



METHODE DE DETERMINATION DES CONTRAINTES RESIDUELLES DANS LE CAS DE RECHARGEMENTS MULTICOUCHES : APPLICATION A DES STRUCTURES TRIMETALLIQUES OBTENUES PAR TRAITEMENT LASER

M. Laracine, C. Bignon, Lormand, J. Hernandez, A. Vannes

► To cite this version:

M. Laracine, C. Bignon, Lormand, J. Hernandez, A. Vannes. METHODE DE DETERMINATION DES CONTRAINTES RESIDUELLES DANS LE CAS DE RECHARGEMENTS MULTICOUCHES: APPLICATION A DES STRUCTURES TRIMETALLIQUES OBTENUES PAR TRAITEMENT LASER. Journal de Physique Colloques, 1987, 48 (C7), pp.C7-147-C7-150. 10.1051/jphyscol:1987726 . jpa-00227028

HAL Id: jpa-00227028

<https://hal.science/jpa-00227028>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**METHODE DE DETERMINATION DES CONTRAINTES RESIDUELLES DANS LE CAS
DE RECHARGEMENTS MULTICOUCHES : APPLICATION A DES STRUCTURES
TRIMETALLIQUES OBTENUES PAR TRAITEMENT LASER**

M. LARACINE, C. BIGNON, LORMAND, J. HERNANDEZ et A.B. VANNES

*CALFETMAT, INSA-LYON, 20, Avenue Albert Einstein,
F-69621 Villeurbanne Cedex, France*

I - INTRODUCTION

La nécessité de connaître les contraintes résiduelles induites lors de l'élaboration de pièces prismatiques constituées de plusieurs couches de matériaux très différents réalisés par dépôt laser n'est plus à démontrer [1], [2], [3], [4].

Partant de notre expérience du bimétallique nous avons développé une méthode de calcul applicable à "n" matériaux possédant des caractéristiques physico-mécaniques différentes en appliquant la méthode par enlèvement de couches.

Le système expérimental original conçu et réalisé dans notre laboratoire permet l'enlèvement de couches minces par voie électrochimique, il nous a permis, comme dans le cas des bimétalliques, de vérifier la validité de notre modèle sur des pièces comportant trois matériaux différents.

II - BASES THEORIQUES DE LA METHODE

La méthode que nous développons est celle employée dans le cas du bimétallique [5]. Les mécanismes du rééquilibrage restent les mêmes c'est-à-dire chaque enlèvement de couche conduit à une flexion dans le domaine élastique de l'épaisseur restante ce qui nous donne toujours une variation linéaire de la déformation et par voie de conséquence, une discontinuité sur les variations des contraintes lorsque l'on passe d'un matériau à l'autre.

Les différentes notations sont répertoriées figure (1). Les variations d'allongement $\Delta \epsilon_{1,2}$ dans la couche u, lors de l'usinage de la couche "i" d'ordre inférieur, d'abscisse x_i s'écrivent :

$$\Delta \epsilon_{1,2}(u, x_i) = \alpha_{1,2}^i (u - t_{1,2}^i) \Delta x_i$$

où $\alpha_{1,2}^i$ et $t_{1,2}^i$ restent des constantes à déterminer.

La loi de HOOKE généralisée permet d'écrire :

$$\Delta \epsilon_{1,2}(u, x_i) = \frac{E(n)}{1-\nu^2(n)} \left[\Delta \epsilon_{1,2}(u, x_i) + \nu(n) \Delta \epsilon_{2,1}(u, x_i) \right]$$

$E(n)$ et $\nu(n)$ dépendent du matériau dans lequel on se situe. Le rééquilibrage des contraintes conduit aux équations suivantes :

$$\begin{aligned} \Delta F_{1,2} &= \sigma_{1,2}(x_i, x_i) \Delta x_i = \int_{x_i}^0 \Delta \sigma_{1,2}(u, x_i) \Delta x_i \, du \\ \Delta F_{1,2} &= \int_{x_i}^{x(n-1)} \frac{E(n)}{1-\nu^2(n)} \left[\alpha_{1,2}^i (u - t_{1,2}^i) + \nu(n) \alpha_{2,1}^i (u - t_{2,1}^i) \right] \Delta x_i \, du \\ &+ \sum_{n=2}^n \int_{x(n-1)}^{x(n-2)} \frac{E(n-1)}{1-\nu^2(n-1)} \left[\alpha_{1,2}^i (u - t_{1,2}^i) + \nu(n-1) \alpha_{2,1}^i (u - t_{2,1}^i) \right] \Delta x_i \, du \\ \text{et } \Delta M_{1,2} &= \sigma_{1,2}(x_i, x_i) x_i \Delta x_i = \int_{x_i}^0 \Delta \sigma_{1,2}(u, x_i) \Delta x_i \, u \, du \end{aligned}$$

$$\Delta M_{1,2} = \int_{x_i}^{x(n-1)} \frac{E(n)}{1-\nu^2(n)} \left[\alpha_{1,2}^i(u-t_{1,2}^i) + \nu(n) \alpha_{2,1}^i(u-t_{2,1}^i) \right] \Delta x_i \, u \, du$$

$$+ \sum_{n=2}^i \int_{x(n-1)}^{x(n-2)} \frac{E(n-1)}{1-\nu^2(n-1)} \left[\alpha_{1,2}^i(u-t_{1,2}^i) + \nu(n-1) \alpha_{2,1}^i(u-t_{2,1}^i) \right] \Delta x_i \, u \, du$$

Nous devons avoir $\Delta M_{1,2} - x_i \Delta F_{1,2} = 0$ et nous savons que $\Delta \varepsilon_{1,2}(0, x_i) = -\alpha_{1,2}^i t_{1,2}^i \Delta x_i$.

Après intégration nous avons autant d'équations que d'inconnues. La résolution est alors possible. Elle comprend 2 étapes :

- La détermination de la contrainte restante $\sigma_{1,2}(x_i, x_i)$ au moment de son usinage. L'épaisseur des couches est choisie suffisamment mince pour que l'on puisse admettre qu'à l'intérieur de celle-ci la contrainte reste constante.
- La détermination de l'effet de l'enlèvement des couches précédant la couche "u" s'obtient par la sommation des effets dans la couche "u" de l'enlèvement de chacune des couches "i" calculés par le formalisme suivant :

Soit j une couche comprise entre 1 et i-1 de cote u_j , nous avons :

$$\Delta \varepsilon_{1,2}^j = \alpha_{1,2}^j (u_j - t_{1,2}^j) \quad \text{et} \quad \Delta \sigma_{1,2}^j = E(j) (\Delta \varepsilon_{1,2}^j + \nu(j) \Delta \varepsilon_{2,1}^j)$$

La variation totale nous donne :

$$\sum_{j=1}^{i-1} \Delta \sigma_{1,2}^j$$

Les contraintes initiales (avant usinage) sont donc déterminées par la relation :

$$\sigma_{1,2}^i = \sigma_{1,2}(x_i, x_i) - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta \sigma_{1,2}^j$$

L'ensemble de ce calcul a été programmé sur micro-ordinateur et nous a permis de tracer les courbes ci-jointes.

III - METHODE EXPERIMENTALE

III.1. Méthode d'enlèvement de couche.

La technique d'enlèvement de couche par voie électrochimique avec tous les avantages qu'elle représente, en particulier sa parfaite neutralité vis-à-vis des contraintes résiduelles, a déjà été décrite précédemment [5], ainsi que la mesure des déformations. La difficulté majeure réside dans le choix d'une composition judicieuse de l'électrolyte nécessaire à la dissolution anodique de matériaux très différents.

Les valeurs de modules d'Young "E" et des coefficients de Poisson "ν" sont obtenues soit par mesures non destructives (ultrasons), soit par essais classiques [6].

III.2. Réalisation des échantillons

Ils ont été réalisés au CALFETMAT. Ils comportent trois couches :

- le support en XC48,
- la première couche est constituée par une base N_i d'épaisseur 0,82 mm,
- la deuxième couche est constituée par une base C₀ d'épaisseur 0,56 mm.

	Cr	Mo	Si	B	Fe	C	Ni	Co
Base Ni	14 %		3,5 %	2,75 %	4 %	6 %	base	
Base Co	18 %	6 %	3,5 %	3 %	2,5 %	0,2 %	solde	40 %

IV - RESULTATS

Sur les échantillons à notre disposition nous avons pu réaliser la mesure des déformations longitudinales et transversales et ainsi calculer le champ de contraintes.

La figure (3) nous donne un exemple de résultat. Nous observons 4 zones qui correspondent respectivement à :

- Les zones A et B associées aux matériaux déposés. La transition relativement marquée laisse supposer une dilution faible. Le niveau de contrainte moyen est modéré mais en traction. Si on compare par rapport aux résultats obtenus sur un dépôt monocouche réalisé avec un alliage identique à A, on note une diminution significative de la valeur absolue de la contrainte | 6 |.
- La zone C correspond à la zone affectée thermiquement qui a subi 2 cycles thermiques correspondant à la réalisation de chacune des couches déposées. Il y a également une relative continuité par rapport aux couches adjacentes.
- La zone D associée au métal de base est en compression par raison d'équilibre. La valeur absolue des contraintes est là aussi relativement modérée.

V - CONCLUSION

Le passage du bimétallique à "n" matériaux a nécessité un formalisme beaucoup plus complexe. Cependant nous possédons actuellement des moyens de calcul programmé sur micro-ordinateur et des moyens de mesure expérimentaux fiables, susceptibles de permettre la détermination des contraintes résiduelles dans tous les matériaux multicouches de forme prismatique.

En outre, de par les nuances choisies et en particulier la couche intermédiaire, nous montrons que nous pouvons nettement diminuer le taux de contraintes résiduelles.

BIBLIOGRAPHIE

- | 1 | A. LELUAN - Revue du GAMI, Mécanique, juin-juillet 1969, p.19-24.
- | 2 | H. BÜHLER - "Complete determination of the state of residual stress in solid and hollow metal cylinders", Ed. R. Osgood, New-York, 1954.
- | 3 | A. VANNES, R. FOUGERES et M. THEOLIER - "Détermination et influence des contraintes résiduelles", Ch. IV, Recueil CAST, 1976.
- | 4 | A. VANNES - Thèse de docteur ès-sciences, n°1 DE 78010, Lyon, 1978.
- | 5 | M. LARACINE, A. VANNES - Résidual stresses in compound materials : Method of measurement, examples of applications.
6e colloque international sur : les méthodes d'investigation des métaux et nouveaux matériaux, 19-20 nov. 1986.
- | 6 | J. HERNANDEZ - Thèse doctorat 1986.

