

Système de contrôle et de décision par thermographie active infrarouge : application à la détection d'occlusion de colle à l'intérieur de bouchons plastiques

Anne-Claire LEGRAND, Fabrice MERIAUDEAU, Patrick GORRIA

Laboratoire Le2i

12, rue de la fonderie

71200 Le Creusot

France

Tel. +33 (0)3.85.73.10.90.

Fax. +33 (0)3.85.73.10.97.

{ac.legrand, f.meriaudeau, p.gorria}@iutlecreusot.u-bourgogne.fr

Résumé - La thermographie infrarouge est une méthode efficace de contrôle et d'évaluation non destructive. La technique de thermographie active permet de mettre en évidence les différences de structures internes grâce à l'étude de l'évolution et de la propagation d'une impulsion thermique appliquée sur la surface du matériau à inspecter. Un système autonome de contrôle par thermographie active infrarouge qui détecte et caractérise des occlusions de colle à l'intérieur de bouchons plastiques est présenté.

Abstract - Infrared thermography is a powerful non destructive evaluation technique with an increasing span of applications. Thanks to relevant temperature differences observed on the surface with an infrared camera, subsurface features (such as subsurface thermal properties, presence of subsurface anomalies/defects, internal structure inspection), are detectable. This paper deals with an active thermography vision system which provides an automatic detection of glue occlusions inside plastic lids. The experimental set-up as well as the image processing tools used for real time control are described.

1. Introduction

Les récents progrès en matière de caméras infrarouges permettent maintenant de construire des systèmes de vision et de contrôle rapides et fiables [1] [2]. L'imagerie infrarouge est largement employée dans de nombreux domaines tels que la maintenance, la surveillance de sites, la prévention et la lutte des incendies [3]. Cependant, l'utilisation des systèmes de vision infrarouge reste restreint et peu de systèmes de contrôle intègrent à la fois la prise d'images thermiques et le traitement de celles-ci en temps réel.

Un système autonome de contrôle par thermographie active infrarouge, qui détecte et caractérise des occlusions de colle à l'intérieur de bouchons plastiques est présenté. Le problème est tout d'abord clairement exposé, la pièce à contrôler décrite, ainsi que ses caractéristiques et le type de défauts à détecter. Un premier système de contrôle, pour lequel la présence de colle est définie selon le poids du bouchon, est développé dans la seconde section. Notre système de contrôle par thermographie active infrarouge est ensuite décrit : les différents paramètres de la technique, l'optimisation du procédé, les images thermiques obtenues, les traitements d'images utilisés en vue d'un contrôle autonome en temps réel. Un résumé et les perspectives de ces travaux sont enfin présentés.

2. Description du problème

Le système de contrôle s'effectue sur des bouchons plastiques, destinés à l'industrie cosmétique, exigeante en matière d'assurance qualité.

Ces bouchons sont composés de deux parties (voir Figure 1). La partie supérieure est collée sur la seconde partie qui elle-même est destinée à être vissée sur un pot de crème. Deux types de bouchons sont à contrôler : l'un de diamètre de 55 mm et l'autre de diamètre de 65mm. La partie supérieure est de 1.2 mm d'épaisseur.

La colle est déposée sur la partie inférieure du bouchon, comme illustré sur la figure 2. En l'absence de colle, les deux composantes peuvent se détacher lors de l'ouverture ou la fermeture du pot. Il s'agit donc de contrôler si le processus d'injection de colle s'est déroulé correctement, c'est-à-dire de détecter et de quantifier la présence ou non d'occlusions de colle sous la surface supérieure du couvercle.



FIG. 1 : Vue de côté du bouchon



FIG. 2 : Vue de haut de la partie inférieure du bouchon

3. Un système de contrôle par poids

Le premier système de contrôle mis en place s'effectuait en un contrôle par poids. Selon son poids, chaque bouchon était classé avec ou sans colle. Un seuil (17.21g) fixait la limite de poids entre les deux classes de bouchons. Les bouchons ayant un poids inférieur à ce seuil étaient jugés sans colle. Les résultats de cette classification sur un lot d'échantillons sont présentés en figure 3.

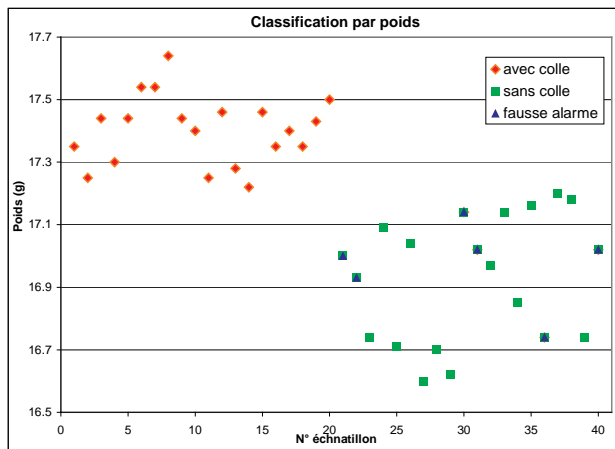


FIG. 3 : Classification de bouchons en utilisant le poids du bouchon comme critère discriminant

Cependant ce paramètre ne s'est pas avéré suffisamment discriminant, l'incertitude de l'injection plastique étant supérieure au poids de la plus petite occlusion de colle. Il existe des bouchons avec colle ayant un poids inférieur à des bouchons sans colle. Dans le cas de cette étude, 23% des bouchons avec colle étaient rejetés, alors que tous les bouchons sans colle étaient détectés. Le critère de qualité sur ces bouchons n'autorisant pas de mettre sur le marché de produit défectueux, ce type de contrôle par poids aurait engendré une perte de 15% de la production. Ainsi afin d'obtenir de meilleurs taux de classification, un prototype d'une machine de contrôle par vision infrarouge a été étudié.

4. Contrôle par thermographie active infrarouge

La thermographie active infrarouge permettant de visualiser et d'analyser la structure interne des matériaux, semble adéquate pour détecter la présence ou non de colle sous la surface supérieure du bouchon.

4.1 Principe de la méthode de thermographie active

La technique de thermographie active consiste à appliquer sur le matériau à inspecter une impulsion thermique. L'étude de l'évolution et de la propagation de ce front thermique dans le matériau à inspecter peut permettre de mettre en évidence les différences de structures internes. [4] [5] [6]

Dans le cadre de notre application, la configuration dite «par réflexion» est utilisée : le capteur thermique visualise la surface où l'impulsion a été appliquée ; cette configuration est appropriée pour l'étude d'éléments proches de la surface excitée. Une impulsion thermique est appliquée à la surface supérieure du bouchon, le front thermique se propage, et interagit avec les structures internes du bouchon. Les occlusions de colle perturbent la propagation de la chaleur, et ainsi provoquent des différences localisées de température sur la surface supérieure. La colle a une conductivité thermique supérieure à celle de l'air de la structure, et par conséquent crée un vide thermique. La présence de colle s'assimile à une zone plus froide en surface.

La réussite de cette technique dépend fortement des caractéristiques des défauts ou occlusions à détecter. Les différents paramètres du défaut et de la technique de thermographie active (temps de chauffage, source thermique, intensité thermique, distribution thermique, temps d'attente avant visualisation) ont été étudiés pour obtenir une vision compréhensible du phénomène en vue de l'optimisation du procédé. L'évolution temporelle du contraste entre les zones avec et sans colle pour différents temps de chauffage et différents temps d'attente a notamment été étudiée afin de trouver un compromis pertinent entre la qualité de l'image et les temps de chauffage et d'attente.

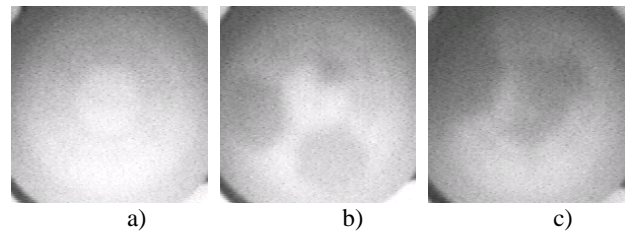


FIG. 4 : Images thermiques de bouchons avec colle (les deux images de gauche) et sans colle (l'image de droite)

Les figures 4b et 4c correspondent aux images thermiques de bouchons avec colle, les empreintes thermiques de colle se caractérisent par des zones sombres de l'image : la figure 4a représente l'image thermique d'un bouchon sans colle. Les empreintes thermiques des occlusions de colle sont difficilement discernables sur les images thermiques.

Des traitements d'images spécifiques ont été mis en œuvre afin de développer un système autonome de contrôle.

5. Traitements des images thermiques

5.1 Réduction de la différence de luminance

L'étude a tout d'abord porté sur la réduction de l'hétérogénéité de luminance par la construction d'une image thermique moyenne de bouchons sans colle, et sa soustraction à l'image à traiter. Ce traitement permet d'éliminer l'hétérogénéité de luminance globale sur l'image tout en préservant les empreintes thermiques de colle. Les résultats du traitement sur les images thermiques de la figure 4 sont présentées sur la figure 5.

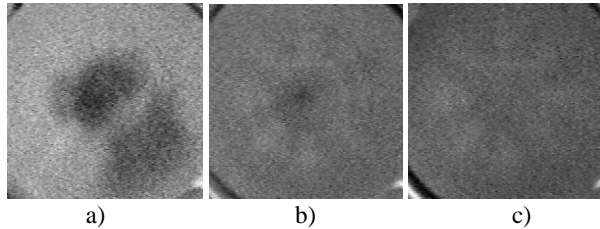


FIG. 5 : Images résultantes des images respectives de la figure 4 traitées par différence de luminance moyenne

5.2 Autres traitements

D'autres traitements ont été testés, notamment basés sur la transformée de Fourier et la transformée en ondelettes, pour homogénéiser la luminance, réduire le bruit et extraire les empreintes thermiques.

Une décomposition sur une base d'ondelettes à n niveaux a été effectuée sur l'image thermique brute (avec l'hétérogénéité de luminance). La reconstruction de l'image en annulant des composantes de détails permet de supprimer certains éléments de l'image. Ce traitement a été effectué dans le but de supprimer l'hétérogénéité de luminance globale. La base d'ondelettes utilisée est une base quinconce. Les images thermiques traitées par décomposition jusqu'à l'échelle 10 et reconstruction en supprimant les détails de l'échelle 10 sont présentées sur la figure 6.

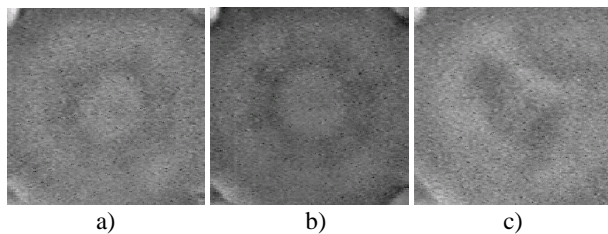


FIG 6 : Images thermiques traitées par décomposition par ondelettes

Cependant, le niveau de fréquence de l'hétérogénéité de luminance correspond au niveau de fréquence des empreintes thermiques de la structure interne du bouchon. Les figures 6a et 6b présentent le traitement effectué sur des images de bouchon sans colle, les empreintes thermiques de la structure interne du bouchon sont relevées. La figure 6c présente une image thermique de bouchon sans colle traitée, les empreintes

thermiques de la colle sont relevées. Les différences d'empreintes thermiques entre la colle et la structure interne du bouchon sont similaires.

De la même manière, une décomposition selon Fourier a été effectuée sur les images thermiques brutes. Cependant, la décomposition ne révèle pas de différence entre les empreintes thermiques de la structure interne du bouchon et l'hétérogénéité de luminance globale, en terme de fréquence. Le traitement retenu a donc été la différence avec une image moyenne d'images thermiques de bouchons sans colle. Ce procédé permet de conserver les empreintes thermiques de colle en supprimant à la fois l'hétérogénéité de luminance globale et les empreintes thermiques de la structure interne du bouchon.

5.3 Extraction des empreintes thermiques

La seconde étape est l'extraction des empreintes de colle. La segmentation devant s'effectuer sur des images aux contrastes variables, un seuillage de Wen s'est avéré pertinent. Une opération de filtrage permet ensuite d'éliminer les petites surfaces parasites tout en conservant les empreintes de colle.

Le seuillage de Wen permet d'effectuer un seuillage à n niveaux tout en conservant les $n-1$ premiers moments statistiques de l'image. Ainsi les valeurs de seuil sont adaptées au contraste de l'image. La valeur du seuil qui permet de discerner les empreintes thermiques de colle de chaque image est différente entre les images thermiques des différents bouchons, mais elle apparaît toujours au même échelon : le second seuil de Wen. Les images de la figure 5 traitées par seuillage de Wen sont présentées sur la figure 7.

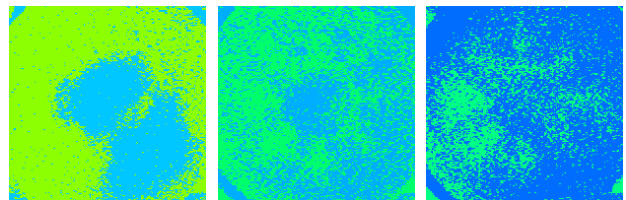


FIG. 7 : Images traitées par seuillage de Wen

Le filtre permet ensuite d'éliminer les petites surfaces parasites : le niveau de gris d'un pixel central à une fenêtre de voisinage de $n \times n$ pixels est conservé si plus de k pixels du voisinage ont le même niveau de gris. Le voisinage retenu est de 10 pixels par 10, et la proportion de pixels est de la moitié des pixels du voisinage.

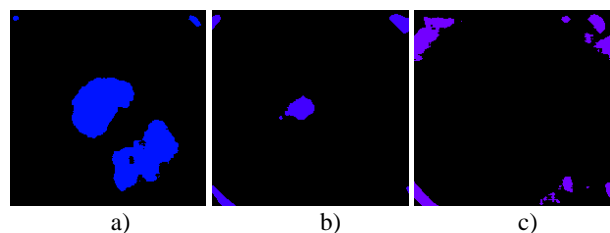


FIG. 8 : Images résultat

Les images de la figure 8 représentent les images résultat obtenues à partir des images de la figure 7. Un simple relevé du nombre de pixels sur les images finales permet de classer les bouchons selon la quantité de colle incluse.

5.4 Quantification - Classification

Les images de la figure 8 obtenues, la colle peut être quantifiée par le nombre de pixels de niveaux de gris non nuls. La figure 9 présente les résultats obtenus sur un ensemble d'échantillons tests pour les deux classifications proposées par poids et par thermographie active. Les populations des classes de bouchons avec et sans colle sont séparables suivant le paramètre de thermographie active. Aucune fausse alarme ni non-détection n'a été obtenue. Ce contrôle par thermographie active est satisfaisant : il permet de détecter la présence de colle avec un taux de réussite conforme aux exigences de qualité, et de quantifier les occlusions de colle.

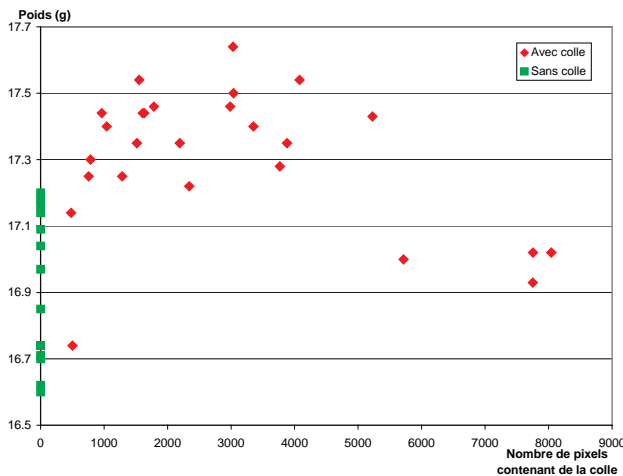


FIG. 9 Classification des bouchons suivant la méthode de thermographie active et le poids

6. Conclusion

Le système de contrôle présenté par thermographie active permet de détecter et de quantifier les occlusions de colle à l'intérieur de bouchons plastiques.

La technique consiste à visualiser à l'aide d'une caméra thermique la réaction de la surface du bouchon après une stimulation thermique. Les images acquises sont traitées en temps réel afin de déduire la présence ou non de colle. Le traitement se compose d'une différence avec une image de référence, qui réduit l'hétérogénéité de luminance et les empreintes thermiques de la structure interne du bouchon. Les images résultantes sont traitées par une phase de segmentation basée sur un seuillage préservant les moments statistiques (seuillage de Wen) ainsi qu'un filtrage utilisé pour supprimer le bruit résiduel. Finalement tous les pixels contenant de la colle sont comptabilisés, suivant ce critère,

les bouchons sont classés avec ou sans colle. Les taux de classification obtenus sont satisfaisants. Tous les bouchons sans colle ont été détectés et aucune mauvaise classification n'a été engendrée.

De futurs travaux sont envisagés sur la quantification des occlusions de colle, afin de prendre en compte la taille des occlusions de colle.

Cette étude pourrait être appliquée à d'autres contrôles qualité, où les défauts à détecter ont une réponse thermique différente de celle de la partie saine du matériau : tels que le contrôle de bulles d'air dans du plastique ou du verre.

Références

- [1] Proceedings of ThermoSense XXXII, SPIE, Vol.4020, Orlando, EU, Avril 2000.
- [2] Kaplan H. *Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment*. Tutorial texts in optical engineering, SPIE press, 2d edition, Vol.TT34, 1999.
- [3] Lucier R.D. *Hot enough for you ? Applications of infrared imaging equipment in the fire service*, Proceedings of InfraMation 2000, Orlando, Florida, EU, Vol.1, 24-27 September, pp. 127-132.
- [4] Wu D. *Lockin thermography for defect characterization in veneered wood*, Proceedings of Quantitative infrared thermography 94 : Eurotherm seminar, VOL.42, 1994, pp.298-302.
- [5] Qin Y.-W., Bao N.-K., *Infrared Thermography and its applications in the NDT of sandwich structures*, Journal of Optics and Lasers in engineering, Vol. 25, 1996, pp.205-211.
- [6] Maldague X., *Pipe inspection by infrared thermography*, Journal of Materials evaluation, Vol.57, N.9, 1999, pp.899-902.
- [7] Tsai WH. *Moment preserving thresholding : a new approach*. Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol.29, 1985, pp.377-393.