

30

RECHERCHE DE DEFAUTS DE COLLAGE DANS LES STRUCTURES SANDWICH

L. DA ROLD*, E. BLANCO**

Résumé - L'un des défauts majeurs que peuvent présenter les structures sandwich composites, est le mauvais collage de l'âme sur les peaux extérieures, et ceci, en particulier avec la technique du collage sous vide. Nous avons recherché tous les moyens susceptibles de détecter ces défauts de collage avec deux objectifs : pouvoir contrôler intégralement une pièce de grandes dimensions, et cela en cours de fabrication, c'est à dire après le collage sur la première peau. Toutes les méthodes connues de contrôles non-destructifs ont donc été étudiées et testées, en particulier la thermographie infrarouge, les contrôles par ultrasons, les méthodes acoustiques. Cette étude menée en collaboration avec le CETIM, la STCAN, l'Aérospatiale et d'autres laboratoires et sociétés privés de contrôles non-destructifs, a permis de dresser un état de l'art très exhaustif sur le sujet. Si plusieurs méthodes semblent aujourd'hui prometteuses, l'une d'elles, développée par la société Rolls Royce Mat Eval, semble dès aujourd'hui facilement adaptable à la recherche de défauts de collage dans les structures sandwich.

mots clés : structure sandwich, contrôle non-destructif

LE COLLAGE D'UNE AME DE SANDWICH ET SES DEFAUTS

Le chantier Fontaine Pajot réalise aujourd'hui l'essentiel de la structure de ses catamarans en sandwich mousse PVC/stratifié verre-polyester. Sur une première peau de stratifié moulée sur un moule femelle et polymérisée, la mousse est collée sous vide avec une colle polyester allégée (microsphères). Les mousses utilisées sont de type PVC à cellules fermées, en plaques planes ou quadrillées, d'épaisseur 15 ou 20 mm. La peau intérieure est ensuite directement stratifiée sur la mousse avec une parfaite adhérence.

* Sté Fontaine Pajot - Responsable technique de fabrication.

** E.N.S. Cachan - Elève-professeur

Si cette méthode permet globalement un excellent collage, des défauts locaux peuvent cependant apparaître dans certaines conditions. D'une part, si des défauts de surfaces de la première peau (chevauchements de tissu importants, "grains" divers ...) ou une courbure trop importante de la pièce demandent une déformation locale de la mousse que sa rigidité n'autorise pas (en particulier pour les mousses en plaque). Une occlusion se forme alors entre la mousse et la peau polyester (fig. 1). D'autre part, si la gélification de la colle est localement atteinte avant que le processus de mise sous vide ne soit totalement terminé. La mousse n'est alors collée que sur les crêtes laissées par les dents du peigne à l'enduction de la couche de colle.

Ces défauts locaux n'ont jamais occasionné de problèmes de structure sur nos catamarans. Mais, l'exposition au soleil des zones non collées provoque l'expansion du gaz contenu à l'intérieur (en particulier du styrène), et la pression fait bomber la fine peau extérieure. Ces "cloques" nuisent alors autant à l'esthétique du bateau qu'elles entament la confiance du client en sa qualité. La réparation est donc nécessaire.

L'ordre d'idée du coût de cette réparation est le suivant :

- niveau 1 : réparation en cours de fabrication au moment du collage, coût d'ordre 1.
- niveau 2 : réparation en fin de fabrication avant le départ du bateau du chantier, coût d'ordre 10.
- niveau 3 : réparation en clientèle, coût d'ordre 100.

Pour éviter d'avoir à réparer les défauts au niveau 3, il faut tout d'abord les avoir détectés au niveau 2, voire au niveau 1. Un contrôle manuel est actuellement systématiquement réalisé à cette étape : l'opérateur "frotte" ou "tape" la mousse avec les doigts ou un petit instrument et écoute attentivement le son résultant. Avec un peu d'habitude, les différences perçues permettent de repérer les zones de défaut. Ce contrôle reste bien sûr très subjectif. Il est soumis à trop d'impondérables pour être vraiment fiable : qualification et concentration de l'opérateur (et de son oreille !), bruit ambiant. Le but de cette étude est donc de trouver un système de contrôle plus performant.

CAHIER DES CHARGES DU CONTROLE

MISE EN OEUVRE

Les défauts potentiels étant de l'ordre de quelques dixièmes de pour cent des surfaces collées, l'objectif est donc de contrôler l'intégralité de toutes les surfaces de mousse collée de toutes les

pièces. Ceci implique les éléments suivants dans le cahier des charges

:

- contrôle non-destructif.
- Appareillage d'atelier et non de laboratoire, c'est à dire :
 - . conçu pour travailler dans une ambiance d'atelier,
 - . accessible à des opérateurs divers de qualification moyenne,
 - . permettant de contrôler de grandes pièces jusqu'à 16 m x 8 m,
- Contrôle rapide vu les surfaces à contrôler.

NIVEAU DU CONTROLE

Pour des raisons de coût de réparation exposées plus haut, le but est donc de contrôler la pièce avant la stratification de la deuxième peau sur la mousse. La pièce est alors dans son moule dont la constitution, la forme et les renforts sont très divers. Une seule face d'accès s'offre donc pour le contrôle : la mousse qui vient d'être collée (fig.1).

Si le contrôle au niveau 1 se révèle impossible, il sera envisagé au niveau 2, c'est-à-dire quand le bateau sort de chantier, ou quand la pièce est sortie du moule. Là aussi, une seule face extérieure (face gel-coat) s'offre au contrôle puisque l'intérieur du bateau est déjà cloisonné, les contremoules sont en place.

LIMITES DU CONTROLE

La taille minimum du défaut à détecter est celle engendrant la limite de détection visuelle de la "cloque", c'est-à-dire environ 25 mm. Quant à la fiabilité du contrôle, les défauts ne représentant qu'un pourcentage très faible des surfaces collées, il faut qu'elle soit très proche de 100 %.

APPLICATION DES METHODES DE CONTROLES NON-DESTRUCTIFS AU PROBLEME

RAYONS X

Principe

Une source émet à travers la pièce un faisceau de rayons X d'intensité homogène. Un capteur, situé de l'autre côté de la pièce, enregistre les différences d'intensité du rayon émergent. Il s'agit d'un film sensible (radiographie) ou d'un rayon fluorescent (radioscopie).

Bilan

Cette méthode, très lourde à mettre en place, nécessite de passer au travers de la pièce. Elle ne peut donc convenir à cette application.

HOLOGRAPHIE

Principe

Tandis que la pièce est localement sollicitée (chauffage, dépression, choc), le principe classique d'interferrométrie permet d'enregistrer la réponse de la pièce. Différents systèmes existent : double exposition, temps réel, temps moyenné.

Bilan

L'holographie nécessite une ambiance parfaitement stable difficile à réaliser en atelier, même en employant un laser pulsé. C'est également un ensemble très lourd à mettre en oeuvre et plutôt fragile. Des essais ont quand même été menés avec le concours de la société HOLO 3 (1) : les matériaux du sandwich sont trop rigides et d'épaisseur trop importante pour détecter les défauts par cette méthode, quelle que soit la face d'accès.

ULTRASONS

Principe

La source émet des ultrasons dans la pièce par l'intermédiaire d'un couplant. Le capteur se situe soit de l'autre côté de la pièce (principe de transmission), soit du même côté que la source (principe d'échos pulsés).

Bilan

Les différentes méthodes de contrôle non destructif par ultrasons sont déjà très connues et fiables pour la recherche des défauts de type "vides" ou "inclusions" dans les composites monolithiques. La partie "mise en oeuvre" du cahier des charges étant satisfaite par la méthode de type "échos pulsés", des tests sur éprouvettes ont été réalisés avec le CETIM de Nantes (2).

Aucune détection n'a pu être réalisée côté mousse. Des consultations complémentaires auprès du CETIM de Saint-Etienne (3) et de l'Aérospatiale (4) nous ont confirmé ce résultat : d'une part la mousse est beaucoup trop absorbante, d'autre part le couplage est très

difficile à réaliser entre la source/capteur et la mousse.

Les essais côté gel coat ont, en revanche, donné des résultats encourageants. Des essais complémentaires seraient quand même à mener pour valider la fiabilité réelle de ce contrôle. Reste le problème du couplant qui nécessiterait une installation de contrôle particulier : piscine, système d'arrosage ...

RAYONNEMENT INFRAROUGE

Principe

Une stimulation thermique (thermographie infrarouge) ou mécanique (vibrothermographie) de la pièce provoque un dégagement de chaleur de celle-ci. Le défaut de la pièce modifie sa conductivité thermique et donc son émission infrarouge. L'analyse thermique (caméra infrarouge) enregistre cette émission.

Bilan

Cette méthode connaît actuellement un développement important en contrôle non-destructif. Nos recherches nous ont amenés à rencontrer plusieurs intervenants dans ce domaine : le LNE (5), la société MECICA (6), le CETIM de Saint-Etienne et la STCAN (7). Des essais poussés ont été conduits avec les deux derniers.

Côté mousse aucun résultat n'a pu être obtenu. Son épaisseur est trop importante pour que les hétérogénéités thermiques locales se transmettent à travers la mousse sans être complètement déformées.

Côté gel-coat, la détection des défauts a en revanche été d'excellent niveau dès les premiers tests. Quelques mises au point permettraient vraisemblablement d'obtenir la fiabilité maximum recherchée.

Si la méthode reste assez lourde à mettre en oeuvre, elle présente le gros avantage d'être globale. Elle permet en effet de visualiser une surface entière plutôt qu'un point ou une ligne de points comme dans le contrôle par ultrasons.

TAPOMETRE

Principe

Le principe de cet appareil est simple : un marteau calibré crée un choc sur la pièce à tester, un accéléromètre enregistre les données de ce choc (amplitude et fréquence) et les renvoie à un système électronique qui traite le signal émis. Le contrôle se fait par

comparaison. Après enregistrement et calibrage d'une zone sans défauts de la pièce à tester, le marteau est promené sur toute la surface à contrôler. En chaque point d'impact, un pourcentage de comparaison par rapport au signal calibré est calculé, la notion de défaut se définissant par une différence d'écho admissible.

Bilan

Développé par la société anglaise Rolls Royce Mat Eval (8), cet appareil a pour vocation initiale le contrôle de l'intégrité structurelle des matériaux métalliques ou composites monolithiques. Portable et très facile d'emploi, il répond parfaitement à la partie mise en oeuvre de notre cahier des charges. Les premiers essais de cet appareil furent effectués au chantier avec un appareil standard de démonstration.

Côté gel-coat, après quelques minutes de réglage seulement, les défauts des éprouvettes étaient parfaitement détectés. Le tapomètre standard répond donc exactement au problème posé côté gel-coat.

Côté mousse, l'appareil semblait détecter une différence d'échos, mais on se trouve à sa limite d'utilisation car les matériaux sont trop absorbants. Le signal émis est trop faible et son amplification insuffisante.

Les résultats étaient toutefois suffisamment encourageants pour que la société Rolls Royce Mat Eval, intéressée par un nouveau développement de son matériel, en étudie la modification pour répondre au problème posé. L'analyse des essais montre en effet que le principe est utilisable. Trois points de l'appareil seraient à modifier. Le marteau actuel est trop petit : la surface de contact lors du choc est inférieure à la taille d'une cellule de la mousse. Il faut donc augmenter la surface de contact, donc la taille du marteau. Le choc est trop long (amplitude trop faible), d'où l'idée de fabriquer un marteau plus léger. Une adaptation de l'électronique pour traiter ce nouveau signal doit être envisagée.

Les ingénieurs de la société Rolls Royce Mat Eval sont, en fait, tout à fait confiants sur les chances d'obtenir ainsi l'instrument idéal pour répondre à notre problème, d'autant plus que ce nouveau type de choc permet de le simplifier suffisamment pour envisager une tête multiple, à un coût raisonnable, qui permettrait de diminuer considérablement le temps de contrôle,

CONCLUSION

Au stade actuel des recherches dans le domaine du contrôle non destructif, une seule méthode semble donc utilisable pour détecter les défauts de collage côté mousse : le tapomètre développé. L'ordre de

coût du développement à la mise en service de l'appareil est actuellement de 500 000F.

Quant au contrôle côté gel coat, trois techniques répondent au cahier des charges :

- Le tapomètre standard, pour un coût d'environ 100 000F,

- Le contrôle par ultrasons, pour un coût pouvant aller de 100 à 500 000F,

- Le contrôle par thermographie infrarouge, pour un coût de un à deux millions de francs.

Les ultrasons et la thermographie infrarouge présentent de nombreux avantages, notamment cette dernière qui permet une véritable "cartographie" de la pièce à contrôler. Mais, le tapomètre, standard ou redéveloppé, s'affirme comme un excellent moyen de contrôle des défauts de collage dans les structures sandwich. D'un coût très abordable, il est facilement à la portée des entreprises de notre secteur de la construction navale de plaisance, où le contrôle non-destructif reste un domaine fort peu développé.

-
- (1) HOLO 3, Saint Louis (68) - M. Smiglielski (Responsable)
(2) et (3) Centre d'Etudes Techniques des Industries Mécaniques
Nantes (44) - MM Lemasson et Texier (Contrôles non-destructifs par
ultrasons)
Saint Etienne - M.Gonzales (Thermographie Infrarouge)
(4) AEROSPATIALE, Les Mureaux (78) - M. Calliez (Contrôles non-
destructifs)
(5) Laboratoire National d'Essais, Trappes (78) - M. Spellier
(Thermographie Infrarouge)
(6) MECICA, Reims (51) - M. Henry (Responsable)
(7) Service Technique des Constructions et Armes Navales, Paris (75)
- MM Lesbre et Potet (Contrôles non-destructifs - Thermographie
Infrarouge)
(8) ROLLS ROYCE MAT EVAL LTD, Raynes way, Derby, G.B. -
M. Kirby (European Sales Manager) et M. Orrel (Systems Manager)

- COMPTE RENDU DES SEMES JOURNEES DE L'INERN, 1990 -
Contrôles non-destructifs par thermographie photothermique, p 84 -
Les méthodes d'essais non-destructifs pour le contrôle des sandwich, p
77.

- LES MATERIAUX COMPOSITES, 1983, CETIM - Contrôle
Qualité, tome II, chapitre 8.

FACE D'ACCES POUR LE CONTROLE DE NIVEAU 1

