



Une solution à la mesure de contraintes résiduelles : les jauges de perçage

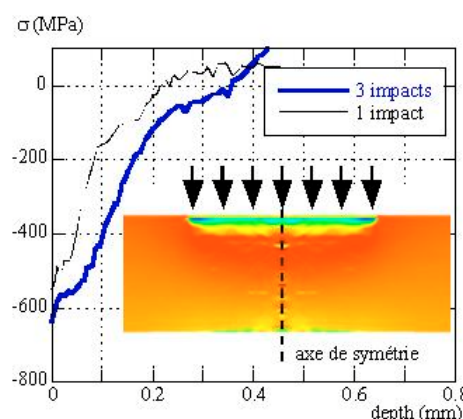
Introduction

Actuellement, les matériaux s'inscrivent dans une démarche de maximisation de leurs performances. Ils sont en effet soumis à des sollicitations toujours plus sévères, souvent proches de leurs limites techniques, la tenue mécanique entre autres. La question de la maîtrise des contraintes résiduelles au sein du matériau trouve dès lors tout son intérêt, que ce soit en phase de conception, de fabrication ou de service. En effet, l'industriel cherche à développer des critères sur les niveaux de contraintes garantissant une bonne stabilité dimensionnelle en cours de fabrication et une bonne tenue en service, se traduisant par une augmentation de la durée de vie. Cette démarche passe par la phase de mesure des contraintes résiduelles, phase que nous allons justement développer dans ce papier, pour une application sur les matériaux réfractaires.

Contraintes internes : définition

Un matériau peut présenter des contraintes internes, alors qu'il n'est pas soumis à des sollicitations extérieures. C'est-à-dire qu'en tout point du matériau, il existe des contraintes dont la somme à l'échelle du matériau est nulle, de sorte que le matériau soit globalement dans un état d'équilibre. De telles contraintes apparaissent par exemple lors du refroidissement inégal sur les pièces, après un forgeage ou après soudure de pièces mécaniques ou bien après un traitement de surface.

Le graphique à droite illustre l'effet d'un traitement mécanique de surface (1, 2 puis 3 impacts) sur l'état de contraintes du matériau. On observe ainsi dans l'axe d'impact la naissance de contraintes résiduelles de compression, la profondeur affectée s'étalant sur 500 microns.



État des différentes techniques

La diffraction des rayons X permet de mesurer les contraintes absolues en surface du matériau avec une profondeur d'attaque de 0,25 mm et une aire de mesure de 4x4 mm² ; cette méthode non destructive repose sur la mesure de distances entre plans atomiques d'une même famille selon différentes incidences du rayonnement X.

Basée sur le fait qu'une onde se propage plus ou moins dans un matériau selon son état de déformation, **la méthode ultrasonore** permet, à partir de la mesure du temps de propagation d'une onde à la surface du matériau, d'accéder à l'état de contraintes résiduelles du matériau.

Enfin, la mesure de contraintes résiduelles par **la méthode du trou** ou du perçage consiste à réaliser un trou au centre de la jauge extensométrique préalablement collée à la surface du matériau. L'enlèvement de matière entraîne une relaxation des déformations, dont la mesure au moyen des jauges permet de remonter à l'état de contraintes. C'est la technique actuellement appliquée au sein d'ICAR.

La méthode du trou : principe

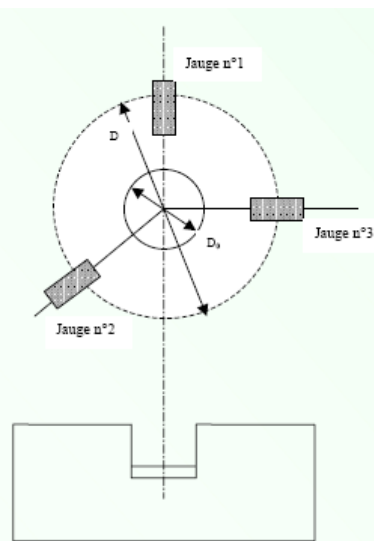
La méthode du trou a été développée par Mathar dans les années 1930. Soëte et Van Combrugge, puis Boiten et Ten Cate ont donné à la méthode sa forme moderne grâce, en particulier, au développement des techniques d'extensométrie utilisant les jauges de déformation.

Cette méthode, classée parmi les méthodes mécaniques de relaxation, est basée sur le fait qu'en perçant un trou dans une plaque soumise à un champ de contrainte uniforme, l'équilibre des contraintes dans le voisinage du trou est perturbé.

Le trou est percé au centre d'une rosette de jauges d'extensométrie à 3 directions (figure de gauche). L'enlèvement de matière permet l'évolution des contraintes résiduelles dans la pièce étudiée. Ceci entraîne un nouvel équilibre, qui se traduit par des déformations mesurées dans les jauges.

La méthode possède de nombreux avantages :

- convient pour tous types de pièce finie, sans découpe préalable ni limitation dimensionnelle,
- s'adapte à n'importe quel type de matériau pourvu que l'isotropie et l'élasticité soient vérifiées,
- méthode de mesure rapide pour accéder à un gradient de contraintes.





Matériel



Rosette extensométrique de perçage
3 jauges uniaxiales
configuration 0°/45°/90°



Carte d'acquisition 2x10
voies analogiques



Carotteuse vitesse maximale
2000 trs/min



Foret de perçage
refroidissement par eau

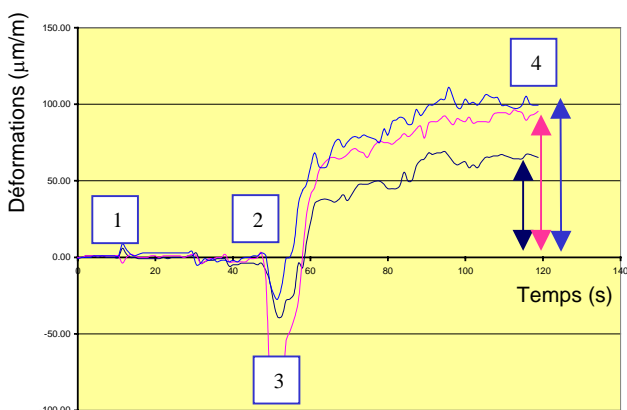
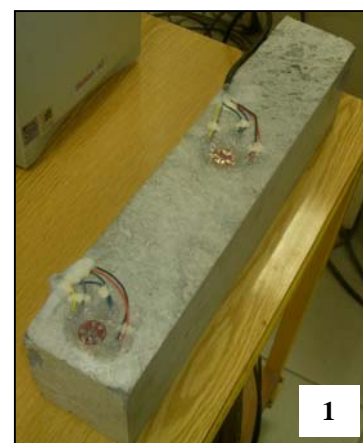
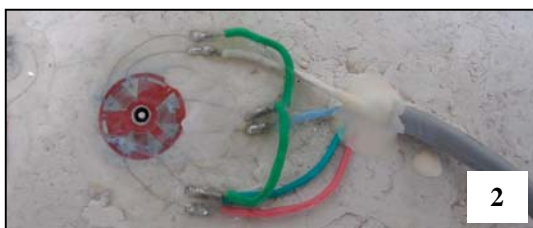
Réalisation

Cadre : étude des contraintes thermiques naissant au cours du refroidissement post-coulée d'un bloc réfractaire électrofondu.

Figure 1 : position des rosettes sur le bloc d'électrofondu. L'acquisition des déformations subies par les 3 jauges donne accès à l'état de contraintes dans le plan au centre de perçage de la rosette.

Figure 2 : rosette de perçage collée sur la surface démoulée du bloc.

Un gel imperméabilisant protège les connexions électriques lors de l'opération de perçage de la rosette.



La figure ci-contre est un enregistrement des signaux de déformation enregistrés par les jauges de la rosette au cours du perçage en zone centrale. On distingue quatre phases :

- 1 - Début de refroidissement par eau
- 2 - Début de perçage (foret à l'affleurement de la surface)
- 3 - Oscillations d'échauffement dues au perçage
- 4 - Fin de perçage

Les valeurs de déformation pré/post-perçage sont ensuite intégrées dans le modèle du « trou borgne » pour obtenir l'état de contraintes dans le plan de la surface au centre de la rosette.

Avantages et limites

La méthode du trou se caractérise par l'absence de validation expérimentale, en effet, des méthodes équivalentes de mesure des contraintes résiduelles n'existent malheureusement pas. La question trouve d'autant plus son intérêt que l'adhésion de la jauge sur son support est entachée d'une incertitude significative, liée autant à l'état de surface qu'à l'opérateur ou bien aux conditions de température et d'humidité.

L'avantage de la méthode réside dans l'étude de pièces massives; une méthode telle que la diffraction des RX est à proscrire: elle requiert des tailles d'éprouvettes de quelques dizaines de mm, avec une découpe, qui risquerait de libérer la majorité des contraintes à mesurer. La méthode ultrasonore, elle, ne pose pas le problème de réduction de la taille de la pièce, mais elle ne fournit qu'une moyenne des contraintes sur la longueur de pièce parcourue par l'onde. Ainsi, toute carte de contraintes est inenvisageable, contrairement à la méthode du trou, méthode d'essai locale par excellence (point de mesure ramené à la section de la rosette).



Bibliographie :

Cette sélection de publications est issue de la Veille Technologique exercée par le Service Documentation de la SFC (Société Française de Céramique). Pour plus d'information sur ces produits documentaires de Veille Scientifique, Technique ou Concurrentielle : bulletin de Veille Mensuel, Veilles spécifiques ciblées, accès à la base de données de Veille "CeramBase", contacter la SFC à l'adresse : soc.fr.ceram@ceramique.fr



-O'DRISCOLL M.

Développements de ciment alumineux (Alumina cement developments)

Industrial Minerals, 10/2008, p.57, 59.

Mots Clés : Ciment alumineux, recherche, développement.

-HEMRICK J.G., HEADRICK W.L., PETERS K.M.

Développement et applications de matériaux réfractaires pour applications d'aluminium en fusion (Development and applications of refractory materials for molten aluminum applications)

International Journal of Applied Ceramic Technology, vol.5, n°3, 2008, p.265-277

Mots Clés : Matériau réfractaire, fonderie d'aluminium, contact, application.

-KHALIL N.M.

Développements récents dans les composites réfractaires de magnésie-spinelle – Partie 1 (Recent developments in magnesia-spinel refractory composites – Part 1)

Interceram, vol.57, n°6, 11/2008, p.417-422, 13 fig., 5 tab., bibliographie (29 réf.), ANG.

Mots Clés : Réfractaire magnésie-spinelle, silicate, zirconium, chromite, microstructure, choc thermique.

-BRAULIO M.A.L., CASTRO J.F.R., PAGLIOSA C., et-al

De la macro à la nano-magnésie : Conception de la dilatation du spinelle *in situ* (From macro to nanomagnesia : designing the *in situ* spinel expansion)

Journal of the American Ceramic Society, vol.91, n°9, 09/2008, p.3090-3093

Mots clés : Magnésie, spinelle, dilatation, béton réfractaire.

-SOURI A.R., MIRHADI B., KASHANI NIA F.

Effet de la silice colloïdale nano-structurée sur les propriétés des bétons réfractaires d'alumine tubulaire (The effect of nano-structured colloidal silica on the properties of tubular alumina castables)

Interceram, vol.57, n°6, 11/2008, p.414-416

Mots clés : Silice colloïdale, liant, béton réfractaire, propriétés.

-HAN BOM KIM, MYONGSOOK S. OH

Changements dans la microstructure d'un réfractaire à forte teneur en chrome dus à l'interaction des laitiers de charbon infiltrés dans un environnement de gazéificateurs de scorification du charbon (Changes in microstructure of a high chromia refractory due to interaction with infiltrating coal slag in a slagging gasifier environment)

Ceramics International, vol.34, n°8, 12/2008, p.2107-2116

Mots clés : Réfractaire à base de chrome, gazéificateur, laitier, charbon.

Formations à venir :

Du 15 au 18 septembre 2009 à Moncel-lès-Lunéville
Les matériaux réfractaires : généralités.

Du 17 au 20 mars 2009 à Moncel-lès-Lunéville
Les matériaux réfractaires : généralités.

Du 16 au 20 novembre 2009 à Moncel-lès-Lunéville
Tenue en service et traitement des réfractaires usagés.

Du 16 au 19 juin 2009 à Moncel-lès-Lunéville
La mise en œuvre des matériaux réfractaires..

Et toujours la possibilité de réaliser des stages intra-entreprises tout au long de l'année ...

Vous souhaitez avoir de plus amples informations...

CONTACTEZ-NOUS...