Les Cahiers du RSA
Le magazine des Aviateurs Constructeurs et Restaurateurs d'Aéronefs

Secrets de constructeurs

AC 43.13-1B - Méthodes, techniques et pratiques acceptables. Inspection et réparation des aéronefs. Version française.

FÉDÉRATION RSA
La passion de l'aviation

Chapitre 5. CONTRÔLES NON DESTRUCTIFS

Hors Série web diffusé sur www.rsafrance.com - Janvier 2023

FÉDÉRATION

RSA

La passion de l'aviation

« L'aviation nous rapproche, mais l'amitié nous unit. »

Paul Poberezny

Innovation
Responsabilité
Grandes amitiés
Aventures humaines
Nouvelles compétences
Passion accessible à toutes et tous
Défis techniques et environnementaux
Sauvegarde du patrimoine aéronautique

La Fédération RSA regroupe 2400 passionnés, aviateurs constructeurs, restaurateurs et propriétaires d'aéronefs de tous types et pour tous les budgets.

Venez nous rencontrer dans les Clubs RSA, lors des rassemblements et en webinaires.

Quel sera votre prochain défi aéro ?

Fédération française des constructeurs et restaurateurs d'aéronefs
Association Reconnue d'Utilité Publique

46, rue Sauffroy - 75017 Paris
+33 (0)1 42 28 25 54 - info@rsafrance.com

www.rsafrance.com

Conception & réalisation Fédération RSA, PC. Photos collection RSA. © 2023-02

FÉDÉRATION RSA
La passion de l'aviation

Les Cahiers du RSA
Revue trimestrielle
éditée par la
Fédération française
des constructeurs et des
collectionneurs d'aéronefs.

Fondateur
Sylvain Badez
Directeur de la publication
Dominique Simon
Réalisation des Dossiers
Secrets de Constructeurs
Patrick Cottereau

Ont participé à ce numéro :
Pascal Teil, Michel Suire et Jacky Souillard pour la relecture de la traduction réalisée par Patrick Cottereau

Photo de couverture :
Bâti moteur de Jurca Spérocco, par Noël De Simone

et les photographes bénévoles.
Mis en page par la rédaction.

Fédération RSA
(Réseau du Sport de l'Air)
46, rue Sauffroy, 75017 Paris

Tél. : 01 42 28 25 54
www.rsafrance.com
info@rsafrance.com

Publicité & articles
cahiers@rsafrance.com

Informations sur
www.rsafrance.com

Revue fédérale envoyée
à tous les membres
de la Fédération RSA.

Association Reconnue
d'Utilité Publique

Commission paritaire
62631
ISSN : 0295-9003

Dépot légal
A parution

Hors série web
Diffusion janvier 2023

Toutes les marques citées sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. La Fédération RSA ne peut en aucun cas être tenue pour responsable de l'application des pratiques citées dans Les Cahiers du RSA.

Présentation

Le document AC43.13-1B est édité gratuitement par l'administration américaine (FAA), depuis la fin des années 80, afin de diffuser les bonnes pratiques d'inspection et de réparation des aéronefs.

Cette circulaire consultative (AC pour Advisory Circular) contient des méthodes, techniques et pratiques acceptables pour l'inspection et la réparation des zones non pressurisées des aéronefs civils, uniquement lorsqu'il n'existe pas d'instructions de réparation ou d'entretien du constructeur. Ces informations concernent généralement les réparations mineures. Les réparations identifiées dans cette circulaire ne peuvent être utilisées que comme base pour l'approbation des réparations majeures. Les informations relatives aux réparations peuvent également être utilisées comme référentiel, et le chapitre, la page et le paragraphe de l'AC cités dans vos dossiers d'intervention lorsque :

a. vous avez déterminé qu'elles sont appropriées pour le matériel à réparer ;

b. elles sont directement applicables à la réparation effectuée ; et

c. elles ne sont pas contraires aux recommandations du constructeur.

Notez que l'AC 43.13-1B annule et remplace l'AC 43.13-1A de 1988. Notez également l'existence de l'AC 43.13-2B qui traite de la modification des aéronefs.

Constatant qu'il n'existe pas d'équivalent en Europe, et ce document étant incontournable dans le milieu de la maintenance aéronautique, la Fédération RSA vous propose ici une version traduite en Français, gardant en page gauche la version anglaise pour référence.

Afin de ne pas attendre la traduction des 646 pages du document original, nous vous proposons une mise à disposition par Chapitre, le Chapitre 1 sur les structures en bois, le 2 concernant l'entoilage et le 3 sur les composites et plexiglas ayant été traduits en 2020 et le chapitre 4 sur les structures en métal en septembre 2021, voici le Chapitre 5 sur les contrôles non destructifs. Les suivants concerneront la corrosion, sa détection et sa protection (6), l'accastillage - câbles de contrôle et tendeurs (7), le groupe motopropulseur (8), les composants et systèmes (9), la pesée et le centrage (10), les systèmes électriques (11) pour terminer avec les facteurs humains (13).

Nous remercions ici tous les contributeurs qui, outre atlantique, ont permis la compilation de dizaines d'années de savoir-faire, et l'équipe RSA qui m'a aidé pour la relecture.

Entretenez et réparez sérieusement !

Patrick Cottereau

CONTENTS (CONTINUED)

Paragraph Page

CHAPTER 5. NONDESTRUCTIVE INSPECTION (NDI)

SECTION 1. GENERAL

5-1. General....5-1
5-2. Approved Procedures....5-1
5-3. NDT Levels....5-1
5-4. Training, Qualification, and Certification....5-2
5-5. Flaws....5-2
5-6. Selecting the NDI Method....5-5
Table 5-1. Advantages and Disadvantages of NDI Methods....5-7
5-7. Types of Inspections....5-6
5-8.—5-14. [RESERVED.]....5-7

SECTION 2. VISUAL INSPECTION

5-15. General....5-9
5-16. Simple Visual Inspection Aids....5-9
5-17. Borescopes....5-10
Figure 5-1. Typical Borescope Designs....5-11

4 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Sommaire du Chapitre 5

Page **Rubrique**

SECTION 1. GÉNÉRALITÉS

13 5-1. GÉNÉRALITÉS.
13 5-2. PROCÉDURES APPROUVÉES.
13 5.3. NIVEAUX DE CND.
15 5-4. FORMATION, QUALIFICATION ET CERTIFICATION.
15 5-5. DÉFAUTS.
21 5-6. SÉLECTION DE LA MÉTHODE CND.
23 5-7. TYPES D'INSPECTIONS.
25 5-8. - 5-14. [RÉSERVÉ.]

SECTION 2. INSPECTION VISUELLE

27 5-15. GÉNÉRALITÉS.
27 5-16. ASSISTANCES SIMPLES D'INSPECTION VISUELLE.
29 5-17. ENDOSCOPES.
29 5-18. PROCÉDURES D'INSPECTION VISUELLE.
35 5-19.- 5-24. [RÉSERVÉ.]

CONTENTS (CONTINUED)

Paragraph Page

5-18. Visual Inspection Procedures 5-10
Figure 5-2. Using a flashlight to Inspect for Cracks 5-13
5-19.—5-24. [RESERVED.] 5-13

SECTION 3. EDDY CURRENT INSPECTION

5-25. Eddy Current Inspection 5-15
Figure 5-3. Generating an Eddy Current 5-15
Figure 5-4. Detecting an Eddy Current 5-15
Figure 5-5. Typical Instrument Displays 5-16
5-26. Eddy Current Coils and Probes 5-15
5-27. Field Application of Eddy Current Inspection 5-15
5-28. Surface Inspection 5-16
Figure 5-6. Typical Surface Cracks 5-16
5-29. Subsurface Inspection 5-17
Figure 5-7. Typical Subsurface Cracks 5-18
5-30. Corrosion Inspection 5-17
Figure 5-8. Typical Structural Corrosion 5-18
5-31. Establishing Eddy Current Inspection Procedures 5-17
5-32.—5-39. [RESERVED.] 5-18

SECTION 4. MAGNETIC PARTICLE INSPECTION

5-40. General 5-19
5-41. Principles of Operation 5-19
Figure 5-9. Magnetic field Disrupted 5-19
Figure 5-10. Crack Detection by Magnetic Particle Inspection 5-19
5-42. Applications 5-20
5-43. Electrical Magnetizing Equipment 5-20
5-44. Materials Used in Magnetic Particle Inspection 5-20
Table 5-2. Listing of Commonly Accepted Standards and Specifications for Magnetic Particle Inspection 5-21
5-45. Preparation of Surface 5-22
5-46. Methods of Examination 5-22
5-47. Application of Magnetic Particles 5-22
5-48. Magnetization 5-23
Figure 5-11. Circular Magnetization 5-23
Figure 5-12. Longitudinal Magnetization 5-24
5-49. Determination of Field Strength 5-25
5-50. Special Examination Techniques 5-25
5-51. Demagnetization and Post-Examination Cleaning 5-27
5-52.—5-59. [RESERVED.] 5-28

SECTION 5. PENETRANT INSPECTION

5-60. General 5-29
Figure 5-13. Penetrant and Developer Action 5-30
5-61. Equipment Used in the Penetrant Inspection Process 5-29
Table 5-3. Classification of Penetrant Inspection Materials Covered by MIL-I-25135E 5-30

6 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

SECTION 3. INSPECTION PAR COURANTS DE FOUCAULT

37 5-25. INSPECTION PAR COURANTS DE FOUCAULT.
37 5-26. BOBINES ET SONDES À COURANTS DE FOUCAULT.
37 5-27. APPLICATION SUR SITE DU CONTRÔLE PAR COURANTS DE FOUCAULT.
39 5-28. INSPECTION DE SURFACE.
41 5-29. INSPECTION SOUS LA SURFACE.
41 5-30. INSPECTION DE LA CORROSION.
41 5-31. ÉTABLISSEMENT DES PROCÉDURES D'INSPECTION PAR COURANTS DE FOUCAULT.
43 5-32.- 5-39. [RÉSERVÉ.]

SECTION 4. INSPECTION AVEC PARTICULES MAGNÉTIQUES

45 5-40. GÉNÉRALITÉS.
45 5-41. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT.
47 5-42. APPLICATIONS.
47 5-43. ÉQUIPEMENT DE MAGNÉTISATION ÉLECTRIQUE.
47 5-44. MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LE CONTRÔLE PAR MAGNÉTOSCOPIE.
51 5-45. PRÉPARATION DE LA SURFACE.
51 5-46. MÉTHODES D'EXAMEN.
53 5-48. MAGNÉTISATION.
57 5-49. DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DU CHAMP.
57 5-50. TECHNIQUES D'EXAMEN SPÉCIALES.
61 5-51. DÉMAGNÉTISATION ET NETTOYAGE APRÈS EXAMEN.
63 5-52.- 5-59. [RÉSERVÉ.]

SECTION 5. INSPECTION PAR RESSUAGE

65 5-60. GÉNÉRALITÉS.
65 5-61. ÉQUIPEMENT UTILISÉ DANS LE PROCESSUS DE CONTRÔLE PAR RESSUAGE.
65 5-62. ÉTAPES DE BASE POUR EFFECTUER UN CONTRÔLE PAR RESSUAGE.
73 5-63. NETTOYANTS ET LEUR APPLICATION.
75 5-64. NORMES TECHNIQUES.

CONTENTS (CONTINUED)

Paragraph Page

5-62. Basic Steps to Perform Penetration Inspection 5-29
Table 5-4. Fluorescent and Visible Penetrant Inspection General Processing Procedures Flowsheet 5-31
Table 5-5. Pre-Cleaning Methods for Penetrant Inspection 5-32
5-63. Cleaners and Applicators 5-33
5-64. Technical Standards 5-34
Table 5-6. Listing of Commonly Accepted Standards and Specifications for Penetrant Inspection 5-35
5-65.—5-72. [RESERVED.] 5-35

SECTION 6. RADIOGRAPHY (X-RAY) INSPECTION

5-73. General 5-37
Figure 5-14. Radiography 5-38
5-74. Limitations 5-37
5-75. Film or Paper Radiography 5-37
5-76. Real-Time Radiography 5-37
5-77. Advantage of Real-Time Radiography Over Film Radiography 5-37
5-78. Computed Tomography (CT) 5-37
5-79. Uses of Radiography 5-38
5-80. Comparison with Other NDI Methods 5-38
5-81. Flaws 5-39
5-82. Field Inspection 5-39
5-83. Safety 5-39
5-84.—5-88. [RESERVED.] 5-39

SECTION 7. ULTRASONIC INSPECTION

5-89. General 5-41
Figure 5-15. Ultrasound 5-42
5-90. Sound Reflection 5-41
5-91. Ultrasonic Inspection Techniques 5-41
Figure 5-16. Pulse-Echo and through-Transmission Ultrasonic Inspection Techniques 5-42
5-92. Flaw Detection 5-41
5-93. Basic Equipment 5-41
Figure 5-17. Typical Portable Ultrasonic Inspection Instrument 5-43
Figure 5-18. Example of Position fixture and Shoe 5-44
Figure 5-19. Example of the Use if a Transducer Positioning Fixture 5-44
Figure 5-20. Example of a Typical Reference Standard 5-44
5-94. Inspection of Bonded Structures 5-43
Figure 5-21. Examples of Bonded Structure Configurations and Suggested Inspection Coverage 5-47
Table 5-7. Acceptable Ultrasonic Inspection Methods Associated with the Example Bonded Structure Configurations Shown in Figure 5-21. 5-48
Table 5-8. Ultrasonic Inspection Methods for Bonded Structures 5-49
5-95. Bond Testing Instruments 5-46
5-96. Thickness Measurements 5-50
5-97. Leak Testing 5-50
5-98.—5-104. [RESERVED.] 5-51

8 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

SECTION 6. INSPECTION PAR RADIOGRAPHIE (RAYONS X)

79 5-73. GÉNÉRALITÉS.
79 5-74. LIMITES.
79 5-75. RADIOGRAPHIE SUR FILM OU SUR PAPIER.
79 5-76. RADIOGRAPHIE EN TEMPS RÉEL.
79 5-77. AVANTAGE DE LA RADIOGRAPHIE EN TEMPS RÉEL SUR LA RADIOGRAPHIE SUR FILM.
79 5-78. TOMOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (CT).
81 5-79. UTILISATIONS DE LA RADIOGRAPHIE.
81 5-80. COMPARAISON AVEC D'AUTRES MÉTHODES DE CONTRÔLE NON-DESTRUCTIF.
83 5-81. DÉFAUTS.
83 5-82. INSPECTION SUR PLACE.
83 5-83. SÉCURITÉ.
83 5-84.- 5-88. [RÉSERVÉ.]

SECTION 7. INSPECTION PAR ULTRASONS

85 5-89. GÉNÉRALITÉS.
85 5-90. RÉFLEXION DU SON.
85 5-91. TECHNIQUES DE CONTRÔLE PAR ULTRASONS.
85 5-92. DÉTECTION DES DÉFAUTS.
85 5-93. ÉQUIPEMENT DE BASE.
94 5-94. INSPECTION DES STRUCTURES COLLÉES.
95 5-95. INSTRUMENTS D'ESSAI DE COLLAGE.
103 5-96. MESURES D'ÉPAISSEUR.
103 5-97. ESSAI D'ÉTANCHÉITÉ.
105 5-98.- 5-104. [RÉSERVÉ.]

CONTENTS (CONTINUED)

Paragraph Page

SECTION 8. TAP TESTING

5-105. General....5-53
Figure 5-22. Sample of Special Tap Hammer....5-53
5-106.—5-111. [RESERVED.]....5-53

SECTION 9. ACOUSTIC-EMISSION

5-112. General....5-53
5-113. Applications....5-54
5-114.—5-119. [RESERVED.]....5-54

SECTION 10. THERMOGRAPHY

5-120. General....5-54
5-121.—5-126. [RESERVED.]....5-54

SECTION 11. HOLOGRAPHY

5-127. General....5-54
5-128.—5-133. [RESERVED.]....5-54

SECTION 12. SHEAROGRAPHY

5-134. General....5-55
5-135.—5-140. [RESERVED.]....5-55

10 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

SECTION 8. TEST PAR TAPOTEMENT

107 5-105. GÉNÉRALITÉS.
107 5-106.-5-111. [RÉSERVÉ].

SECTION 9. ÉMISSION ACOUSTIQUE

107 5-112. GÉNÉRALITÉS.
109 5-113. APPLICATIONS.
109 5-114.-5-119. [RÉSERVÉ].

SECTION 10. THERMOGRAPHIE

109 5-120. GÉNÉRALITÉS.
109 5-121.-5-126. [RÉSERVÉ].

SECTION 11. HOLOGRAPHIE

109 5-127. GÉNÉRALITÉS.
109 5-128.- 5-133. [RÉSERVÉ.]

SECTION 12. SHEAROGRAPHIE

111 5-134. GÉNÉRALITÉS.
111 5-135.- 5-140. [RÉSERVÉ.]

CHAPTER 5. NONDESTRUCTIVE INSPECTION (NDI)

SECTION 1. GENERAL

5-1. GENERAL. The field of NDI is too varied to be covered in detail in this Advisory Circular (AC). This chapter provides a brief description of the various Nondestructive Testing (NDT) used for inspection of aircraft, powerplant, and components in aircraft inspection. The effectiveness of any particular method of NDI depends upon the skill, experience, and training of the person(s) performing the inspection process. Each process is limited in its usefulness by its adaptability to the particular component to be inspected. Consult the aircraft or product manufacturer's manuals for specific instructions regarding NDI of their products. (Reference AC 43-3, Nondestructive Testing in Aircraft, for additional information on NDI.

The product manufacturer or the Federal Aviation Administration (FAA) generally specifies the particular NDI method and procedure to be used in inspection. These NDI requirements will be specified in the manufacturer's inspection, maintenance, or overhaul manual; FAA Airworthiness Directives (AD); Supplemental Structural Inspection Documents (SSID); or manufacturer's service bulletins (SB). However, in some conditions an alternate NDI method and procedure can be used. This includes procedures and data developed by FAA certificated repair stations under Title 14 of the Code of Federal Regulations, (14 CFR), part 145.

5-2. APPROVED PROCEDURES. Title 14 CFR, part 43 requires that all maintenance be performed using methods, techniques, and practices prescribed in the current manufacturer's maintenance manual or instructions for continued airworthiness prepared by its manufacturer, or other methods, techniques, and practices acceptable to the administrator. If the maintenance instructions include materials, parts, tools, equipment, or test apparatus necessary to comply with industry practices then those items are required to be available and used as per part 43.

5-3. NDT LEVELS. Reference Air Transport Association (ATA) Specification 105-Guidelines For Training and Qualifying Personnel In Nondestructive Testing Methods.

a. Level I Special.

Initial classroom hours and on-the-job training shall be sufficient to qualify an individual for certification for a specific task. The individual must be able to pass a vision and color perception examination, a general exam dealing with standards and NDT procedures, and a practical exam conducted by a qualified Level II or Level III certificated person.

b. Level I/Level II.

The individual shall have an FAA Airframe and Powerplant Mechanic Certificate, complete the required number of formal classroom hours, and complete an examination.

c. Level III.

(1) The individual must have graduated from a 4 year college or university with a degree in engineering or science, plus 1 year of minimum experience in NDT in an assignment comparable to that of a Level II in the applicable NDT methods: or

(2) The individual must have 2 years of engineering or science study at a university,

12 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Section 1. GÉNÉRALITÉS

5-1. GÉNÉRALITÉS. Le domaine des CND[1] est trop varié pour être couvert en détail dans cette circulaire consultative (AC). Ce chapitre fournit une brève description des divers essais non destructifs (END) utilisés pour l'inspection des aéronefs, des groupes motopropulseurs et des composants dans l'inspection des aéronefs. L'efficacité de toute méthode particulière de CND dépend de la compétence, de l'expérience et de la formation de la ou des personnes qui effectuent le processus d'inspection. L'utilité de chaque processus est limitée par son adaptabilité à l'élément particulier à inspecter. Consultez les manuels du fabricant de l'avion ou du produit pour obtenir des instructions spécifiques concernant le contrôle non destructif de leurs produits. (Voir le document FAA AC 43-3, Nondestructive Testing in Aircraft, pour des informations supplémentaires sur les CND.)

Le fabricant du produit ou l'Administration fédérale de l'aviation (FAA) spécifie généralement la méthode et la procédure CND particulière à utiliser pour l'inspection. Ces exigences CND seront spécifiées dans le manuel d'inspection, de maintenance ou de révision du fabricant, dans les directives de navigabilité (Airworthiness Directive, AD) de la FAA, dans les documents d'inspection structurelle supplémentaires (Supplemental Structural Inspection Documents, SSID) ou dans les bulletins de service (SB) du fabricant. Cependant, dans certaines conditions, une autre méthode et procédure CND peut être utilisée. Ceci inclut les procédures et les données développées par les stations de réparation certifiées par la FAA sous le Titre 14 du Code des Réglementations Fédérales, (14 CFR), partie 145[2].

5-2. PROCÉDURES APPROUVÉES. Le titre 14 du CFR, partie 43, exige que tout l'entretien soit effectué selon les méthodes, les techniques et les pratiques prescrites dans le manuel d'entretien actuel du fabricant ou dans les instructions pour le maintien de la navigabilité préparées par le fabricant, ou selon d'autres méthodes, techniques et pratiques acceptables pour l'administrateur. Si les instructions d'entretien comprennent des matériaux, des pièces, des outils, des équipements ou des appareils d'essai nécessaires pour se conformer aux pratiques de l'industrie, ces articles doivent être disponibles et utilisés conformément à la partie 43.

5-3. NIVEAUX DE CND. Référence à la spécification 105 de l'Association du Transport Aérien (ATA) - Lignes directrices pour la formation et la qualification du personnel aux méthodes de contrôle non destructif.

a. Niveau I Spécial.

Les heures de cours initiales et la formation en cours d'emploi doivent être suffisantes pour qualifier un individu pour la certification d'une tâche spécifique. L'individu doit pouvoir passer un examen de la vue et de la perception des couleurs, un examen général portant sur les normes et les procédures de Contrôle Non Destructif, ainsi qu'un examen pratique mené par une personne certifiée de niveau II ou III.

b. Niveau I/Niveau II.

La personne doit être titulaire d'un certificat de mécanicien de cellules et de groupes motopropulseurs de la FAA, effectuer le nombre requis d'heures de cours théoriques et passer un examen.

c. Niveau III.

(1) L'individu doit être diplômé d'un lycée ou d'une université de 4 ans avec un diplôme en ingénierie ou en sciences, plus 1 an d'expérience minimum en Contrôle Non Destructif dans une affectation comparable à celle d'un niveau II dans les méthodes CND applicables : ou

(2) La personne doit avoir fait deux ans d'études d'ingénierie ou de sciences dans une université, un Lycée ou une école technique, plus deux ans d'expérience en tant que niveau II dans les méthodes d'essais non destructifs appliqués.

(3) La personne doit avoir 4 ans d'expérience de travail en tant que niveau II dans les méthodes CND applicables et passer un examen.

1 NdT : CND pour Contrôles non destructifs, ou NDI pour Non Destructive Inspection en anglais.

2 NdT : Ceci n'est pas forcement le cas dans le cadre de l'EASA en Europe. Veillez à vérifier avec le représentant local de la DGAC en France.

college, or technical school, plus 2 years of experience as a Level II in the applicable NDT methods: or

(3) The individual must have 4 years of experience working as a Level II in the applicable NDT methods and complete an examination.

5-4. TRAINING, QUALIFICATION, AND CERTIFICATION. The success of any NDI method and procedure depends upon the knowledge, skill, and experience of the NDI personnel involved. The person(s) responsible for detecting and interpreting indications, such as eddy current, X-ray, or ultrasonic NDI, must be qualified and certified to specific FAA, or other acceptable government or industry standards, such as MIL-STD-410, Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification, or Air Transport Association (ATA) Specification 105-Guidelines for Training and Qualifying Personnel in Nondestructive Testing Methods. The person should be familiar with the test method, know the potential types of discontinuities peculiar to the material, and be familiar with their effect on the structural integrity of the part.

5-5. FLAWS. Although a specific discussion of flaws and processes will not be given in this AC, the importance of this area should not be minimized. Inspection personnel should know where flaws occur or can be expected to exist and what effect they can have in each of the NDI test methods. Misinterpretation and/or improper evaluation of flaws or improper performance of NDI can result in serviceable parts being rejected and defective parts being accepted.

All NDI personnel should be familiar with the detection of flaws such as: corrosion, inherent flaws, primary processing flaws, secondary processing or finishing flaws, and in-service flaws. The following paragraphs classify and discuss the types of flaws or anomalies that may be detected by NDI.

a. Corrosion. This is the electrochemical deterioration of a metal resulting from chemical reaction with the surrounding environment. Corrosion is very common and can be an extremely critical defect. Therefore, NDI personnel may devote a significant amount of their inspection time to corrosion detection.

b. Inherent Flaws. This group of flaws is present in metal as the result of its initial solidification from the molten state, before any of the operations to forge or roll it into useful sizes and shapes have begun. The following are brief descriptions of some inherent flaws.

(1) Primary pipe is a shrinkage cavity that forms at the top of an ingot during metal solidification, which can extend deep into the ingot. Failure to cut away all of the ingot shrinkage cavity can result in unsound metal, called pipe, that shows up as irregular voids in finished products.

(2) Blowholes are secondary pipe holes in metal that can occur when gas bubbles are trapped as the molten metal in an ingot mold solidifies. Many of these blowholes are clean on the interior and are welded shut into sound metal during the first rolling or forging of the ingot. However, some do not weld and can appear as seams or laminations in finished products.

(3) Segregation is a nonuniform distribution of various chemical constituents that can occur in a metal when an ingot or casting solidifies. Segregation can occur anywhere in the metal and is normally irregular in shape. However, there is a tendency for some constituents in the metal to concentrate in the liquid that solidifies last.

14 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-4. FORMATION, QUALIFICATION ET CERTIFICATION. Le succès de toute méthode et procédure NDI dépend des connaissances, des compétences et de l'expérience du personnel CND impliqué. La ou les personnes responsables de la détection et de l'interprétation des indications, telles que les CND par courants de Foucault, rayons X ou ultrasons, doivent être qualifiées et certifiées selon les normes spécifiques de la FAA ou d'autres normes gouvernementales ou industrielles acceptables, telles que MIL-STD-410, Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification, ou la spécification 105-Guidelines for Training and Qualifying Personnel in Nondestructive Testing Methods de l'Air Transport Association (ATA). La personne doit être familiarisée avec la méthode d'essai, connaître les types de discontinuités potentielles propres au matériau et connaître leur effet sur l'intégrité structurelle de la pièce.

5-5. DÉFAUTS. Bien qu'une discussion spécifique des défauts et des processus ne soit pas fournie dans ce document, l'importance de ce domaine ne doit pas être minimisée. Le personnel d'inspection doit savoir où les défauts se produisent ou peuvent être attendus et quel effet ils peuvent avoir dans chacune des méthodes de test CND. Une mauvaise interprétation et/ou une mauvaise évaluation des défauts ou une mauvaise exécution des tests CND peuvent entraîner le rejet de pièces utilisables et l'acceptation de pièces défectueuses.

Tout le personnel CND doit être familiarisé avec la détection de défauts tels que : la corrosion, les défauts inhérents, les défauts de traitement primaire, les défauts de traitement secondaire ou de finition, et les défauts en service. Les paragraphes suivants classent et discutent des types de défauts ou d'anomalies qui peuvent être détectés par CND.

a. Corrosion. Il s'agit de la détérioration électrochimique d'un métal résultant d'une réaction chimique avec le milieu environnant. La corrosion est très courante et peut constituer un défaut extrêmement critique. Par conséquent, le personnel CND peut consacrer une partie importante de son temps d'inspection à la détection de la corrosion.

b. Défauts inhérents. Ce groupe de défauts est présent dans le métal à la suite de sa solidification initiale à partir de l'état fondu, avant que les opérations de forgeage ou de laminage pour obtenir des tailles et des formes utiles n'aient commencé. Voici une brève description de certains défauts inhérents.

(1) Le tube primaire est une cavité de retrait qui se forme au sommet d'un lingot pendant la solidification du métal et qui peut s'étendre profondément dans le lingot. Si l'on ne parvient pas à éliminer toute la cavité de retrait du lingot, on obtient un métal de mauvaise qualité, appelé tube, qui se manifeste par des vides irréguliers dans les produits finis.

(2) Les trous de soufflure sont des trous secondaires dans le métal qui peuvent se produire lorsque des bulles de gaz sont piégées lors de la solidification du métal fondu dans une lingotière. Beaucoup de ces soufflures sont propres à l'intérieur et sont fermées par soudage dans le métal sain pendant le premier laminage ou forgeage du lingot. Cependant, certains ne se soudent pas et peuvent apparaître comme des joints ou des laminations dans les produits finis.

(3) La ségrégation est une distribution non uniforme de divers constituants chimiques qui peut se produire dans un métal lors de la solidification d'un lingot ou d'une pièce moulée. La ségrégation peut se produire n'importe où dans le métal et est normalement de forme irrégulière. Cependant, certains constituants du métal ont tendance à se concentrer dans le liquide qui se solidifie en dernier.

(4) Porosity is holes in a material's surface or scattered throughout the material, caused by gases being liberated and trapped as the material solidifies.

(5) Inclusions are impurities, such as slag, oxides, sulfides, etc., that occur in ingots and castings. Inclusions are commonly caused by incomplete refining of the metal ore or the incomplete mixing of deoxidizing materials added to the molten metal in the furnace.

(6) Shrinkage cracks can occur in castings due to stresses caused by the metal contracting as it cools and solidifies.

c. Primary Processing Flaws. Flaws which occur while working the metal down by hot or cold deformation into useful shapes such as bars, rods, wires, and forged shapes are primary processing flaws. Casting and welding are also considered primary processes although they involve molten metal, since they result in a semi-finished product. The following are brief descriptions of some primary processing flaws:

(1) Seams are surface flaws, generally long, straight, and parallel to the longitudinal axis of the material, which can originate from ingot blowholes and cracks, or be introduced by drawing or rolling processes.

(2) Laminations are formed in rolled plate, sheet, or strip when blowholes or internal fissures are not welded tight during the rolling process and are enlarged and flattened into areas of horizontal discontinuities.

(3) Cupping is a series of internal metal ruptures created when the interior metal does not flow as rapidly as the surface metal during drawing or extruding processes. Segregation in the center of a bar usually contributes to the occurrence.

(4) Cooling cracks can occur in casting due to stresses resulting from cooling, and are often associated with changes in cross sections of the part. Cooling cracks can also occur when alloy and tool steel bars are rolled and subsequently cooled. Also, stresses can occur from uneven cooling which can be severe enough to crack the bars. Such cracks are generally longitudinal, but not necessarily straight. They can be quite long, and usually vary in depth along their length.

(5) Flakes are internal ruptures that can occur in metal as a result of cooling too rapidly. Flaking generally occurs deep in a heavy section of metal. Certain alloys are more susceptible to flaking than others.

(6) Forging laps are the result of metal being folded over and forced into the surface, but not welded to form a single piece. They can be caused by faulty dies, oversized dies, oversized blanks, or improper handling of the metal in the die. They can occur on any area of the forging.

(7) Forging bursts are internal or external ruptures that occur when forging operations are started before the material to be forged reaches the proper temperature throughout. Hotter sections of the forging blank tend to flow around the colder sections causing internal bursts or cracks on the surface. Too rapid or too severe a reduction in a section can also cause forging bursts or cracks.

(8) A hot tear is a pulling apart of the metal that can occur in castings when the metal contracts as it solidifies.

(9) A cold shut is a failure of metal to fuse. It can occur in castings when part of the metal being poured into the mold cools and does not fuse with the rest of the metal into a solid piece.

16 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(4) La porosité est constituée de trous à la surface d'un matériau ou disséminés dans le matériau, causés par les gaz libérés et piégés lors de la solidification du matériau.

(5) Les inclusions sont des impuretés, telles que des scories, des oxydes, des sulfures, etc. qui apparaissent dans les lingots et les pièces coulées. Les inclusions sont généralement causées par un affinage incomplet du minerai métallique ou par le mélange incomplet des matériaux désoxydants ajoutés au métal en fusion dans le four.

(6) Des criques de retrait peuvent se produire dans les pièces moulées en raison des contraintes causées par la contraction du métal lors de son refroidissement et de sa solidification.

c. Défauts de traitement primaire. Les défauts qui se produisent lors de l'usinage du métal par déformation à chaud ou à froid en formes utiles telles que des barres, des tiges, des fils et des formes forgées sont des défauts de première transformation. Le moulage et le soudage sont également considérés comme des procédés primaires bien qu'ils impliquent du métal fondu, puisqu'ils aboutissent à un produit semi-fini. Voici une brève description de certains défauts de transformation primaires :

(1) Les soudures sont des défauts de surface, généralement longs, droits et parallèles à l'axe longitudinal du matériau, qui peuvent provenir de soufflures et de criques dans le lingot, ou être introduites par les processus d'étirage ou de laminage.

(2) Les laminages sont formés dans les plaques, feuilles ou bandes laminées lorsque les soufflures ou les criques internes ne sont pas soudées hermétiquement pendant le processus de laminage et sont élargies et aplaties en zones de discontinuités horizontales.

(3) Le cupping est une série de ruptures internes du métal créées lorsque le métal intérieur ne s'écoule pas aussi rapidement que le métal de surface pendant les processus d'étirage ou d'extrusion. La ségrégation au centre d'une barre contribue généralement à ce phénomène.

(4) Les criques de refroidissement peuvent se produire dans le moulage en raison des contraintes résultant du refroidissement, et sont souvent associées à des changements dans les sections transversales de la pièce. Des criques de refroidissement peuvent également se produire lorsque des barres en acier allié et en acier à outils sont laminées puis refroidies. En outre, des contraintes peuvent se produire en raison d'un refroidissement irrégulier qui peut être suffisamment grave pour fissurer les barres. Ces criques sont généralement longitudinales, mais pas nécessairement droites. Elles peuvent être assez longues et leur profondeur varie généralement sur leur longueur.

(5) Les écailles sont des ruptures internes qui peuvent se produire dans le métal à la suite d'un refroidissement trop rapide. L'écaillage se produit généralement en profondeur dans une section lourde du métal. Certains alliages sont plus susceptibles de s'écailler que d'autres.

(6) Les reprises de forgeage sont le résultat du pliage et de l'enfoncement du métal dans la surface, mais pas de la soudure pour former une seule pièce. Ils peuvent être causés par des matrices défectueuses, des matrices surdimensionnées, des ébauches surdimensionnées ou une manipulation incorrecte du métal dans la matrice. Ils peuvent se produire sur n'importe quelle zone du forgeage.

(7) Les éclatements de forgeage sont des ruptures internes ou externes qui se produisent lorsque les opérations de forgeage sont lancées avant que le matériau à forger n'atteigne la température adéquate sur toute sa longueur. Les sections plus chaudes de l'ébauche de forgeage ont tendance à s'écouler autour des sections plus froides, ce qui provoque des éclatements internes ou des criques à la surface. Une réduction trop rapide ou trop importante d'une section peut également provoquer des éclatements ou des criques de forgeage.

(8) Une déchirure à chaud est un arrachement du métal qui peut se produire dans les pièces moulées lorsque le métal se contracte en se solidifiant.

(9) Une fermeture à froid est un défaut de fusion du métal. Il peut se produire dans les pièces moulées lorsqu'une partie du métal versé dans le moule refroidit et ne fusionne pas avec le reste du métal pour former une pièce solide.

(10) Incomplete weld penetration is a failure of the weld metal to penetrate completely through a joint before solidifying.

(11) Incomplete weld fusion occurs in welds where the temperature has not been high enough to melt the parent metal adjacent to the weld.

(12) Weld undercutting is a decrease in the thickness of the parent material at the toe of the weld caused by welding at too high a temperature.

(13) Cracks in the weld metal can be caused by the contraction of a thin section of the metal cooling faster than a heavier section or by incorrect heat or type of filler rod. They are one of the more common types of flaws found in welds.

(14) Weld crater cracks are star shaped cracks that can occur at the end of a weld run.

(15) Cracks in the weld heat-affected zone can occur because of stress induced in the material adjacent to the weld by its expansion and contraction from thermal changes.

(16) A slag inclusion is a nonmetallic solid material that becomes trapped in the weld metal or between the weld metal and the base metal.

(17) Scale is an oxide formed on metal by the chemical action of the surface metal with oxygen from the air.

d. Secondary Processing or Finishing Flaws. This category includes those flaws associated with the various finishing operations, after the part has been rough-formed by rolling, forging, casting or welding. Flaws may be introduced by heat treating, grinding, and similar processes. The following are brief descriptions of some secondary processing or finishing flaws.

(1) Machining tears can occur when working a part with a dull cutting tool or by cutting to a depth that is too great for the material being worked. The metal does not break away clean, and the tool leaves a rough, torn surface which contains numerous short discontinuities that can be classified as cracks.

(2) Heat treating cracks are caused by stresses setup by unequal heating or cooling of portions of a part during heat treating operations. Generally, they occur where a part has a sudden change of section that could cause an uneven cooling rate, or at fillets and notches that act as stress concentration points.

(3) Grinding cracks are thermal type cracks similar to heat treating cracks and can occur when hardened surfaces are ground. The overheating created by the grinding can be caused by the wheel becoming glazed so that it rubs instead of cutting the surface; by using too little coolant; by making too heavy a cut; or by feeding the material too rapidly. Generally, the cracks are at right angles to the direction of grinding and in severe cases a complete network of cracks can appear. Grinding cracks are usually shallow and very sharp at their roots, which makes them potential sources of fatigue failure.

(4) Etching cracks can occur when hardened surfaces containing internal residual stresses are etched in acid.

(5) Plating cracks can occur when hardened surfaces are electroplated. Generally, they are found in areas where high residual stresses remain from some previous operation involving the part.

18 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(10) La pénétration incomplète d'une soudure est le fait que le métal de la soudure ne pénètre pas complètement dans un joint avant de se solidifier.

(11) La fusion incomplète d'une soudure se produit dans les soudures où la température n'a pas été suffisamment élevée pour faire fondre le métal de base adjacent à la soudure.

(12) La sous-coupe de la soudure est une diminution de l'épaisseur du matériau de base à l'extrémité de la soudure, causée par un soudage à une température trop élevée.

(13) Les criques dans le métal soudé peuvent être causées par la contraction d'une section mince du métal se refroidissant plus rapidement qu'une section plus épaisse ou par une chaleur ou un type de baguette d'apport incorrect. Elles constituent l'un des types de défauts les plus courants dans les soudures.

(14) Les criques de cratère de soudure sont des fissures en forme d'étoile qui peuvent se produire à la fin d'une soudure.

(15) Les criques dans la zone affectée par la chaleur de la soudure peuvent se produire en raison de la contrainte induite dans le matériau adjacent à la soudure par son expansion et sa contraction dues aux changements thermiques.

(16) Une inclusion de laitier est un matériau solide non métallique qui se retrouve piégé dans le métal de soudure ou entre le métal de soudure et le métal de base.

(17) La calamine est un oxyde formé sur le métal par l'action chimique du métal de surface avec l'oxygène de l'air.

d. Défauts de traitement secondaire ou de finition. Cette catégorie comprend les défauts associés aux diverses opérations de finition, après que la pièce a été ébauchée par laminage, forgeage, moulage ou soudage. Les défauts peuvent être introduits par le traitement thermique, le meulage et des processus similaires. Voici une brève description de certains défauts de traitement secondaire ou de finition.

(1) Des déchirures d'usinage peuvent se produire lorsqu'on travaille une pièce avec un outil de coupe émoussé ou en coupant à une profondeur trop importante pour le matériau travaillé. Le métal ne se détache pas proprement, et l'outil laisse une surface rugueuse et déchirée qui contient de nombreuses discontinuités courtes pouvant être classées comme des criques.

(2) Les criques dues au traitement thermique sont causées par les contraintes créées par le chauffage ou le refroidissement inégal de certaines parties d'une pièce pendant les opérations de traitement thermique. En général, elles se produisent là où la pièce présente un changement soudain de section qui pourrait entraîner une vitesse de refroidissement inégale, ou au niveau des congés et des encoches qui agissent comme des points de concentration des contraintes.

(3) Les criques de meulage sont des fissures de type thermique similaires aux criques de traitement thermique et peuvent se produire lorsque des surfaces durcies sont meulées. La surchauffe créée par le meulage peut être causée par le glaçage de la meule qui frotte au lieu de couper la surface, par l'utilisation d'une quantité insuffisante de liquide de refroidissement, par une coupe trop importante ou par une alimentation trop rapide du matériau. En général, les criques sont perpendiculaires à la direction du meulage et, dans les cas graves, un réseau complet de criques peut apparaître. Les criques de meulage sont généralement peu profondes et très pointues à leur racine, ce qui en fait des sources potentielles de rupture par fatigue.

(4) Les criques de gravure peuvent se produire lorsque des surfaces durcies contenant des contraintes résiduelles internes sont gravées dans un acide.

(5) Les criques de placage peuvent se produire lorsque des surfaces durcies sont électroplaquées. En général, elles se trouvent dans des zones où des contraintes résiduelles élevées subsistent à la suite d'une opération antérieure sur la pièce.

e. In-Service Flaws. These flaws are formed after all fabrication has been completed and the aircraft, engine, or related component has gone into service. These flaws are attributable to aging effects caused by either time, flight cycles, service operating conditions, or combinations of these effects. The following are brief descriptions of some in-service flaws.

(1) Stress corrosion cracks can develop on the surface of parts that are under tension stress in service and are also exposed to a corrosive environment, such as the inside of wing skins, sump areas, and areas between two metal parts of faying surfaces.

(2) Overstress cracks can occur when a part is stressed beyond the level for which it was designed. Such overstressing can occur as the result of a hard landing, turbulence, accident, or related damage due to some unusual or emergency condition not anticipated by the designer, or because of the failure of some related structural member.

(3) Fatigue cracks can occur in parts that have been subjected to repeated or changing loads while in service, such as riveted lap joints in aircraft fuselages. The crack usually starts at a highly-stressed area and propagates through the section until failure occurs. A fatigue crack will start more readily where the design or surface condition provides a point of stress concentration. Common stress concentration points are: fillets; sharp radii; or poor surface finish, seams, or grinding cracks.

(4) Unbonds, or disbonds, are flaws where adhesive attaches to only one surface in an adhesive-bonded assembly. They can be the result of crushed, broken, or corroded cores in adhesive-bonded structures. Areas of unbonds have no strength and place additional stress on the surrounding areas making failure more likely.

(5) Delamination is the term used to define the separation of composite material layers within a monolithic structure. Ultrasonic is the primary method used for the detection of delamination in composite structures.

5-6. SELECTING THE NDI METHOD. The NDI method and procedure to be used for any specific part or component will generally be specified in the aircraft or component manufacturer's maintenance or overhaul manuals, SSID's, SB's, or in AD's.

NOTE: Some AD's refer to SB's which may, in turn, refer to manufacturer's overhaul or maintenance manuals.

a. Appropriate Method. The appropriate NDI method may consist of several separate inspections. An initial inspection may indicate the presence of a possible flaw, but other inspections may be required to confirm the original indication. Making the correct NDI method selection requires an understanding of the basic principles, limitations, and advantages and disadvantages of the available NDI methods and an understanding of their comparative effectiveness and cost.

b. Other Factors. Other factors affecting the inspection are:

(1) The critical nature of the component;

(2) The material, size, shape, and weight of the part;

(3) The type of defect sought;

(4) Maximum acceptable defect limits in size and distribution;

(5) Possible locations and orientations of defects;

20 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

e. Défauts en service. Ces défauts se forment après que la fabrication a été achevée et que l'aéronef, le moteur ou l'élément connexe a été mis en service. Ces défauts sont attribuables aux effets du vieillissement causés par le temps, les cycles de vol, les conditions d'exploitation en service ou une combinaison de ces effets. Voici une brève description de certains défauts en service.

(1) Les criques de corrosion sous contrainte peuvent se développer à la surface des pièces qui sont soumises à des contraintes de tension en service et qui sont également exposées à un environnement corrosif, comme l'intérieur des revêtements d'ailes, les zones de carter et les zones entre deux parties métalliques des surfaces de contact.

(2) Les criques de surcontrainte peuvent se produire lorsqu'une pièce est sollicitée au-delà du niveau pour lequel elle a été conçue. Ces contraintes excessives peuvent résulter d'un atterrissage brutal, de turbulences, d'un accident ou de dommages connexes dus à des conditions inhabituelles ou d'urgence non prévues par le concepteur, ou à la défaillance d'un élément structural connexe.

(3) Les criques de fatigue peuvent se produire dans des pièces qui ont été soumises à des charges répétées ou changeantes en service, comme les joints à recouvrement rivetés dans les fuselages d'avion. La crique commence généralement dans une zone fortement sollicitée et se propage dans la section jusqu'à la rupture. Une crique de fatigue commencera plus facilement là où la conception ou l'état de surface fournit un point de concentration de contraintes. Les points de concentration de contraintes les plus courants sont : les congés, les rayons aigus, les surfaces mal finies, les joints ou les criques de meulage.

(4) Les décollements, ou délaminages, sont des défauts où l'adhésif ne s'attache qu'à une seule surface dans un assemblage collé. Ils peuvent être le résultat de noyaux écrasés, cassés ou corrodés dans des structures collées. Les zones de décollement n'ont aucune résistance et imposent une contrainte supplémentaire aux zones environnantes, ce qui rend la défaillance plus probable.

(5) La délamination est le terme utilisé pour définir la séparation des couches de matériaux composites dans une structure monolithique. Les ultrasons sont la principale méthode utilisée pour la détection du délaminage dans les structures composites.

5-6. SÉLECTION DE LA MÉTHODE CND.

La méthode et la procédure CND à utiliser pour une pièce ou un élément spécifique seront généralement spécifiées dans les manuels d'entretien ou de révision, les SSID, les SB ou les AD de l'avionneur ou de l'élément.

NOTE : Certaines AD font référence à des SB qui peuvent, à leur tour, faire référence aux manuels d'entretien ou de révision du constructeur.

a. Méthode appropriée. La méthode CND appropriée peut consister en plusieurs inspections séparées. Une inspection initiale peut indiquer la présence d'un défaut possible, mais d'autres inspections peuvent être nécessaires pour confirmer l'indication initiale. Pour choisir la bonne méthode CND, il faut comprendre les principes de base, les limites, les avantages et les inconvénients des méthodes CND disponibles, ainsi que leur efficacité et leur coût comparatifs.

b. Autres facteurs. D'autres facteurs affectant l'inspection sont :

(1) La nature critique de la pièce ;

(2) Le matériau, la taille, la forme et poids de la pièce ;

(3) Le type de défaut recherché ;

(4) Les limites maximales acceptables des défauts en termes de taille et de répartition ;

(5) Les emplacements et orientations possibles des défauts ;

(6) Part accessibility or portability; and

(7) The number of parts to be inspected.

c. Degree of Inspection. The degree of inspection sensitivity required is an important factor in selecting the NDI method. Critical parts that *cannot* withstand small defects and could cause *catastrophic failure* require the use of the more sensitive NDI methods. Less critical parts and general hardware generally require less-sensitive NDI methods.

d. Material Safety Data Sheets (MSDS). The various materials used in NDI may contain chemicals, that if improperly used, can be hazardous to the health and safety of operators and the safety of the environment, aircraft, and engines. Information on safe handling of materials is provided in MSDS. MSDS, conforming to Title 29 of the Code of Federal Regulations (29 CFR), part 1910, section 1200, or its equivalent, must be provided by the material supplier to any user and must be prepared according to FED-STD-313.

e. Advantages and Disadvantages. Table 5-1 provides a list of the advantages and disadvantages of common NDI methods. Table 5-1, in conjunction with other information in the AC, may be used as a guide for evaluating the most appropriate NDI method when the manufacturer or the FAA has not specified a particular NDI method to be used.

5-7. TYPES OF INSPECTIONS. Nondestructive testing methods are techniques used both in the production and in-service environments without damage or destruction of the item under investigation. Examples of NDI methods are as follows:

a. Visual inspection

b. Magnetic particle

c. Penetrants

d. Eddy current

e. Radiography

f. Ultrasonic

g. Acoustic emission

h. Thermography

i. Holography

j. Shearography

k. Tap testing

22 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(6) l'accessibilité ou la portabilité de la pièce ; et

(7) Le nombre de pièces à inspecter.

c. Degré d'inspection. Le degré de sensibilité d'inspection requis est un facteur important dans le choix de la méthode CND. Les pièces critiques qui ne peuvent supporter de petits défauts et qui pourraient provoquer une défaillance catastrophique nécessitent l'utilisation des méthodes CND les plus sensibles. Les pièces moins critiques et le matériel général nécessitent généralement des méthodes CND moins sensibles.

d. Fiches de données de sécurité des matériaux (FDS). Les différents matériaux utilisés dans les CND peuvent contenir des produits chimiques qui, s'ils ne sont pas utilisés correctement, peuvent être dangereux pour la santé et la sécurité des opérateurs et pour la sécurité de l'environnement, des avions et des moteurs. Des informations sur la manipulation sûre des matériaux sont fournies dans les FDS. Les FDS, conformes au Titre 29 du Code des réglementations fédérales (29 CFR), partie 1910, section 1200, ou son équivalent, doivent être fournies par le fournisseur du matériau à tout utilisateur et doivent être préparées conformément à la norme FED-STD-313.

e. Avantages et inconvénients. Le tableau 5-1 fournit une liste des avantages et des inconvénients des méthodes CND courantes. Le tableau 5-1, en conjonction avec d'autres informations contenues dans ce document AC, peut être utilisé comme guide pour évaluer la méthode CND la plus appropriée lorsque le fabricant ou la FAA n'a pas spécifié de méthode CND particulière à utiliser.

5-7. TYPES D'INSPECTIONS. Les méthodes de contrôle non destructif sont des techniques utilisées à la fois dans l'environnement de production et en service sans endommager ou détruire l'élément étudié. Des exemples de méthodes CND sont les suivants :

a. Inspection visuelle;

b. Particule magnétique;

c. Pénétrants;

d. Courants de Foucault;

e. Radiographie;

f. Ultrasons;

g. Émission acoustique;

h. Thermographie;

i. Holographie;

j. Shearographie;

k. Tapotage.

TABLE 5-1. Advantages and disadvantages of NDI methods.

METHOD	ADVANTAGES	DISADVANTAGES
VISUAL	Inexpensive Highly portable Immediate results Minimum training Minimum part preparation	Surface discontinuities only Generally only large discontinuities Misinterpretation of scratches
DYE PENETRANT	Portable Inexpensive Sensitive to very small discontinuities 30 min. or less to accomplish Minimum skill required	Locate surface defects only Rough or porous surfaces interfere with test Part preparation required (removal of finishes and sealant, etc.) High degree of cleanliness required Direct visual detection of results required
MAGNETIC PARTICLE	Can be portable Inexpensive Sensitive to small discontinuities Immediate results Moderate skill required Detects surface and subsurface discontinuities Relatively fast	Surface must be accessible Rough surfaces interfere with test Part preparation required (removal of finishes and sealant, etc.) Semi-directional requiring general orientation of field to discontinuity Ferro-magnetic materials only Part must be demagnetized after test.
EDDY CURRENT	Portable Detects surface and subsurface discontinuities Moderate speed Immediate results Sensitive to small discontinuities Thickness sensitive Can detect many variables	Surface must be accessible to probe Rough surfaces interfere with test Electrically conductive materials Skill and training required Time consuming for large areas
ULTRASONIC	Portable Inexpensive Sensitive to very small discontinuities Immediate results Little part preparation Wide range of materials and thickness can be inspected	Surface must be accessible to probe Rough surfaces interfere with test Highly sensitive to sound beam - discontinuity orientation High degree of skill required to set up and interpret Couplant usually required
X-RAY RADIOGRAPHY	Detects surface and internal flaws Can inspect hidden areas Permanent test record obtained Minimum part preparation	Safety hazard Very expensive (slow process) Highly directional, sensitive to flaw orientation High degree of skill and experience required for exposure and interpretation Depth of discontinuity not indicated
ISOTOPE RADIOGRAPHY	Portable Less expensive than X-ray Detects surface and internal flaws Can inspect hidden areas Permanent test record obtained Minimum part preparation	Safety hazard Must conform to Federal and State regulations for handling and use Highly directional, sensitive to flaw orientation High degree of skill and experience required for exposure and interpretation Depth of discontinuity not indicated

5-8.—5-14. [RESERVED.]

24 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

TABLEAU 5-1. Avantages et inconvénients des méthodes de CND.

MÉTHODE	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
VISUELLE	Peu coûteuse. Très portable. Résultat immédiat. Formation minimale. Minimale préparation des pièces.	Seulement des discontinuités de surface. Généralement, uniquement les grandes discontinuités. Mauvaise interprétation des rayures.
RESSUAGE	Portable. Faible coût. Sensible aux très petites discontinuités. Réalisé en moins de 30 minutes. Faibles compétences requises.	Localiser les défauts de surface uniquement. Les surfaces rugueuses ou poreuses interfèrent avec l'essai. Préparation de la pièce requise (retrait des finitions et du mastic, etc.). Haut degré de propreté requis. Détection visuelle directe des résultats requise.
PARTICULES MAGNÉTIQUES	Peut être portable. Faible coût. Sensible aux très petites discontinuités. Résultat immédiat. Compétences requises modérées. Détecte les discontinuités de surface et sous les surfaces. Relativement rapide.	La surface doit être accessible. Les surfaces rugueuses interfèrent avec le test. La préparation de la pièce est nécessaire (retrait des finitions et du mastic, etc.). Semi-directionnel, nécessitant une orientation générale du champ vers la discontinuité. Matériaux ferro-magnétiques uniquement. La pièce doit être démagnétisée après le test.
COURANTS DE FOUCAULT	Portable. Détecte les discontinuités de surface et sous les surfaces. Résultat immédiat. Sensible aux petites discontinuités. Sensible à l'épaisseur du matériau. Peut détecter divers défauts.	La surface doit être accessible à la sonde. Les surfaces rugueuses interfèrent avec le test. Matériaux conducteurs d'électricité. Compétence et formation requises. Prend du temps pour les grandes surfaces.
ULTRASONS	Portable. Faible coût. Sensible aux petites discontinuités. Résultat immédiat. Préparation des petites pièces. Un large choix de matériaux et d'épaisseurs peuvent être inspectés.	La surface doit être accessible à la sonde. Les surfaces rugueuses interfèrent avec le test. Très sensible à l'orientation de la discontinuité du faisceau sonore. Un haut degré de compétence est requis pour la mise en place et l'interprétation. Un coupleur est généralement nécessaire.
RADIOGRAPHIE RAYONS X	Détecte les défauts de surface et internes. Peut inspecter les zones cachées. Obtention d'un enregistrement permanent des tests. Préparation minimale de la pièce.	Risque de sécurité. Très coûteux (processus lent). Très directionnel, sensible à l'orientation des défauts. Haut degré de compétence et d'expérience requis pour l'exposition et l'interprétation. La profondeur de la discontinuité n'est pas indiquée.
RADIOGRAPHIE ISOTOPIQUE	Portable. Moins coûteuse que les rayons X Détecte les défauts de surface et internes. Peut inspecter les zones cachées Enregistrement permanent du test obtenu. Préparation minimale de la pièce	Risque de sécurité. Doit se conformer aux réglementations fédérales et nationales en matière de manipulation et d'utilisation Hautement directionnelle, sensible à l'orientation des défauts Un degré élevé de compétence et d'expérience est requis pour l'exposition et l'interprétation. La profondeur de la discontinuité n'est pas indiquée.

5-8. - 5-14. [RÉSERVÉ.]

SECTION 2. VISUAL INSPECTION

5-15. GENERAL. Visual inspection is the oldest and most common form of NDI for aircraft. Approximately 80 percent of all NDI procedures are accomplished by the direct visual methods. This inspection procedure may be greatly enhanced by the use of appropriate combinations of magnifying instruments, borescopes, light sources, video scanners, and other devices discussed in this AC. Visual inspection provides a means of detecting and examining a wide variety of component and material surface discontinuities, such as cracks, corrosion, contamination, surface finish, weld joints, solder connections, and adhesive disbonds. Visual inspection is widely used for detecting and examining aircraft surface cracks, which are particularly important because of their relationship to structural failures. Visual inspection is frequently used to provide verification when defects are found initially using other NDI techniques. The use of optical aids for visual inspection is beneficial and recommended. Optical aids magnify defects that cannot be seen by the unaided eye and also permit visual inspection in inaccessible areas.

5-16. SIMPLE VISUAL INSPECTION AIDS. It should be emphasized that the eye-mirror-flashlight is a critical visual inspection process. Aircraft structure and components that must be routinely inspected are frequently located beneath skin, cables, tubing, control rods, pumps, actuators, etc. Visual inspection aids such as a powerful flashlight, a mirror with a ball joint, and a 2 to 10 power magnifying glass are essential in the inspection process.

a. Flashlights. Flashlights used for aircraft inspection should be suitable for industrial use and, where applicable, safety approved by the Underwriters Laboratory or equivalent agency as suitable for use in hazardous atmospheres such as aircraft fuel tanks. Military Specification MIL-F-3747E, flashlights: plastic case, tubular (regular, explosion-proof, explosion-proof heat resistant, traffic directing, and inspection-light), provides requirements for flashlights suitable for use in aircraft inspection. However, at the present time, the flashlights covered by this specification use standard incandescent lamps and there are no standardized performance tests for flashlights with the brighter bulbs: Krypton, Halogen, and Xenon. Each flashlight manufacturer currently develops its tests and provides information on its products in its advertising literature. Therefore, when selecting a flashlight for use in visual inspection, it is sometimes difficult to directly compare products. The following characteristics should be considered when selecting a flashlight: foot-candle rating; explosive atmosphere rating; beam spread (adjustable, spot, or flood); efficiency (battery usage rate); brightness after extended use; and rechargeable or standard batteries. (If rechargeable, how many hours of continuous use and how long is required for recharging?) If possible, it would be best to take it apart and inspect for quality of construction and to actually use the flashlight like it would be used in the field. Inspection flashlights are available in several different bulb brightness levels:

(1) Standard incandescent (for long-battery life).

(2) Krypton (for 70 percent more light than standard bulbs).

(3) Halogen (for up to 100 percent more light than standard bulbs).

(4) Xenon (for over 100 percent more light than standard bulbs).

26 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-15. GÉNÉRALITÉS. L'inspection visuelle est la forme la plus ancienne et la plus courante de CND pour les aéronefs. Environ 80% de toutes les procédures CND sont accomplies par des méthodes visuelles directes. Cette procédure d'inspection peut être grandement améliorée par l'utilisation de combinaisons appropriées d'instruments grossissants, d'endoscopes, de sources lumineuses, de scanners vidéo et d'autres dispositifs abordés dans ce document. L'inspection visuelle permet de détecter et d'examiner une grande variété de discontinuités à la surface des composants et des matériaux, telles que les criques, la corrosion, la contamination, le fini de surface, les soudures, les assemblages et les décollements. L'inspection visuelle est largement utilisée pour détecter et examiner les criques de surface des aéronefs, qui sont particulièrement importantes en raison de leur relation avec les défaillances structurelles. L'inspection visuelle est fréquemment utilisée pour fournir une vérification lorsque des défauts sont découverts initialement en utilisant d'autres techniques CND. L'utilisation d'aides optiques pour l'inspection visuelle est bénéfique et recommandée. Les aides optiques agrandissent les défauts qui ne peuvent être vus à l'œil nu et permettent également une inspection visuelle dans des zones inaccessibles.

5-16. ASSISTANCES SIMPLES D'INSPECTION VISUELLE. Il convient de souligner que le procédé d'inspection visuelle par miroir oculaire et lampe de poche est essentiel. La structure et les composants de l'aéronef qui doivent être inspectés régulièrement se trouvent fréquemment sous les revêtements, les câbles, les tubes, les biellettes de commande, les pompes, les vérins, etc. Les aides à l'inspection visuelle telles qu'une lampe de poche puissante, un miroir à rotule et une loupe de puissance 2 à 10 sont essentielles au processus d'inspection.

a. Lampes de poche. Les lampes de poche utilisées pour l'inspection des aéronefs doivent être adaptées à un usage industriel et, le cas échéant, approuvées par le Laboratoire des assureurs ou une agence équivalente comme pouvant être utilisées dans des atmosphères dangereuses telles que les réservoirs de carburant des aéronefs. La spécification militaire MIL-F-3747E, lampes de poche : boîtier en plastique, tubulaires (ordinaires, antidéflagrantes, antidéflagrantes résistantes à la chaleur, de direction du trafic et d'inspection), fournit les exigences relatives aux lampes de poche pouvant être utilisées pour l'inspection des aéronefs.

Cependant, à l'heure actuelle, les lampes de poche couvertes par cette spécification utilisent des lampes à incandescence standard et il n'existe pas de tests de performance normalisés pour les lampes de poche équipées d'ampoules plus puissantes : Krypton, Halogène et Xénon. Chaque fabricant de lampes de poche élabore actuellement ses propres tests et fournit des informations sur ses produits dans sa documentation publicitaire. Par conséquent, lors du choix d'une lampe de poche destinée à l'inspection visuelle, il est parfois difficile de comparer directement les produits. Les caractéristiques suivantes doivent être prises en compte lors de la sélection d'une lampe de poche : flux lumineux (Lumen[1]), indice d'atmosphère explosive, étalement du faisceau (réglable, ponctuel ou large), efficacité (taux d'utilisation des piles), luminosité après une utilisation prolongée, piles rechargeables ou standard. (Si elles sont rechargeables, combien d'heures d'utilisation continue et combien de temps faut-il pour les recharger). Si possible, il serait préférable de la démonter et d'inspecter la qualité de la construction et d'utiliser réellement la lampe de poche comme elle serait utilisée sur place. Les lampes de poche d'inspection sont disponibles en plusieurs niveaux de luminosité de l'ampoule :

(1) Incandescente standard (pour une longue durée de vie de la batterie).

(2) Krypton (pour 70 % de lumière en plus que les ampoules standard).

(3) Halogène (jusqu'à 100 % de lumière en plus que les ampoules standard).

(4) Xénon (plus de 100 % de lumière en plus par rapport aux ampoules standard).

(5) LED (light-emitting diode) ou DEL (diode électroluminescente) (similaire au Xénon, mais avec une consommation électrique moindre et une durée de vie supérieure)

1 NdT : 1 Lumen illumine un mètre carré avec 1 Lux (lx) qui est une unité de mesure de l'éclairement lumineux.

b. Inspection Mirrors. An inspection mirror is used to view an area that is not in the normal line of sight. The mirror should be of the appropriate size to easily view the component, with the reflecting surface free of dirt, cracks, worn coating, etc., and a swivel joint tight enough to maintain its setting.

c. Simple Magnifiers. A single converging lens, the simplest form of a microscope, is often referred to as a simple magnifier. Magnification of a single lens is determined by the equation M = 10/f. In this equation, "M" is the magnification, "f" is the focal length of the lens in inches, and "10" is a constant that represents the average minimum distance at which objects can be distinctly seen by the unaided eye. Using the equation, a lens with a focal length of 5 inches has a magnification of 2, or is said to be a two-power lens.

5-17. BORESCOPES. These instruments are long, tubular, precision optical instruments with built-in illumination, designed to allow remote visual inspection of internal surfaces or otherwise inaccessible areas. The tube, which can be rigid or flexible with a wide variety of lengths and diameters, provides the necessary optical connection between the viewing end and an objective lens at the distant, or distal tip of the borescope. Rigid and flexible borescopes are available in different designs for a variety of standard applications and manufacturers also provide custom designs for specialized applications. Figure 5-1 shows three typical designs of borescopes.

a. Borescopes Uses. Borescopes are used in aircraft and engine maintenance programs to reduce or eliminate the need for costly teardowns. Aircraft turbine engines have access ports that are specifically designed for borescopes. Borescopes are also used extensively in a variety of aviation maintenance programs to determine the airworthiness of difficult-to-reach components. Borescopes typically are used to inspect interiors of hydraulic cylinders and valves for pitting, scoring, porosity, and tool marks; inspect for cracked cylinders in aircraft reciprocating engines; inspect turbojet engine turbine blades and combustion cans; verify the proper placement and fit of seals, bonds, gaskets, and subassemblies in difficult to reach areas; and assess Foreign Object Damage (FOD) in aircraft, airframe, and powerplants. Borescopes may also be used to locate and retrieve foreign objects in engines and airframes.

b. Optical Designs. Typical designs for the optical connection between the borescope viewing end and the distal tip are:

(1) A rigid tube with a series of relay lenses;

(2) A flexible or rigid tube with a bundle of optical fibers; and

(3) A flexible or rigid tube with wiring that carries the image signal from a Charge Couple Device (CCD) imaging sensor at the distal tip.

These designs can have either fixed or adjustable focusing of the objective lens at the distal tip. The distal tip may also have prisms and mirrors that define the direction and field of view. A fiber optic light guide with white light is generally used in the illumination system, but ultraviolet light can also be used to inspect surfaces treated with liquid fluorescent penetrant or to inspect for contaminants that fluoresce. Some borescopes with long working lengths use light-emitting diodes at the distal tip for illumination.

5-18. VISUAL INSPECTION PROCEDURES. Corrosion can be an extremely critical defect. Therefore, NDI personnel should be familiar with the appearance of common types of corrosion and have training and

28 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

b. Miroirs d'inspection. Un miroir d'inspection est utilisé pour voir une zone qui n'est pas dans la ligne de visée normale. Le miroir doit être de taille appropriée pour permettre de voir facilement le composant, la surface réfléchissante doit être exempte de saletés, de criques, d'un revêtement usé, etc.

c. Loupes simples. Une lentille convergente unique, la forme la plus simple d'un microscope, est souvent appelée une loupe simple. Le grossissement d'une lentille simple est déterminé par l'équation M = 10/f. Dans cette équation, « M » est le grossissement, « f » est la distance focale de la lentille en pouces, et « 10 » est une constante qui représente la distance minimale moyenne à laquelle les objets peuvent être vus distinctement par l'œil nu. En utilisant cette équation, une lentille dont la distance focale est de 125 mm a un grossissement de 2X.

5-17. ENDOSCOPES. Il s'agit d'instruments optiques de précision, longs et tubulaires, avec éclairage intégré, conçus pour permettre l'inspection visuelle à distance de surfaces internes ou de zones autrement inaccessibles. Le tube, qui peut être rigide ou flexible avec une grande variété de longueurs et de diamètres, fournit la connexion optique nécessaire entre l'extrémité d'observation et une lentille d'objectif à l'extrémité distante, ou distale, de l'endoscope. Les endoscopes rigides et flexibles sont disponibles dans différents modèles pour une variété d'applications standard et les fabricants fournissent également des modèles personnalisés pour des applications spécialisées. La figure 5-1 illustre trois modèles typiques d'endoscopes.

a. Utilisations des endoscopes. Les endoscopes sont utilisés dans les programmes de maintenance des aéronefs et des moteurs afin de réduire ou d'éliminer la nécessité de coûteux démontages. Les moteurs à turbine des avions ont des orifices d'accès spécialement conçus pour les endoscopes. Les endoscopes sont également très utilisés dans divers programmes de maintenance aéronautique pour déterminer la navigabilité des composants difficiles à atteindre. Les endoscopes sont généralement utilisés pour inspecter l'intérieur des cylindres hydrauliques et des soupapes à la recherche de piqûres, de rayures, de porosités et de marques d'outils, pour vérifier que les cylindres des moteurs à pistons des avions ne sont pas fissurés, pour inspecter les aubes de turbine et les zones de combustion des turboréacteurs, pour vérifier l'emplacement et l'ajustement corrects des assemblages, des liaisons, des garnitures et des sous-ensembles dans les zones difficiles à atteindre et pour évaluer les dommages causés par des corps étrangers dans les avions, les cellules et les groupes moto propulseurs. Les endoscopes peuvent également être utilisés pour localiser et récupérer des corps étrangers dans les moteurs et les cellules d'aéronefs.

b. Conceptions optiques. Les conceptions typiques de la connexion optique entre l'extrémité d'observation de l'endoscope et l'extrémité distale sont les suivantes :

(1) Un tube rigide avec une série de lentilles relais ;

(2) Un tube flexible ou rigide avec un faisceau de fibres optiques ;

(3) Un tube flexible ou rigide avec un câblage qui transporte le signal d'image d'un capteur d'imagerie CCD (Charge Couple Device) à l'extrémité distale.

Ces modèles peuvent avoir une focalisation fixe ou réglable de l'objectif à l'extrémité distale. L'extrémité distale peut également comporter des prismes et des miroirs qui définissent la direction et le champ de vision. Un guide de lumière à fibre optique avec de la lumière blanche est généralement utilisé dans le système d'éclairage, mais la lumière ultraviolette peut également être utilisée pour inspecter les surfaces traitées avec un pénétrant fluorescent liquide ou pour inspecter les contaminants qui fluorescent. Certains endoscopes à grande longueur de travail utilisent des diodes électroluminescentes à l'extrémité distale pour l'éclairage.

5-18. PROCÉDURES D'INSPECTION VISUELLE. La corrosion peut être un défaut extrêmement critique. Par conséquent, le personnel CND doit être familier avec l'apparence des types courants de corrosion et avoir une formation et une expérience sur la détection de la corrosion sur la structure de l'avion et les matériaux du moteur. (Référence : AC43-4B[1], Corrosion Control for Aircraft, pour des informations supplémentaires sur la corrosion).

1 Ndt: La circulaire précédente, AC43-4A de 1991 a été annulée et remplacée en septembre 2018 par l'AC43-4B. Elle est disponible en téléchargement sur www.faa.gov

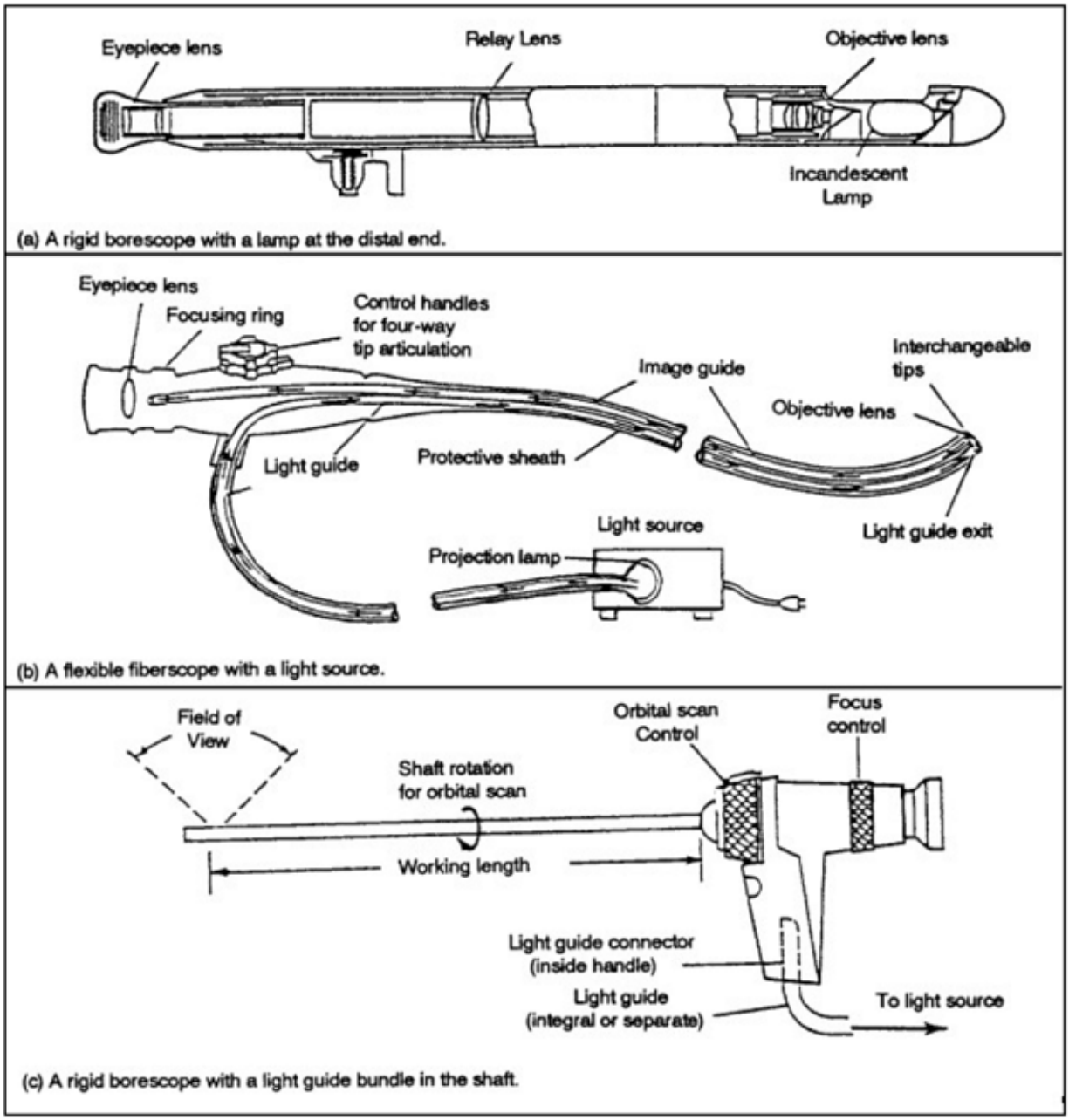


FIGURE 5-1. Typical borescope designs.

experience on corrosion detection on aircraft structure and engine materials. (Reference: AC 43-4A, Corrosion Control for Aircraft, for additional information on corrosion.

a. Preliminary Inspection. Perform a preliminary inspection of the overall general area for cleanliness, presence of foreign objects, deformed or missing fasteners, security of parts, corrosion, and damage. If the configuration or location of the part conceals the area to be inspected, use visual aids such as a mirror or borescope.

b. Corrosion Treatment. Treat any corrosion found during preliminary inspection after completing a visual inspection of any selected part or area.

30 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

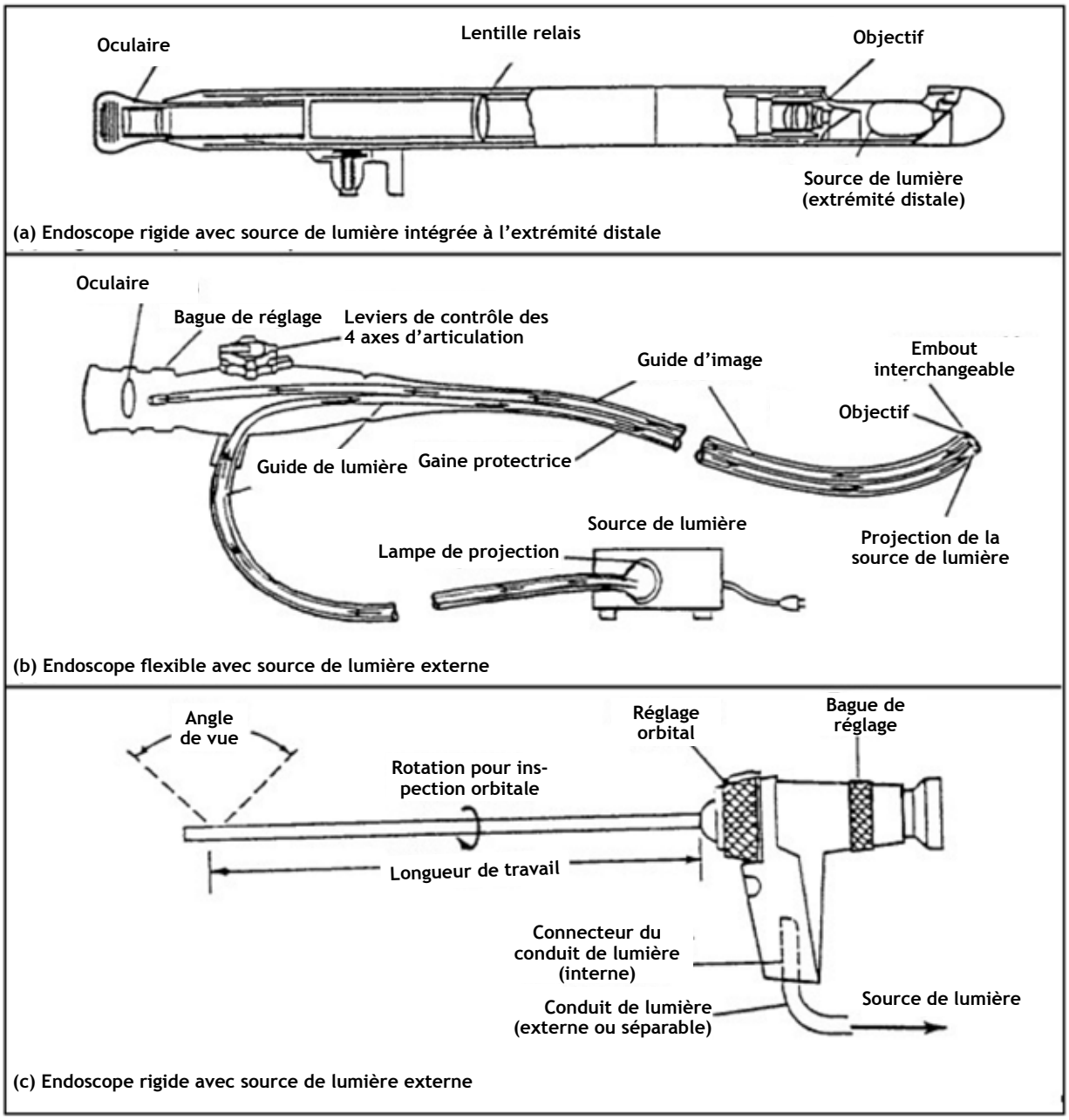


FIGURE 5-1. Types d'endoscopes courants. (*NdT : du moins en 1998, car depuis nous avons des endoscopes à LED et écrans LCD intégrés ou à transmission sans fil pour quelques dizaines d'euros*)

a. Inspection préliminaire. Effectuez une inspection préliminaire de l'ensemble de la zone générale pour vérifier la propreté, la présence de corps étrangers, de fixations déformées ou manquantes, la sécurité des pièces, la corrosion et les dommages. Si la configuration ou l'emplacement de la pièce dissimule la zone à inspecter, utilisez des aides visuelles telles qu'un miroir ou un endoscope.

b. Traitement de la corrosion. Traiter toute corrosion découverte au cours de l'inspection préliminaire après avoir effectué une inspection visuelle de toute pièce ou zone sélectionnée.

NOTE: Eddy current, radiography, or ultrasonic inspection can determine the loss of metal to corrosion.

c. Lighting. Provide adequate lighting to illuminate the selected part or area.

d. Personal Comfort. Personal comfort (temperature, wind, rain, etc.) of the inspector can be a factor in visual inspection reliability.

e. Noise. Noise levels while conducting a visual inspection are important. Excessive noise reduces concentration, creates tension, and prevents effective communication. All these factors will increase the likelihood of errors.

f. Inspection Area Access. Ease of access to the inspection area has been found to be of major importance in obtaining reliable visual inspection results. Access consists of the act of getting into an inspection position (primary access) and doing the visual inspection (secondary access). Poor access can affect the inspector's interpretation of discontinuities, decision making, motivation, and attitude.

g. Precleaning. Clean the areas or surface of the parts to be inspected. Remove any contaminates that might hinder the discovery of existing surface indications. Do not remove the protective finish from the part or area prior to inspection. Removal of the finish may be required at a later time if other NDI techniques are required to verify any visual indications of flaws that are found.

h. Inspection. Carefully inspect the area for discontinuities, using optical aids as required. An inspector normally should have available suitable measuring devices, a flashlight, and a mirror.

(1) Surface cracks. When searching for surface cracks with a flashlight, direct the light beam at a 5 to 45 degree angle to the inspection surface, towards the face. (See figure 5-2.) Do not direct the light beam at such an angle that the reflected light beam shines directly into the eyes. Keep the eyes above the reflected light beam during the inspection. Determine the extent of any cracks found by directing the light beam at right angles to the crack and tracing its length. Use a 10-power magnifying glass to confirm the existence of a suspected crack. If this is not adequate, use other NDI techniques, such as penetrant, magnetic particle, or eddy current to verify cracks.

(2) Other surface discontinuities. Inspect for other surface discontinuities, such as: discoloration from overheating; buckled, bulging, or dented skin; cracked, chafed, split, or dented tubing; chafed electrical wiring; delaminations of composites; and damaged protective finishes.

i. Recordkeeping. Document all discrepancies by written report, photograph, and/or video recording for appropriate evaluation. The full value of visual inspection can be realized only if records are kept of the discrepancies found on parts inspected. The size and shape of the discontinuity and its location on the part should be recorded along with other pertinent information, such as rework performed or disposition. The inclusion on a report of some visible record of the discontinuity makes the report more complete.

32 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

NOTE : Un contrôle par courants de Foucault, radiographie ou ultrasons peut déterminer la perte de métal due à la corrosion.

c. Éclairage. Fournir un éclairage adéquat pour éclairer la pièce ou la zone sélectionnée.

d. Confort personnel. Le confort personnel (température, vent, pluie, etc.) de l'inspecteur peut être un facteur de fiabilité de l'inspection visuelle.

e. Bruit. Les niveaux de bruit lors d'une inspection visuelle sont importants. Un bruit excessif réduit la concentration, crée des tensions et empêche une communication efficace. Tous ces facteurs augmenteront la probabilité d'erreurs.

f. Accès à la zone d'inspection. La facilité d'accès à la zone d'inspection s'est avérée être d'une importance majeure pour obtenir des résultats d'inspection visuelle fiables. L'accès consiste à se mettre en position d'inspection (accès primaire) et à effectuer l'inspection visuelle (accès secondaire). Un mauvais accès peut affecter l'interprétation des discontinuités par l'inspecteur, sa prise de décision, sa motivation et son attitude.

g. Prénettoyage. Nettoyer les zones ou la surface des pièces à inspecter. Enlevez tous les contaminants qui pourraient empêcher la découverte d'indications de surface existantes. Ne pas enlever la finition protectrice de la pièce ou de la zone avant l'inspection. L'enlèvement de la finition peut être nécessaire ultérieurement si d'autres techniques CND sont requises pour vérifier tout défaut qui a été découvert visuellement.

h. Inspection. Inspectez soigneusement la zone à la recherche de discontinuités, en utilisant des aides optiques si nécessaire. L'inspecteur doit normalement disposer d'appareils de mesure appropriés, d'une lampe de poche et d'un miroir.

(1) Criques superficielles. Lorsque vous recherchez des criques de surface à l'aide d'une lampe de poche, dirigez le faisceau lumineux à un angle de 5 à 45 degrés par rapport à la surface d'inspection, vers le visage. (Voir figure 5-2.) Ne dirigez pas le faisceau lumineux à un angle tel que le faisceau lumineux réfléchi brille directement dans les yeux. Gardez les yeux au-dessus du faisceau lumineux réfléchi pendant l'inspection. Déterminez l'étendue de toute crique trouvée en dirigeant le faisceau lumineux à angle droit avec la crique et en traçant sa longueur. Utilisez une loupe d'une puissance de 10X pour confirmer l'existence d'une crique présumée. Si cela ne suffit pas, utilisez d'autres techniques d'inspection non destructive, comme le ressuage, la magnétoscopie ou les courants de Foucault pour vérifier les criques.

(2) Autres discontinuités de surface. Inspectez les autres discontinuités de surface, telles que : décoloration due à la surchauffe ; peau gondolée, bombée ou bosselée ; tubes fissurés, frottés, fendus ou bosselés ; câblage électrique frotté ; délaminations de composites ; et finitions protectrices endommagées.

i. Tenue de dossiers. Documenter toutes les anomalies par un rapport écrit, une photographie et/ou un enregistrement vidéo pour une évaluation appropriée. La pleine valeur de l'inspection visuelle ne peut être réalisée que si l'on tient des registres des anomalies trouvées sur les pièces inspectées. La taille et la forme de la discontinuité et son emplacement sur la pièce doivent être enregistrés, ainsi que d'autres informations pertinentes, telles que la reprise effectuée ou la disposition. L'inclusion dans un rapport d'une trace visible de la discontinuité rend le rapport plus complet.

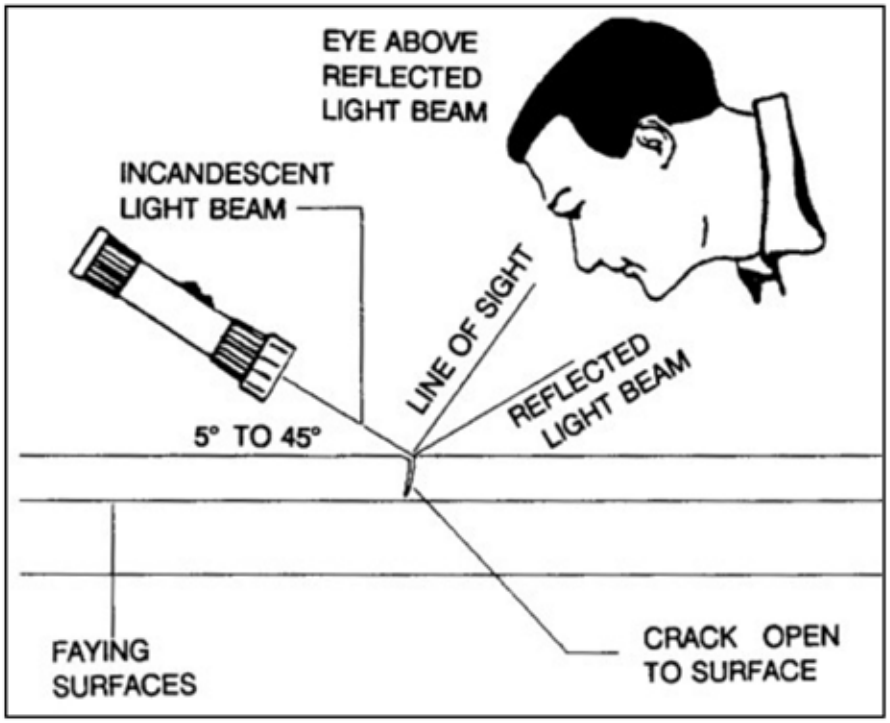


FIGURE 5-2. Using a flashlight to inspect for cracks.

5-19.—5-24. [RESERVED.]

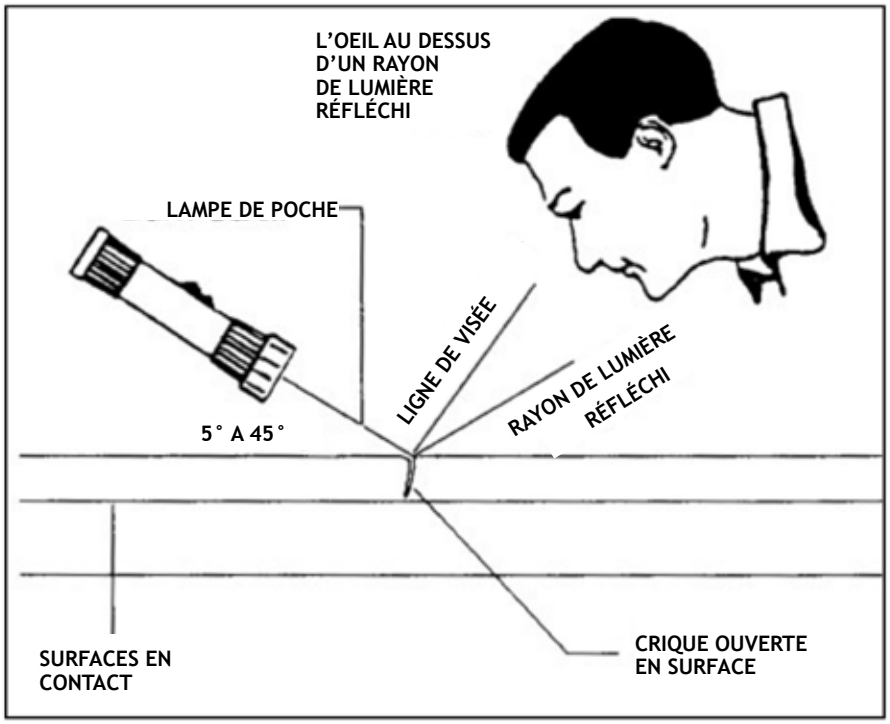


FIGURE 5-2. Utilisation d'une lampe de poche pour inspecter les criques.

5-19.- 5-24. [RÉSERVÉ.]

SECTION 3. EDDY CURRENT INSPECTION

5-25. EDDY CURRENT INSPECTION. Eddy current is used to detect surface cracks, pits, subsurface cracks, corrosion on inner surfaces, and to determine alloy and heat-treat condition.

a. Eddy Current Instruments. A wide variety of eddy current test instruments are available. The eddy current test instrument performs three basic functions: generating, receiving, and displaying. The generating portion of the unit provides an alternating current to the test coil. The receiving section processes the signal from the test coil to the required form and amplitude for display. Instrument outputs or displays consist of a variety of visual, audible, storage, or transfer techniques utilizing meters, video displays, chart recorders, alarms, magnetic tape, computers, and electrical or electronic relays.

b. Principles of Operations. Eddy currents are induced in a test article when an alternating current is applied to a test coil (probe). The alternating current in the coil induces an alternating magnetic field in the article which causes eddy currents to flow in the article. (See figure 5-3.)

(1) Flaws in or thickness changes of the test-piece influence the flow of eddy currents and change the impedance of the coil accordingly. (See figure 5-4.) Instruments display the impedance changes either by impedance plane plots or by needle deflection.

(2) Figure 5-5 shows typical impedance plane display and meter display instrument responses for aluminum surface cracks, subsurface cracks, and thickness.

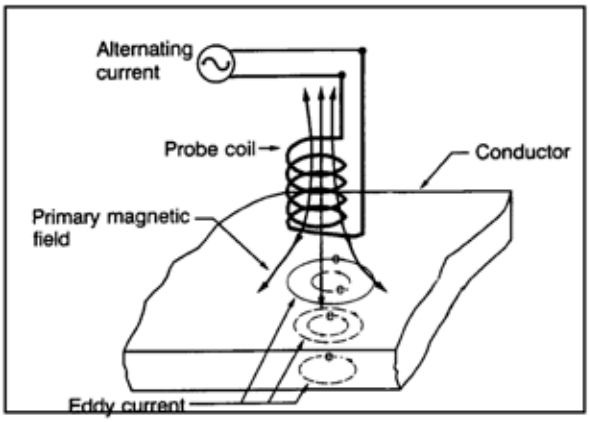


FIGURE 5-3. Generating an eddy current.

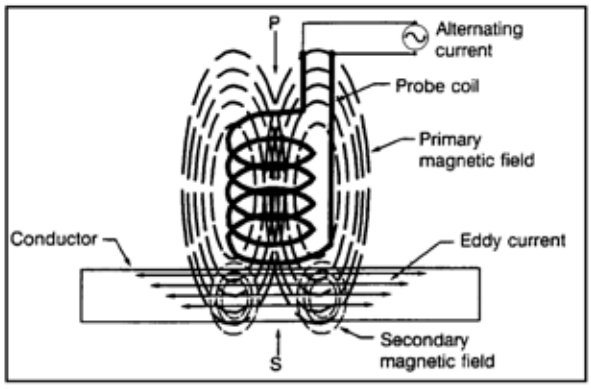


FIGURE 5-4. Detecting an eddy current.

5-26. EDDY CURRENT COILS AND PROBES. A wide variety of eddy current coils and probes is available. Coils and probes are not always interchangeable between various types of instruments and, for best results, should be matched to a specific instrument and frequency range. Special probe holders can be fabricated to facilitate eddy current inspection of contoured or shaped parts including part edges.

5-27. FIELD APPLICATION OF EDDY CURRENT INSPECTION. Eddy current techniques are particularly well-suited for detection of service-induced cracks in the field.

36 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-25. INSPECTION PAR COURANTS DE FOUCAULT. Les courants de Foucault sont utilisés pour détecter les criques de surface, les piqûres, les criques sous la surface, la corrosion sur les surfaces internes et pour déterminer l'état de l'alliage et du traitement thermique.

a. Instruments à courants de Foucault. Il existe une grande variété d'instruments de contrôle par courants de Foucault. L'instrument de contrôle par courants de Foucault remplit trois fonctions de base : production, réception et affichage. La partie génératrice de l'appareil fournit un courant alternatif à la bobine d'essai. La section de réception traite le signal provenant de la bobine d'essai pour lui donner la forme et l'amplitude requises pour l'affichage. Les sorties ou les affichages de l'instrument consistent en une variété de techniques visuelles, auditives, de stockage ou de transfert utilisant des compteurs, des affichages vidéo, des enregistreurs de graphiques, des alarmes, des bandes magnétiques, des ordinateurs et des relais électriques ou électroniques.

b. Principes de fonctionnement. Les courants de Foucault sont induits dans un élément à tester lorsqu'un courant alternatif est appliqué à une bobine de test (sonde). Le courant alternatif dans la bobine induit un champ magnétique alternatif dans l'article, ce qui provoque le passage de courants de Foucault dans l'élément. (Voir figure 5-3.)

(1) Les défauts ou les changements d'épaisseur de l'éprouvette influencent le flux des courants de Foucault et modifient l'impédance de la bobine en conséquence. (Voir figure 5-4.) Les instruments affichent les changements d'impédance soit par des tracés du plan d'impédance, soit par la déviation de l'aiguille.

(2) La figure 5-5 montre les réponses typiques des instruments d'affichage du plan d'impédance et d'affichage du compteur pour les criques de surface, les criques sous la surface et l'épaisseur de l'aluminium.

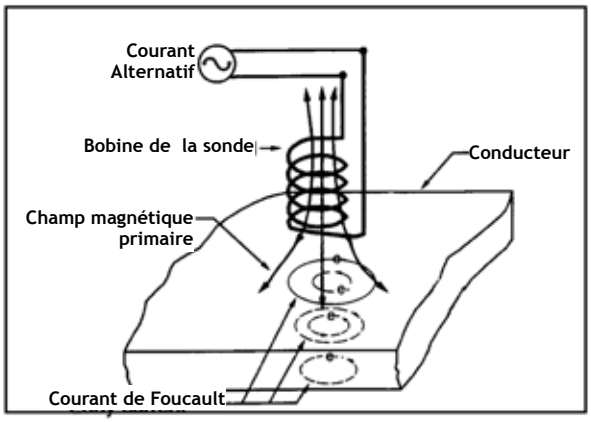


FIGURE 5-3. Génération d'un courant de Foucault.

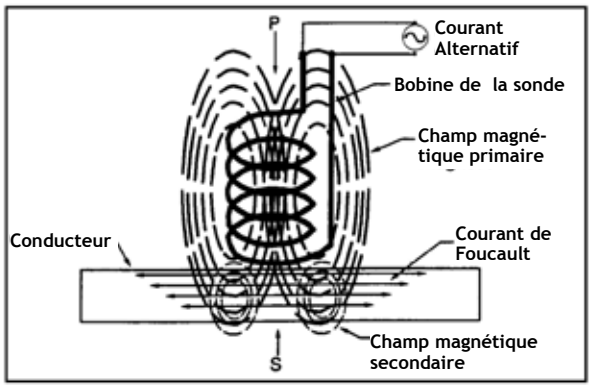


FIGURE 5-4. Détection d'un courant de Foucault.

5-26. BOBINES ET SONDES À COURANTS DE FOUCAULT. Il existe une grande variété de bobines et de sondes à courants de Foucault. Les bobines et les sondes ne sont pas toujours interchangeables entre les différents types d'instruments et, pour de meilleurs résultats, elles doivent être adaptées à un instrument et à une gamme de fréquences spécifiques. Des supports de sonde peuvent être fabriqués pour faciliter l'inspection par courants de Foucault des pièces de forme ou de contour particuliers, y compris leurs bords.

5-27. APPLICATION SUR SITE DU CONTRÔLE PAR COURANTS DE FOUCAULT. Les techniques de contrôle par courants de Foucault sont particulièrement bien adaptées à la détection des criques directement dans le hangar.

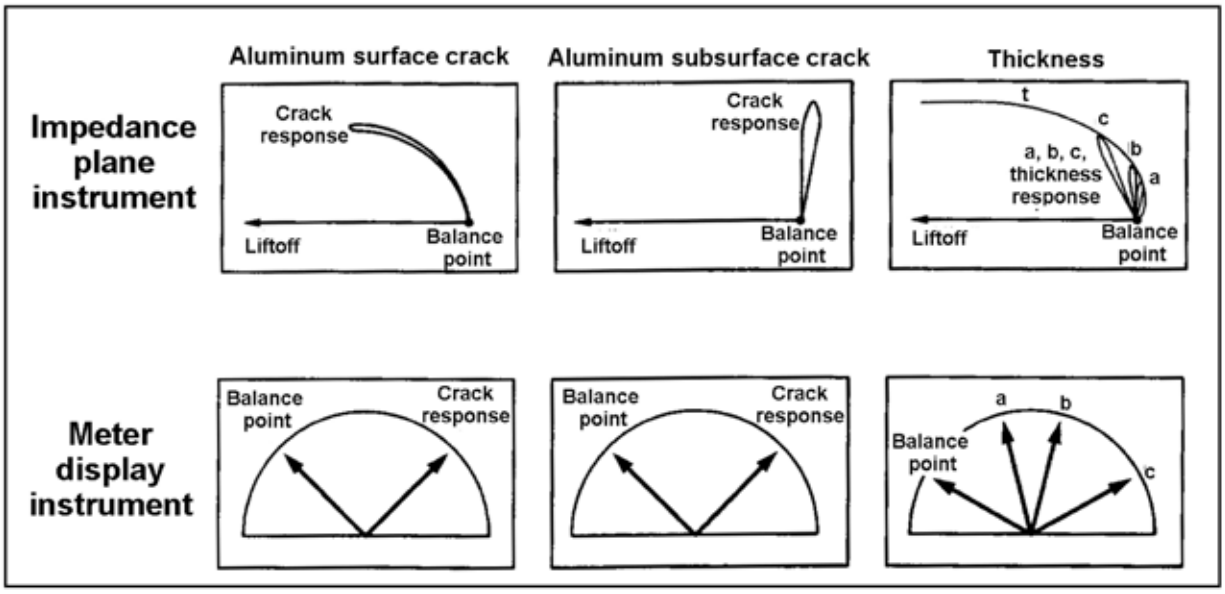


FIGURE 5-5. Typical instrument displays.

Service-induced cracks in aircraft structures are generally caused by fatigue or stress corrosion. Both types of cracks initiate at the surface of a part. If this surface is accessible, a high-frequency eddy current inspection can be performed with a minimum of part preparation and a high degree of sensitivity. If the surface is less accessible, such as in a subsurface layer of structure, low-frequency eddy current inspection can usually be performed. Eddy current inspection can usually be performed without removing surface coatings such as primer, paint, and anodic films. Eddy current inspection has the greatest application for inspecting small localized areas where possible crack initiation is suspected rather than for scanning broad areas for randomly-oriented cracks. However, in some instances it is more economical to scan relatively large areas with eddy current rather than strip surface coatings, inspect by other methods, and then refinish.

5-28. SURFACE INSPECTION. Eddy current inspection techniques are used to inspect for surface cracks such as those shown in figure 5-6.

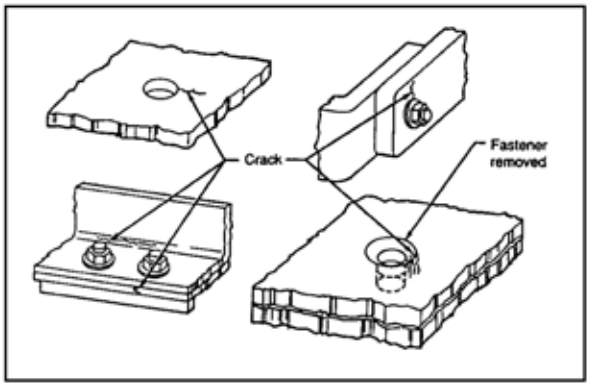


FIGURE 5-6. Typical surface cracks.

a. Equipment Requirements. The following are typical eddy current equipment requirements for surface crack inspections.

(1) Instruments must meet the liftoff and sensitivity requirements of the applicable NDI procedures. The frequency requirement is generally 100 Hz to 200 kHz.

(2) Many types of probes are available such as: flat-surface; spring-loaded; pencil; shielded pencil; right-angle pencil; or fastener hole probes.

38 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

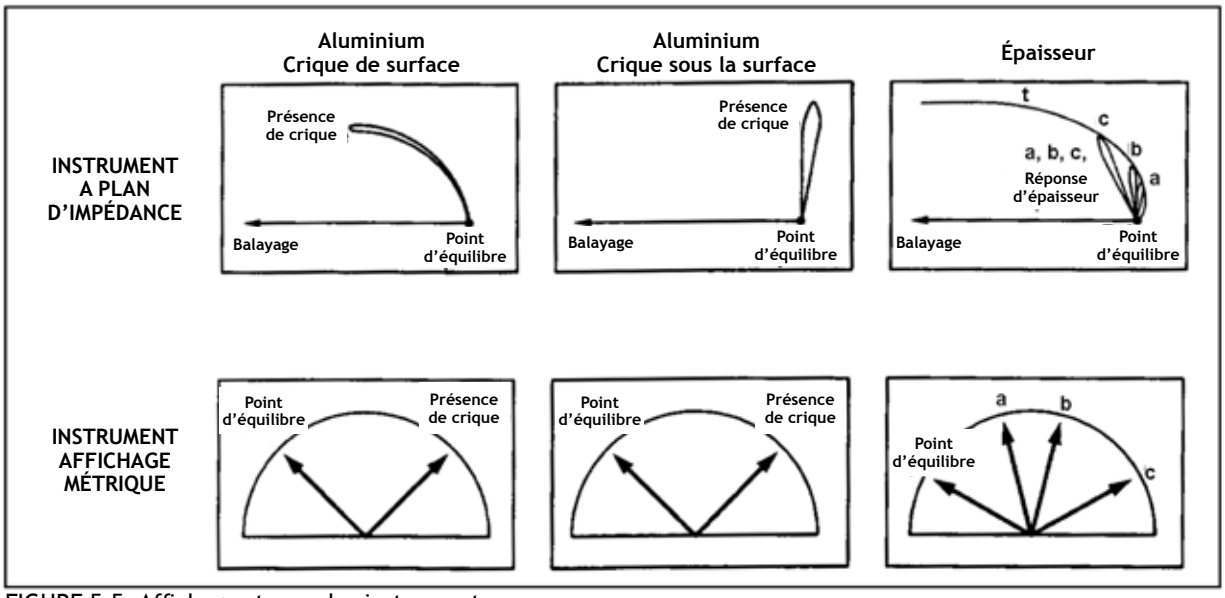


FIGURE 5-5. Affichages types des instruments.

Les criques induites dans les structures d'aéronefs sont généralement causées par la fatigue ou la corrosion sous contrainte. Ces deux types de criques prennent naissance à la surface d'une pièce. Si cette surface est accessible, une inspection par courants de Foucault à haute fréquence peut être réalisée avec un minimum de préparation de la pièce et un haut degré de sensibilité. Si la surface est moins accessible, par exemple dans une couche sous-jacente de la structure, une inspection par courants de Foucault à basse fréquence peut généralement être effectuée. L'inspection par courants de Foucault peut généralement être effectuée sans enlever les protections de surface tels que l'apprêt, la peinture et les films anodiques. L'inspection par courants de Foucault s'applique surtout à l'inspection de petites zones localisées où l'on soupçonne l'apparition de criques plutôt qu'au balayage de vastes zones à la recherche de criques orientées de façon aléatoire. Cependant, dans certains cas, il est plus économique de balayer des zones relativement grandes avec des courants de Foucault plutôt que de décaper les protections de surface, de les inspecter par d'autres méthodes, puis de refaire la finition.

5-28. INSPECTION DE SURFACE. Les techniques d'inspection par courants de Foucault sont utilisées pour inspecter les criques de surface telles que celles illustrées à la figure 5-6.

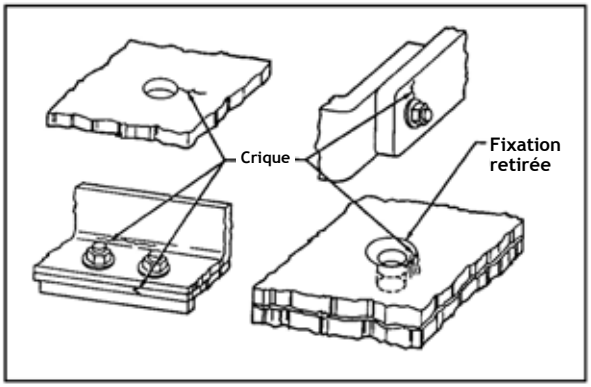


FIGURE 5-6. Criques de surface typiques.

a. Équipement requis. Voici les exigences types en matière d'équipement à courants de Foucault pour l'inspection des criques de surface.

(1) Les instruments doivent répondre aux exigences de sensibilité et de balayage des procédures CND applicables. La fréquence requise est généralement comprise entre 100 Hz et 200 kHz.

(2) De nombreux types de sondes sont disponibles : sondes à surface plane, à ressort, crayon, crayon blindé, crayon à angle droit ou sondes pour trous de fixation.

(3) A reference standard is required for the calibration of Eddy Current test equipment. A reference standard is made from the same material as that which is to be tested. A reference standard contains known flaws or cracks and could include items such as: a flat surface notch, a fastener head, a fastener hole, or a countersink hole.

5-29. SUBSURFACE INSPECTION. Eddy current inspection techniques are used to inspect for subsurface cracks such as those shown in figure 5-7. The following are typical eddy current equipment requirements for subsurface crack inspections.

a. Use a variable frequency instrument with frequency capability from 100 Hz to 500 MHz.

b. The probe used would be a low-frequency; spot, ring, or sliding probe.

c. Use a reference standard appropriate for the inspection being performed.

5-30. CORROSION INSPECTION. Eddy current inspection is used to detect the loss of metal as a result of corrosion. An estimation of material loss due to corrosion can be made by comparison with thickness standards. Figure 5-8 shows typical structural corrosion that may be detected by the use of eddy current inspection. Remove all surface corrosion before performing the eddy current corrosion inspection. The following are typical eddy current equipment requirements for corrosion inspection.

a. Use a variable frequency instrument with frequency capability from 100 Hz to 40 kHz.

b. Use a shielded probe with coil diameter between 0.15 and 0.5 inch and designed to operate at the lower frequencies.

c. A reference standard made from the same alloy, heat treatment, and thickness as the test structure will be required.

5-31. ESTABLISHING EDDY CURRENT INSPECTION PROCEDURES. When establishing eddy current inspection procedures, where no written procedures are available, the following factors must be considered: type of material to be inspected; accessibility of the inspection area; material or part geometry, the signal-to-noise ratio, test system; lift-off effects, location and size of flaws to be detected; scanning pattern; scanning speed; and reference standards. All of these factors are interrelated. Therefore, a change in one of the factors may require changes in other factors to maintain the same level of sensitivity and reliability of the eddy current inspection procedure. Written procedures should elaborate on these factors and place them in their proper order.

40 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(3) Un étalon de référence est nécessaire pour l'étalonnage des équipements de contrôle par courants de Foucault. Un étalon de référence est fabriqué à partir du même matériau que celui qui doit être testé. Un étalon de référence contient des défauts ou des criques connus et peut comprendre des éléments tels que : une encoche de surface plane, une tête de fixation, un trou de fixation ou un trou de fraisage.

5-29. INSPECTION SOUS LA SURFACE.
Les techniques d'inspection par courants de Foucault sont utilisées pour rechercher les criques souterraines telles que celles illustrées à la figure 5-7. Voici les exigences typiques en matière d'équipement à courants de Foucault pour les inspections de criques sous la surface.

a. Utiliser un instrument à fréquence variable dont la fréquence peut varier de 100 Hz à 500 MHz.

b. La sonde utilisée est une sonde à basse fréquence, ponctuelle, annulaire ou coulissante.

c. Utiliser un étalon de référence approprié à l'inspection effectuée.

5-30. INSPECTION DE LA CORROSION. L'inspection par courants de Foucault est utilisée pour détecter la perte de métal due à la corrosion. Une estimation de la perte de matériau due à la corrosion peut être effectuée par comparaison avec des étalons d'épaisseur. La figure 5-8 montre une corrosion structurelle typique qui peut être détectée par l'inspection par courants de Foucault. Enlevez toute corrosion de surface avant de procéder à l'inspection de la corrosion par courants de Foucault. Voici les exigences typiques de l'équipement à courants de Foucault pour l'inspection de la corrosion.

a. Utiliser un instrument à fréquence variable dont la capacité de fréquence est comprise entre 100 Hz et 40 kHz.

b. Utilisez une sonde blindée dont le diamètre de la bobine est compris entre 4 et 12 mm et conçue pour fonctionner aux fréquences inférieures.

c. Un étalon de référence fabriqué à partir du même alliage, du même traitement thermique et de la même épaisseur que la structure d'essai sera nécessaire.

5-31. ÉTABLISSEMENT DES PROCÉDURES D'INSPECTION PAR COURANTS DE FOUCAULT. Lorsqu'on établit des procédures d'inspection par courants de Foucault, en l'absence de procédures écrites, il faut tenir compte des facteurs suivants : le type de matériau à inspecter, l'accessibilité de la zone d'inspection, la géométrie du matériau ou de la pièce, le rapport signal/bruit, le système d'essai, les effets de soulèvement, l'emplacement et la taille des défauts à détecter, le motif de balayage, la vitesse de balayage et les étalons de référence. Tous ces facteurs sont interdépendants. Par conséquent, la modification de l'un des facteurs peut nécessiter la modification d'autres facteurs pour maintenir le même niveau de sensibilité et de fiabilité de la procédure d'inspection par courants de Foucault. Les procédures écrites doivent détailler ces facteurs et les placer dans l'ordre approprié.

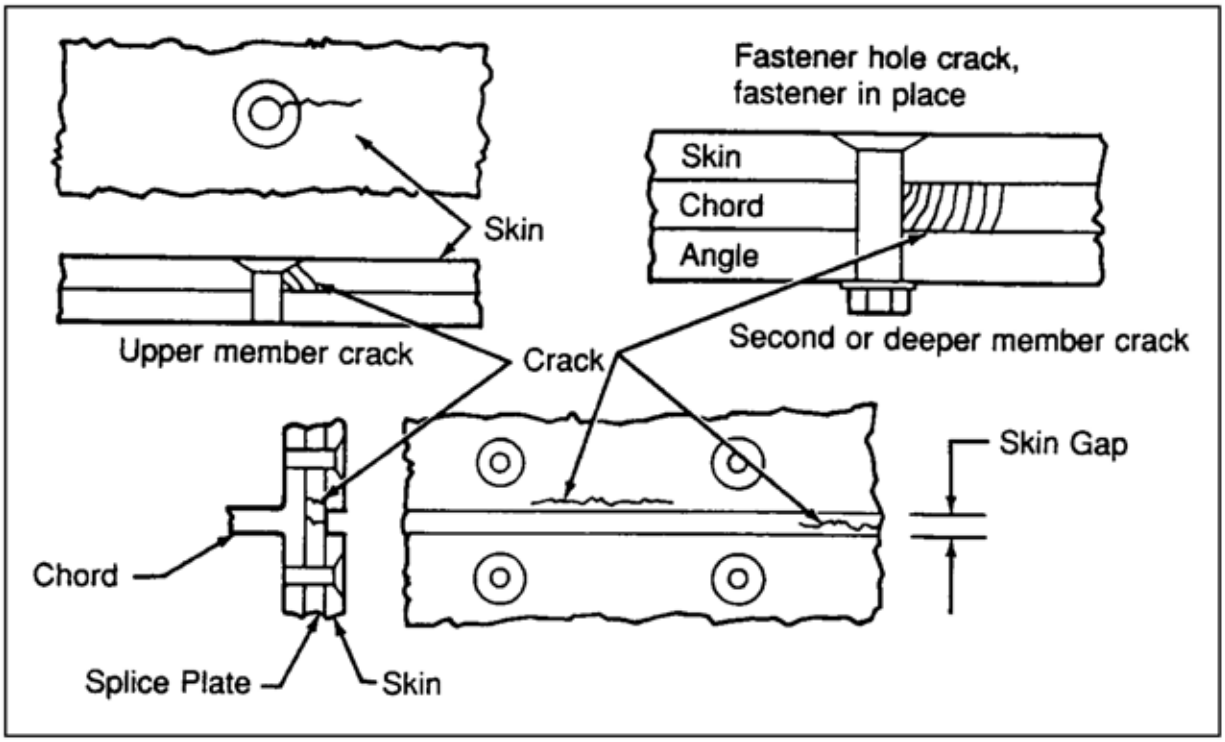


FIGURE 5-7. Typical subsurface cracks.

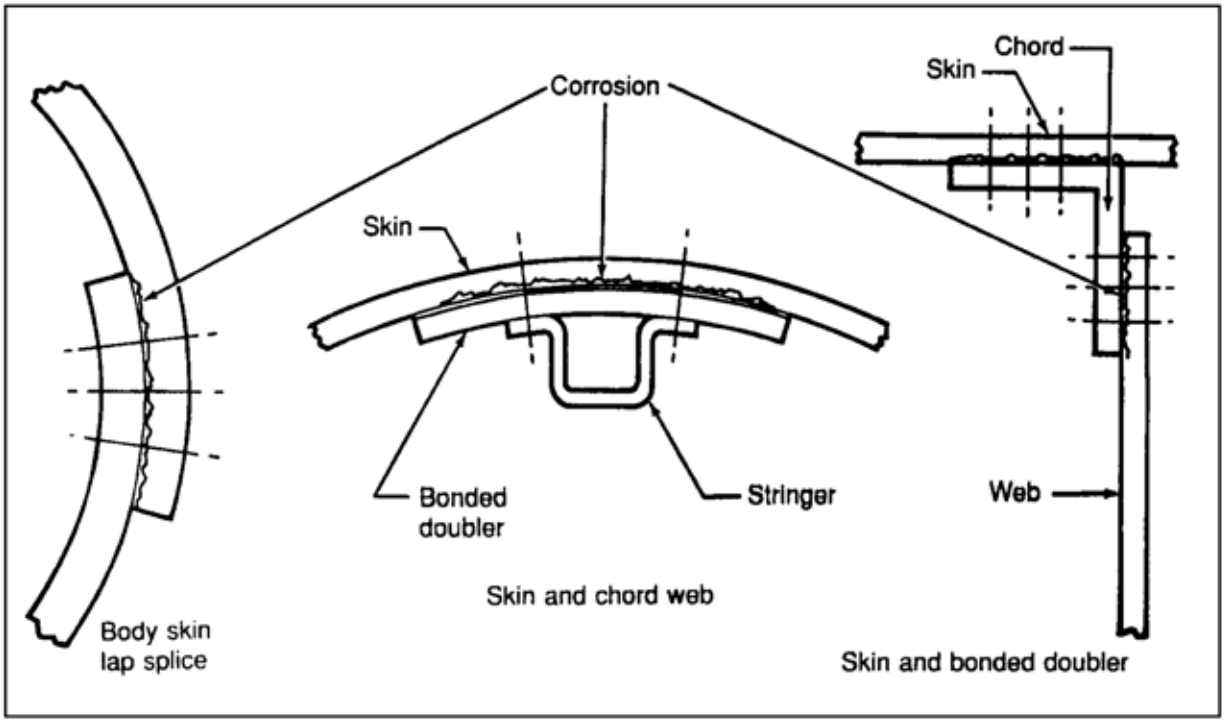


FIGURE 5-8. Typical structural corrosion.

5-32.—5-39. [RESERVED.]

42 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

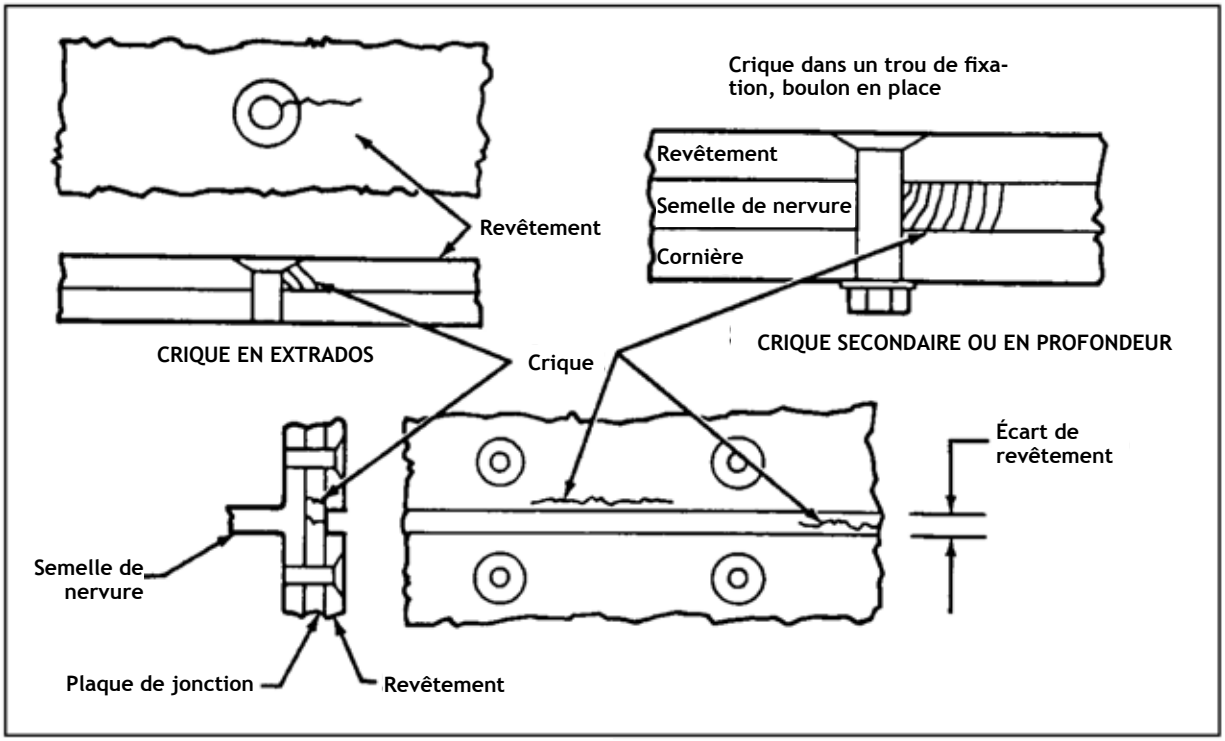


Figure 5-7. Criques sous-surface typiques.

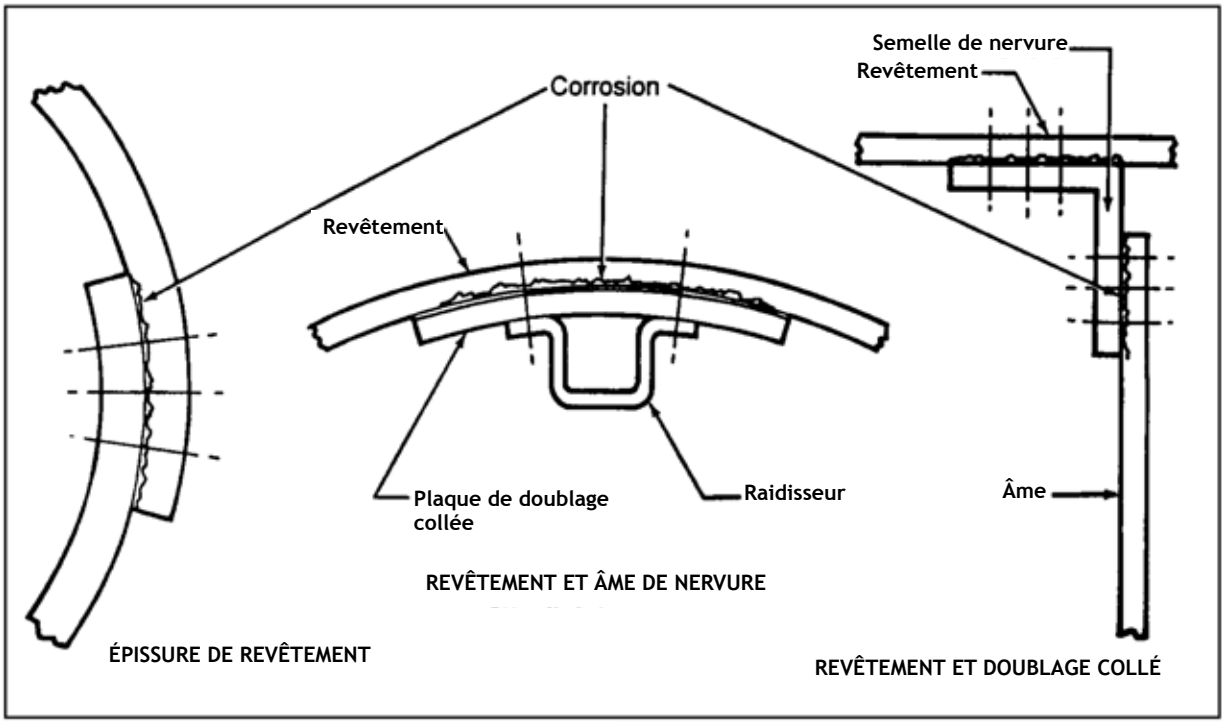


Figure 5-8. Corrosion structurelle typique.

5-32.- 5-39. [RÉSERVÉ.]

SECTION 4. MAGNETIC PARTICLE INSPECTION

5-40. GENERAL. Magnetic particle inspection is a method for detecting cracks, laps, seams, voids, pits, subsurface holes, and other surface, or slightly subsurface, discontinuities in ferro-magnetic materials. Magnetic particle inspection can be used only on ferro-magnetic materials (iron and steel). It can be performed on raw material, billets, finished and semi-finished materials, welds, and in-service assembled or disassembled parts. Magnetic particles are applied over a surface either dry, as a powder, or wet, as particles in a liquid carrier such as oil or water.

Common uses for magnetic particle inspection are; final inspection, receiving inspection, in-process inspection; and quality control, maintenance, and overhaul.

5-41. PRINCIPLES OF OPERATION. Magnetic particle inspection uses the tendency of magnetic lines of force, or flux, of an applied field to pass through the metal rather than through the air. A defect at or near the metal's surface distorts the distribution of the magnetic flux and some of the flux is forced to pass out through the surface. (See figure 5-9.) The field strength is increased in the area of the defect and opposite magnetic poles form on either side of the defect. Fine magnetic particles applied to the part are attracted to these regions and form a pattern around the defect. The pattern of particles provides a visual indication of a defect. (See figure 5-10.)

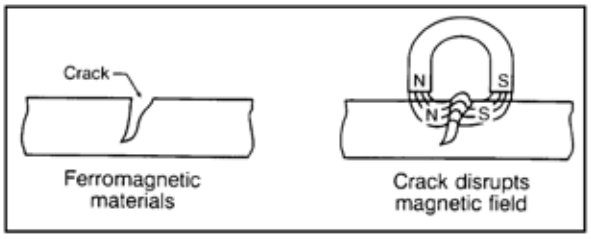


FIGURE 5-9. Magnetic field disrupted.

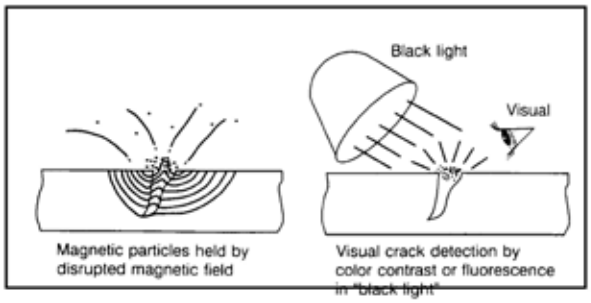


FIGURE 5-10. Crack detection by magnetic particle inspection.

a. To locate a defect, it is necessary to control the direction of magnetization, and flux lines must be perpendicular to the longitudinal axes of expected defects. Examination of critical areas for defects may require complete disassembly. Two methods of magnetization, circular and longitudinal, are used to magnetize the part and induce perpendicular flux paths. Parts of complex configuration may require local magnetization to ensure proper magnetic field direction and adequate removal of surface coatings, sealants, and other similar compounds. Possible adverse influence of the applied or residual magnetic fields on delicate parts such as instruments, bearings, and mechanisms may require removal of these parts before performing the inspection.

b. Certain characteristics inherent in the magnetic particle method may introduce errors in examination results. Nonrelevant errors are caused by magnetic field distortions due to intentional design features, such as:

(1) Sharp radii, less than 0.10 inch radius, in fillets;

(2) Thread roots, keyways, and drilled holes; and

(3) Abrupt changes in geometry or in magnetic properties within the part.

44 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-40. GÉNÉRALITÉS. Le contrôle magnétoscopique est une méthode permettant de détecter les criques, les chevauchements, les jointures, les vides, les piqûres, les trous sous la surface et autres discontinuités de surface ou légèrement sous-jacente dans les matériaux ferromagnétiques. Le contrôle magnétoscopique ne peut être utilisé que sur les matériaux ferro-magnétiques (fer et acier). Il peut être effectué sur des structures brutes, des billettes, des matériaux finis et semi-finis, des soudures et des pièces assemblées ou désassemblées en service. Les particules magnétiques sont appliquées sur une surface soit à sec, sous forme de poudre, soit humide, sous forme de particules dans un support liquide tel que l'huile ou l'eau.

Les utilisations courantes de l'inspection par particules magnétiques sont les suivantes : inspection finale, inspection à la réception, inspection en cours de processus, contrôle de la qualité, maintenance et révision.

5-41. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT.
Le contrôle magnétoscopique utilise la tendance des lignes de force magnétiques, ou flux, d'un champ appliqué à traverser le métal plutôt que l'air. Un défaut à la surface du métal ou à proximité déforme la distribution du flux magnétique et une partie du flux est forcée de passer à travers la surface (voir figure 5-9). L'intensité du champ augmente dans la zone du défaut et des pôles magnétiques opposés se forment de part et d'autre du défaut. Les fines particules magnétiques appliquées sur la pièce sont attirées par ces régions et forment un motif autour du défaut. Ce motif de particules fournit une indication visuelle du défaut. (Voir figure 5-10.)

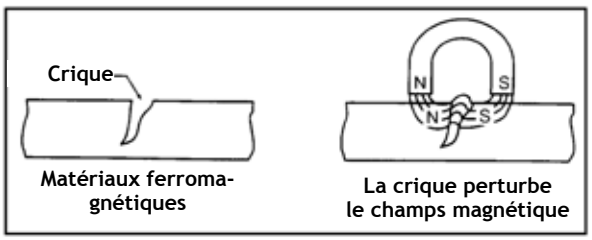


Figure 5-9. Champ magnétique perturbé.

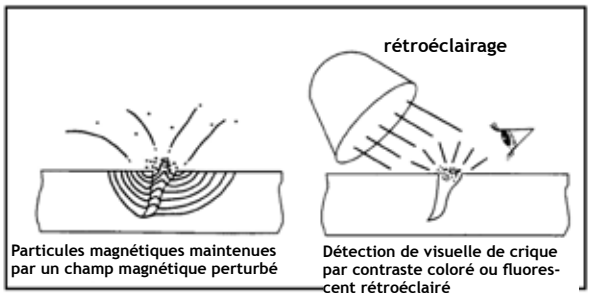


Figure 5-10. Détection de criques par magnétoscopie.

a. Pour localiser un défaut, il est nécessaire de contrôler la direction de la magnétisation, et les lignes de flux doivent être perpendiculaires aux axes longitudinaux des défauts attendus. L'examen des défauts dans les zones critiques peut nécessiter un démontage complet. Deux méthodes de magnétisation, circulaire et longitudinale, sont utilisées pour magnétiser la pièce et induire des lignes de flux perpendiculaires. Les pièces de configuration complexe peuvent nécessiter une magnétisation locale pour assurer une direction correcte du champ magnétique et un enlèvement adéquat des revêtements de surface, des mastics et autres composés similaires. Une éventuelle influence négative des champs magnétiques appliqués ou résiduels sur des pièces délicates telles que des instruments, des roulements et des mécanismes peut nécessiter le retrait de ces pièces avant d'effectuer l'inspection.

b. Certaines caractéristiques inhérentes à la méthode par particules magnétiques peuvent introduire des erreurs dans les résultats de l'examen. Les erreurs non pertinentes sont causées par des distorsions du champ magnétique dues à des caractéristiques de conception intentionnelles, telles que :

(1) Des rayons aigus, d'un rayon inférieur à 2,5 mm, dans les congés ;

(2) Les embases de filetages, les rainures de clavettes et les trous percés ; et

(3) Changements brusques de la géométrie ou des propriétés magnétiques de la pièce.

c. Operators must understand nonrelevant error indications and recognize them during examination. Proper analysis of indications in these regions will require considerable skill and experience, and supplemental methods may be required before a final evaluation can be made. Special techniques for examination of these areas are given in subsequent paragraphs.

5-42. APPLICATIONS. Use magnetic particle inspection on any well-cleaned surface that is accessible for close visual examination. Typical parts deserving magnetic particle examination are: steel fasteners and pins; critical structural elements; linkages; landing gear components; splice and attach fittings; and actuating mechanisms.

a. During field repair operations, disassembly is often not necessary, except when the parts have critical areas or delicate installed components. However, for overhaul operations, a more thorough and critical examination may be obtained with stationary equipment in a shop environment with completely disassembled, and thoroughly cleaned and stripped parts.

b. Magnetic rubber examination material is useful for in-field service examinations of fastener holes in areas where the accessibility is limited or restricted, where particle suspensions may cause unwanted contamination, when a permanent record is desired, and when the examination area cannot be observed visually.

5-43. ELECTRICAL MAGNETIZING EQUIPMENT. Stationary equipment in the range of 100 to 6000 amperes is normal for use within the aerospace industry for overhaul operations. Mobile equipment with similar amperage outputs is available for field examination of heavy structures, such as landing gear cylinders and axles. Small parts and local areas of large components can be adequately checked with the use of small, inexpensive permanent magnets or electromagnetic yokes. In procuring magnetizing equipment, the maximum rated output should be greater than the required examination amperage. Actual current flow through a complex part may be reduced as much as 20 percent by the resistance load of the rated output.

5-44. MATERIALS USED IN MAGNETIC PARTICLE INSPECTION. The particles used in magnetic particle inspection are finely divided ferro-magnetic materials that have been treated with color or fluorescent dyes to improve visibility against the various surface backgrounds of the parts under inspection. Magnetic particles, particle-suspension vehicles, and cleaners are required for conducting magnetic particle inspection. Requirements for magnetic particle inspection materials, other than cleaners, are contained in the aerospace industry standard, ASTM-E1444, Inspection, Magnetic Particle (as revised). A certification statement which will certify that the material meets applicable specification requirements will generally be received when a magnetic particle inspection material is purchased. Magnetic particle inspection materials for use on a specific part or component will generally be specified by the aircraft or component manufacturer or the FAA in documents such as; maintenance or overhaul manuals, AD's, SSID's, or manufacturer's SB's. However, if the magnetic particle inspection materials are not specified for the specific part or component to be inspected, it is recommended that personnel use materials meeting the aircraft or component manufacturers' specifications or materials meeting the requirements of ASTM-E1444. Other FAA engineering-approved materials may also be used. Table 5-2 provides a partial listing of commonly accepted standards and specifications for magnetic particle inspection.

46 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

c. Les opérateurs doivent comprendre les indications d'erreur non pertinentes et les reconnaître pendant l'examen. L'analyse correcte des indications dans ces régions exigera une compétence et une expérience considérables, et des méthodes supplémentaires peuvent être nécessaires avant qu'une évaluation finale puisse être faite. Des techniques spéciales pour l'examen de ces zones sont données dans les paragraphes suivants.

5-42. APPLICATIONS. Utilisez le contrôle magnétoscopique sur toute surface bien nettoyée et accessible à un examen visuel rapproché. Les pièces typiques méritant un examen magnétoscopique sont : les fixations et les goupilles en acier ; les éléments structurels critiques ; les tringleries ; les composants du train d'atterrissage ; les ferrures d'éclisse et de fixation ; et les mécanismes d'actionnement.

a. Lors des opérations de réparation sur site, le démontage n'est souvent pas nécessaire, sauf lorsque les pièces présentent des zones critiques ou des composants installés délicats. Cependant, pour les opérations de révision, un examen plus approfondi et plus critique peut être obtenu avec des équipements fixes dans un environnement d'atelier avec des pièces complètement démontées, et soigneusement nettoyées et décapées.

b. Le matériel d'examen en caoutchouc magnétique est utile pour les examens de service sur place des trous de fixation dans les zones où l'accessibilité est limitée ou restreinte, où les suspensions de particules peuvent causer une contamination indésirable, lorsqu'un enregistrement permanent est souhaité et lorsque la zone d'examen ne peut être observée visuellement.

5-43. ÉQUIPEMENT DE MAGNÉTISATION ÉLECTRIQUE. Un équipement fixe de 100 à 6000 ampères est normalement utilisé dans l'industrie aérospatiale pour les opérations de révision. Des équipements mobiles avec des intensités similaires sont disponibles pour l'examen sur place de structures lourdes, telles que les cylindres de trains d'atterrissage et les essieux. Les petites pièces et les zones locales des grands composants peuvent être vérifiées de manière adéquate à l'aide de petits aimants permanents peu coûteux ou de culasses électromagnétiques. Lors de l'achat d'un équipement de magnétisation, la puissance nominale maximale doit être supérieure à l'intensité d'examen requis. Le flux de courant réel à travers une pièce complexe peut être réduit jusqu'à 20 % par la charge de résistance de la sortie nominale.

5-44. MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LE CONTRÔLE PAR MAGNÉTOSCOPIE. Les particules utilisées dans le contrôle magnétoscopique sont des matériaux ferro-magnétiques finement divisés qui ont été traités avec des colorants ou des teintures fluorescentes pour améliorer la visibilité sur les différents fonds de surface des pièces contrôlées. Les particules magnétiques, les excipients visqueux et les nettoyeurs sont nécessaires pour effectuer le contrôle magnétoscopique. Les exigences relatives aux matériaux de contrôle par magnétoscopie, autres que les nettoyants, sont contenues dans la norme de l'industrie aérospatiale, ASTM-E1444, Inspection, Magnetic Particle (telle que révisée). Une déclaration de certification attestant que le matériau répond aux exigences des spécifications applicables est généralement fournie lors de l'achat d'un matériau de contrôle magnétoscopique. Les matériaux de contrôle magnétoscopique à utiliser sur une pièce ou un composant spécifique sont généralement spécifiés par le fabricant de l'aéronef ou du composant ou par la FAA dans des documents tels que les manuels de maintenance ou de révision, les AD[1], les SSID[2] ou les SB[3] du fabricant. Toutefois, si les matériaux de contrôle magnétoscopique ne sont pas spécifiés pour la pièce ou l'élément spécifique à contrôler, il est recommandé au personnel d'utiliser des matériaux répondant aux spécifications des fabricants de l'aéronef ou de l'élément ou des matériaux répondant aux exigences de la norme ASTM-E1444[4]. D'autres matériaux approuvés par la FAA peuvent également être utilisés. Le tableau 5-2 fournit une liste partielle des normes et spécifications communément acceptées pour le contrôle magnétoscopique.

1 NdT : AD pour Airworthiness Directive ou Consigne de Navigabilité (CN).
2 NdT : SSID pour Supplemental Structural Inspection Documents
3 NdT : SB pour Service Bulletin ou Bulletin de Service.
4 Ndt : ASTM E-1444 Standard Practice for Magnetic Particle Testing for Aerospace, Revision 22A du 1er juillet 2022 disponible sur global.ihs.com, remplace la norme MIL-STD-1949. Depuis 2018, cela semble mis en application dans le document FAA TC-17-20 « Fundamental Engineering Studies of Magnetic Particle Inspectionand Impact on Standards and Industrial Practice ».

TABLE 5-2. Listing of commonly accepted standards and specifications for magnetic particle inspection.

NUMBER	TITLE
ASTM STANDARDS	
ASTM A275/A275 M-96	Standard Test Method for Magnetic Particle Examination of Steel Forgings. 1995
ASTM A456/A456 M Rev. A.	Standard Specification for Magnetic Particle Examination of Large Crankshaft Forgings. 1995
ASTM D96	Standard Test Methods for Water and Sediment in Crude Oils by Centrifuge Method (Field Procedure). 1988
ASTM E125-63 (1993)	Standard Reference Photographs for Magnetic Particle Indications on Ferrous Castings. (Revised 1993) 1963
ASTM E1316-95C	Standard Terminology for Nondestructive Examination. 1995 (Replaces ASTM E269).
SAE-AMS SPECIFICATIONS	
AMS 2300G	Premium Aircraft-Quality Steel Cleanliness Magnetic Particle Inspection Procedure. 1991 (Revised 1995)
MAM 2300A	Premium Aircraft Quality Steel Cleanliness Magnetic Particle Inspection Procedure Metric (SI) Measurement. 1992
AMS 2303C	Aircraft Quality Steel Cleanliness Martensitic Corrosion Resistant Steels Magnetic Particle Inspection Procedure. 1993
MAM 2303A	Aircraft Quality Steel Cleanliness Martensitic Corrosion Resistant Steels Magnetic Particle Inspection Procedure Metric (SI) Measurement. 1993
AMS 2641	Vehicle, Magnetic Particle Inspection Petroleum Base. 1988
AMS 3040B	Magnetic Particles, Nonfluorescent, Dry Method. 1995
AMS 3041B	Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Ready-To-Use. 1988
AMS 3042B	Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Dry Powder. 1988
AMS 3043A	Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Aerosol Packaged. 1988
AMS 3044C	Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Dry Powder. 1989
AMS 3045B	Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Oil Vehicle Ready-to-Use. 1989
AMS 3046B	Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Aerosol Packaged. 1989
U.S. GOVERNMENT SPECIFICATIONS	
DOD-F-87935	Fluid, Magnetic Particle Inspection, Suspension. 1993
Mil-Std-271F	Requirements for Nondestructive Testing Methods. 1993
Mil-Std-410E	Nondestructive Testing Personnel Qualifications and Certifications. 1991
MIL-HDBK-728/1	Nondestructive Testing. 1985
MIL-HDBK-728/4A	Magnetic Particle Testing. 1993
OTHER PUBLICATIONS	
SNT-TC-1A	American Society for Nondestructive Testing. Recommended Practice . 1992 (Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing and Recommended Training Courses) Note: Updated every 4 years - 1996 edition due in early 1997.
ATA No. 105	Air Transport Association of America. Guidelines for Training and Qualifying Personnel in Nondestructive Testing Methods, (Revision 4 1993)
ASM Handbook, Volume 17	Nondestructive Evaluation and Quality Control. 1989

48 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-2. Liste des normes et spécifications communément acceptées pour le contrôle magnétoscopique.

RÉFÉRENCE	TITRE
NORMES ASTM	
ASTM A275/A275 M-96	Méthode d'essai standard pour le contrôle magnétoscopique des pièces forgées en acier. 1995
ASTM A456/A456 M Rev. A.	Spécification standard pour l'examen magnétoscopique des grands vilebrequins forgés. 1995
ASTM D96	Méthodes d'essai standard pour l'eau et les sédiments dans les huiles brutes par la méthode de centrifugation (Procédure de terrain). 1988
ASTM E125-63 (1993)	Photographies de référence standard pour les indications de particules magnétiques sur les pièces en fonte ferreuse. (Révisé en 1993) 1963
ASTM E1316-95C E269).	Terminologie standard pour les examens non destructifs. 1995 (Remplace la norme ASTM
SPÉCIFICATIONS SAE-AMS	
AMS 2300G	Procédure de contrôle de la propreté de l'acier de qualité aéronautique supérieure par magnétoscopie. 1991 (révisée en 1995)
MAM 2300A	Procédure de contrôle de la propreté de l'acier de qualité aéronautique supérieure par magnétoscopie. Mesure métrique (SI). 1992
AMS 2303C	Propreté des Aciers de qualité aéronautique résistants à la corrosion martensitique. Procédure de contrôle par magnétoscopie. 1993
MAM 2303A	Propreté des Aciers de qualité aéronautique résistants à la corrosion martensitique. Procédure de contrôle par magnétoscopie. Mesure métrique (SI). 1993
AMS 2641	Véhicule, contrôle magnétoscopique. Base pétrolière. 1988
AMS 3040B	Particules magnétiques, non fluorescentes, méthode à sec. 1995
AMS 3041B	Particules magnétiques, non fluorescentes, méthode humide à base d'huile, prêtes à l'emploi. 1988
AMS 3042B	Particules magnétiques, non fluorescentes, méthode humide avec poudre sèche. 1988
AMS 3043A	Particules magnétiques, non fluorescentes, méthode humide à base d'huile, aérosol. 1988
AMS 3044C	Particules magnétiques, fluorescentes, méthode humide avec poudre sèche. 1989
AMS 3045B	Particules magnétiques fluorescentes, méthode humide à base de pétrole, prêtes à l'emploi. 1989
AMS 3046B	Particules magnétiques fluorescentes, méthode humide à base d'huile, aérosol. 1989
SPÉCIFICATIONS GOUVERNEMENTALE USA	
DOD-F-87935	Fluide, contrôle magnétoscopique, suspension. 1993
Mil-Std-271F	Exigences relatives aux méthodes de contrôle non destructif. 1993
Mil-Std-410E	Qualifications et certifications du personnel chargé des essais non destructifs. 1991
MIL-HDBK-728/1	Essais non destructifs. 1985
MIL-HDBK-728/4A	Contrôle par magnétoscopie. 1993
AUTRES PUBLICATIONS	
SNT-TC-1A	Société américaine pour les essais non destructifs. Pratique recommandée. 2020 (Qualification et certification du personnel en matière d'essais non destructifs et cours de formation recommandés) Note : Mise à jour tous les 4 ans.
ATA No. 105	Air Transport Association of America. Directives pour la formation et la qualification du personnel aux méthodes d'essais non destructifs, (Révision 4 1993)
ASM Handbook, Volume 17	Évaluation non destructive et contrôle de la qualité. 1989

5-45. PREPARATION OF SURFACE.

a. Remove protective coatings according to the manufacturer's instructions if necessary. Unless otherwise specified, magnetic particle examination should not be performed with coatings in place that could prevent the detection of surface defects in the ferro-magnetic substrate. Such coatings include paint or chromeplate thicker than 0.003 inch, or ferromagnetic coatings such as electroplated nickel thicker than 0.001 inch.

b. Parts should be free of grease, oil, rust, scale, or other substances which will interfere with the examination process. If required, clean by vapor degrease, solvent, or abrasive means per the manufacturer's instructions. Use abrasive cleaning only as necessary to completely remove scale or rust. Excessive blasting of parts can affect examination results.

c. Exercise extreme care to prevent any cleaning material or magnetic particles from becoming entrapped where they cannot be removed. This may require extracting components such as bushings, bearings, or inserts from assemblies before cleaning and magnetic particle examination.

d. A water-break-free surface is required for parts to be examined by water suspension methods. If the suspension completely wets the surface, this requirement is met.

e. Magnetic particle examination of assembled bearings is not recommended because the bearings are difficult to demagnetize. If a bearing cannot be removed, it should be protected from the magnetic particle examination materials and locally magnetized with a magnetic yoke to limit the magnetic field across the bearing.

5-46. METHODS OF EXAMINATION. Magnetic particle examination generally consists of: the application of magnetic particles; magnetization; determination of field strength; special examination techniques; and demagnetization and post-examination cleaning. Each of these steps will be described in the following paragraphs.

5-47. APPLICATION OF MAGNETIC PARTICLES. The magnetic particles used can be nonfluorescent or fluorescent (dependent on the examination required) and are applied suspended in a suitable substance. Fluorescent particles are preferred due to their higher sensitivity.

a. Wet Continuous Method. Unless otherwise specified, use only the wet continuous method. In the wet continuous method, the particle suspension is liberally applied to wet all surfaces of the part. The magnetizing current is applied at the instant the suspension is diverted from the part. Apply two shots of magnetizing current, each at least 1/2 second long.

(1) Wet suspensions of fluorescent particles, either in water or oil, should be used for most overhaul and in-service examinations except where the material, size, or shape of the part prohibits its use.

(2) Water, with a suitable rust inhibitor and wetting agent, may be used as a liquid vehicle, provided that magnetic examination equipment is designed for use or is satisfactorily converted for use with water.

b. Dry Continuous Method. This method is not recommended for use on aerospace components because of its lower sensitivity level.

50 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-45. PRÉPARATION DE LA SURFACE.

a. Enlever les revêtements protecteurs conformément aux instructions du fabricant, si nécessaire. Sauf indication contraire, l'examen magnétoscopique ne doit pas être effectué avec des revêtements en place qui pourraient empêcher la détection de défauts de surface dans le substrat ferromagnétique. Ces revêtements comprennent la peinture ou le dépôt de chrome d'une épaisseur supérieure à 0,08 mm, ou les revêtements ferromagnétiques tels que le nickel électroplaqué d'une épaisseur supérieure à 0,025 mm.

b. Les pièces doivent être exemptes de graisse, d'huile, de rouille, de calamine ou de toute autre substance susceptible de gêner le processus d'examen. Si nécessaire, nettoyez-les à l'aide d'un dégraissant à vapeur, d'un solvant ou d'un moyen abrasif selon les instructions du fabricant. N'utilisez le nettoyage abrasif que si nécessaire pour éliminer complètement la calamine ou la rouille. Un sablage excessif des pièces peut affecter les résultats de l'examen.

c. Faites preuve d'une extrême prudence pour éviter que les produits de nettoyage ou les particules magnétiques ne se coincent là où ils ne peuvent pas être retirés. Il peut être nécessaire d'extraire des composants tels que des bagues, des roulements ou des inserts des assemblages avant le nettoyage et l'examen des particules magnétiques.

d. Une surface exempte d'eau est nécessaire pour les pièces à examiner par des méthodes de suspension dans l'eau. Si la suspension mouille complètement la surface, cette exigence est satisfaite.

e. L'examen par magnétoscopie des roulements assemblés n'est pas recommandé car les roulements sont difficiles à démagnétiser. Si un roulement ne peut pas être retiré, il doit être protégé des particules magnétiques de l'examen magnétoscopique et magnétisé localement à l'aide d'une culasse magnétique afin de limiter le champ magnétique à travers le roulement.

5-46. MÉTHODES D'EXAMEN. L'examen magnétoscopique comprend généralement : l'application de particules magnétiques, la magnétisation, la détermination de l'intensité du champ, les techniques d'examen spéciales, la démagnétisation et le nettoyage après examen. Chacune de ces étapes sera décrite dans les paragraphes suivants.

5-47. APPLICATION DE PARTICULES MAGNÉTIQUES. Les particules magnétiques utilisées peuvent être non fluorescentes ou fluorescentes (selon l'examen requis) et sont appliquées en suspension dans une substance appropriée. Les particules fluorescentes sont préférées en raison de leur plus grande sensibilité.

a. Méthode humide continue. Sauf indication contraire, n'utiliser que la méthode humide continue. Dans la méthode humide continue, la suspension de particules est appliquée généreusement pour mouiller toutes les surfaces de la pièce. Le courant magnétisant est appliqué au moment où la suspension est écartée de la pièce. Appliquez deux impulsions de courant magnétisant, chacun d'une durée d'au moins 1/2 seconde.

(1) Les suspensions humides de particules fluorescentes, dans l'eau ou dans l'huile, doivent être utilisées pour la plupart des révisions et des examens en service, sauf lorsque le matériau, la taille ou la forme de la pièce en interdit l'utilisation.

(2) L'eau, avec un inhibiteur de rouille et un agent mouillant appropriés, peut être utilisée comme excipient liquide, à condition que l'équipement d'examen magnétique soit conçu pour être utilisé ou soit converti de manière satisfaisante pour être utilisé avec de l'eau.

b. Méthode sèche continue. Cette méthode n'est pas recommandée pour les composants aérospatiaux en raison de son faible niveau de sensibilité.

c. Residual Magnetization Method. In this method, the part is magnetized and the magnetizing current is then cut off. If the amperage has been correctly calculated and quality indicator has verified the technique, then one shot will correctly magnetize the part. The magnetic particles are applied to the part after the magnetization. This method is dependent upon the retentiveness of the part, the strength of the applied field, the direction of magnetization, and the shape of the part.

5-48. MAGNETIZATION.

a. Circular. Circular magnetization is induced in the part by the central-conductor method or the direct-contact method. (See figure 5-11.)

(1) Indirect Induction (central-conductor method). Pass the current through a central conductor that passes through the part. When several small parts are examined at one time, provide sufficient space between each piece to permit satisfactory coverage (with particles), magnetization, and examination.

(2) Direct Induction (contact method). Pass current through the part mounted horizontally between contact plates. As an example, circular magnetization of a round steel bar would be produced by placing the ends of the steel bar between the heads of the magnetic inspection machine and passing a current through the bars. Magnetic particles applied either during or after passage of the current, or after passage of the current in magnetically-retentive steels, would disclose discontinuities parallel to the axis of the bar.

NOTE: Exercise extreme caution to prevent burning of the part at the electrode contact areas. Some causes of overheating and arcing are: insufficient contact area, insufficient contact pressure, dirty or coated contact areas, electrode removal during current flow, and too high an amperage setting.

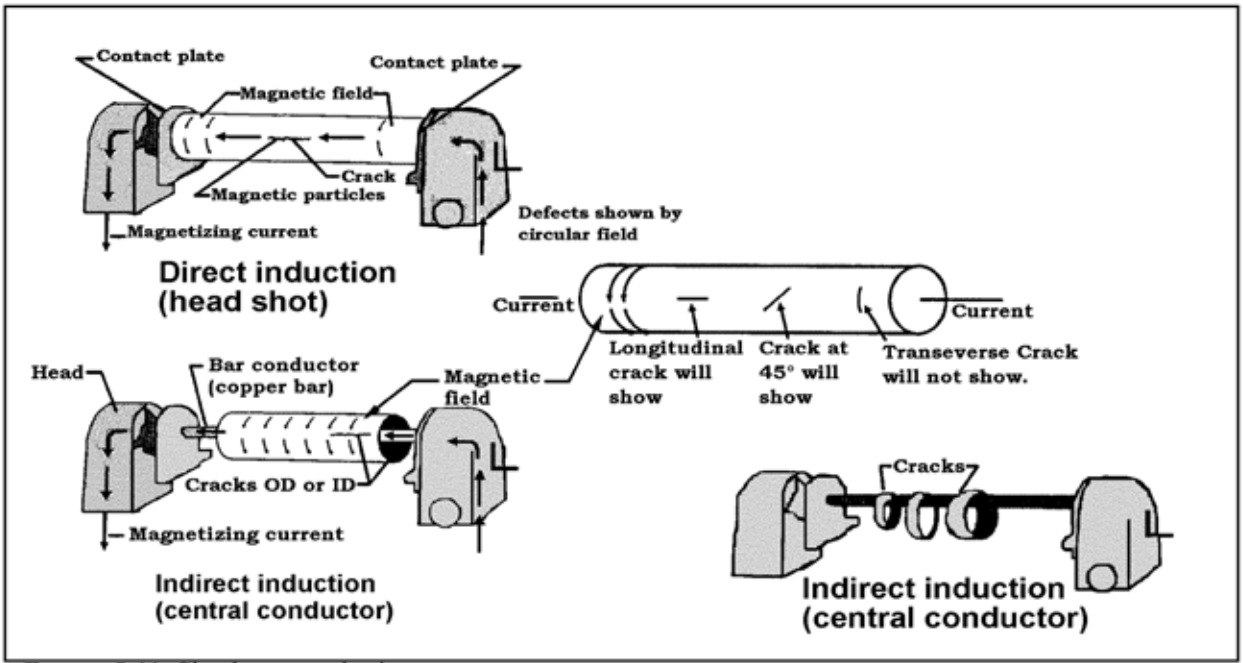


FIGURE 5-11. Circular magnetization.

52 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

c. Méthode de magnétisation résiduelle. Dans cette méthode, la pièce est magnétisée et le courant de magnétisation est ensuite coupé. Si l'intensité du courant a été correctement calculée et que l'indicateur qualité a vérifié la méthode experte, un seul tir magnétisera correctement la pièce. Les particules magnétiques sont appliquées sur la pièce après la magnétisation. Cette méthode dépend de la rétention de la pièce, de la force du champ appliqué, de la direction de la magnétisation et de la forme de la pièce.

5-48. MAGNÉTISATION.

a. Circulaire. La magnétisation circulaire est induite dans la pièce par la méthode du conducteur central ou par la méthode du contact direct. (Voir figure 5-11.)

(1) Induction indirecte (méthode du conducteur central). Faire passer le courant par un conducteur central qui traverse la pièce. Lorsque plusieurs petites pièces sont examinées en même temps, prévoir un espace suffisant entre chaque pièce pour permettre une couverture (par des particules), une magnétisation et un examen satisfaisants.

(2) Induction directe (méthode du contact). Faire passer un courant à travers la pièce montée horizontalement entre des plaques de contact. Par exemple, la magnétisation circulaire d'une barre d'acier ronde peut être produite en plaçant les extrémités de la barre d'acier entre les têtes de la machine d'inspection magnétique et en faisant passer un courant à travers les barres. Les particules magnétiques appliquées pendant ou après le passage du courant, ou après le passage du courant dans les aciers à rétention magnétique, révéleraient des discontinuités parallèles à l'axe de la barre.

REMARQUE : Faites preuve d'une extrême prudence pour éviter de brûler la pièce au niveau des zones de contact des électrodes. Les causes de la surchauffe et de la formation d'un arc sont les suivantes : surface de contact insuffisante, pression de contact insuffisante, surfaces de contact sales ou recouvertes, retrait de l'électrode pendant le passage du courant et réglage d'une intensité trop élevée.

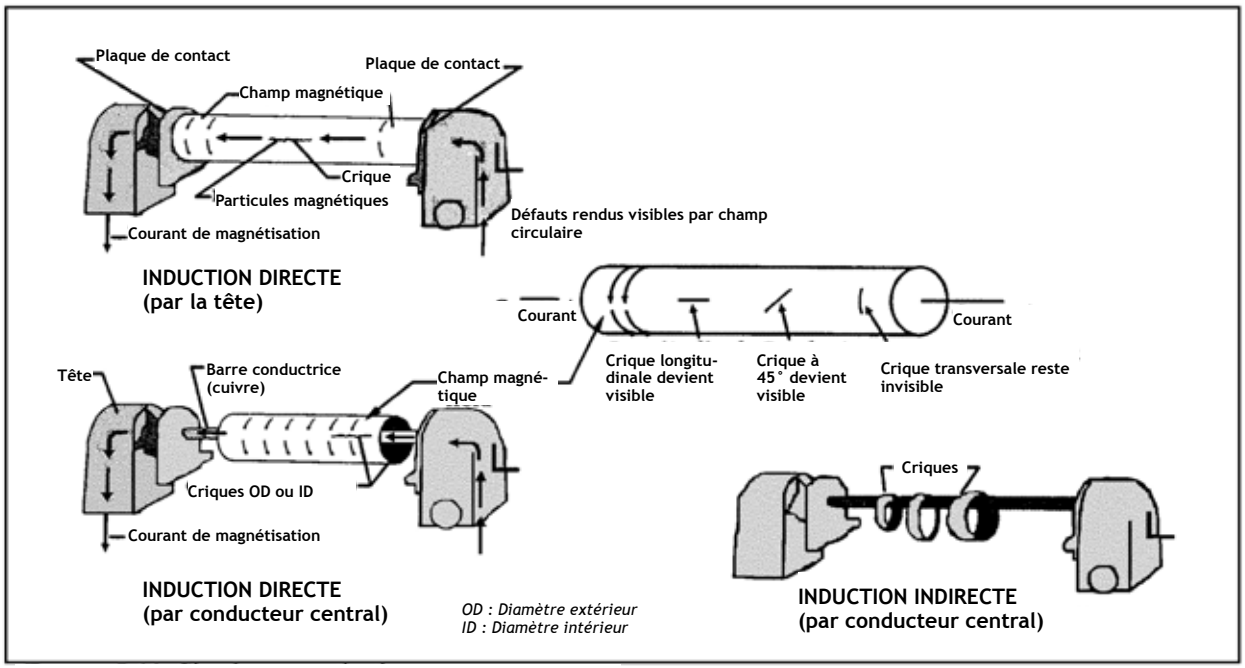


Figure 5-11. Magnétisation circulaire.

b. Longitudinal. Longitudinal magnetization is induced in a part by placing the part in a strong magnetic field, such as the center of a coil or between the poles of an electromagnetic yoke. (See figure 5-12.) When using a coil, optimum results are obtained when the following conditions are met.

(1) The part to be examined is at least twice as long as it is wide.

(2) The long axis of the part is parallel to the axis of the coil opening.

(3) The area of the coil opening is at least 10 times the cross-sectional areas of the part.

(4) The part is positioned against the inner wall of the coil.

(5) Three to five turns are employed for hand-held coils formed with cables.

(6) For the 10-to-1 fill factor, the effective region of inspection is 1 coil radius on either side of the coil with 10 percent overlap. (Refer to ASTME-1444.)

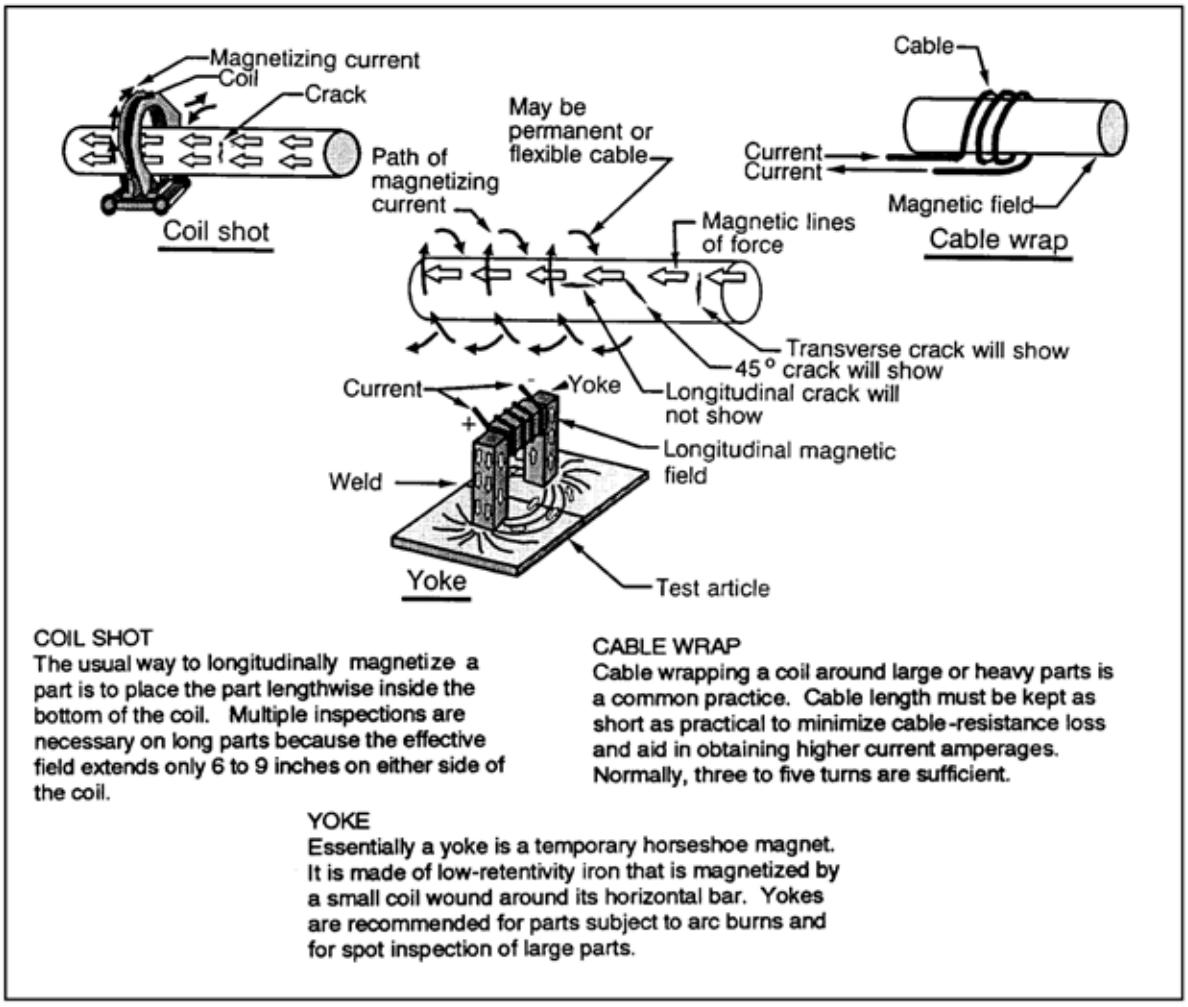


FIGURE 5-12. Longitudinal magnetization.

54 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

b. Longitudinale. La magnétisation longitudinale est induite dans une pièce en la plaçant dans un champ magnétique puissant, tel que le centre d'une bobine ou entre les pôles d'une culasse électromagnétique. (Voir figure 5-12.) Lorsqu'on utilise une bobine, on obtient des résultats optimaux si les conditions suivantes sont réunies.

(1) La pièce à examiner est au moins deux fois plus longue que large.

(2) L'axe long de la pièce est parallèle à l'axe de l'ouverture de la bobine.

(3) La surface de l'ouverture de la bobine est au moins 10 fois supérieure à la surface de la section transversale de la pièce.

(4) La pièce est positionnée contre la paroi intérieure de la bobine.

(5) Trois à cinq tours sont employés pour les bobines portatives formées avec des câbles.

(6) Pour un facteur de remplissage de 10 pour 1, la zone d'inspection effective est d'un rayon de bobine de chaque côté de la bobine avec un chevauchement de 10 %. (Se référer à la norme ASTME-1444[1]).

1 Ndt: Norme précisée précédemment.

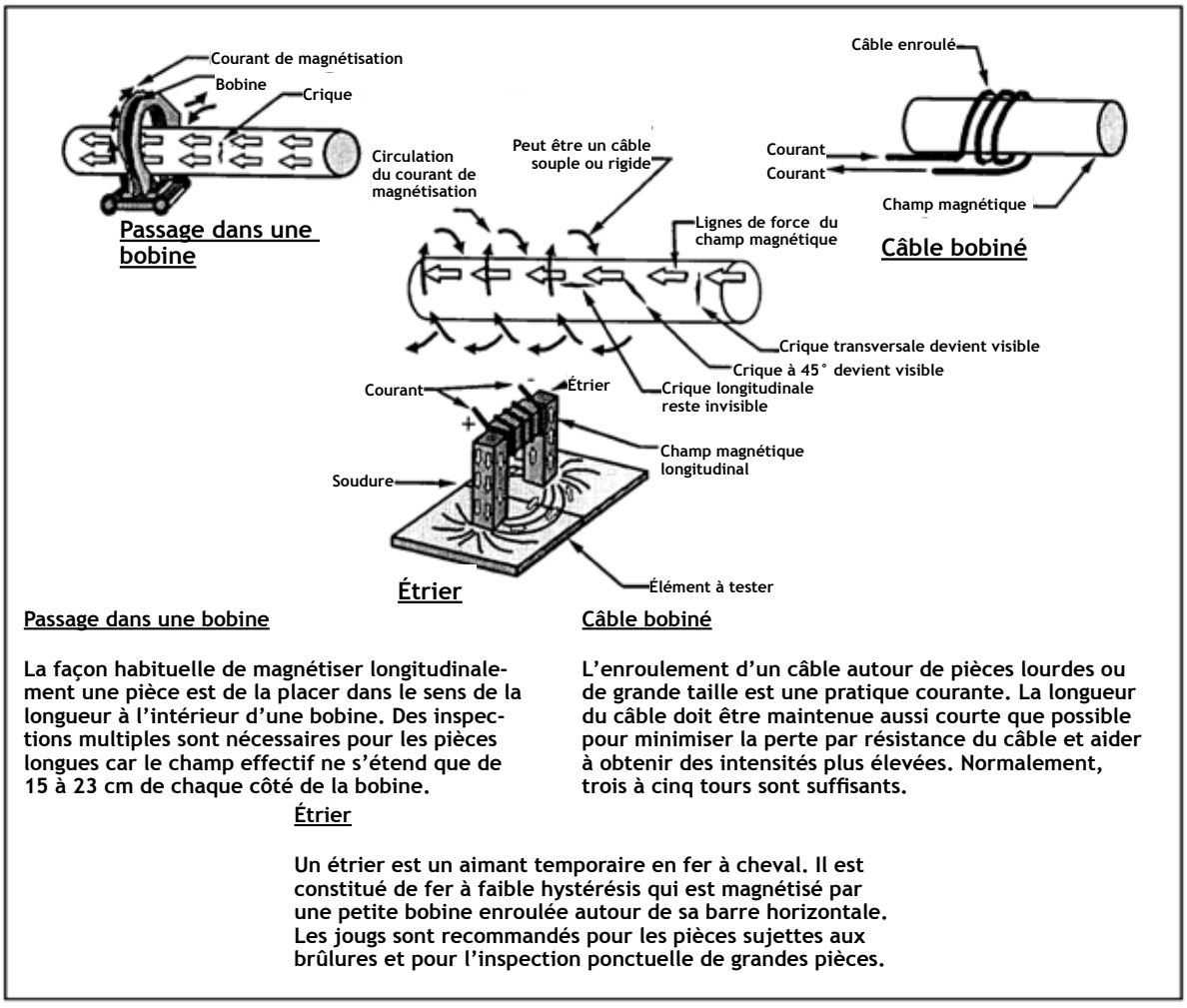


Figure 5-12. Magnétisation longitudinale.

(7) The intensity of the longitudinal shots is kept just below the level at which leakage fields develop across sharp changes of section, such as radii under bolt heads, threads, and other sharp angles in parts. This does not apply when checking chrome-plated parts for grinding cracks.

(a) For example, longitudinal magnetization of a round steel bar would be produced by placing the DC coil around the bar. After application of the magnetic particles, either during or subsequent to magnetization, discontinuities perpendicular to the longitudinal axis of the bar would be disclosed.

(b) When a yoke is used, the portion of the part between the ends of the yoke completes the path of the magnetic lines of force. This results in a magnetic field between the points of contact.

c. Permanent Magnets and Electromagnetic Yoke. The stability of the magnetic field generated by permanent magnets requires some agitation of the oxide particles within the field. The wet method is considered most satisfactory. Use a well-agitated plastic squirt bottle for the most effective application of the magnetic particle suspension. When the direction of possible cracks in a suspect area is not known, or would not necessarily be normal to the lines of force between the poles of the magnet, reposition the magnet to the best advantage and recheck. Usually, two shots, 90 degrees apart are required. The part must be demagnetized between each magnetization when the field direction is changed unless the next shot is at least 10 percent stronger than the previous shot, if this is the case demagnetization is not necessary.

5-49. DETERMINATION OF FIELD STRENGTH. Factors such as part size, shape, magnetic properties of the material, and the method of magnetization will affect the field strength induced within a part by a given applied magnetizing force. The factors vary considerably, making it difficult to establish rules for magnetizing during examination. Technique requirements are best determined on actual parts having known defects.

a. A magnetization indicator, such as a Quantitative Quality Indicator (QQI), should be used to verify that adequate magnetic flux strength is being used. It effectively indicates the internally-induced field, the field direction, and the quality of particle suspension during magnetization.

b. The level of magnetization required for detection of service-related defects in most cases can be lower than that required for material and manufacturing control. Contact the manufacturer for correct specifications.

NOTE: If the examination must be performed with less current than is desired because of part size or equipment limitations, the lower field strength can be partially accommodated by reducing the area of examination for each magnetization, or the examination can be supplemented by using electromagnetic yokes. Examine only 4 inches on either side of a coil instead of 6, or apply additional magnetization around the periphery of a hollow cylinder when using an internal conductor.

5-50. SPECIAL EXAMINATION TECHNIQUES.

a. Magnetic Rubber. Magnetic rubber formulations using finely divided magnetic particles in a silicone rubber base are used for the inspection of screw, bolt, or other bore holes, which are not easily accessible. The liquid silicone rubber mixture is poured into holes in magnetic parts to be inspected.

56 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(7) L'intensité des tirs longitudinaux est maintenue juste en dessous du niveau auquel les champs de fuite se développent sur les changements de section importants, tels que les rayons sous les têtes de boulons, les filets et autres angles aigus des pièces. Cette règle ne s'applique pas à la vérification de la présence de criques de meulage sur les pièces chromées.

(a) Par exemple, la magnétisation longitudinale d'une barre d'acier ronde serait produite en plaçant la bobine de courant continu autour de la barre. Après l'application des particules magnétiques, pendant ou après la magnétisation, des discontinuités perpendiculaires à l'axe longitudinal de la barre seraient révélées.

(b) Lorsqu'une culasse est utilisée, la partie de la pièce située entre les extrémités de la culasse complète le trajet des lignes de force magnétiques. Il en résulte un champ magnétique entre les points de contact.

c. Aimants permanents et culasse électromagnétique. La stabilité du champ magnétique généré par les aimants permanents nécessite une certaine agitation des particules d'oxyde à l'intérieur du champ. La méthode humide est considérée comme la plus satisfaisante. Utilisez un flacon pulvérisateur en plastique bien agité pour une application plus efficace de la suspension de particules magnétiques. Lorsque la direction des criques possibles dans une zone suspecte n'est pas connue, ou ne serait pas nécessairement normale aux lignes de force entre les pôles de l'aimant, repositionnez l'aimant au mieux et revérifiez. Habituellement, deux essais, séparés de 90 degrés, sont nécessaires. La pièce doit être démagnétisée entre chaque magnétisation lorsque la direction du champ est modifiée, sauf si le tir suivant est au moins 10 % plus fort que l'essai précédent, si c'est le cas, la démagnétisation n'est pas nécessaire.

5-49. DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DU CHAMP. Des facteurs tels que la taille et la forme de la pièce, les propriétés magnétiques du matériau et la méthode de magnétisation influent sur l'intensité du champ induit dans une pièce par une force de magnétisation appliquée donnée. Ces facteurs varient considérablement, ce qui rend difficile l'établissement de règles pour la magnétisation pendant l'examen. Les exigences techniques sont mieux déterminées sur des pièces réelles présentant des défauts connus.

a. Un indicateur de magnétisation, tel qu'un indicateur quantitatif de qualité (IQQ), doit être utilisé pour vérifier qu'une force de flux magnétique adéquate est utilisée. Il indique efficacement le champ induit interne, la direction du champ et la qualité de la suspension des particules pendant la magnétisation.

b. Le niveau de magnétisation requis pour la détection des défauts liés au service peut, dans la plupart des cas, être inférieur à celui requis pour le contrôle des matériaux et de la fabrication. Contactez le fabricant pour connaître les spécifications correctes.

REMARQUE : Si l'examen doit être effectué avec moins de courant que souhaité en raison de la taille de la pièce ou des limites de l'équipement, on peut s'accommoder partiellement de l'intensité de champ plus faible en réduisant la zone d'examen pour chaque magnétisation, ou compléter l'examen en utilisant des culasses électromagnétiques. Examinez seulement 4 pouces de chaque côté d'une bobine au lieu de 6, ou appliquez une magnétisation supplémentaire autour de la périphérie d'un cylindre creux lorsque vous utilisez un conducteur interne.

5-50. TECHNIQUES D'EXAMEN SPÉCIALES.

a. Caoutchouc magnétique. Les formulations de caoutchouc magnétique utilisant des particules magnétiques finement divisées dans une base de caoutchouc de silicone sont utilisées pour l'inspection des trous de vis, de boulons ou autres, qui ne sont pas facilement accessibles. Le mélange liquide de caoutchouc de silicone est versé dans les trous des pièces magnétiques à inspecter.

Curing time for silicone rubbers varies from about 30 minutes and up depending upon the particular silicone rubber, the catalyst, and the amount of catalyst used to produce the curing reaction.

b. Curing. While curing is taking place, the insides of the hole must be maintained in the required magnetized state. This can be accomplished using a permanent magnet, a DC yoke, an electromagnet, or some other suitable means. Whatever method of magnetization is used, the leakage fields at any discontinuities inside the holes must be maintained long enough to attract and hold in position the magnetic particles until a partial cure takes place. A two-step magnetizing procedure has been developed.

(1) The first magnetization is accomplished for a short time in one direction followed by a second at 90 degrees to the first for the same length of time. This procedure must be repeated for whatever period of time is needed until the cure prevents particle mobility. Magnetization in two directions 90 degrees apart ensures formation of indications at discontinuities in all directions inside the holes.

(2) After curing, the rubber plugs, which are exact replicas of the holes, are removed and visibly examined for indications which will appear as colored lines against the lighter colored background of the silicone rubber. Location of any discontinuities or other surface imperfections in the holes can be determined from the location of the indications on the plugs. The magnetic rubber inspection method is covered in detail in Air Force Technical Order 33B-1-1, section XI.

c. Critical Examination for Sharp Radii Parts. A critical examination is required for cracks in sharp radii; such as threaded parts, splines, gear teeth roots, and abrupt changes in sections, that cause obscuring and nonrelevant indications during normal examination practices. The procedure provided herein is the most sensitive method for detecting the early beginnings of in-service fatigue cracks in the sharp, internal radii of ferro-magnetic parts. Magnetic particle examination equipment may be used; however, alternating fields are not reliable to provide the necessary high level of residual magnetism. Optical aids are necessary to realize the maximum sensitivity provided by this magnetic particle procedure. Low-power (10x-30x) binocular microscopes are recommended. As a minimum, pocket magnifiers of 7 to 10 power may be used with the following procedure.

(1) Thoroughly clean the part at the sharp radii and fillets where soils, greases, and other contaminants tend to accumulate and at other places where they might be overlooked during a casual or hasty examination.

(2) The residual method should be used as an aid in particular problem areas, even though it is not considered the best practice in most of the instances. The conventional wet continuous methods should be used initially for overall examination and the residual technique should be applied only for supplemental, local examination of the sharp radii. It should not be applied except in those cases where nonrelevant indications have proven to be a problem in the initial examination.

(3) Methods of magnetization should be done according to standard procedures; however, alternating fields should not be used, and the level of magnetizing force imposed should usually be increased above the normal levels to ensure a higher residual field within the part.

(4) Following magnetization, apply particles in liquid suspension. The application should be liberal and in a manner to cause maximum particle buildup. Immersion of

Le temps de vulcanisation des caoutchoucs de silicone varie d'environ 30 minutes à plus, selon le caoutchouc de silicone, le catalyseur et la quantité de catalyseur utilisée pour produire la réaction de vulcanisation.

b. Durcissement. Pendant la polymérisation, l'intérieur du trou doit être maintenu dans l'état magnétisé requis. Ceci peut être réalisé à l'aide d'un aimant permanent, d'une culasse à courant continu, d'un électro-aimant ou de tout autre moyen approprié. Quelle que soit la méthode de magnétisation utilisée, les champs de fuite au niveau des discontinuités à l'intérieur des trous doivent être maintenus suffisamment longtemps pour attirer et maintenir en position les particules magnétiques jusqu'à ce qu'un durcissement partiel ait lieu. Une procédure de magnétisation en deux étapes a été mise au point.

(1) La première magnétisation est effectuée pendant une courte période dans une direction, suivie d'une seconde à 90 degrés de la première pendant la même durée. Cette procédure doit être répétée pendant toute la durée nécessaire jusqu'à ce que le durcissement empêche la mobilité des particules. La magnétisation dans deux directions séparées de 90 degrés assure la formation d'indications aux discontinuités dans toutes les directions à l'intérieur des trous.

(2) Après la polymérisation, les bouchons en caoutchouc, qui sont des répliques exactes des trous, sont retirés et examinés visuellement pour détecter les indications qui apparaîtront comme des lignes colorées sur le fond plus clair du caoutchouc de silicone. L'emplacement de toute discontinuité ou autre imperfection de surface dans les trous peut être déterminé à partir de l'emplacement des indications sur les bouchons. La méthode d'inspection du caoutchouc magnétique est traitée en détail dans l'ordonnance technique 33B-1-1[1] de l'US Air Force, section XI.

c. Examen critique des pièces à rayons aigus. Un examen critique est requis pour les criques dans les rayons aigus, tels que les pièces filetées, les cannelures, les racines de dents d'engrenage et les changements abrupts de sections, qui provoquent des indications obscures et non pertinentes lors des pratiques d'examen normales. La procédure fournie ici est la méthode la plus sensible pour détecter les débuts de criques de fatigue en service dans les rayons internes aigus des pièces ferromagnétiques.

Un équipement d'examen des particules magnétiques peut être utilisé ; cependant, les champs alternatifs ne sont pas fiables pour fournir le niveau élevé nécessaire de magnétisme résiduel. Des aides optiques sont nécessaires pour réaliser la sensibilité maximale fournie par cette procédure de particules magnétiques. Les microscopes binoculaires de faible puissance (10x-30x) sont recommandés. Au minimum, des loupes de poche d'une puissance de 7 à 10 peuvent être utilisées avec la procédure suivante.

(1) Nettoyer soigneusement la pièce au niveau des rayons aigus et des filets où les salissures, les graisses et autres contaminants ont tendance à s'accumuler et à d'autres endroits où ils pourraient être négligés lors d'un examen superficiel ou hâtif.

(2) La méthode résiduelle doit être utilisée comme une aide dans des zones problématiques particulières, même si elle n'est pas considérée comme la meilleure pratique dans la plupart des cas. Les méthodes conventionnelles en continu par voie humide doivent être utilisées initialement pour l'examen global et la technique résiduelle ne doit être appliquée que pour un examen complémentaire et local des rayons tranchants. Elle ne doit être appliquée que dans les cas où des indications non pertinentes se sont révélées problématiques lors de l'examen initial.

(3) Les méthodes de magnétisation doivent être effectuées selon les procédures standard ; toutefois, les champs alternatifs ne doivent pas être utilisés, et le niveau de la force magnétisante imposée doit généralement être supérieur aux niveaux normaux pour assurer un champ résiduel plus élevé dans la pièce.

(4) Après la magnétisation, appliquer les particules en suspension liquide. L'application doit être généreuse et se faire de manière à provoquer une accumulation maximale de particules. L'immersion de petites pièces telles que les ferrures d'extrémité de tige dans un récipient de suspension, qui vient d'être remué pendant environ 30 secondes, est une excellente méthode.

1 Ndt: TO 33B-1-1 ou NAVAIR 01-1A-16-1 ou TM 1-1500-335-23 : Nondestructive inspection methods, basic theory du 15 mai 2014. Cette technique utilise un caoutchouc de silicone dilué contenant des particules magnétiques noires pour l'inspection de l'intérieur ou de surfaces autrement difficiles à voir.

small parts such as rod end fittings in a container of suspension, which has just been stirred for about 30 seconds, is an excellent method.

(5) Check for the presence of particle accumulation in the sharp radii. It is necessary that the level of magnetization and the particle application result in the formation of nonrelevant indications. Lack of indications will require remagnetization to a higher level, more care in applying the particles, or both.

(6) Wash the parts in a clean suspension vehicle only enough to remove the weakly-held particle accumulations causing the nonrelevant indications. Particles at true cracks will be more strongly held and will persist if the washing is gently done. This can be accomplished by flowing or directing a stream of liquid vehicle over the part, or for a small component, by gently stirring in a container of the vehicle. Closely observe the removal of the nonrelevant particle accumulations in the region to be examined to avoid excessive washing. If washing is prolonged beyond the minimum needed to remove the nonrelevant indications, the small defect indications may also be washed away. A few trials will help to develop the best method and time required for washing.

(7) Check for crack indications with optical magnification and ample lighting. The smaller indications that are attainable by this procedure cannot be reliably seen or evaluated with the unaided eye.

5-51. DEMAGNETIZATION AND POST-EXAMINATION CLEANING. Parts should be magnetized longitudinally last before demagnetizing.

NOTE: Circular magnetism cannot be read with a field meter since it is an internal magnetic field. However, if the last shot, was a coil shot the meter can read it if a magnetic field is present.

a. Demagnetization. Demagnetize between successive magnetization of the same part, to allow finding defects in all directions, and whenever the residual magnetism interferes with the interpretation of the indications. Also, demagnetize all parts and materials after completion of magnetic particle examination. Test all parts at several locations and parts for residual magnetism of complex configuration at all significant changes in geometry. Repeat demagnetization if there is any appreciable deflection of the field indicator needle.

(1) AC method. Hold the part in the AC demagnetizing coils and then move the part slowly and steadily through the coils and approximately 3 to 4 feet past the coils. Repeat this process until the part loses its residual magnetism. Rotate and tumble parts of complex configuration as they are passed through the coils.

(2) DC method. Place the part in the same relative position as when magnetized and apply reversing DC current. Gradually reduce the current to zero and repeat the process until the residual magnetic field is depleted.

b. Post-Examination Cleaning.

(1) When oil suspensions are used, solvent clean or remove the part until all magnetic particles and traces of oil are removed.

60 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(5) Vérifier la présence d'une accumulation de particules dans les rayons aigus. Il est nécessaire que le niveau de magnétisation et l'application des particules aboutissent à la formation d'indications non pertinentes. L'absence d'indications nécessitera une remagnétisation à un niveau plus élevé, un soin accru dans l'application des particules, ou les deux.

(6) Lavez les pièces dans un excipient à suspension propre uniquement pour éliminer les accumulations de particules faiblement retenues à l'origine des indications non pertinentes. Les particules situées au niveau des véritables criques seront plus fortement retenues et persisteront si le lavage est effectué en douceur. Ceci peut être réalisé en faisant couler ou en dirigeant un jet d'excipient liquide sur la pièce, ou pour un petit composant, en remuant doucement dans un récipient d'excipient. Observer attentivement l'élimination des accumulations de particules non pertinentes dans la région à examiner pour éviter un lavage excessif. Si le lavage est prolongé au-delà du minimum nécessaire pour éliminer les indications non pertinentes, les indications de petits défauts peuvent également être emportées par le lavage. Quelques essais permettront de mettre au point la meilleure méthode et le temps nécessaire au lavage.

(7) Vérifiez les indications de criques avec un grossissement optique et un éclairage suffisant. Les indications plus petites qui peuvent être obtenues par cette procédure ne peuvent pas être vues ou évaluées de manière fiable à l'œil nu.

5-51. DÉMAGNÉTISATION ET NETTOYAGE APRÈS EXAMEN. Les pièces doivent être magnétisées longitudinalement en dernier avant d'être démagnétisées.

REMARQUE : Le magnétisme circulaire ne peut pas être lu avec un mesureur de champ puisqu'il s'agit d'un champ magnétique interne. Cependant, si le dernier tir, était un tir de bobine, le compteur peut le lire si un champ magnétique est présent.

a. Démagnétisation. Démagnétiser entre les magnétisations successives d'une même pièce, pour permettre la recherche de défauts dans toutes les directions, et chaque fois que le magnétisme résiduel interfère avec l'interprétation des indications. Démagnétiser également toutes les pièces et tous les matériaux après avoir terminé l'examen magnétoscopique. Tester toutes les pièces à plusieurs endroits et les pièces pour détecter le magnétisme résiduel de configuration complexe à tous les changements significatifs de géométrie. Répétez la démagnétisation s'il y a une déviation appréciable de l'aiguille de l'indicateur de champ.

(1) Méthode à courant alternatif (AC). Maintenir la pièce dans les bobines de démagnétisation AC, puis la déplacer lentement et régulièrement à travers les bobines et à environ 90 à 120 cm au-delà des bobines. Répétez ce processus jusqu'à ce que la pièce perde son magnétisme résiduel. Faites tourner et culbutez les pièces de configuration complexe lors de leur passage dans les bobines.

(2) Méthode en courant continu. Placer la pièce dans la même position relative que lors de la magnétisation et appliquer un courant continu inversé. Réduisez progressivement le courant à zéro et répétez le processus jusqu'à ce que le champ magnétique résiduel soit épuisé.

b. Nettoyage post-examen.

(1) Lorsque des suspensions d'huile sont utilisées, nettoyer au solvant ou retirer la pièce jusqu'à ce que toutes les particules magnétiques et les traces d'huile soient éliminées.

(2) When parts or materials have been examined using water suspension methods, completely remove the water by any suitable means, such as an air blast, to ensure that the parts are dried immediately after cleaning. Thoroughly rinse the part with a detergent-base cleaner until all magnetic particles are removed. Then rinse in a solution of water and rust inhibitor.

(3) For cadmium-plated parts an air-water vapor blast may be used to remove any remaining magnetic particle residue.

(4) After final cleaning and drying, use temporary protective coatings, when necessary, to prevent corrosion.

(5) After magnetic particle examination has been completed, restore any removed finishes according to the manufacturer's repair manual.

NOTE: Visible penetrant is often used interchangeably by NDI personnel with fluorescent penetrant. However, the chemical within most common red dye penetrants will neutralize the fluorescence of the chemicals used in that method. Therefore, a thorough cleaning of all magnetic particles is mandatory.

5-52.—5-59. [RESERVED.]

62 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(2) Lorsque des pièces ou des matériaux ont été examinés à l'aide de méthodes de suspension dans l'eau, éliminer complètement l'eau par tout moyen approprié, tel qu'un jet d'air, afin de s'assurer que les pièces sont séchées immédiatement après le nettoyage. Rincez soigneusement la pièce avec un nettoyant à base de détergent jusqu'à ce que toutes les particules magnétiques soient éliminées. Rincez ensuite dans une solution d'eau et d'inhibiteur de rouille.

(3) Pour les pièces cadmiées, un jet de vapeur air-eau peut être utilisé pour éliminer tout résidu de particules magnétiques.

(4) Après le nettoyage final et le séchage, utiliser des revêtements protecteurs temporaires, si nécessaire, pour empêcher la corrosion.

(5) Une fois l'examen magnétoscopique terminé, restaurez les finitions enlevées conformément au manuel de réparation du fabricant.

NOTE : Le personnel CND utilise souvent le pénétrant visible de manière interchangeable avec le pénétrant fluorescent. Cependant, le produit chimique contenu dans les pénétrants à colorant rouge les plus courants neutralise la fluorescence des produits chimiques utilisés dans cette méthode. Par conséquent, un nettoyage complet de toutes les particules magnétiques est obligatoire.

5-52.- 5-59. [RÉSERVÉ.]

SECTION 5. PENETRANT INSPECTION

5-60. GENERAL. Penetrant inspection is used on nonporous metal and nonmetal components to find material discontinuities that are open to the surface and may not be evident to normal visual inspection. The part must be clean before performing a penetrant inspection. The basic purpose of penetrant inspection is to increase the visible contrast between a discontinuity and its background. This is accomplished by applying a liquid of high penetrating power that enters the surface opening of a discontinuity. Excess penetrant is removed and a developer material is then applied that draws the liquid from the suspected defect to reveal the discontinuity. The visual evidence of the suspected defect can then be seen either by a color contrast in normal visible white light or by fluorescence under black ultraviolet light. (See figure 5-13.)

a. The penetrant method does not depend upon ferro-magnetism like magnetic particle inspection, and the arrangement of the discontinuities is not a factor. The penetrant method is effective for detecting surface defects in nonmagnetic metals and in a variety of nonmetallic materials. Penetrant inspection is also used to inspect items made from ferromagnetic steels and its sensitivity is generally greater than that of magnetic particle inspection. Penetrant inspection is superior to visual inspection but not as sensitive as other advanced forms of tests for detection of in-service surface cracks.

b. The major limitations of the penetrant inspection is that it can detect only those discontinuities that are open to the surface; some other method must be used for detecting subsurface defects. Surface roughness or porosity can limit the use of liquid penetrants. Such surfaces can produce excessive background indications and interfere with the inspection. Penetrant inspection can be used on most airframe parts and assemblies accessible to its application. The basic steps to perform penetrant inspections are briefly described in the following paragraphs.

5-61. EQUIPMENT USED IN THE PENETRANT INSPECTION PROCESS. Equipment varies from simple aerosol cans used in portable systems to fully automated computer-controlled systems. Whether fluorescent or visible penetrants are used, different penetrant bases are available but may require different cleaning methods. Water-washable penetrants can often be removed by a simple water washing process, whereas oil-base penetrants may require special solvents for removal. Some oil-base penetrants have emulsifiers, either added to the penetrant before it is applied or added afterwards, that allow water washing to be used. Developers used, can be applied either by a wet or dry bath. Therefore, each penetrant inspection process may require different cleaning facilities and procedures. (See table 5-3.)

5-62. BASIC STEPS TO PERFORM PENETRATION INSPECTION. Table 5-4 shows a general process, in the procedures flow sheet, for commonly used penetrant inspection processes. It is important to ensure that parts are thoroughly cleaned and dried before doing penetrant inspection. All surfaces to be inspected should be free of contaminants, paint, and other coatings that could prevent penetrant from entering discontinuities. Table 5-5 shows applications of various methods of precleaning for penetrant inspection.

64 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-60. GÉNÉRALITÉS. Le contrôle par ressuage est utilisé sur les pièces métalliques et non métalliques non poreuses pour trouver les discontinuités du matériau qui sont ouvertes à la surface et qui peuvent ne pas être évidentes lors d'un contrôle visuel normal. La pièce doit être propre avant d'effectuer un contrôle par ressuage. L'objectif principal du contrôle par ressuage est d'augmenter le contraste visible entre une discontinuité et son arrière-plan. Pour ce faire, on applique un liquide à haut pouvoir de pénétration qui pénètre dans l'ouverture de la surface de la discontinuité. L'excès de pénétrant est éliminé et un révélateur est ensuite appliqué pour aspirer le liquide du défaut suspecté et révéler la discontinuité. La preuve visuelle du défaut suspecté peut alors être observée soit par un contraste de couleur en lumière blanche visible normale, soit par fluorescence en lumière ultraviolette noire. (Voir figure 5-13.)

a. La méthode de ressuage ne dépend pas du ferromagnétisme comme le contrôle par magnétoscopie, et la disposition des discontinuités n'est pas un facteur. La méthode de ressuage est efficace pour détecter les défauts de surface dans les métaux non magnétiques et dans une variété de matériaux non métalliques. Le contrôle par ressuage est également utilisé pour inspecter les articles fabriqués à partir d'aciers ferromagnétiques et sa sensibilité est généralement supérieure à celle du contrôle par magnétoscopie. Le ressuage est supérieur à l'inspection visuelle mais n'est pas aussi sensible que d'autres formes avancées d'essais pour la détection des criques de surface.

b. Les principales limitations du contrôle par ressuage sont qu'il ne peut détecter que les discontinuités ouvertes à la surface ; une autre méthode doit être utilisée pour détecter les défauts souterrains. La rugosité ou la porosité de la surface peut limiter l'utilisation des pénétrants liquides. De telles surfaces peuvent produire des indications de fond excessives et interférer avec l'inspection. Le contrôle par ressuage peut être utilisé sur la plupart des pièces et assemblages de la cellule accessibles à son application. Les étapes de base pour effectuer des contrôles par ressuage sont brièvement décrites dans les paragraphes suivants.

5-61. ÉQUIPEMENT UTILISÉ DANS LE PROCESSUS DE CONTRÔLE PAR RESSUAGE.
L'équipement varie de la simple bombe aérosol utilisée dans les systèmes portables aux systèmes entièrement automatisés contrôlés par ordinateur. Que l'on utilise des pénétrants fluorescents ou visibles, différentes bases de pénétrants sont disponibles mais peuvent nécessiter des méthodes de nettoyage différentes. Les pénétrants lavables à l'eau peuvent souvent être enlevés par un simple processus de lavage à l'eau, alors que les pénétrants à base d'huile peuvent nécessiter des solvants spéciaux pour être enlevés. Certains pénétrants à base d'huile ont des émulsifiants, soit ajoutés au pénétrant avant son application, soit ajoutés après, qui permettent d'utiliser le lavage à l'eau. Les révélateurs utilisés, peuvent être appliqués soit par un bain humide soit par un bain sec. Par conséquent, chaque processus de contrôle par ressuage peut nécessiter des installations et des procédures de nettoyage différentes. (Voir tableau 5-3.)

5-62. ÉTAPES DE BASE POUR EFFECTUER UN CONTRÔLE PAR RESSUAGE. Le tableau 5-4 présente un processus général, dans le schéma des procédures, pour les procédés de contrôle par ressuage couramment utilisés. Il est important de s'assurer que les pièces sont soigneusement nettoyées et séchées avant de procéder au contrôle par ressuage. Toutes les surfaces à contrôler doivent être exemptes de contaminants, de peinture et d'autres revêtements qui pourraient empêcher le pénétrant de pénétrer dans les discontinuités. Le tableau 5-5 montre les applications de diverses méthodes de pré-nettoyage pour le contrôle par ressuage.

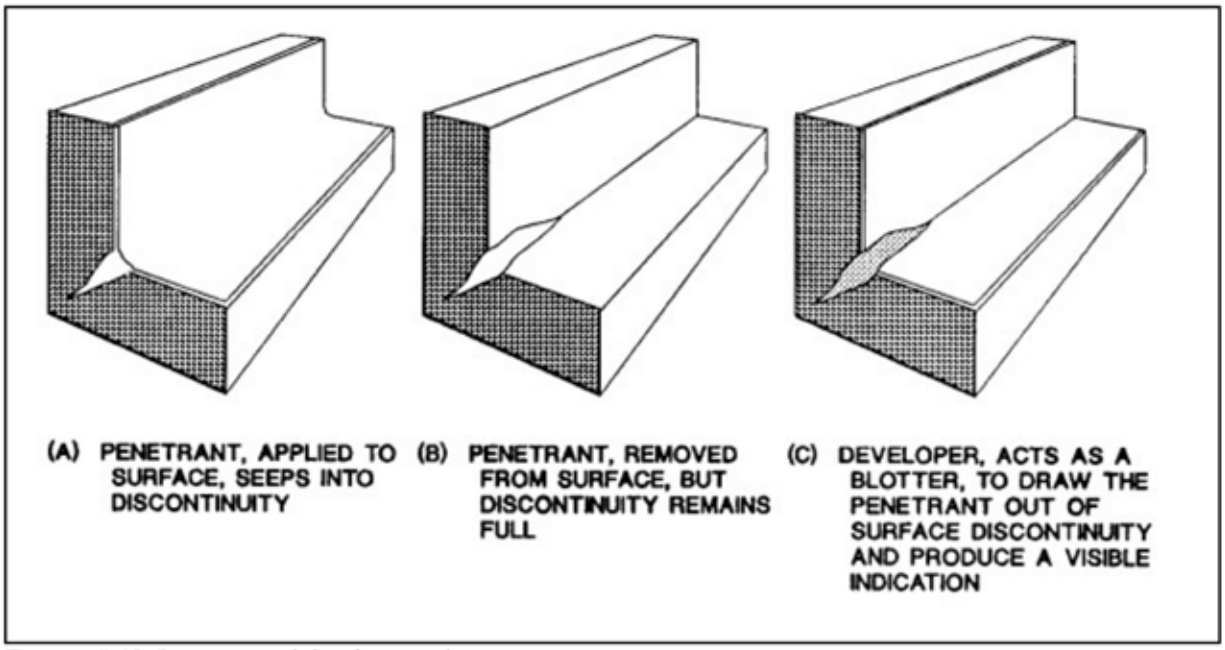


FIGURE 5-13. Penetrant and developer action.

TABLE 5-3. Classification of penetrant inspection materials covered by MIL-I-25135E.

PENETRANT SYSTEMS		DEVELOPERS		SOLVENT REMOVERS	
Type I	Fluorescent Dye	Form a	Dry Powder	Class (1)	Halogenated (chlorinated)
Type II	Visible Dye	Form b	Water Soluble		
Type III	Visible and Fluorescent Dye (dual mode)	Form c	Water Suspendible	Class (2)	Nonhalogenated (nonchlorinated)
		Form d	Nonaqueous		
		Form e	Specific Application	Class (3)	Specific Application
Method A	Water Washable				
Method B	Post emulsifiable, Lipophilic				
Method C	Solvent Removable				
Method D	Post Emulsifiable, Hydrophilic				
Sensitivity Level 1/2	Ultralow				
Sensitivity Level 1	Low				
Sensitivity Level 2	Medium				
Sensitivity Level 3	High				
Sensitivity Level 4	Ultrahigh				

66 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

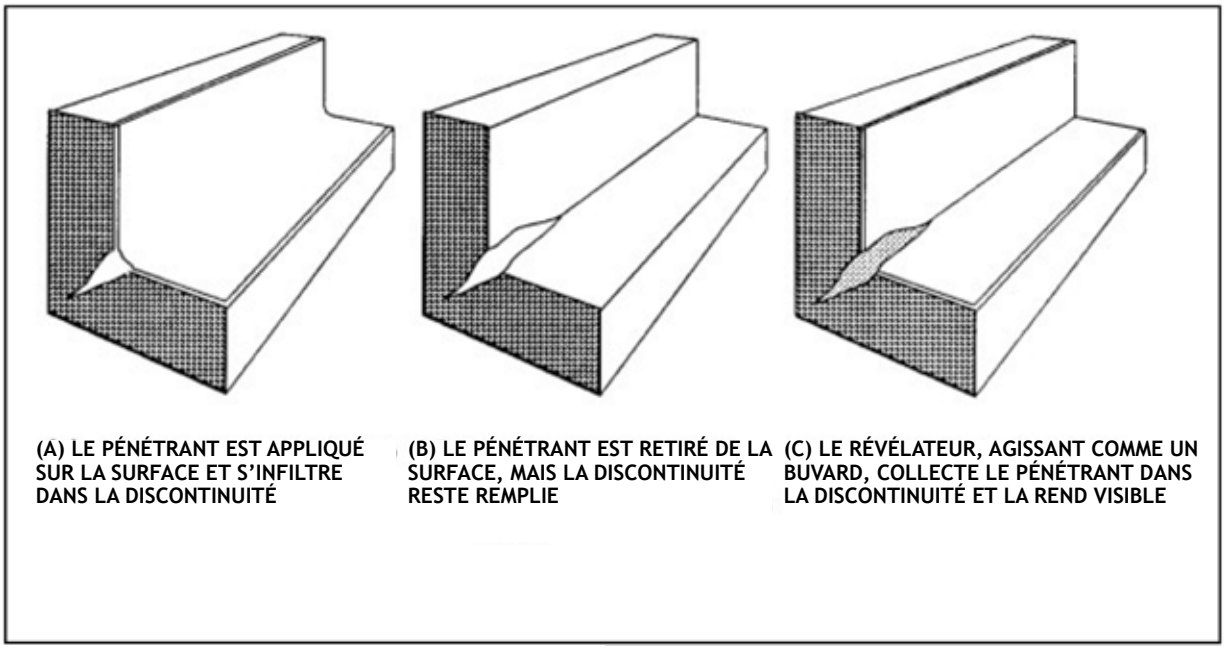
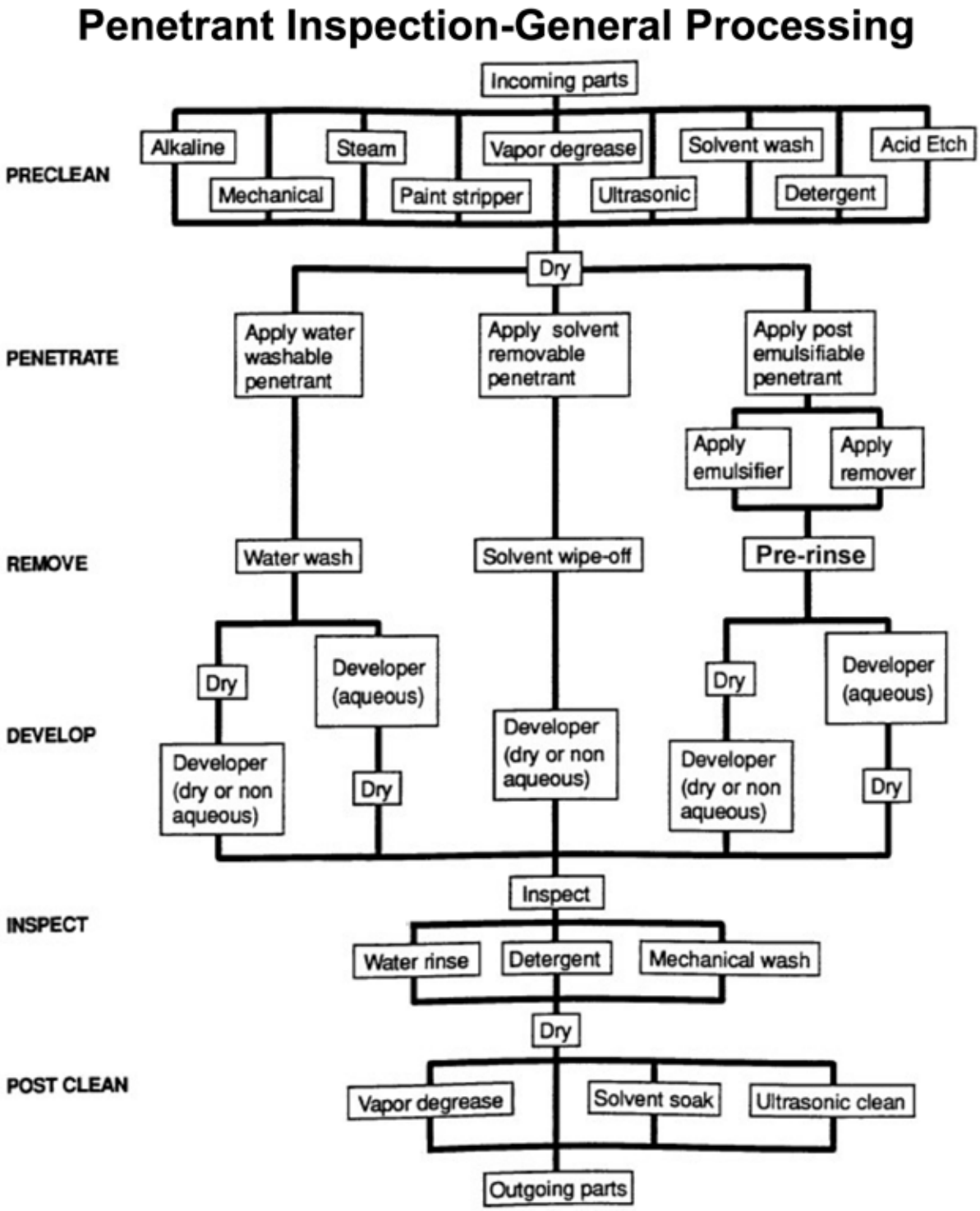


Figure 5-13. Action du pénétrant et du révélateur.

Tableau 5-3. Classification des matériaux de ressuage couverts par la norme MIL-I-25135E.

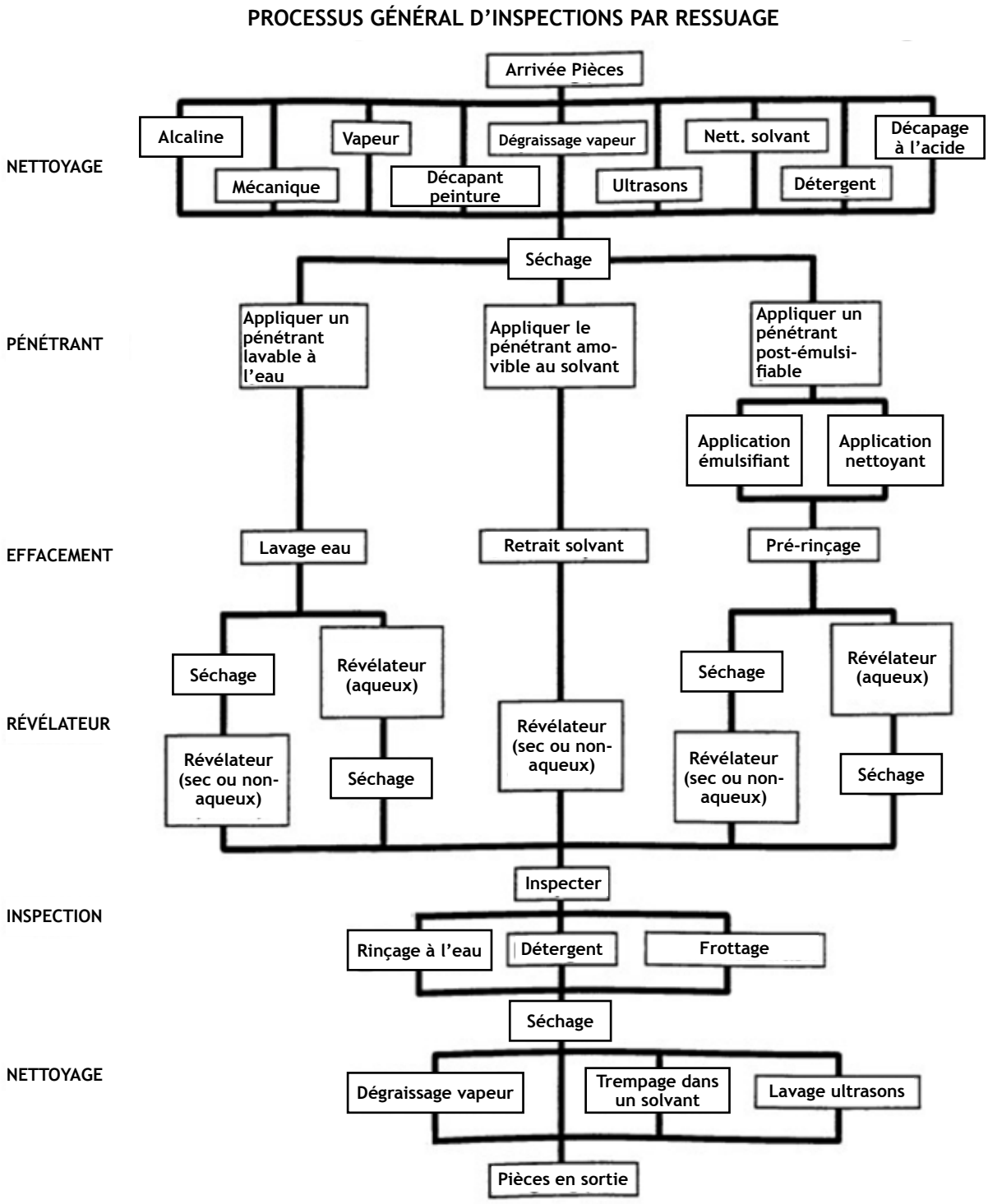
SYSTÈME PÉNÉTRANT	RÉVÉLATEURS	SOLVANT DE NETTOYAGE
Type I Colorant fluorescent Type II Colorant visible Type III Colorant visible et fluorescent (mode mixte)	Forme a Poudre sèche Forme b Soluble dans l'eau Forme c En suspension dans l'eau Forme d Non aqueux Forme e Application spécifique	Classe (1) Halogénés (chlorés) Classe (2) Non halogénés (non chlorés) Classe (3) Application spécifique
Méthode A Lavable à l'eau Méthode B Post-émulsifiable, lipophile Méthode C Enlevable par solvant Méthode D Post-émulsifiable, hydrophile		
Niveau de sensibilité 1/2 Ultra-faible Niveau de sensibilité 1 Faible Niveau de sensibilité 2 Moyen Niveau de sensibilité 3 Haut Niveau de sensibilité 4 Très haut		

TABLE 5-4. Fluorescent and visible penetrant inspection general processing procedures flowsheet.



68 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-4. Procédure d'inspection par ressuage avec colorants visibles et fluorescent .



NdT : Un émulsifiant est un agent qui permet d'éliminer l'excès de pénétrant post-émulsifiable sur la surface des pièces avec de l'eau. Des temps d'émulsification et de rinçage appropriés permettent d'éliminer l'excès de pénétrant en surface, sans que le pénétrant présent dans les discontinuités ne soit éliminé.

Contrairement aux pénétrants lavables à l'eau, les pénétrants post-émulsifiables ne contiennent pas de tensioactifs, agents émulsifiants, dans leurs formules. Les pénétrants post-émulsifiables résistent à l'élimination des discontinuités pendant l'étape de rinçage à l'eau en raison de l'absence de tensioactifs dans leurs formules. Cependant, un émulsifiant est nécessaire pour éliminer l'excès de pénétrant post-émulsifiable de la surface de la pièce pendant l'étape d'élimination du pénétrant.

Source: www.magnaflux.com

TABLE 5-5. Pre-cleaning methods for penetrant inspection.

METHOD	USE
Mechanical Methods	
Abrasive tumbling	Removing light scale, burrs, welding flux, braze stopoff, rust, casting mold, and core material; should not be used on soft metals such as aluminum, magnesium, or titanium.
Dry abrasive grit blasting	Removing light or heavy scale, flux, stopoff, rust, casting mold and core material, sprayed coatings, carbon deposits: In general, any brittle deposit. Can be fixed or portable (may peen metal over defect).
Wet abrasive grit blast	Same as dry except, where deposits are light, better surface and better control of dimensions are required.
Wire brushing	Removing light deposits of scale, flux, and stopoff (may mask defect by displacing metal).
High pressure water and steam	Ordinarily used with an alkaline cleaner or detergent; removing typical machine shop contamination, such as cutting oils, polishing compounds, grease, chips, and deposits from electrical discharge machining; used when surface finish must be maintained.
Ultrasonic cleaning	Ordinarily used with detergent and water or with a solvent; removing adhering shop contamination from large quantities of small parts.
Chemical Methods	
Alkaline cleaning	Removing braze stopoff, rust, scale, oils, greases, polishing material, and carbon deposits; ordinarily used on large articles where hand methods are too laborious; also used on aluminum for gross metal removal.
Acid cleaning	Strong solutions for removing heavy scale; mild solutions for light scale; weak (etching) solutions for removing lightly smeared metal.
Molten salt bath cleaning	Conditioning and removing heavy scale; not suitable for aluminum, magnesium, or titanium.
Solvent Methods	
Solvent wiping	Same as for vapor degreasing except a hand operation; may employ nonhalogenated (nonchlorinated) solvents; used for localized low-volume cleaning.

70 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-5. Méthodes de pré-nettoyage pour inspection avec pénétrant.

MÉTHODE	USAGE
Méthodes mécaniques	
Tambour abrasif	Enlèvement de la calamine légère, des bavures, du flux de soudage, des résidus de brasage, de la rouille, des moules et des noyaux de fonderie ; ne pas utiliser sur les métaux tendres tels que l'aluminium, le magnésium ou le titane.
Sablage à sec	Élimination de la calamine légère ou lourde, du flux de soudage, des résidus de brasage, de la rouille, des moules et des noyaux de fonderie, des revêtements pulvérisés, des dépôts de carbone : En général, tout dépôt cassant. Peut être fixe ou portable (peut éroder le métal sur le défaut).
Sablage à l'eau	Identique au procédé à sec, sauf que, lorsque les dépôts sont légers, une meilleure surface et un meilleur contrôle des dimensions sont nécessaires.
Brossage	Enlèvement de dépôts légers de calamine, de flux et de bavures (peut masquer le défaut en déplaçant le métal).
Eau et vapeur à haute pression	Généralement utilisé avec un nettoyant ou un détergent alcalin ; élimination des contaminations typiques des ateliers d'usinage, telles que les huiles de coupe, les produits de polissage, les graisses, les copeaux et les dépôts provenant de l'usinage par décharge électrique ; utilisé lorsque la finition de la surface doit être maintenue.
Nettoyage par ultrasons	Utilisé habituellement avec un détergent et de l'eau ou avec un solvant ; élimine la contamination adhérente de l'atelier sur de grandes quantités de petites pièces.
Méthodes chimiques	
Nettoyage alcalin	Élimination des résidus de brasage, de la rouille, de la calamine, des huiles, des graisses, des matériaux de polissage et des dépôts de carbone ; généralement utilisé sur de gros articles lorsque les méthodes manuelles sont trop laborieuses ; également utilisé sur l'aluminium pour l'élimination du métal brut.
Nettoyage acide	Solutions fortes pour enlever une calamine épaisse ; solutions douces pour une calamine légère ; solutions faibles (décapantes) pour enlever le métal légèrement taché.
Nettoyage en bain de sel fondu	Conditionnement et élimination de la calamine lourde ; ne convient pas à l'aluminium, au magnésium ou au titane.
Méthodes avec solvants	
Essuyage au solvant	Identique au dégraissage à la vapeur, sauf qu'il s'agit d'une opération manuelle ; peut utiliser des solvants non halogénés (non chlorés) ; utilisé pour un nettoyage localisé de faible volume.

CAUTION: Improper cleaning methods can cause severe damage or degradation of the item being cleaned. Personnel must select and apply cleaning processes in accordance with aircraft, engine, propeller, or appliance manufacturer's recommendations.

5-63. CLEANERS AND APPLICATIONS. Use a cleaner to remove contaminants from parts prior to the application of penetrant inspection materials. After the inspection is completed, penetrant inspection material residues are removed. The following cleaners are commonly used during the penetrant inspection process.

a. Detergents. Detergent cleaners are water-based chemicals called surfactants, which surround and attach themselves to particles of contaminants allowing them to be washed away.

b. Solvents. Solvents dissolve contaminants such as oils, greases, waxes, sealants, paints, and general organic matter so they can easily be wiped away or absorbed on a cloth. They are also used to remove Method C penetrant material prior to developer application.

c. Alkalies. Alkaline cleaners are water solutions of chemicals that remove contaminants by chemical action or displacement rather than dissolving the contaminant.

d. Paint Removers. The general types of removers used for conventional paint coatings are solvent, bond release, and disintegrating.

e. Salt Baths. Molten salt baths are used in removing heavy, tightly-held scale and oxide from low alloy steels, nickel, and cobalt-base alloys, and some types of stainless steel. They cannot be used on aluminum, magnesium, or titanium alloys.

f. Acids. Solutions of acids or their salts are used to remove rust, scale, corrosion products, and dry shop contamination. The type of acid used and its concentration depends on the part material and contaminants to be removed.

g. Etching Chemicals. Etching chemicals contain a mixture of acids or alkalies plus inhibitors. They are used to remove a thin layer of surface material, usually caused by a mechanical process, that may seal or reduce the opening of any discontinuities. The type of etching solution used depends on the part material and condition.

h. Penetrant Application. Apply the penetrant by spraying, brushing, or by completely submerging the part in a container of penetrant. Wait the recommended amount of time after the penetrant has been applied to allow it to enter any discontinuities

(1) Removal of Excess Penetrant. Excess penetrant must be removed from the part's surface to prevent a loss of contrast between indications of discontinuities and the background during the inspection. Removal may require actually washing or spraying the part with a cleansing liquid, or may simply require wiping the part clean with a solvent-moistened cloth. The removal method is determined by the type of penetrant used.

(2) Drying. If removal of the excess penetrant involves water or other cleaning liquids, drying of the part may be required prior to developer application. When drying is required, the time can be decreased by using ovens or ventilation systems.

i. Developer Application. Apply developer after excess penetrant is removed and, where required, the surface is dried. Apply the developer in a thin uniform layer over the surface to be inspected. Developer acts like a

72 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

ATTENTION : Des méthodes de nettoyage inappropriées peuvent causer de graves dommages ou une dégradation de la pièce à nettoyer. L'opérateur doit choisir et appliquer les procédés de nettoyage conformément aux recommandations du fabricant de l'avion, du moteur, de l'hélice ou de la pièce.

5-63. NETTOYANTS ET LEUR APPLICATION. Utiliser un nettoyant pour éliminer les contaminants des pièces avant l'application des matériaux de contrôle par ressuage. Une fois l'inspection terminée, les résidus de matériaux de contrôle par ressuage sont éliminés. Les nettoyants suivants sont couramment utilisés pendant le processus de contrôle par ressuage.

a. Détergents. Les détergents sont des produits chimiques à base d'eau appelés surfactants, qui entourent et se fixent sur les particules de contaminants, permettant ainsi leur élimination par lavage.

b. Solvants. Les solvants dissolvent les contaminants tels que les huiles, les graisses, les cires, les produits d'étanchéité, les peintures et les matières organiques en général afin qu'ils puissent être facilement essuyés ou absorbés par un chiffon. Ils sont également utilisés pour éliminer le produit de ressuage de la méthode C avant l'application du révélateur.

c. Alcalins. Les nettoyants alcalins sont des solutions aqueuses de produits chimiques qui éliminent les contaminants par action chimique ou par déplacement plutôt que par dissolution du contaminant.

d. Décapants pour peinture. Les types de décapants utilisés pour les revêtements de peinture conventionnels sont les solvants, les décolleurs et le sablage.

e. Bains de sel. Les bains de sels fondus sont utilisés pour éliminer la calamine et l'oxyde lourds et serrés des aciers faiblement alliés, des alliages à base de nickel et de cobalt et de certains types d'acier inoxydable. Ils ne peuvent pas être utilisés sur les alliages d'aluminium, de magnésium ou de titane.

f. Acides. Les solutions d'acides ou leurs sels sont utilisés pour éliminer la rouille, la calamine, les produits de corrosion et la contamination de l'atelier sec. Le type d'acide utilisé et sa concentration dépendent du matériau de la pièce et des contaminants à éliminer.

g. Produits chimiques de gravure. Les produits chimiques de décapage contiennent un mélange d'acides ou d'alcalis et d'inhibiteurs. Ils sont utilisés pour enlever une fine couche de matériau de surface, généralement causée par un processus mécanique, qui peut sceller ou réduire l'ouverture de toute discontinuité. Le type de solution de gravure utilisé dépend du matériau et de l'état de la pièce.

h. Application du pénétrant. Appliquer le pénétrant par pulvérisation, brossage, ou en immergeant complètement la pièce dans un récipient de pénétrant. Attendez le temps recommandé après l'application du pénétrant pour lui permettre de pénétrer dans toutes les discontinuités.

(1) Élimination de l'excès de pénétrant. L'excès de pénétrant doit être enlevé de la surface de la pièce pour éviter une perte de contraste entre les indications de discontinuités et le fond pendant l'inspection. L'élimination peut nécessiter de laver ou de pulvériser la pièce avec un liquide de nettoyage, ou simplement de l'essuyer avec un chiffon humecté de solvant. La méthode d'élimination est déterminée par le type de pénétrant utilisé.

(2) Séchage. Si l'élimination de l'excès de pénétrant implique de l'eau ou d'autres liquides de nettoyage, le séchage de la pièce peut être nécessaire avant l'application du révélateur. Lorsque le séchage est nécessaire, le temps peut être réduit en utilisant des fours ou des systèmes de ventilation.

i. Application du révélateur. Appliquer le révélateur après avoir éliminé l'excès de pénétrant et, si nécessaire, après avoir séché la surface. Appliquer le révélateur en une couche mince et uniforme sur la surface à contrôler.

blotter to assist the natural capillary action bleed-out of the penetrant from discontinuities and to spread the penetrant at discontinuity surface edges to enhance bleed-out indications. After the developer is applied, allow sufficient time for the penetrant to be drawn out of any discontinuities. Follow the manufacturer's recommendations.

j. Inspection for Discontinuities. After the penetrant has sufficiently developed, visually inspect the surface for indications from discontinuities. Evaluate each indication observed to determine if it is within acceptable limits. Visible penetrant inspection is performed in normal visible white light, whereas fluorescent penetrant inspection is performed in black (ultraviolet) light.

k. Post-Cleaning. Remove inspection material residues from parts after completion of penetrant inspection. This residue could interfere with subsequent part processing, or if left on some alloys, it could increase their susceptibility to hydrogen embrittlement, intergranular corrosion, and stress corrosion during service.

5-64. TECHNICAL STANDARDS. Two of the more generally accepted aerospace industry standards are the MIL-I-25135E, Inspection Materials, Penetrants (see table 5-6) and ASTM-E-1417. The penetrant materials specification (MIL-I-25135E) is used to procure penetrant materials and the process control specification (MIL-STD-6866) is used to establish minimum requirements for conducting a penetrant inspection. Table 5-6 provides a partial listing of commonly-accepted standards and specifications for penetrant inspection.

74 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Le révélateur agit comme un buvard pour aider le ressuage naturel par capillarité du pénétrant à partir des discontinuités et pour étaler le pénétrant sur les bords de la surface des discontinuités afin d'améliorer les indications de ressuage. Après l'application du révélateur, laisser suffisamment de temps pour que le pénétrant soit extrait de toutes les discontinuités. Suivre les recommandations du fabricant.

j. Inspection des discontinuités. Une fois que le pénétrant s'est suffisamment développé, inspectez visuellement la surface à la recherche d'indications de discontinuités. Évaluez chaque indication observée pour déterminer si elle se situe dans les limites acceptables. Le contrôle par ressuage visible est effectué en lumière blanche visible normale, tandis que le contrôle par ressuage fluorescent est effectué en lumière noire (ultraviolette).

k. Post-nettoyage. Enlever les résidus de produit de contrôle des pièces après la fin du contrôle par ressuage. Ces résidus peuvent gêner le traitement ultérieur de la pièce ou, s'ils sont laissés sur certains alliages, ils peuvent augmenter leur susceptibilité à la fragilisation par l'hydrogène, à la corrosion intergranulaire et à la corrosion sous contrainte pendant le service.

5-64. NORMES TECHNIQUES. Deux des normes les plus généralement acceptées dans l'industrie aérospatiale sont la norme MIL-I-25135E, Inspection Materials, Penetrants (voir tableau 5-6) et la norme ASTM-E-1417. La spécification des matériaux de ressuage (MIL-I-25135E) est utilisée pour se procurer des matériaux de ressuage et la spécification du contrôle du processus (MIL-STD-6866) est utilisée pour établir les exigences minimales pour effectuer un contrôle par ressuage. Le tableau 5-6 donne une liste partielle des normes et spécifications communément admises pour le contrôle par ressuage.

TABLE 5-6. Listing of commonly accepted standards and specifications for penetrant inspection.

NUMBER	TITLE
ASTM STANDARDS	
ASTM-E-165	Standard Practice for Liquid Penetrant Inspection Method
ASTM -E-270	Standard Definitions of Terms Relating to Liquid Penetrant Inspection
ASTM -E-1135	Standard Method for Comparing the Brightness of Fluorescent Penetrants
ASTM -E-1208	Standard Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Lipophilic Post-Emulsification Process
ASTM -E-1209	Standard Method for Fluorescent Penetrant Examination Using the Water Washable Process
ASTM -E-1210	Standard Method for Fluorescent Penetrant Examination Using the Hydrophilic Post-Emulsification Process
ASTM -E-1219	Standard Method for Fluorescent Penetrant Examination Using the Solvent Removable Process
ASTM -E-1220	Standard Method for Visible Penetrant Examination Using the Solvent Removable Method
ASTM -E-2512	Compatibility of Materials with Liquid Oxygen (Impact-Sensitivity Threshold Technique)
SAE-AMS SPECIFICATIONS	
AMS-2647	Fluorescent Penetrant Inspection - Aircraft and Engine Component Maintenance
US GOVERNMENT SPECIFICATIONS	
MIL-STD-271	Requirements for Nondestructive Testing
MIL-STD-410	Nondestructive Testing Personnel Qualifications and Certifications
MIL-STD-1907	Inspection, Liquid Penetrant and Magnetic Particle, Soundness Requirements for Materials, Parts and Welds
MIL-STD-6866	Inspection, Liquid Penetrant
MIL-STD-728/1	Nondestructive Testing
MIL-STD-728/3	Liquid Penetrant Testing
MIL-STD-25135E	Inspection Materials, Penetrants
QPL-25135	Qualified Products List of Materials Qualified Under MIL-I-25135
T.O. 33B-1-1	U.S. Air Force/Navy Technical Manual, Nondestructive Testing Methods
OTHER PUBLICATIONS	
SNT-TC-1A	Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing and Recommended Training Courses
ATA No. 105	Guidelines for Training and Qualifying Personnel in Nondestructive Methods,
Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 17	Nondestructive Evaluation, and Quality Control

5-65.—5-72. [RESERVED.]

76 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-6. Liste des normes et spécifications communément admises pour le contrôle par ressuage.

RÉFÉRENCE	TITRE
Standards ASTM	
ASTM-E-165	Pratique standard pour la méthode d'inspection par ressuage
ASTM -E-270	Définitions standard des termes relatifs au contrôle par ressuage
ASTM -E-1135	Méthode standard pour la comparaison de la luminosité des pénétrants fluorescents
ASTM -E-1208	Méthode standard pour le contrôle par ressuage fluorescent utilisant le procédé de post émulsification lipophile
ASTM -E-1209	Méthode standard pour l'examen par ressuage fluorescent utilisant le procédé lavable à l'eau
ASTM -E-1210	Méthode standard de ressuage utilisant le procédé de post-émulsification hydrophile
ASTM -E-1219	Méthode standard pour le contrôle par ressuage à l'aide d'un procédé d'élimination par solvant.
ASTM -E-1220	Méthode standard de contrôle par ressuage à l'aide d'un solvant éliminable.
ASTM -E-2512	Compatibilité des matériaux avec l'oxygène liquide (technique du seuil de sensibilité à l'impact)
Spécifications SAE-AMS	
AMS-2647	Contrôle par ressuage - Maintenance des aéronefs et des composants moteur
Spécifications Gouvernementales US	
MIL-STD-271	Exigences pour les essais non destructifs
MIL-STD-410	Qualifications et certifications du personnel chargé des essais non destructifs
MIL-STD-1907	Contrôle par ressuage et magnétoscopie, exigences de solidité des matériaux, pièces et soudures
MIL-STD-6866	Contrôle par ressuage
MIL-STD-728/1	Contrôle non destructif
MIL-STD-728/3	Contrôle par ressuage
MIL-STD-25135E	Matériaux d'inspection, pénétrants
QPL-25135	Produits qualifiés Liste des matériaux qualifiés selon la norme MIL-I-25135
T.O. 33B-1-1	Manuel technique de l'U.S. Air Force/Navy, méthodes de contrôle non destructif
Autres publications	
SNT-TC-1A	Qualification et certification du personnel en matière d'essais non destructifs et cours de formation recommandés
ATA No. 105	Lignes directrices pour la formation et la qualification du personnel dans le domaine des méthodes non destructives,
Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 17	Évaluation non destructive, et contrôle de la qualité

5-65.- 5-72. [RÉSERVÉ.]

SECTION 6. RADIOGRAPHY (X-RAY) INSPECTION

5-73. GENERAL. Radiography (x-ray) is an NDI method used to inspect material and components, using the concept of differential adsorption of penetrating radiation. Each specimen under evaluation will have differences in density, thickness, shapes, sizes, or absorption characteristics, thus absorbing different amounts of radiation. The unabsorbed radiation that passes through the part is recorded on film, fluorescent screens, or other radiation monitors. Indications of internal and external conditions will appear as variants of black/white/gray contrasts on exposed film, or variants of color on fluorescent screens. (See figure 5-14.)

5-74. LIMITATIONS. Compared to other nondestructive methods of inspection, radiography is expensive. Relatively large costs and space allocations are required for a radiographic laboratory. Costs can be reduced considerably when portable x-ray or gamma-ray sources are used in film radiography and space is required only for film processing and interpretation. Operating costs can be high because sometimes as much as 60 percent of the total inspection time is spent in setting up for radiography. With real-time radiography, operating costs are usually much lower, because setup times are shorter and there are no extra costs for processing or interpretation of film.

5-75. FILM OR PAPER RADIOGRAPHY. In film or paper radiography, a two-dimensional latent image from the projected radiation is produced on a sheet of film or paper that has been exposed to the unabsorbed radiation passing through the test piece. This technique requires subsequent development of the exposed film or paper so that the latent image becomes visible for viewing.

5-76. REAL-TIME RADIOGRAPHY. A two-dimensional image that can be immediately displayed on a viewing screen or television monitor. This technique converts unabsorbed radiation into an optical or electronic signal which can be viewed immediately or can be processed with electronic or video equipment.

5-77. ADVANTAGE OF REAL-TIME RADIOGRAPHY OVER FILM RADIOGRAPHY. The principal advantage of real-time radiography over film radiography is the opportunity to manipulate the test piece during radiographic inspection. This capability allows the inspection of internal mechanisms and enhances the detection of cracks and planar defects by allowing manipulation of the part to achieve the best orientation for flaw detection. Part manipulation during inspection also simplifies three-dimensional dynamic imaging for the determination of flaw location and size. In film radiography, depth parallel to the radiation beam is not recorded. Consequently, the position of a flaw within the volume of a test piece cannot be determined exactly with a single radiograph. To determine flaw location and size more exactly with film radiography, other film techniques; such as stereo-radiography, triangulation, or simply making two or more film exposures with the radiation beam being directed at the test piece from a different angle for each exposure, must be used.

5-78. COMPUTED TOMOGRAPHY (CT). CT is another important radiological technique with enhanced flaw detection and location capabilities. Unlike film and real-time radiography, CT involves the generation of cross-sectional views instead of a planar

78 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-73. GÉNÉRALITÉS. La radiographie (rayons X) est une méthode CND utilisée pour inspecter les matériaux et les composants, en utilisant le concept d'adsorption différentielle du rayonnement pénétrant. Chaque spécimen évalué présente des différences de densité, d'épaisseur, de forme, de taille ou de caractéristiques d'absorption, absorbant ainsi des quantités différentes de rayonnement. Le rayonnement non absorbé qui traverse la pièce est enregistré sur des films, des écrans fluorescents ou d'autres moniteurs de rayonnement. Les indications des conditions internes et externes apparaîtront sous forme de variantes de contrastes noir/blanc/gris sur le film exposé, ou de variantes de couleur sur les écrans fluorescents. (Voir figure 5-14.)

5-74. LIMITES. Comparativement aux autres méthodes d'inspection non destructives, la radiographie est coûteuse. Un laboratoire de radiographie exige des coûts et un espace relativement importants. Les coûts peuvent être considérablement réduits lorsque des sources portables de rayons X ou de rayons gamma sont utilisées pour la radiographie sur film et que l'espace n'est requis que pour le développement et l'interprétation des films. Les coûts d'exploitation peuvent être élevés, car parfois jusqu'à 60 % du temps total d'inspection est consacré à la préparation de la radiographie. Avec la radiographie en temps réel, les coûts d'exploitation sont généralement beaucoup plus faibles, car les temps de préparation sont plus courts et il n'y a pas de coûts supplémentaires pour le traitement ou l'interprétation des films.

5-75. RADIOGRAPHIE SUR FILM OU SUR PAPIER. En radiographie sur film ou sur papier, une image latente bidimensionnelle du rayonnement projeté est produite sur une feuille de film ou de papier qui a été exposée au rayonnement non absorbé traversant la pièce à tester. Cette technique nécessite un développement ultérieur du film ou du papier exposé afin que l'image latente devienne visible.

5-76. RADIOGRAPHIE EN TEMPS RÉEL.
Une image bidimensionnelle qui peut être immédiatement affichée sur un écran de visualisation ou un moniteur de télévision. Cette technique convertit le rayonnement non absorbé en un signal optique ou électronique qui peut être visualisé immédiatement ou être traité avec un équipement électronique ou vidéo.

5-77. AVANTAGE DE LA RADIOGRAPHIE EN TEMPS RÉEL SUR LA RADIOGRAPHIE SUR FILM. Le principal avantage de la radiographie en temps réel par rapport à la radiographie sur film est la possibilité de manipuler la pièce à tester pendant l'inspection radiographique. Cette capacité permet l'inspection des mécanismes internes et améliore la détection des criques et des défauts planaires en permettant la manipulation de la pièce pour obtenir la meilleure orientation pour la détection des défauts. La manipulation de la pièce pendant l'inspection simplifie également l'imagerie dynamique tridimensionnelle pour la détermination de l'emplacement et de la taille des défauts. En radiographie sur film, la profondeur parallèle au faisceau de rayonnement n'est pas enregistrée. Par conséquent, la position d'un défaut dans le volume d'une pièce à tester ne peut pas être déterminée exactement avec une seule radiographie. Pour déterminer plus précisément l'emplacement et la taille d'un défaut avec la radiographie sur film, il faut utiliser d'autres techniques, comme la stéréo-radiographie, la triangulation ou simplement deux ou plusieurs expositions du film, le faisceau de rayonnement étant dirigé vers l'échantillon sous un angle différent pour chaque exposition.

5-78. TOMOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (CT[1]). La tomodensitométrie est une autre technique radiologique importante qui permet de mieux détecter et localiser les défauts. Contrairement à la radiographie sur film et en temps réel, le CT implique la génération de vues en coupe au lieu d'une projection planaire.

1 NdT : CT pour Computer Tomography.

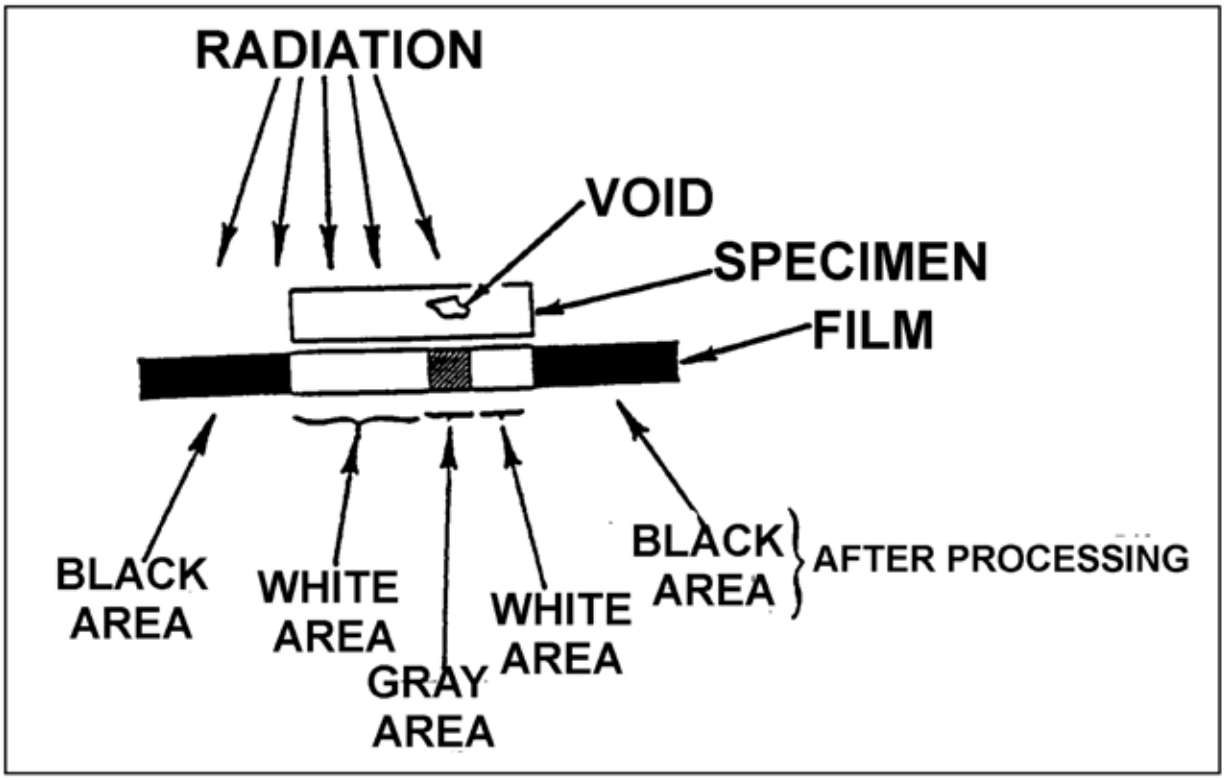


FIGURE 5-14. Radiography.

projection. The CT image is comparable to that obtained by making a radiograph of a physically sectioned thin planar slab from an object. This cross-sectional image is not obscured by overlying and underlying structures and is highly sensitive to small differences in relative density. Computed tomography images are also easier to interpret than radiographs.

5-79. USES OF RADIOGRAPHY. Radiography is used to detect the features of a component or assembly that exhibit a difference in thickness or density as compared to surrounding material. Large differences are more easily detected than small ones. In general, radiography can detect only those features that have an appreciable thickness in a direction along the axis of the radiation beam. Therefore, the ability of radiography to detect planar discontinuities, such as cracks, depends on proper orientation of the test piece during inspection. Discontinuities which have measurable thickness in all directions, such as voids and inclusions, can be detected as long as they are not too small in relation to section thickness. In general, features that exhibit a 2 percent or more difference in radiation adsorption compared to the surrounding material can be detected.

5-80. COMPARISON WITH OTHER NDI METHODS. Radiography and ultrasonic are the two generally-used, nondestructive inspection methods that can satisfactorily detect flaws that are completely internal and located well below the surface of the test part. Neither method is limited to the detection of specific types of internal flaws. However, radiography is more effective when the flaws are not planar, while ultrasonic is more effective when flaws are planar. In comparison to other generally-used NDI methods (e.g., magnetic particle, liquid penetrant, and eddy current inspection), radiography has the following advantages.

80 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

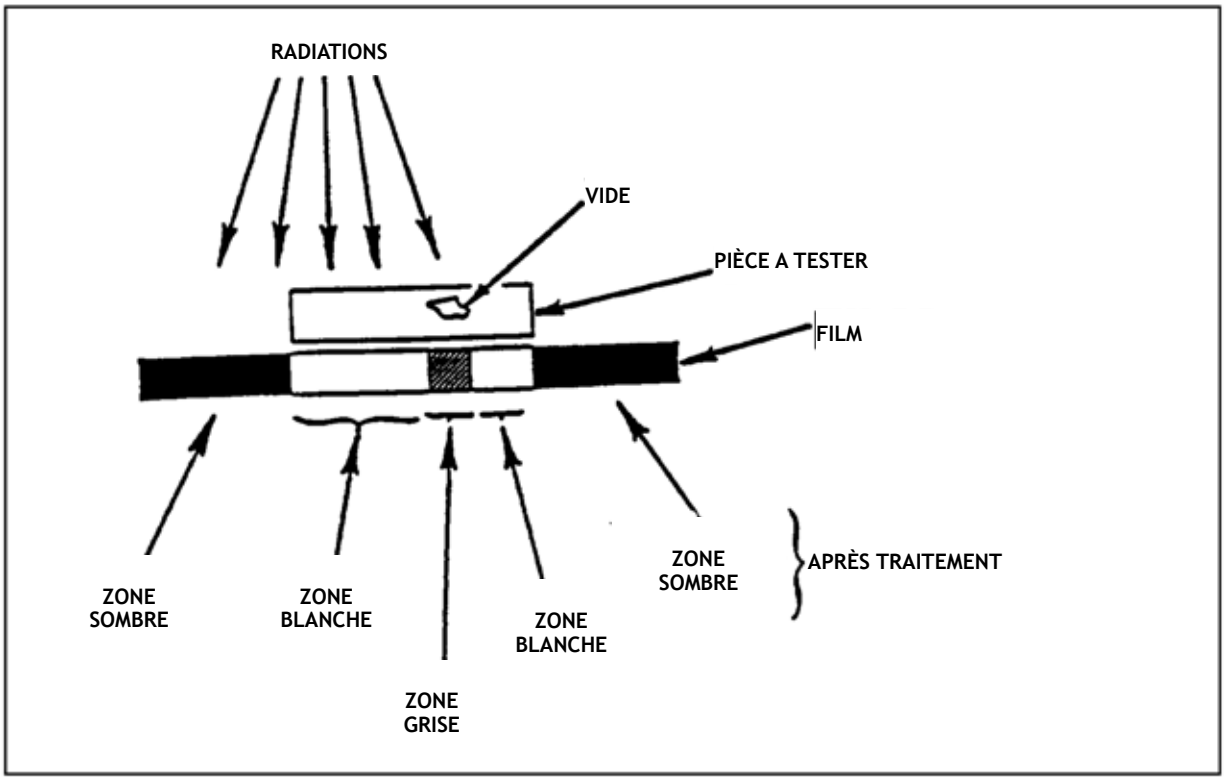


Figure 5-14. Radiographie.

L'image tomodensitométrique est comparable à celle obtenue en faisant une radiographie d'une fine tranche plane physiquement sectionnée d'un objet. Cette image en coupe transversale n'est pas masquée par les structures sus- et sous-jacentes et est très sensible aux petites différences de densité relative. Les images obtenues par tomographie assistée par ordinateur sont également plus faciles à interpréter que les radiographies.

5-79. UTILISATIONS DE LA RADIOGRAPHIE. La radiographie est utilisée pour détecter les caractéristiques d'un composant ou d'un assemblage qui présentent une différence d'épaisseur ou de densité par rapport au matériau environnant. Les grandes différences sont plus faciles à détecter que les petites. En général, la radiographie ne peut détecter que les caractéristiques qui ont une épaisseur appréciable dans la direction de l'axe du faisceau de rayonnement. Par conséquent, la capacité de la radiographie à détecter les discontinuités planes, comme les criques, dépend de l'orientation correcte de la pièce à tester pendant l'inspection. Les discontinuités qui ont une épaisseur mesurable dans toutes les directions, comme les vides et les inclusions, peuvent être détectées tant qu'elles ne sont pas trop petites par rapport à l'épaisseur de la section.

En général, les caractéristiques qui présentent une différence de 2 % ou plus dans l'adsorption du rayonnement par rapport au matériau environnant peuvent être détectées.

5-80. COMPARAISON AVEC D'AUTRES MÉTHODES DE CONTRÔLE NON-DESTRUCTIF. La radiographie et les ultrasons sont les deux méthodes de contrôle non-destructif généralement utilisées qui peuvent détecter de manière satisfaisante les défauts qui sont complètement internes et situés bien en dessous de la surface de la pièce testée. Aucune des deux méthodes n'est limitée à la détection de types spécifiques de défauts internes. Cependant, la radiographie est plus efficace lorsque les défauts ne sont pas planaires, tandis que les ultrasons sont plus efficaces lorsque les défauts sont planaires. Par rapport aux autres méthodes CND généralement utilisées (par exemple, le contrôle par magnétoscopie, par ressuage et par courants de Foucault), la radiographie présente les avantages suivants.

a. The ability to inspect for both internal and external flaws.

b. The ability to inspect covered or hidden parts or structures.

c. The ability to detect significant variations in composition.

d. Provides a permanent recording of raw inspection data.

5-81. FLAWS. Certain types of flaws are difficult to detect by radiography. Cracks cannot be detected unless they are essentially along the axis of the radiation beam. Tight cracks in thick sections may not be detected at all, even when properly oriented. Minute discontinuities such as: inclusions in wrought material, flakes, microporosity, and microfissures may not be detected unless they are sufficiently segregated to yield a detectable gross effect. Delaminations are nearly impossible to detect with radiography. Because of their unfavorable orientation, delaminations do not yield differences in adsorption that enable laminated areas to be distinguished from delaminated areas.

5-82. FIELD INSPECTION. The field inspection of thick sections can be a time-consuming process, because the effective radiation output of portable sources may require long exposure times of the radiographic film. This limits field usage to sources of lower activity that can be transported. The output of portable x-ray sources may also limit field inspection of thick sections, particularly if a portable x-ray tube is used. Portable x-ray tubes emit relatively low-energy (300 kev) radiation and are limited in the radiation output. Both of these characteristics of portable x-ray tubes combine to limit their application to the inspection of sections having the adsorption equivalent of 75 mm (3 inches) of steel maximum. Portable linear accelerators and betatrons that provide high-energy (> 1 MeV) x-rays can be used for the radiographic field inspection of thicker sections.

5-83. SAFETY. Radiographic safety requirements can be obtained from; the OEM's manual, FAA requirements, cognizant FAA ACO engineers, and radiation safety organizations such as the Nuclear Regulatory Commission (NRC). Information in radiation safety publications can be used as a guide to ensure that radiation exposure of personnel involved in radiographic operations is limited to safe levels, and to afford protection for the general public.

5-84.—5-88. [RESERVED.]

82 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

a. La capacité d'inspecter les défauts internes et externes.

b. La capacité d'inspecter des parties ou des structures couvertes ou cachées.

c. La capacité de détecter des variations importantes dans la composition.

d. Fournit un enregistrement permanent des données brutes d'inspection.

5-81. DÉFAUTS. Certains types de défauts sont difficiles à détecter par radiographie. Les criques ne peuvent être détectées que si elles sont essentiellement dans l'axe du faisceau de rayonnement. Les criques serrées dans les sections épaisses peuvent ne pas être détectées du tout, même lorsqu'elles sont correctement orientées. Les discontinuités minuscules telles que les inclusions dans les matériaux corroyés, les écailles, la microporosité et les microfissures peuvent ne pas être détectées, à moins qu'elles ne soient suffisamment isolées pour produire un effet brut détectable. Les délaminations sont presque impossibles à détecter par radiographie. En raison de leur orientation défavorable, les délaminations ne produisent pas de différences d'adsorption qui permettent de distinguer les zones stratifiées des zones délaminées.

5-82. INSPECTION SUR PLACE. L'inspection sur place de sections épaisses peut prendre beaucoup de temps, car la puissance de rayonnement effective des sources portables peut nécessiter de longs temps d'exposition du film radiographique. Cela limite l'utilisation sur place aux sources de faible activité qui peuvent être transportées. La puissance des sources de rayons X portables peut également limiter l'inspection sur place des sections épaisses, en particulier si un tube à rayons X portable est utilisé. Les tubes à rayons X portables émettent un rayonnement de relativement faible énergie (300 kev) et sont limités en termes de puissance de rayonnement. Ces deux caractéristiques des tubes à rayons X portables se combinent pour limiter leur application à l'inspection de sections ayant l'équivalent d'une adsorption de 75 mm (3 pouces) d'acier maximum. Les accélérateurs linéaires et les bétatrons portables qui fournissent des rayons X à haute énergie (>1 MeV) peuvent être utilisés pour l'inspection radiographique sur place de sections plus épaisses.

5-83. SÉCURITÉ. Les exigences en matière de sécurité radiographique peuvent être obtenues à partir du manuel de l'équipementier, des exigences de la FAA, des ingénieurs ACO compétents de la FAA et des organismes de radioprotection comme la Commission de réglementation nucléaire (NRC[1]). Les informations contenues dans les publications de radioprotection peuvent être utilisées comme guide pour s'assurer que l'exposition aux rayonnements du personnel impliqué dans les opérations radiographiques est limitée à des niveaux sûrs, et pour assurer la protection du grand public.

5-84.- 5-88. [RÉSERVÉ.]

1 ASN, Agence de Sureté Nucléaire en France.

SECTION 7. ULTRASONIC INSPECTION

5-89. GENERAL. Ultrasonic inspection is an NDI technique that uses sound energy moving through the test specimen to detect flaws. The sound energy passing through the specimen will be displayed on a Cathode Ray Tube (CRT), a Liquid Crystal Display (LCD) computer data program, or video/camera medium. Indications of the front and back surface and internal/external conditions will appear as vertical signals on the CRT screen or nodes of data in the computer test program. There are three types of display patterns; "A" scan, "B" scan, and "C" scan. Each scan provides a different picture or view of the specimen being tested. (See figure 5-15.)

5-90. SOUND REFLECTION. The amount of reflection that occurs when a sound wave strikes an interface depends largely on the physical state of the materials forming the interface and to a lesser extent on the specific physical properties of the material. For example: sound waves are almost completely reflected at metal/gas interfaces; and partial reflection occurs at metal/liquid or metal/solid interfaces.

5-91. ULTRASONIC INSPECTION TECHNIQUES. Two basic ultrasonic inspection techniques are employed: pulse-echo and through-transmission. (See figure 5-16.)

a. Pulse-Echo Inspection. This process uses a transducer to both transmit and receive the ultrasonic pulse. The received ultrasonic pulses are separated by the time it takes the sound to reach the different surfaces from which it is reflected. The size (amplitude) of a reflection is related to the size of the reflecting surface. The pulse-echo ultrasonic response pattern is analyzed on the basis of signal amplitude and separation.

b. Through-Transmission Inspection. This inspection employs two transducers, one to generate and a second to receive the ultrasound. A defect in the sound path between the two transducers will interrupt the sound transmission. The magnitude (the change in the sound pulse amplitude) of the interruption is used to evaluate test results. Through-transmission inspection is less sensitive to small defects than is pulse-echo inspection.

5-92. FLAW DETECTION. Ultrasonic inspection can easily detect flaws that produce reflective interfaces. Ultrasonic inspection is used to detect surface and subsurface discontinuities, such as: cracks, shrinkage cavities, bursts, flakes, pores, delaminations, and porosity. It is also used to measure material thickness and to inspect bonded structure for bonding voids. Ultrasonic inspection can be performed on raw material, billets, finished, and semi-finished materials, welds, and in-service assembled or disassembled parts. Inclusions and other nonhomogeneous areas can also be detected if they cause partial reflection or scattering of the ultrasonic sound waves or produce some other detectable effect on the ultrasonic sound waves. Ultrasonic inspection is one of the more widely-used methods of NDI.

5-93. BASIC EQUIPMENT. Most ultrasonic inspection systems include the following basic equipment; portable instruments (frequency range 0.5 to 15 MHz), transducers (longitudinal and shear wave), positioners, reference standards, and couplant.

a. Ultrasonic Instruments. A portable, battery-powered ultrasonic instrument is used for field inspection of airplane structure. (See figure 5-17.) The instrument generates an

84 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Section 7 : Inspection par ultrasons

5-89. GÉNÉRALITÉS. Le contrôle par ultrasons est une technique de CND qui utilise l'énergie sonore se déplaçant à travers l'éprouvette pour détecter les défauts. L'énergie sonore traversant l'échantillon est affichée sur un tube à rayons cathodiques (CRT), un programme informatique d'affichage à cristaux liquides (LCD) ou un support vidéo/caméra. Les indications de la surface avant et arrière et des conditions internes/externes apparaîtront sous forme de signaux verticaux sur l'écran du tube cathodique ou de nœuds de données dans le programme d'essai informatique. Il existe trois types de modèles d'affichage : le balayage « A », le balayage « B » et le balayage « C ». Chaque balayage fournit une image ou une vue différente de l'échantillon testé. (Voir figure 5-15.)

5-90. RÉFLEXION DU SON. La quantité de réflexion qui se produit lorsqu'une onde sonore frappe une interface dépend largement de l'état physique des matériaux formant l'interface et, dans une moindre mesure, des propriétés physiques spécifiques du matériau. Par exemple, les ondes sonores sont presque entièrement réfléchies aux interfaces métal/gaz, et une réflexion partielle se produit aux interfaces métal/liquide ou métal/solide.

5-91. TECHNIQUES DE CONTRÔLE PAR ULTRASONS. Deux techniques de base de contrôle par ultrasons sont utilisées : l'écho d'impulsion et la transmission à travers. (Voir la figure 5-16.)

a. Contrôle par écho d'impulsion. Ce procédé utilise un transducteur pour transmettre et recevoir les impulsions ultrasonores. Les impulsions ultrasonores reçues sont séparées par le temps que met le son à atteindre les différentes surfaces sur lesquelles il est réfléchi. La taille (amplitude) d'une réflexion est liée à la taille de la surface réfléchissante. Le modèle de réponse ultrasonore en écho d'impulsion est analysé sur la base de l'amplitude et de la séparation des signaux.

b. Contrôle par transmission directe. Cette inspection utilise deux transducteurs, l'un pour générer et l'autre pour recevoir les ultrasons. Un défaut dans le trajet du son entre les deux transducteurs interrompt la transmission du son. L'ampleur (la modification de l'amplitude de l'impulsion sonore) de l'interruption est utilisée pour évaluer les résultats du test. L'inspection par transmission directe est moins sensible aux petits défauts que l'inspection par écho d'impulsion.

5-92. DÉTECTION DES DÉFAUTS. Le contrôle par ultrasons peut facilement détecter les défauts qui produisent des interfaces réfléchissantes. Le contrôle par ultrasons est utilisé pour détecter les discontinuités de surface et de subsurface, telles que les criques, les cavités de retrait, les éclatements, les flocons, les pores, les délaminations et la porosité. Il est également utilisé pour mesurer l'épaisseur des matériaux et pour inspecter les structures collées afin de détecter les vides de collage. Le contrôle par ultrasons peut être effectué sur des matières premières, des billettes, des matériaux finis et semi-finis, des soudures et des pièces assemblées ou désassemblées en service. Les inclusions et autres zones non homogènes peuvent également être détectées si elles provoquent une réflexion ou une diffusion partielle des ondes sonores ultrasonores ou produisent un autre effet détectable sur les ondes sonores ultrasonores. Le contrôle par ultrasons est l'une des méthodes de CND les plus utilisées.

5-93. ÉQUIPEMENT DE BASE. La plupart des systèmes d'inspection par ultrasons comprennent l'équipement de base suivant : instruments portables (gamme de fréquences de 0,5 à 15 MHz), transducteurs (ondes longitudinales et de cisaillement), positionneurs, étalons de référence et coupleur.

a. Instruments à ultrasons. Un instrument ultrasonique portable, alimenté par batterie, est utilisé pour l'inspection sur place de la structure d'un avion. (Voir la figure 5-17.)

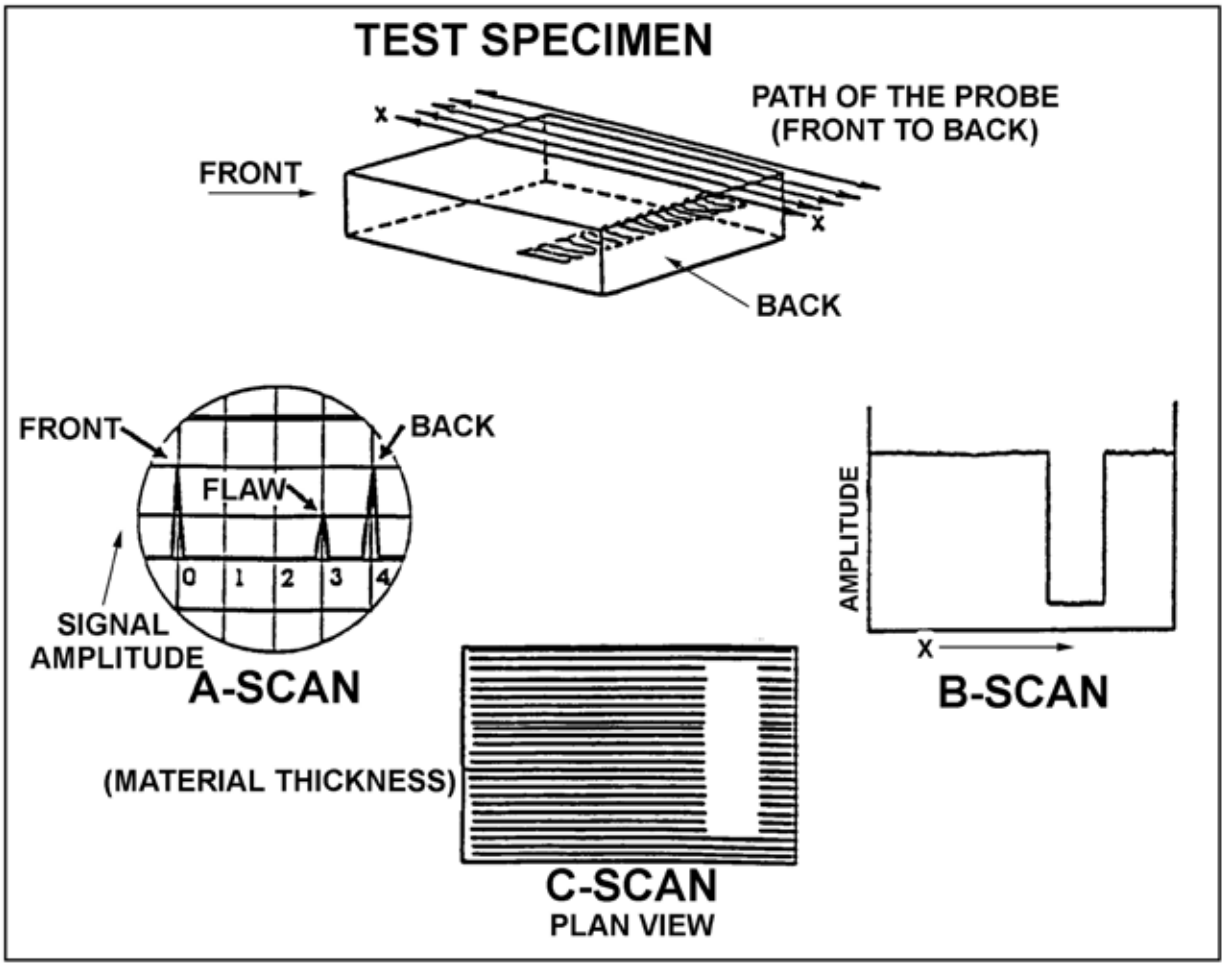


FIGURE 5-15. Ultrasound.

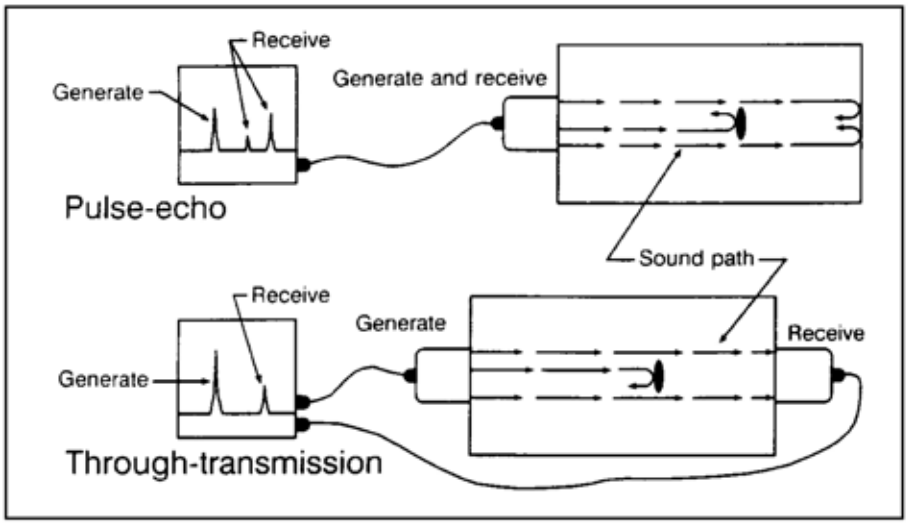


FIGURE 5-16. Pulse-echo and through-transmission ultrasonic inspection techniques.

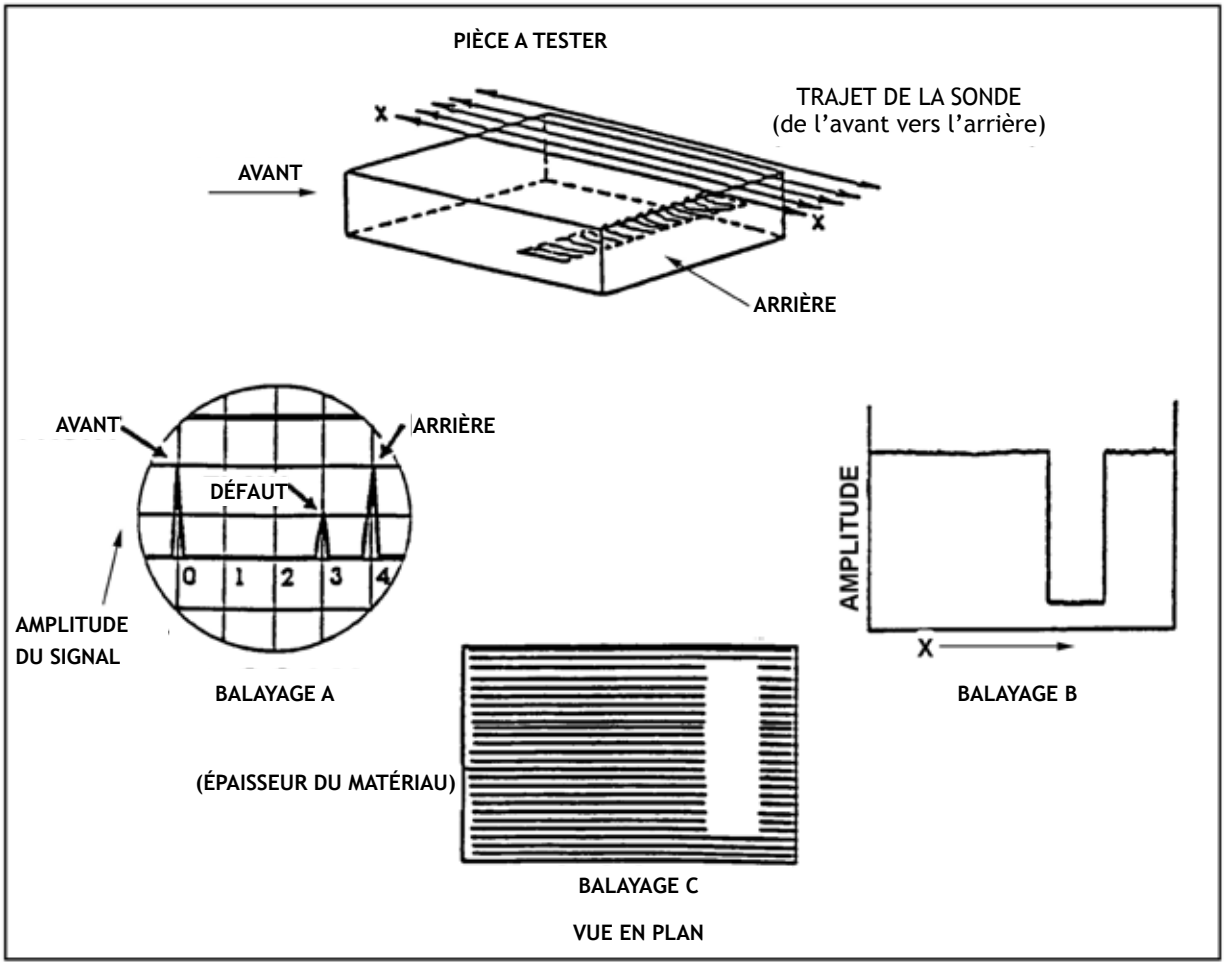


Figure 5-15. Ultrasons.

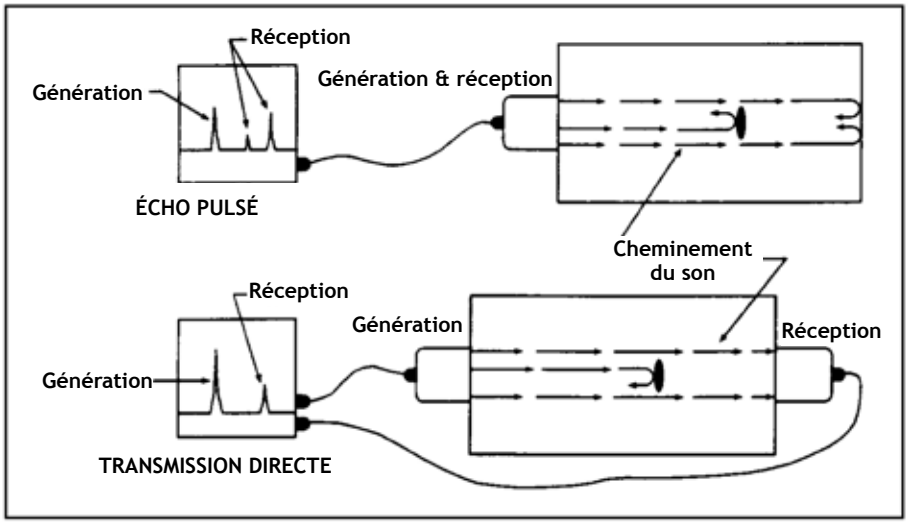


Figure 5-16. Techniques de contrôle par ultrasons par écho pulsé et par transmission.

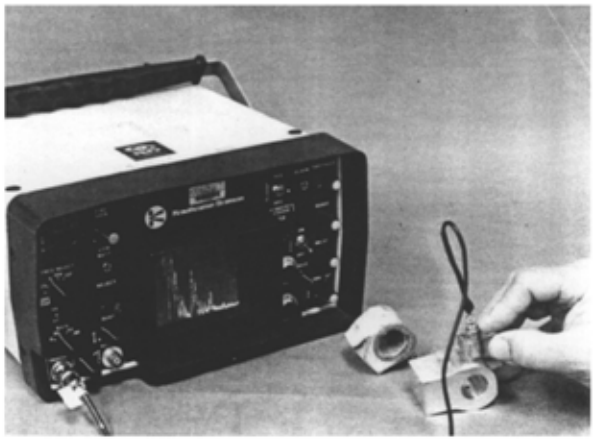


FIGURE 5-17. Typical portable ultrasonic inspection instrument.

ultrasonic pulse, detects and amplifies the returning echo, and displays the detected signal on a cathode ray tube or similar display. Piezoelectric transducers produce longitudinal or shear waves, which are the most commonly used wave forms for aircraft structural inspection.

b. Positioning Fixtures. To direct ultrasound at a particular angle, or to couple it into an irregular surface, transducer positioning fixtures and sound-coupling shoes are employed. (See figure 5-18.) Shoes are made of a plastic material that has the necessary sound-transmitting characteristics. Positioning fixtures are used to locate the transducer at a prescribed point and can increase the sensitivity of the inspection. (See figure 5-19.) If a transducer shoe or positioning fixture is required, the inspection procedure will give a detailed description of the shoe or fixture.

c. Reference Standards. Reference standards are used to calibrate the ultrasonic instrument (see figure 5-20), reference standards serve two purposes to provide an ultrasonic response pattern that is related to the part being inspected, and to establish the required inspection sensitivity. To obtain a representative response pattern, the reference standard configuration is the same as that of the test structure, or is a configuration that provides an ultrasonic response pattern representative of the test structure. The reference standard contains a simulated defect (notch) that is positioned to provide a calibration signal representative of the expected defect. The notch size is chosen to establish inspection sensitivity (response to the expected defect size). The inspection procedure gives a detailed description of the required reference standard.

d. Couplants. Inspection with ultrasonics is limited to the part in contact with the transducer. A layer of couplant is required to couple the transducer to the test piece because ultrasonic energy will not travel through air. Some typical couplants used are: water, glycerin, motor oils, and grease.

5-94. INSPECTION OF BONDED STRUCTURES. Ultrasonic inspection is finding increasing application in aircraft bonded construction and repair. Detailed techniques for specific bonded structures should be obtained from the OEM's manuals, or FAA requirements. In addition, further information on the operation of specific instruments should be obtained from the applicable equipment manufacturer manuals.

a. Types of Bonded Structures. Many configurations and types of bonded structures are in use in aircraft. All of these variations complicate the application of ultrasonic inspections. An inspection method that works well on one part or one area of the part may not be applicable for different parts or areas of the same part. Some of the variables in the types of bonded structures are as follows.

(1) Top skin material is made from different materials and thickness.

(2) Different types and thickness of adhesives are used in bonded structures.

88 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

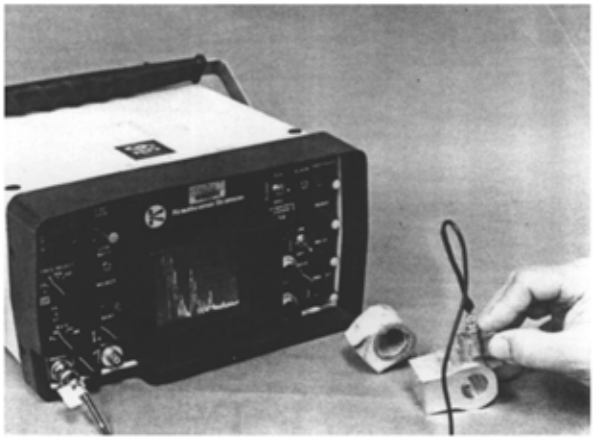


FIGURE 5-17. Instrument d'inspection par ultrasons portable typique.

L'instrument génère une impulsion ultrasonore, détecte et amplifie l'écho de retour, et affiche le signal détecté sur un tube cathodique ou un écran similaire. Les transducteurs piézoélectriques produisent des ondes longitudinales ou de cisaillement, qui sont les formes d'onde les plus couramment utilisées pour l'inspection structurale des aéronefs.

b. Dispositifs de positionnement. Pour diriger les ultrasons selon un angle particulier ou pour les coupler à une surface irrégulière, on utilise des dispositifs de positionnement des transducteurs et des sabots de couplage acoustique (voir figure 5-18). Les sabots sont fabriqués dans une matière plastique qui possède les caractéristiques nécessaires à la transmission du son. Les dispositifs de positionnement sont utilisés pour localiser le transducteur à un point donné et peuvent augmenter la sensibilité de l'inspection. (Voir figure 5-19.) Si un sabot de transducteur ou un dispositif de positionnement est nécessaire, la procédure d'inspection donnera une description détaillée du sabot ou du dispositif.

c. Étalons de référence. Les étalons de référence sont utilisées pour étalonner l'appareil à ultrasons (voir la figure 5-20). Les étalons de référence servent à deux fins : fournir un modèle de réponse ultrasonore qui est lié à la pièce inspectée et établir la sensibilité d'inspection requise. Pour obtenir un modèle de réponse représentatif, la configuration de l'étalon de référence est la même que celle de la structure d'essai, ou est une configuration qui fournit un modèle de réponse ultrasonore représentatif de la structure d'essai.

L'étalon de référence contient un défaut simulé (encoche) qui est positionné de manière à fournir un signal d'étalonnage représentatif du défaut attendu. La taille de l'encoche est choisie pour établir la sensibilité de l'inspection (réponse à la taille du défaut prévu). La procédure d'inspection donne une description détaillée de l'étalon de référence requis.

d. Coupleurs. L'inspection par ultrasons est limitée à la partie en contact avec le transducteur. Une couche de coupleur est nécessaire pour coupler le transducteur à la pièce à contrôler car l'énergie ultrasonore ne se propage pas dans l'air. Parmi les agents de couplage typiquement utilisés, citons l'eau, la glycérine, les huiles moteur et la graisse.

5-94. INSPECTION DES STRUCTURES COLLÉES. Le contrôle par ultrasons trouve de plus en plus d'applications dans la construction et la réparation des structures collées des aéronefs. Les techniques détaillées pour des structures collées spécifiques doivent être obtenues dans les manuels des équipementiers ou dans les exigences de la FAA. En outre, des informations supplémentaires sur le fonctionnement d'instruments spécifiques doivent être obtenues dans les manuels du fabricant de l'équipement concerné.

a. Types de structures collées. De nombreuses configurations et types de structures collées sont utilisés dans les aéronefs. Toutes ces variations compliquent l'application des contrôles par ultrasons. Une méthode d'inspection qui fonctionne bien sur une pièce ou une zone de la pièce peut ne pas être applicable à différentes pièces ou zones de la même pièce. Certaines des variables dans les types de structures collées sont les suivantes.

(1) Le matériau de la peau supérieure est constitué de différents matériaux et épaisseurs.

(2) Différents types et épaisseurs d'adhésifs sont utilisés dans les structures collées.

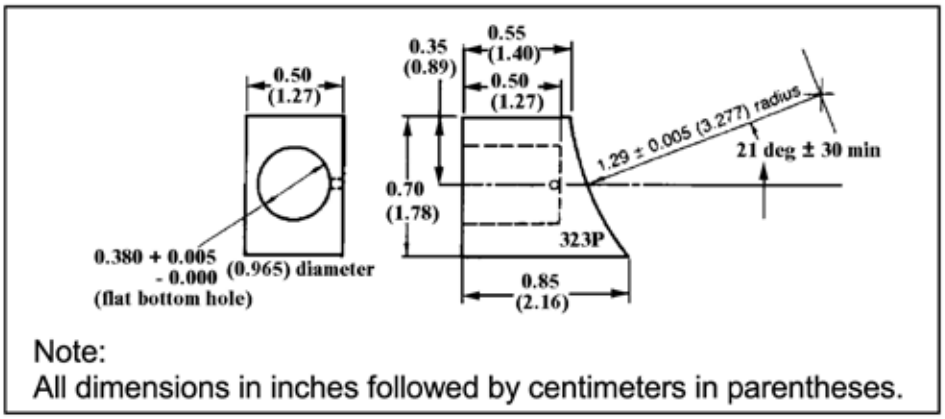


FIGURE 5-18. Example of position fixture and shoe.

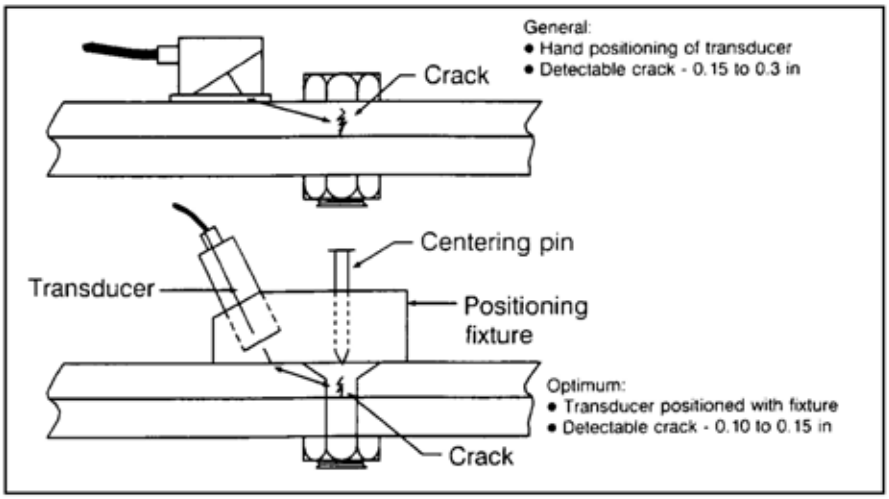


FIGURE 5-19. Example of the use if a transducer positioning fixture.

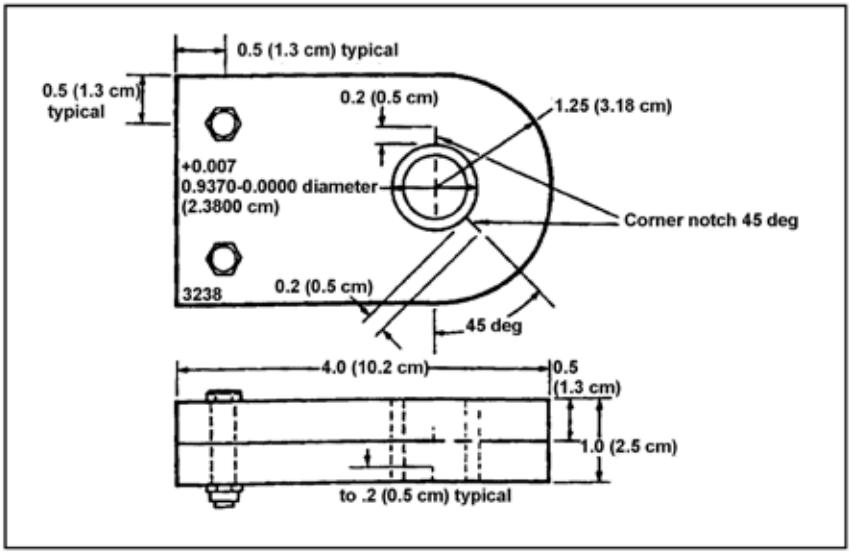


FIGURE 5-20. Example of a typical reference standard.

90 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

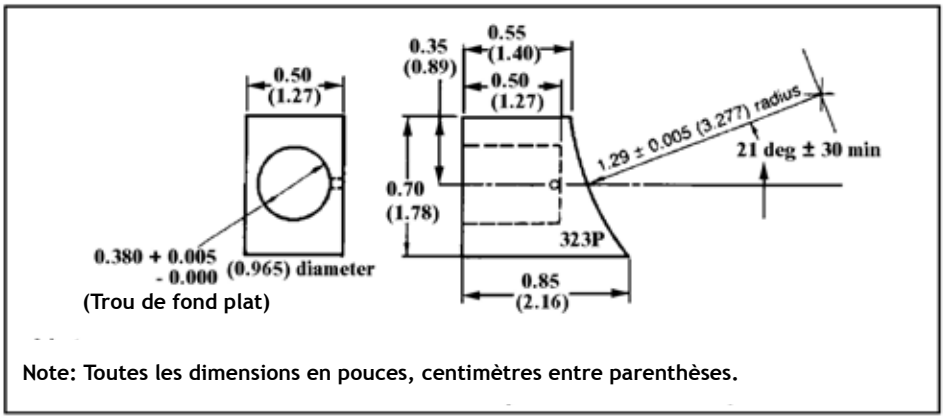


Figure 5-18. Exemple de fixation de position et de sabot.

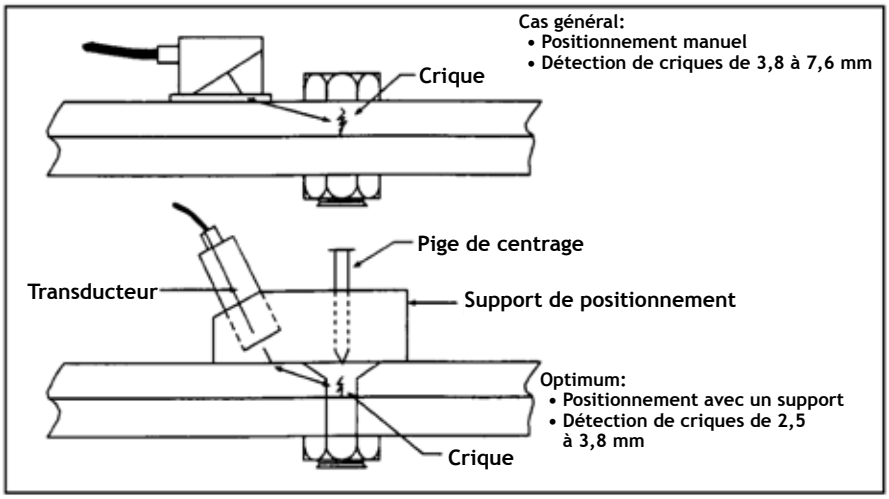


Figure 5-19. Exemple d'utilisation d'un dispositif de positionnement de transducteur.

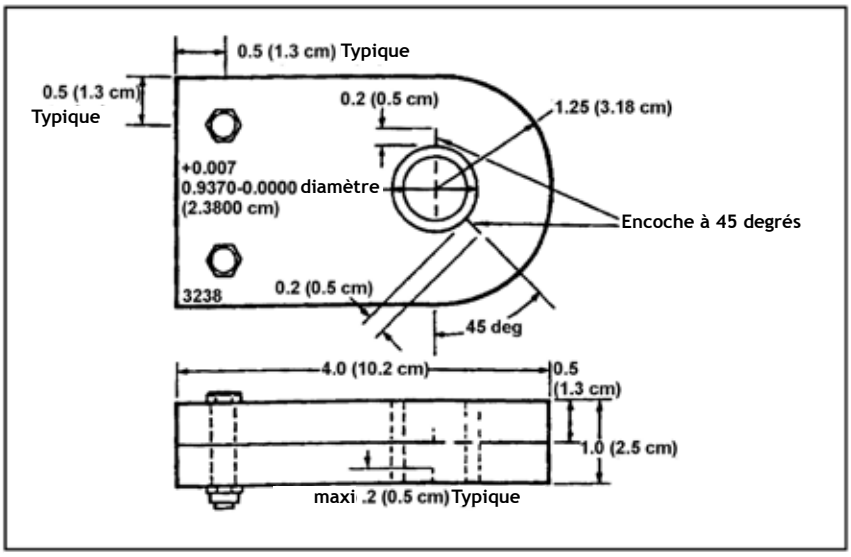


Figure 5-20. Exemple d'un étalon de référence typique.

(3) Underlying structures contain differences in; core material, cell size, thickness, and height, back skin material and thickness, doublers (material and thickness), closure member attachments, foam adhesive, steps in skins, internal ribs, and laminates (number of layers, layer thickness, and layer material).

(4) The top only or top and bottom skin of a bonded structure may be accessible.

b. Application of Ultrasonic Inspection. Application to bonded structures must be examined in detail because of the many inspection methods and structural configurations. The advantages and limitations of each inspection method should be considered, and reference standards (representative of the structure to be inspected) should be ultrasonically inspected to verify proposed techniques.

c. Internal Configuration. Complete information on the internal configuration of the bonded test part must be obtained by the inspector. Drawings should be reviewed, and when necessary, radiographs of the test part should be taken. Knowledge of details such as the location and boundaries of doublers, ribs, etc., is required for valid interpretation of ultrasonic inspection results. The boundaries of internal details should be marked on the test part using a grease pen or other easily removable marking.

d. Reference Standards. Standards can be a duplicate of the test part except for the controlled areas of unbond. As an option, simple test specimens, which represent the varied areas of the test part and contain controlled areas of unbond, can be used. Reference standards must meet the following requirements.

(1) The reference standard must be similar to the test part regarding material, geometry, and thickness. This includes containing: closure members, core splices, stepped skins, and internal ribs similar to the test part if bonded areas over or surrounding these details are to be inspected.

(2) The reference standard must contain bonds of good quality except for controlled areas of unbond fabricated as explained below.

(3) The reference standard must be bonded using the adhesive and cure cycle prescribed for the test part.

e. Types of Defects. Defects can be separated into five general types to represent the various areas of bonded sandwich and laminate structures as follows:

(1) Type I. Unbonds or voids in an outer skin-to-adhesive interface.

(2) Type II. Unbonds or voids at the adhesive-to-core interface.

(3) Type III. Voids between layers of a laminate.

(4) Type IV. Voids in foam adhesive or unbonds between the adhesive and a closure member at core-to-closure member joints.

(5) Type V. Water in the core.

f. Fabrication of NDI Reference Standards. Every ultrasonic test unit should have sample materials that contain unbonds equal to the sizes of the minimum rejectable unbonds for the test parts. Information on minimum rejectable unbond sizes for test parts should be obtained from the OEM's manuals, FAA requirements, or the cognizant FAA Aircraft Certification Office (ACO) engineer. One or more of the following techniques can be used in fabricating reference defects; however, since bonding materials vary, some of the methods may not work with certain materials.

92 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(3) Les structures sous-jacentes présentent des différences au niveau du matériau de l'âme, de la taille, de l'épaisseur et de la hauteur des cellules, du matériau et de l'épaisseur de la peau arrière, des renforts (matériau et épaisseur), des fixations des éléments de fermeture, de la mousse adhésive, des indentations dans les peaux, des nervures internes et des stratifiés (nombre de couches, épaisseur des couches et matériau des couches).

(4) La peau supérieure seulement ou la peau supérieure et inférieure d'une structure collée peut être accessible.

b. Application du contrôle par ultrasons. L'application aux structures collées doit être examinée en détail en raison des nombreuses méthodes d'inspection et configurations structurelles. Les avantages et les limites de chaque méthode d'inspection doivent être pris en compte, et des étalons de référence (représentatives de la structure à inspecter) doivent être inspectées par ultrasons pour vérifier les techniques proposées.

c. Configuration interne. L'inspecteur doit obtenir des renseignements complets sur la configuration interne de la pièce d'essai collée. Les dessins doivent être examinés et, si nécessaire, des radiographies de la pièce d'essai doivent être prises. La connaissance des détails tels que l'emplacement et les limites des renforts, des nervures, etc. est nécessaire pour une interprétation valable des résultats du contrôle par ultrasons. Les limites des détails internes doivent être marquées sur la pièce d'essai à l'aide d'un stylo gras ou d'un autre marquage facilement détachable.

d. Étalons de référence. Les étalons peuvent être une réplique de la pièce d'essai, à l'exception des zones contrôlées de décollement. En option, des spécimens d'essai simples, qui représentent les diverses zones de la pièce d'essai et contiennent des zones contrôlées de décollement, peuvent être utilisés. Les étalons de référence doivent répondre aux exigences suivantes.

(1) L'étalon de référence doit être similaire à la pièce d'essai en termes de matériau, de géométrie et d'épaisseur. Il doit notamment contenir : des éléments de fermeture, des éclisses de noyau, des couches étagées et des nervures internes similaires à la pièce d'essai si des zones collées sur ou autour de ces détails doivent être inspectées.

(2) L'étalon de référence doit contenir des collages de bonne qualité à l'exception des zones contrôlées non collées fabriquées comme expliqué ci-dessous.

(3) L'étalon de référence doit être collé en utilisant l'adhésif et le cycle de cuisson prescrits pour la pièce d'essai.

e. Types de défauts. Les défauts peuvent être séparés en cinq types généraux pour représenter les différentes zones des structures sandwiches et laminées collées comme suit :

(1) Type I. Décollements ou vides dans l'interface revêtement extérieure/adhésif.

(2) Type II. Décollements ou vides à l'interface adhésif-noyau.

(3) Type III. Vides entre les couches d'un stratifié.

(4) Type IV. Des vides dans la mousse adhésive ou des décollements entre l'adhésif et un élément de fermeture au niveau des joints entre l'âme et l'élément de fermeture.

(5) Type V. Eau dans l'âme.

f. Fabrication d'étalons de référence CND. Chaque unité de contrôle par ultrasons doit avoir des échantillons de matériaux contenant des décollements égaux aux tailles des décollements minimums non acceptables pour les pièces de contrôle. Les informations sur les tailles minimales de décollement non acceptables pour les pièces de test doivent être obtenues à partir des manuels des OEM, des exigences de la FAA ou de l'ingénieur compétent de l'Aircraft Certification Office (ACO) de la FAA. Une ou plusieurs des techniques suivantes peuvent être utilisées pour fabriquer des défauts de référence ; toutefois, comme les matériaux de collage varient, certaines des méthodes peuvent ne pas fonctionner avec certains matériaux.

(1) Standards for Types I, II, III, and IV unbonds can be prepared by placing discs of 0.006 inch thick (maximum) Teflon sheets over the adhesive in the areas selected for unbonds. For Type II unbonds, the Teflon is placed between the core and adhesive. The components of the standard are assembled and the assembly is then cured.

(2) Types I, II, and III standards can also be produced by cutting flat-bottomed holes of a diameter equal to the diameter of the unbonds to be produced. The holes are cut from the back sides of bonded specimens, and the depths are controlled to produce air gaps at the applicable interfaces. When using this method, patch plates can be bonded to the rear of the reference standard to cover and seal each hole.

(3) Type II standards can be produced by locally undercutting (before assembly) the surface of the core to the desired size unbond. The depth of the undercut should be sufficient to prevent adhesive flow causing bonds between the undercut core and the skin.

(4) Type IV standards can be produced by removing the adhesive in selected areas prior to assembly.

(5) Type V standards can be produced by drilling small holes in the back of the standard and injecting varying amounts of water into the cells with a hypodermic needle. The small holes can then be sealed with a small amount of water-resistant adhesive.

g. Inspection Coverage. Examples of several different configurations of bonded structure along with suggested inspection coverages with standard ultrasonic test instruments are shown in figure 5-21. In many cases, access limitations will not permit application of the suggested inspections in all of the areas shown. The inspection coverages and suggested methods contained in figure 5-21 and table 5-7 are for reference only. Details of the inspection coverage and inspections for a particular assembly should be obtained from the OEM's manuals, or other FAA-approved requirements.

h. Inspection Methods. Table 5-8 lists the various inspection methods for bonded structures along with advantages and disadvantages of each inspection method.

5-95. BOND TESTING INSTRUMENTS. Standard ultrasonic inspection instruments can be used for bond testing as previously noted; however, a wide variety of bond testing instruments are available for adaptation to specific bonded structure inspection problems.

a. General Principle. Two basic operating principles are used by a variety of bond testers for single-sided bond inspection.

(1) Ultrasonic resonance. Sound waves from a resonant transducer are transmitted into and received from a structure. A disbond in the structure will alter the sound wave characteristics, which in turn affect the transducer impedance.

(2) Mechanical impedance. Low-frequency, pulsed ultrasonic energy is generated into a structure. Through ultrasonic mechanical vibration of the structure, the impedance or stiffness of the structure is measured, analyzed, and displayed by the instrumentation.

b. Operation. In general, operation of the adhesive bond test instruments noted is similar. The test probe is moved over the surface in smooth overlapping strokes. The direction of the stroke with regard to the surface is generally immaterial; however, when using the Sondicator models, the direction of the stroke becomes critical when the test probe is

94 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

(1) Les étalons pour les décollements de types I, II, III et IV peuvent être préparées en plaçant des disques de feuilles de Téflon® de 0,006 pouce d'épaisseur (maximum) sur l'adhésif dans les zones sélectionnées pour les décollements. Pour les décollements de type II, le Téflon® est placé entre le noyau et l'adhésif. Les composants de l'étalon sont assemblés et l'ensemble est ensuite polymérisé.

(2) Les étalons de types I, II et III peuvent également être produits en découpant des trous à fond plat d'un diamètre égal à celui des décollements à produire. Les trous sont découpés à partir de la face arrière des spécimens collés, et leur profondeur est contrôlée pour produire des espaces d'air aux interfaces applicables. Lors de l'utilisation de cette méthode, des plaques de correction peuvent être collées à l'arrière de l'étalon de référence pour couvrir et sceller chaque trou.

(3) Les étalons de type II peuvent être produits en découpant localement (avant l'assemblage) la surface du noyau pour obtenir la taille désirée sans collage. La profondeur de la contre-dépouille doit être suffisante pour empêcher le flux d'adhésif de provoquer des liaisons entre l'âme contre-dépouillée et la peau.

(4) Les étalons de type IV peuvent être produits en retirant l'adhésif dans des zones sélectionnées avant l'assemblage.

(5) Les étalons de type V peuvent être produits en perçant de petits trous à l'arrière de l'étalon et en injectant des quantités variables d'eau dans les cellules à l'aide d'une aiguille hypodermique. Les petits trous peuvent ensuite être scellés avec une petite quantité d'adhésif résistant à l'eau.

g. Étendue de l'inspection. La figure 5-21 présente des exemples de plusieurs configurations différentes de structures collées ainsi que les étendues d'inspection suggérées avec des instruments d'essai ultrasoniques standard. Dans de nombreux cas, les limitations d'accès ne permettront pas d'appliquer les inspections suggérées dans toutes les zones indiquées. Les étendues d'inspection et les méthodes suggérées à la figure 5-21 et au tableau 5-7 ne sont données qu'à titre indicatif. Les détails du périmètre d'inspection pour un ensemble particulier doivent être obtenus dans les manuels de l'équipementier, ou dans d'autres exigences approuvées par la FAA.

h. Méthodes d'inspection. Le tableau 5-8 énumère les diverses méthodes d'inspection des structures collées ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque méthode d'inspection.

5-95. INSTRUMENTS D'ESSAI DE COLLAGE.
Les instruments d'inspection par ultrasons standard peuvent être utilisés pour les essais de collage, comme indiqué précédemment ; toutefois, il existe une grande variété d'instruments d'essai de collage qui peuvent être adaptés à des problèmes particuliers d'inspection de structures collées.

a. Principe général. Deux principes de fonctionnement de base sont utilisés par une variété d'appareils d'essai de collage pour l'inspection de collage unilatéral.

(1) La résonance ultrasonique. Des ondes sonores provenant d'un transducteur résonant sont transmises à une structure et reçues de celle-ci. Un décollement dans la structure modifie les caractéristiques des ondes sonores, qui à leur tour affectent l'impédance du transducteur.

(2) Impédance mécanique. L'énergie ultrasonore pulsée à basse fréquence est générée dans une structure. Grâce à la vibration mécanique ultrasonique de la structure, l'impédance ou la rigidité de la structure est mesurée, analysée et affichée par l'instrumentation.

b. Fonctionnement. En général, le fonctionnement des instruments d'essai d'adhérence mentionnés est similaire. La sonde d'essai est déplacée sur la surface par des balayages réguliers qui se chevauchent. La direction du balayage par rapport à la surface n'a généralement pas d'importance ; cependant, en utilisant les modèles Sondicator[1], la direction du balayage devient critique lorsque la sonde d'essai est utilisée près d'un bord de la surface.

1 NdT : Par exemple le modèle Zetec S-9R que vous pouvez trouver via votre moteur de recherche préféré.

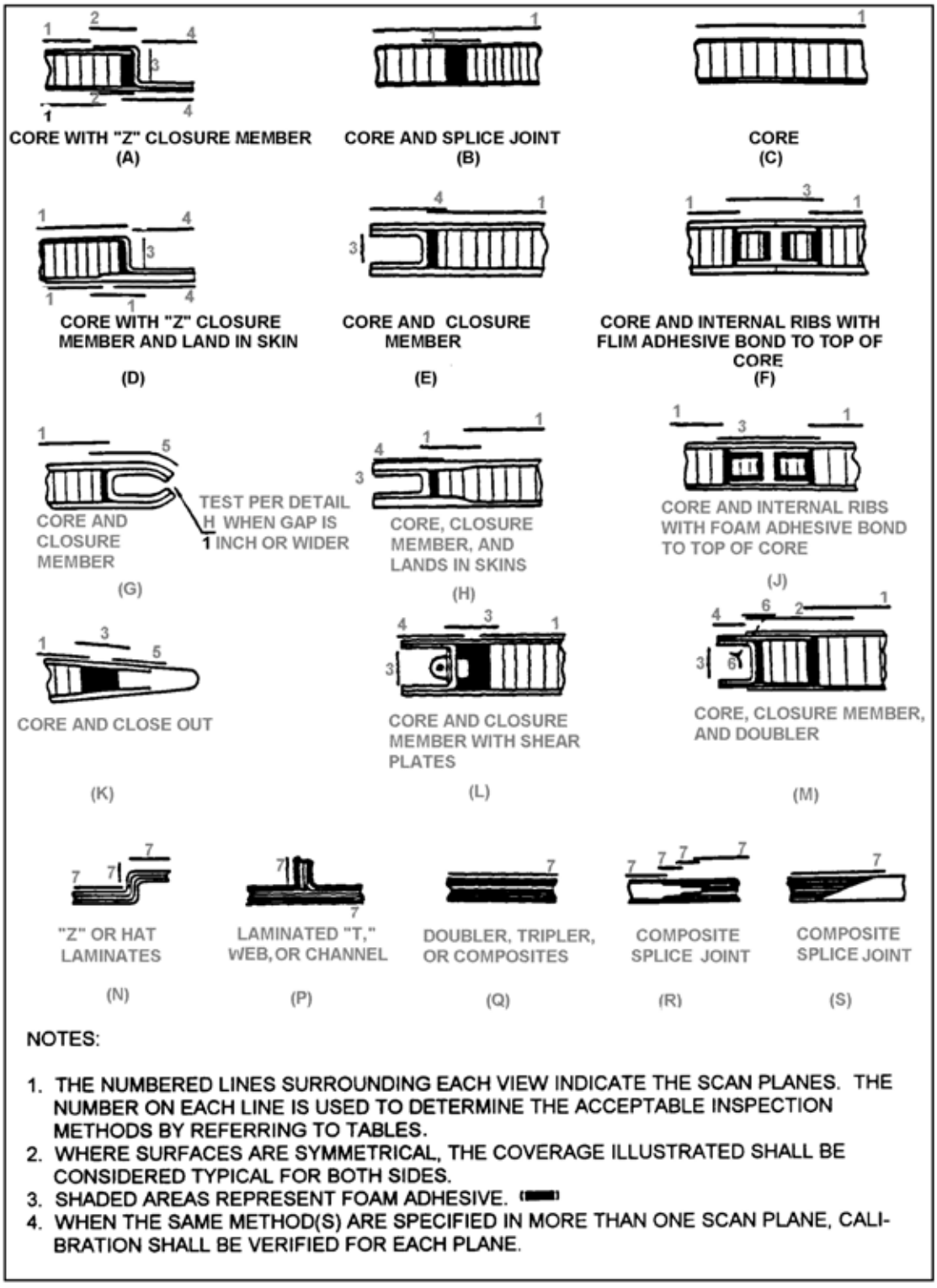


FIGURE 5-21. Examples of bonded structure configurations and suggested inspection coverage.

96 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

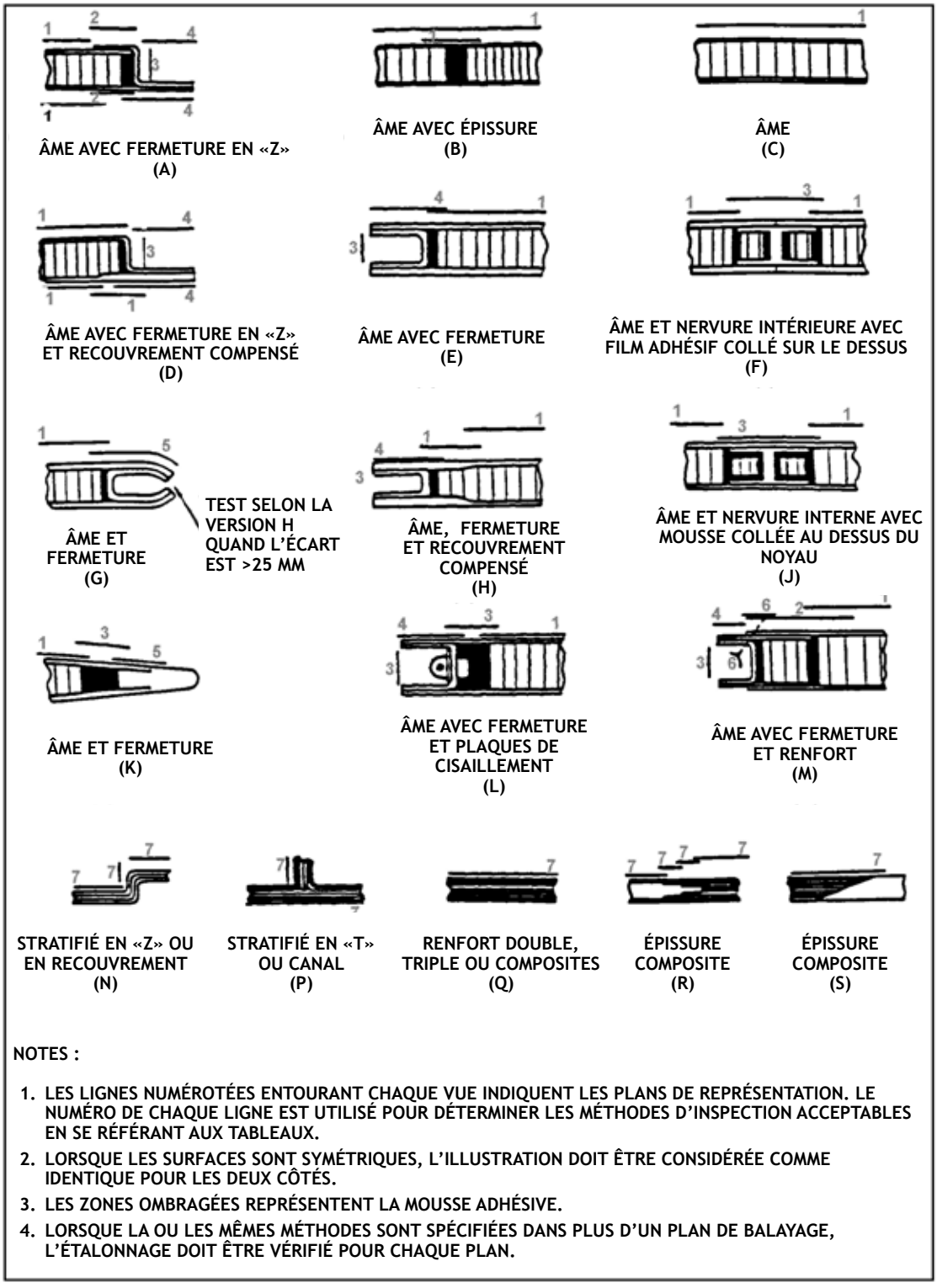


Figure 5-21. Exemples de configurations de structures collées et de types d'inspection associés.

TABLE 5-7. Acceptable ultrasonic inspection methods associated with the example bonded structure configurations shown in figure 5-21.

NUMBER	ACCEPTABLE METHODS
1	Either (a) Pulse-echo straight or angle beam, on each side or (b) Through-transmission.
2	Pulse-echo, straight beam, on each skin.
3	Refer to 1 for methods. If all these methods fail to have sufficient penetration power to detect reference defects in the reference standard, then the ringing method, applied from both sides, should be used. Otherwise, the ringing method is unacceptable.
4	Either (a) Ringing, on each skin of the doubler. or (b) Through-transmission or (c) Damping.
5	Ringing.
6	Through-transmission. Dotted Line represents beam direction.
7	Either (a) Through-transmission or (b) Damping.

NOTE

A variety of ultrasonic testing methods and instruments are available for adaptation to specific inspection problems. Other bond inspection instruments can be used if detailed procedures are developed and proven on the applicable reference standards for each configuration of interest. Some representative instruments, which can be used for the inspection of bonded structures are; the Sondicator, Harmonic Bond Tester, Acoustic Flaw Detector, Audible Bond Tester, Fokker Bond Tester, 210 Bond Tester, and Bondascope 2100.

98 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-7. Méthodes de contrôle par ultrasons acceptables associées aux exemples de configurations de structures collées illustrées à la figure 5-21.

NUMÉRO	MÉTHODE ACCEPTABLE
1	Soit (a) faisceau droit ou angulaire à écho pulsé, de chaque côté, soit (b) transmission directe.
2	Écho pulsé, faisceau droit, sur chaque revêtement
3	Se reporter au point 1 pour les méthodes. Si toutes ces méthodes n'ont pas un pouvoir de pénétration suffisant pour détecter les défauts définis dans l'étalon de référence, la méthode de transmission du son, appliquée des deux côtés, doit être utilisée. Sinon, la méthode de transmission du son est inacceptable.
4	Soit (a) Transmission du son, sur chaque revêtement du renfort. ou (b) Transmission directe . ou (c) Atténuation.
5	Transmission du son.
6	Transmission directe. La ligne pointillée représente la direction du faisceau.
7	Soit (a) Transmission directe. ou (b) Atténuation.
NOTE: Une variété de méthodes et d'instruments de contrôle par ultrasons sont disponibles pour être adaptés à des problèmes d'inspection spécifiques. D'autres instruments d'inspection de collage peuvent être utilisés si des procédures détaillées sont développées et éprouvées sur les étalons de référence définis pour chaque configuration d'intérêt. Certains instruments représentatifs, qui peuvent être utilisés pour l'inspection des structures collées sont : le Sondicator, le testeur de collage harmonique, le détecteur de défauts acoustiques, le testeur de collage audible, le testeur de collage Fokker, le testeur de collage 210 et le Bondascope 2100.	

TABLE 5-8. Ultrasonic inspection methods for bonded structures.

	INSPECTION METHOD			
	THROUGH-TRANSMISSION	PULSE-ECHO	RINGING	DAMPING
Advantages	Applicable to structures with either thick or thin facing sheets. Applicable to structures with multiple layers bonded over honeycomb core. Detects unbonds on either side Detects broken, crushed, and corroded core. In some cases water in core can be detected.	Applicable to structures with either thick or thin facing sheets. Determines which side is unbonded. Detects small unbonds. Detects broken, crushed, and corroded core. In some cases water in core can be detected.	Applicable to complex shapes. Detects small near surface unbonds (larger than diameter of search unit).	Applicable to structures with either thick or thin facing sheets. Applicable to multiple-layered (more than two layers) structures. Detects unbonds on either side. Detects small unbonds (larger than diameter of receiving search unit).
Disadvantages	Access to both sides of part is required. Does not determine layer position of unbonds. Alignment of search units is critical. Couplant is required. Inspection rate is slow.	Inspection from both sides required, does not detect far side unbonds. Applicable only to skin-to-honeycomb core structures. Reduced effectiveness on structures with multiple skins over honeycomb core. Couplant required.	Applicable only to near surface unbonds, works best on unbonds between top sheet and adhesive, may miss other unbonds. Reduced effectiveness on thick skins. Couplant required.	Applicable only to doublers and laminate-type structures. Access to both sides required. Does not determine layer positions of unbonds. Couplant required.

100 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Tableau 5-8. Méthodes d'inspection par ultrasons pour les structures collées.

	MÉTHODE D'INSPECTION			
	TRANSMISSION DIRECTE	ÉCHO PULSÉ	SONNAGE	ATTÉNUATION
Avantage	Applicable aux structures avec des revêtements épais ou minces. Applicable aux structures avec des couches multiples collées sur une âme en nid d'abeille. Détecte les décollements de chaque côté Détecte les âmes cassées, écrasées et corrodées. Dans certains cas, l'eau dans l'âme peut être détectée.	Applicable aux structures avec des revêtements épais ou minces. Détermine le côté qui n'est pas collé. Détecte les petits décollements. Détecte les âmes cassées, écrasées et corrodées. Dans certains cas, l'eau dans le noyau peut être détectée.	Applicable aux formes complexes. Détecte les petits décollements proches de la surface (plus grands que le diamètre de l'unité d'inspection).	Applicable aux structures avec des revêtement épais ou minces. Applicable aux structures multi-couches (plus de deux couches). Détecte les décollements de chaque côté. Détecte les petits décollements (plus grands que le diamètre de l'unité de réception).
Désavantages	L'accès aux deux côtés de la pièce est nécessaire. Ne détermine pas la position des couches décollées. L'alignement des unités d'inspection est critique. Le couplage est nécessaire. La vitesse d'inspection est lente.	Inspection des deux côtés requise, ne détecte pas les décollements des côtés éloignés. Applicable uniquement aux structures à revêtements sur âme en nid d'abeille. Efficacité réduite sur les structures à revêtements multiples sur âme en nid d'abeille. Le couplage est nécessaire.	Applicable uniquement aux décollements proches de la surface, fonctionne mieux sur les décollements entre le revêtement supérieur et l'adhésif, peut manquer d'autres décollements. Efficacité réduite sur les revêtements épais. Le couplage est nécessaire.	Applicable uniquement aux renforts et aux structures de type stratifié. L'accès aux deux côtés est requis. Ne détermine pas la position des couches décollées. Le couplage est nécessaire.

operated near a surface edge. Edge effects on vibration paths give a test reading that may be misinterpreted. To avoid edge effects, the test probe should be moved so that the inspection path follows the surface edge, giving a constant edge for the test probe to inspect. Edge effects are more pronounced in thicker material. To interpret meter readings correctly, the operator should determine whether there are variations in the thickness of the material.

c. Probe Sending Signal. With the exception of the Sondicator models, the test probes of the testers emit a sending signal that radiates in a full circle. The sending signal of the Sondicator probe travels from one transducer tip to the other. For this reason, the test probe should be held so that the transducer tips are at right angles to the inspection path. When inspecting honeycomb panels with a Sondicator model, the transducer tips should be moved consistently in the direction of the ribbon of the honeycomb or at right angles to the ribbon so that a constant subsurface is presented.

5-96. THICKNESS MEASUREMENTS. Ultrasonic inspection methods can be used for measurement of material thickness in aircraft parts and structures.

a. Applications. Ultrasonic thickness measurements are used for many applications, such as: checking part thickness when access to the back side is not available; checking large panels in interior areas where a conventional micrometer cannot reach; and in maintenance inspections for checking thickness loss due to wear and/or corrosion.

b. Pulse-Echo Method. The most commonly used ultrasonic thickness measurement method. The ultrasonic instrument measures time between the initial front and back surface signals or subsequent multiple back reflection signals. Since the velocity for a given material is a constant, the time between these signals is directly proportional to the thickness. Calibration procedures are used to obtain direct readout of test part thickness.

c. Thickness Measurement Instrument Types. Pulse-echo instruments designed exclusively for thickness measurements are generally used in lieu of conventional pulse-echo instruments; however, some conventional pulse-echo instruments also have direct thickness measurement capabilities. Conventional pulse-echo instruments without direct thickness measuring capabilities can also be used for measuring thickness by using special procedures.

d. Thickness Measurement Ranges. Dependent upon the instrument used and the material under test, material thickness from 0.005 inches to 20 inches (or more) can be measured with pulse-echo instruments designed specifically for thickness measuring.

5-97. LEAK TESTING. The flow of a pressurized gas through a leak produces sound of both sonic and ultrasonic frequencies. If the gas leak is large, the sonic frequency sound it produces can probably be detected with the ear or with such instruments as stethoscopes or microphones; however, the ear and these instruments have limited ability to detect and locate small leaks. Ultrasonic leak detectors are frequently used to detect leaks that cannot be detected by the above methods, because they are very sensitive to ultrasonic energy and, under most conditions, background noise at other frequencies does not affect them.

a. Standard Method. A standard method of testing for leaks using ultrasonics is provided in ASTM E 1002. The method covers procedures for calibration, location, and estimated measurements of leakage by the ultrasonic technique (sometimes called ultrasonic translation).

102 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Les effets de bord sur les trajectoires de vibration donnent une lecture de test qui peut être mal interprétée. Pour éviter les effets de bord, la sonde de test doit être déplacée de manière à ce que la trajectoire d'inspection suive le bord de la surface, ce qui donne un bord constant à inspecter par la sonde de test. Les effets de bord sont plus prononcés dans les matériaux épais. Pour interpréter correctement les lectures du compteur, l'opérateur doit déterminer s'il existe des variations dans l'épaisseur du matériau.

c. Signal d'émission de la sonde. À l'exception des modèles Sondicator, les sondes de test des testeurs émettent un signal d'envoi qui rayonne en cercle complet. Le signal d'envoi de la sonde Sondicator se déplace d'une pointe de transducteur à l'autre. Pour cette raison, la sonde de test doit être tenue de manière à ce que les pointes des transducteurs soient à angle droit par rapport à la trajectoire d'inspection. Lors de l'inspection de panneaux en nid d'abeille avec un modèle Sondicator, les pointes des transducteurs doivent être déplacées de manière cohérente dans la direction du ruban du nid d'abeille ou à angle droit par rapport au ruban afin de présenter une sous-surface constante.

5-96. MESURES D'ÉPAISSEUR.
Les méthodes de contrôle par ultrasons peuvent être utilisées pour mesurer l'épaisseur des matériaux dans les pièces et les structures des aéronefs.

a. Applications. Les mesures d'épaisseur par ultrasons sont utilisées pour de nombreuses applications, telles que : le contrôle de l'épaisseur des pièces lorsqu'il n'est pas possible d'accéder à la face arrière ; le contrôle de grands panneaux dans des zones intérieures qu'un micromètre classique ne peut atteindre ; et dans les inspections de maintenance pour vérifier la perte d'épaisseur due à l'usure et/ou à la corrosion.

b. Méthode impulsion-écho. C'est la méthode de mesure de l'épaisseur par ultrasons la plus couramment utilisée. L'instrument à ultrasons mesure le temps entre les signaux initiaux de la surface avant et arrière ou les signaux ultérieurs de réflexion arrière multiple. Étant donné que la vitesse d'un matériau donné est une constante, le temps entre ces signaux est directement proportionnel à l'épaisseur. Des procédures d'étalonnage sont utilisées pour obtenir une lecture directe de l'épaisseur de la pièce testée.

c. Types d'instruments de mesure de l'épaisseur. Les instruments à écho d'impulsion conçus exclusivement pour les mesures d'épaisseur sont généralement utilisés à la place des instruments à écho d'impulsion conventionnels ; cependant, certains instruments à écho d'impulsion conventionnels ont également des capacités de mesure directe de l'épaisseur. Les instruments conventionnels à écho d'impulsion sans capacité de mesure directe de l'épaisseur peuvent également être utilisés pour mesurer l'épaisseur en utilisant des procédures spéciales.

d. Plages de mesure de l'épaisseur. Selon l'instrument utilisé et le matériau testé, on peut mesurer l'épaisseur d'un matériau de 0,01 mm à 50 cm (ou plus) à l'aide d'instruments à écho pulsé conçus spécialement pour la mesure de l'épaisseur.

5-97. ESSAI D'ÉTANCHÉITÉ. L'écoulement d'un gaz sous pression à travers une fuite produit un son de fréquence sonique et ultrasonique. Si la fuite de gaz est importante, le son de fréquence sonique qu'elle produit peut probablement être détecté à l'oreille ou à l'aide d'instruments tels que des stéthoscopes ou des microphones ; cependant, l'oreille et ces instruments ont une capacité limitée de détecter et de localiser les petites fuites. Les détecteurs de fuites à ultrasons sont fréquemment utilisés pour détecter les fuites qui ne peuvent pas être détectées par les méthodes ci-dessus, car ils sont très sensibles à l'énergie ultrasonique et, dans la plupart des conditions, le bruit de fond à d'autres fréquences ne les affecte pas.

a. Méthode standard. La norme ASTM E 1002 propose une méthode normalisée de détection des fuites par ultrasons. Cette méthode couvre les procédures d'étalonnage, de localisation et de mesure estimée des fuites par la technique ultrasonique (parfois appelée traduction ultrasonique).

b. Detection Distance. Ultrasonic energy in the relatively low-frequency range of 30-50 KHz travels easily through air; therefore, an ultrasonic leak detector can detect leakage with the probe located away from the leak. The maximum detection distance depends on the leakage rate.

c. Typical Applications. Some typical applications for the ultrasonic leak detector on aircraft are: fuel system pressurization tests, air ducts and air conditioning systems, emergency evacuation slides, tire pressure retention, electrical discharge, oxygen lines and valves, internal leaks in hydraulic valves and actuators, fuel cell testing, identifying cavitation in hydraulic pumps, arcing in wave guides, cabin and cockpit window and door seals, and cabin pressurization testing.

5-98.—5-104. [RESERVED.]

104 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

b. Distance de détection. L'énergie ultrasonore dans la gamme de fréquences relativement basses de 30-50 kHz se déplace facilement dans l'air ; par conséquent, un détecteur de fuites à ultrasons peut détecter les fuites avec la sonde située loin de la fuite. La distance de détection maximale dépend du taux de fuite.

c. Applications typiques. Voici quelques applications typiques du détecteur de fuites à ultrasons sur les aéronefs : tests de pressurisation du système de carburant, conduits d'air et systèmes de climatisation, glissières d'évacuation d'urgence, maintien de la pression des pneus, décharges électriques, conduites d'oxygène, soupapes, fuites internes dans les vannes et les actionneurs hydrauliques, tests des piles à combustible, identification de la cavitation dans les pompes hydrauliques, formation d'arcs dans les guides d'ondes, joints des fenêtres et des portes de la cabine et du cockpit, et tests de pressurisation de la cabine.

5-98.- 5-104. [RÉSERVÉ.]

SECTION 8. TAP TESTING

5-105. GENERAL. Tap testing is widely used for a quick evaluation of any accessible aircraft surface to detect the presence of delamination or debonding.

a. The tap testing procedure consists of lightly tapping the surface of the part with a coin, light special hammer with a maximum of 2 ounces (see figure 5-22), or any other suitable object. The acoustic response is compared with that of a known good area.

b. A "flat" or "dead" response is considered unacceptable. The acoustic response of a good part can vary dramatically with changes in geometry, in which case a standard of some sort is required. The entire area of interest must be tapped. The surface should be dry and free of oil, grease, and dirt. Tap testing is limited to finding relatively shallow defects in skins with a thickness less than .080 inch. In a honeycomb structure, for example, the far side bondline cannot be evaluated, requiring two-side access for a complete inspection. This method is portable, but no records are produced. The accuracy of this test depends on the inspector's subjective interpretation of the test response; therefore, only qualified personnel should perform this test.

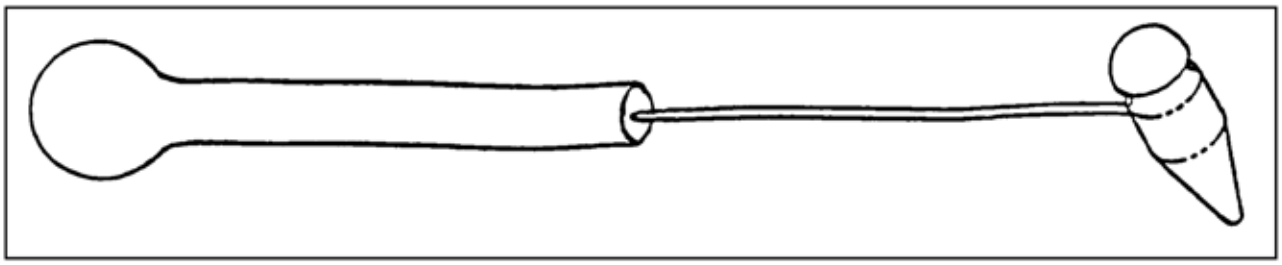


FIGURE 5-22. Sample of special tap hammer.

5-106.—5-111. [RESERVED.]

SECTION 9. ACOUSTIC-EMISSION

5-112. GENERAL. Acoustic-Emission is an NDI technique that involves the placing of acoustical-emission sensors at various locations on the aircraft structure and then applying a load or stress. The level of stress applied need not reach general yielding, nor does the stress generally need to be of a specific type. Bending stress can be applied to beamed structures, torsional stress can be applied to rotary shafts, thermal stresses can be applied with heat lamps or blankets, and pressure-induced stress can be applied to pressure-containment systems such as the aircraft fuselage. The materials emit sound and stress waves that take the form of ultrasonic pulses that can be picked up by sensors. Cracks and areas of corrosion in the stressed airframe structure emit sound waves (different frequencies for different size defects) which are registered by the sensors. These acoustic-emission bursts can be used both to locate flaws and to evaluate their rate of growth as a function of applied stress. Acoustic-emission testing has an advantage over other NDI methods in that it can detect and locate all of the activated flaws in a structure in one test. Acoustic-emission testing does not now provide the capability to size flaws, but it can greatly reduce the area required to be scanned by other NDI methods.

106 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Section 8 : Tapotement & Section 9 : Acoustique

5-105. GÉNÉRALITÉS. L'essai par tapotement est largement utilisé pour une évaluation rapide des surfaces d'aéronef accessible afin de détecter la présence de délaminage ou de décollement.

a. La procédure d'essai par tapotement consiste à frapper légèrement la surface de la pièce avec une pièce de monnaie, un marteau spécial léger d'un maximum de 60 g (voir figure 5-22), ou tout autre objet approprié. La réponse acoustique est comparée à celle d'une zone connue en bon état.

b. Une réponse « plate » ou « sourde » est considérée comme inacceptable. La réponse acoustique d'une bonne pièce peut varier considérablement en fonction des changements de géométrie, auquel cas un étalon est nécessaire. Toute la zone d'intérêt doit être tapotée. La surface doit être sèche et exempte d'huile, de graisse et de saleté.

Les essais par tapotement sont limités à la recherche de défauts relativement peu profonds dans les revêtements d'une épaisseur inférieure à 2 mm. Dans une structure en nid d'abeille, par exemple, la ligne de collage de l'autre côté ne peut pas être évaluée, ce qui nécessite un accès des deux côtés pour une inspection complète. Cette méthode est portable, mais aucun enregistrement n'est produit. La précision de ce test dépend de l'interprétation subjective de l'inspecteur de la réponse au test ; par conséquent, seul un personnel qualifié doit effectuer ce test.

5-106.-5-111. [RÉSERVÉ].

FIGURE 5-22. Exemples de marteaux spéciaux utilisés pour le tapotement. Photos DR.

Section 9 : Émission acoustique

5-112. GÉNÉRALITÉS. L'émission acoustique est une technique de CND qui consiste à placer des capteurs d'émission acoustique à divers endroits de la structure de l'aéronef, puis à appliquer une charge ou une contrainte. Le niveau de contrainte appliqué ne doit pas nécessairement atteindre la limite d'élasticité générale, et la contrainte ne doit pas non plus être d'un type spécifique. Une contrainte de flexion peut être appliquée aux structures à poutres, une contrainte de torsion peut être appliquée aux arbres rotatifs, des contraintes thermiques peuvent être appliquées à l'aide de lampes ou de couvertures chauffantes, et une contrainte induite par la pression peut être appliquée aux systèmes de confinement de la pression tels que le fuselage de l'avion. Les matériaux émettent des ondes sonores et de contrainte qui prennent la forme d'impulsions ultrasoniques pouvant être détectées par des capteurs.

Les criques et les zones de corrosion dans la structure tendue de la cellule émettent des ondes sonores (différentes fréquences pour les défauts de différentes tailles) qui sont enregistrées par les capteurs. Ces émissions acoustiques peuvent être utilisées à la fois pour localiser les défauts et pour évaluer leur taux de croissance en fonction de la contrainte appliquée. Le test d'émission acoustique présente un avantage par rapport aux autres méthodes de CND, car il peut détecter et localiser tous les défauts dans une structure en un seul test. Le test d'émission acoustique ne permet pas actuellement de dimensionner les défauts, mais il peut réduire considérablement la surface à scanner par d'autres méthodes CND.

5-113. APPLICATIONS. A wide variety of structures and materials, such as: wood, plastic, fiberglass, and metals can be inspected by the acoustic-emission technique by applying stress on the test material. The emission-producing mechanism in each type of material may differ, but characteristic acoustic-emissions are produced and can be correlated to the integrity of the material. Acoustic-emission technology has been applied quite successfully in monitoring proof tests of pressure vessels and tests of fiber-reinforced plastic structures of all kinds. There are now ASTM standards and ASME codes applying to its use in testing gas cylinders and both metal and fiber-reinforced plastic vessels, tanks, and piping.

For a welded structure such as a pressure vessel, acoustic-emission testing works well with relatively simple instrumentation. However, slight movement of bolted or riveted joints can also generate acoustic signals. Thus a complex structure may have many acoustic sources besides flaws in its components. These unwanted emission sources greatly complicate acoustic-emission tests of complex structures. The difficulties are not prohibitive, but they put a premium on the intelligent use of signal processing and interpretation. Therefore, because of the complexity of aircraft structures, application of acoustic-emission testing to aircraft has required a new level of sophistication, both in testing techniques and data interpretation. Research and testing programs are currently in progress to determine the feasibility of acoustic-emission testing on several different types of aircraft.

5-114.—5-119. [RESERVED.]

SECTION 10. THERMOGRAPHY

5-120. GENERAL. Thermography is an NDI technique that uses radiant electromagnetic thermal energy to detect flaws. The presence of a flaw is indicated by an abnormal temperature variant when the item is subjected to normal heating and cooling conditions inherent to the in-service life, and/or when artificially heated or cooled. The greater the material's resistance to heat flow, the more readily the flow can be identified due to temperature differences caused by the flaw.

5-121.—5-126. [RESERVED.]

SECTION 11. HOLOGRAPHY

5-127. GENERAL. Holography is an NDI technique that uses visible light waves coupled with photographic equipment to create a three-dimensional image. The process uses two laser beams, one called a reference beam and the other called an object beam. The two laser beams are directed to an object, between beam applications the component is stressed. The beams are then compared and recorded on film, or other electronic recording medium, creating a double image. Indications of applied stresses or defects are shown as virtual images with a system of fringe lines overlaying the part. Holography is most commonly used for rapid assessment of surface flaws in composite structures.

5-128.—5-133. [RESERVED.]

108 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

5-113. APPLICATIONS. Une grande variété de structures et de matériaux, tels que le bois, le plastique, la fibre de verre et les métaux, peuvent être inspectés par la technique d'émission acoustique en appliquant une contrainte sur le matériau à tester. Le mécanisme de production d'émissions dans chaque type de matériau peut différer, mais des émissions acoustiques caractéristiques sont produites et peuvent être corrélées à l'intégrité du matériau. La technologie d'émission acoustique a été appliquée avec succès dans la surveillance des tests d'épreuve des appareils à pression et des tests de structures plastiques renforcées par des fibres de toutes sortes. Il existe maintenant des normes ASTM et des codes ASME qui s'appliquent à son utilisation pour tester les bouteilles de gaz et les récipients, réservoirs et tuyauteries en métal et en plastique renforcé de fibres.

Pour une structure soudée, telle qu'un récipient sous pression, le contrôle par émission acoustique fonctionne bien avec une instrumentation relativement simple. Cependant, un léger mouvement des joints boulonnés ou rivetés peut également générer des signaux acoustiques. Ainsi, une structure complexe peut avoir de nombreuses sources acoustiques en plus des défauts de ses composants. Ces sources d'émission non désirées compliquent notablement les essais d'émission acoustique des structures complexes. Les difficultés ne sont pas rédhibitoires, mais elles exigent une utilisation intelligente du traitement et de l'interprétation des signaux. Par conséquent, en raison de la complexité des structures des aéronefs, l'application des essais d'émission acoustique aux aéronefs a exigé un nouveau niveau de sophistication, tant dans les techniques d'essai que dans l'interprétation des données.

5-114.-5-119. [RÉSERVÉ].

Section 10 : Thermographie

5-120. GÉNÉRALITÉS. La thermographie est une technique de CND qui utilise l'énergie thermique électromagnétique rayonnante pour détecter les défauts. La présence d'un défaut est indiquée par une variation anormale de température lorsque l'article est soumis aux conditions normales de chauffage et de refroidissement inhérentes à la vie en service, et/ou lorsqu'il est chauffé ou refroidi artificiellement.

Plus la résistance du matériau au flux thermique est grande, plus le flux peut être identifié facilement grâce aux différences de température causées par le défaut.

5-121.-5-126. [RÉSERVÉ].

Section 11 : Holographie

5-127. GÉNÉRALITÉS. L'holographie est une technique de CND qui utilise des ondes lumineuses visibles couplées à un équipement photographique pour créer une image tridimensionnelle. Le procédé utilise deux faisceaux laser, l'un appelé faisceau de référence et l'autre faisceau objet. Les deux faisceaux laser sont dirigés vers un objet, entre les applications des faisceaux, le composant est sollicité.

Les faisceaux sont ensuite comparés et enregistrés sur un film ou un autre support d'enregistrement électronique, créant ainsi une double image. Les indications des contraintes ou des défauts appliqués apparaissent sous forme d'images virtuelles avec un système de lignes de franges recouvrant la pièce. L'holographie est le plus souvent utilisée pour l'évaluation rapide des défauts de surface dans les structures composites.

5-128.- 5-133. [RÉSERVÉ.]

SECTION 12. SHEAROGRAPHY

5-134. GENERAL. Shearography was developed for strain measurements. The process now provides a full-field video strain gauge, in real time, over large areas. It is an enhanced form of holography, which requires the part to be under stress. A laser is used for illumination of the part while under stress. The output takes the form of an image processed video display. This technique has been used effectively in locating defects, such as disbonds and delaminations, through multiple bondlines. It is capable of showing the size and shape of subsurface anomalies when the test part is properly stressed. Shearography has been developed into a useful tool for NDI. It can be used easily in a hangar environment, while meeting all laser safety concerns. Other applications include the testing of honeycomb structures, such as flaps and control surfaces. Shearography offers a great increase in the speed of inspection by allowing on-aircraft inspections of structures without their removal, as well as inspections of large areas in just seconds.

5-135.—5-140. [RESERVED.]

110 - Les Cahiers du RSA - Secrets de constructeurs - AC43.13-1B en français, Chapitre 5

Section 12 : Shearographie

5-134. GÉNÉRALITÉS. La shearographie[1] a été développée pour les mesures de déformation. Ce procédé permet maintenant d'obtenir une jauge de déformation vidéo plein champ, en temps réel, sur de grandes surfaces. Il s'agit d'une forme améliorée de l'holographie, qui nécessite que la pièce soit sous contrainte. Un laser est utilisé pour éclairer la pièce sous contrainte. Le résultat prend la forme d'un affichage vidéo traité par image. Cette technique a été utilisée efficacement pour localiser des défauts, tels que des décollements et des délaminations, à travers des lignes de liaison multiples. Elle est capable de montrer la taille et la forme des anomalies sous la surface lorsque la pièce testée est correctement sollicitée.

La shearographie s'est imposée comme un outil important pour la CND. Elle peut être utilisée facilement dans un hangar, tout en répondant à toutes les préoccupations en matière de sécurité laser. D'autres applications incluent le test de structures en nid d'abeille, comme les volets et les surfaces de commande de vol. La shearographie offre un accroissement important de la vitesse d'inspection en permettant des inspections de structures sur l'avion sans démontage, ainsi que des inspections de grandes zones en quelques secondes seulement.

5-135.- 5-140. [RÉSERVÉ.]

1 NdT: Shearographie, de l'anglais « Shear » signifiant « cisaillement», ici d'une image. On parle aussi parfois d'interférométrie de speckle, de l'anglais « Speckle » représentant l'aspect granulaire pris par la surface optiquement rugueuse éclairée par une lumière.

Bibliographie

Le contrôle non destructif et la contrôlabilité des matériaux et structures

Auteurs: Gilles Corneloup et Cécile Gueudré

Éditeur : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR)

978-2-88915-002-1

Les Cahiers du RSA sont édités depuis 1948 et contiennent de nombreux articles relatifs à la construction bois.

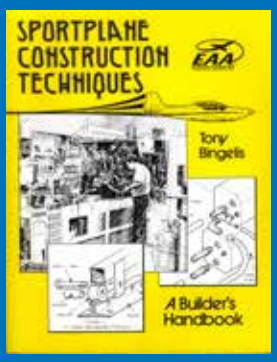
Tous les numéros sont accessibles aux membres de la Fédération RSA.

www.rsafrance.com

The sportplane builder
Auteur : Tony Bingelis

Longtemps une référence pour les constructeurs anglophones. Toutes les techniques de construction y sont présentées avec de nombreuses astuces.

www.eaa.org



Sportplane construction techniques
Auteur : Tony Bingelis

Longtemps une référence pour les constructeurs anglophones. Toutes les techniques de construction y sont présentées.

www.eaa.org

Les secrets de la construction des aéronefs légers

Auteur : Henri Fékété

Un ouvrage très complet sur la construction des aéronefs : calculs, plans, courbes, graphiques et exemples.

www.publibook.com

Construire son avion léger ou son ULM. Technologie des structures métalliques

Auteur : André Bréand

www.cepadues.com

978-2-85428-868-1

Restauration des avions (trois tomes)

Auteur : Nigel Stevens

www.rsafrance.com

FÉDÉRATION RSA
La passion de l'aviation

Janvier 2023