pendant la période d'aimantation

- soit d'une poudre magnétique
- soit d'une liqueur magnétique contenant en suspension une poudre magnétique à grains fins



Aimantation indirecte par passage d'un courant électrique dans la soudure : disposition des électrodes sur la pièce.

3.1.4 LE CONTRÔLE PAR COURANTS DE FOUCAULT

Le contrôle par courants de Foucault ne s'applique qu'aux matériaux conducteurs de l'électricité. Il se prête bien à l'automatisation du contrôle de produits de révolution de grande longueur; il autorise également des vitesses de défilement élevées mais la profondeur d'investigation sous la surface est limitée. Il n'y a pas contact entre le système et le produit examiné.

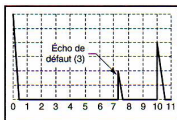
Principe de détection

La pièce à contrôler est soumise à l'action d'un champ magnétique alternatif qui crée des courants induits dans le matériau. Selon les applications souhaitées et la nature des produits à contrôler, la fréquence de l'onde sinusoïdale de base est comprise entre quelques hertz et quelques mégahertz.

Les courants induits dans la pièce voient leur parcours affecté par des perturbations qui conduisent à une modification du champ induit. Celui-ci s'opposant à chaque instant au champ exciteur, il en résulte donc une modification de l'impédance du capteur qui provoque un déséquilibre électrique du système.

L'opérateur observe en temps réel sur l'écran d'un tube cathodique la signature caractéristique du signal de déséquilibre au passage du défaut, par l'intermédiaire d'un système qui compare le signal de déséquilibre au signal de référence.

La détection est réalisée en fonction de la nature de l'application, soit à l'aide de sondes internes pour les produits tubulaires, de bobines encerclantes pour les produits longs, ou de sondes ponctuelles pour les contrôles surfaciques.



Le contrôle des soudures

Page 7/8

3.2 LES MÉTHODES DE CONTRÔLE INTERNE

Se classent dans cette catégorie, le contrôle par émission acoustique, le contrôle par rayonnements ionisants et le contrôle par ultrasons.

3.2.1 LE CONTRÔLE PAR EMISSION ACCOUSTIQUE

L'émission acoustique est l'une des plus récentes méthodes spéciales de contrôle. Elle permet un contrôle global d'une structure et détecte les seuls défauts significatifs, c'est-à-dire ceux qui sont évolutifs. C'est également un outil d'aide à la mise au point de pièces ou de matériaux nouveaux : composites, plastique, ..., un outil particulièrement performant sur les pièces prototypes : comparaison de différentes versions d'un même objet, suivi de phénomènes de dégradation, caractérisation des tenues mécaniques.

Principe de base

L'émission d'ondes de contraintes communément appelée « émission acoustique » désigne la création spontanée d'ondes élastiques dans un matériau soumis à un champ de sollicitations d'origines mécaniques ou thermiques. La libération discontinue d'énergie qui se produit au moment d'un changement brutal et irréversible de l'état de la matière, par exemple création ou évolution d'un défaut, se traduit en totalité, ou en partie, par des trains d'ondes mécaniques.

La détection par des capteurs adaptés permet, dans certains cas, de mettre en évidence ces phénomènes de rupture et ainsi d'accéder à leur connaissance.

L'émission acoustique est une méthode de contrôle dynamique, elle ne peut être appliquée qu'à un matériau soumis à un champ de contraintes.

Une chaîne d'émission acoustique comporte deux fonctions essentielles : la détection et l'exploitation. L'élément intermédiaire est un détecteur piézo-électrique de fréquence propre élevée ou un détecteur électrodynamique qui transforme en signaux électriques les sollicitations mécaniques reçues. Ce détecteur, couplé acoustiquement au matériau soumis à sollicitations, est relié à l'ensemble d'acquisition et de traitement par un système adapté à la nature particulière des signaux d'émission acoustique.

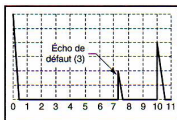
Au niveau de l'exploitation, les signaux subissent, dans un premier temps, une filtration de fréquences afin d'éliminer les bruits parasites, avant d'être traités de façon plus ou moins complexe en fonction des besoins de l'application. Ce traitement analogique ou digital fournit des informations sur les points suivants

- l'amplitude des signaux,
- le nombre d'événements détectés,
- l'énergie de ces événements,
- les caractéristiques des signaux et divers autres paramètres.

3.2.2 LE CONTRÔLE PAR RAYONNEMENTS IONISANTS

L'examen par rayonnements ionisants (radiologie industrielle, radiographie) est un procédé permettant le contrôle volumique de pièces; il est applicable dans des conditions industrielles jusqu'à des épaisseurs de 500 mm. Ce procédé permet de déceler deux types de défauts

- les défauts volumiques à partir d'une certaine dimension, fonction de la sensibilité globale obtenue,
- et les défauts plans à condition qu'ils soient de dimensions suffisantes et favorablement orientés par rapport à l'axe du rayonnement.



Le contrôle des soudures

Page 8/8

Principe de la méthode

Il consiste à faire traverser la pièce à contrôler par un rayonnement électromagnétique, issu soit d'un poste à rayonnement X soit d'un radionucléide (source radioactive), et à impressionner un film avec le rayonnement émergent. Les images obtenues résultent des variations de l'intensité du rayonnement après son passage à travers la pièce examinée. Ces variations d'intensité correspondent à des différences d'absorption du rayonnement dues à la présence d'hétérogénéités dans la zone traversée. Les variations se traduisent par des différences de noircissement sur le film.

3.2.3 LE CONTRÔLE PAR ULTRASONS

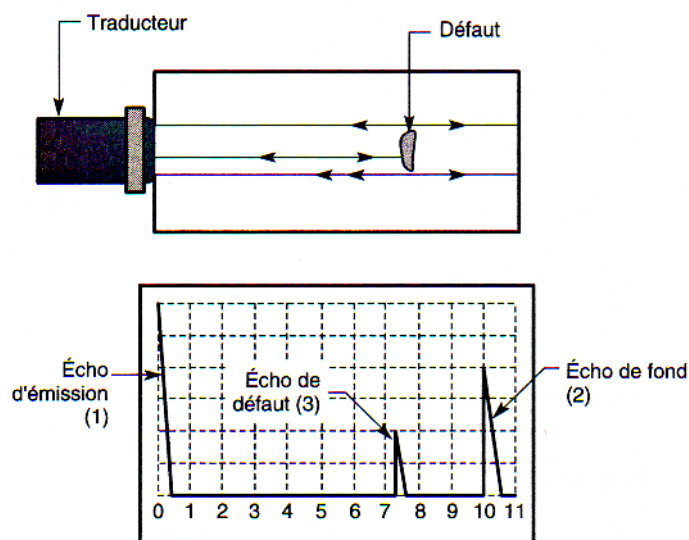
Depuis quelques années, les équipements de contrôle par ultrasons, en se perfectionnant, ont beaucoup gagné en précision, tandis que la technique de leur emploi s'est affinée. En conséquence, ce procédé a considérablement élargi son domaine de possibilités, et ce dans des secteurs d'applications très diversifiés. L'introduction de l'informatique et le traitement du signal offrent encore des possibilités accrues, tant au niveau exploitation de l'information qu'au niveau performance de l'analyse.

Principe de base

Les ondes élastiques de haute fréquence (généralement de 1 à 15 MHz), ou ultrasons, se propagent facilement dans les liquides et les solides.

L'analyse de l'énergie ultrasonore transmise à travers la pièce à contrôler, et réfléchiée par des discontinuités internes, constitue la base de la méthode. L'évaluation de l'importance d'un défaut est possible par l'analyse de l'amplitude des signaux délivrés par un transducteur acoustique et par la mesure des déplacements de ce transducteur.

De plus, la vitesse de propagation des ondes ultrasonores étant constante dans un matériau donné, l'analyse temporelle de ces signaux permet une localisation en profondeur du réflecteur.



Réfectogramme d'un défaut par le procédé par écho.