

Etude de l'ovalisation d'un four rotatif de cimenterie : Modélisation par éléments finis et expérimentation

M. BIDEQ¹, K. I. JANATI², L. BOUSSHINE²

¹Laboratoire des Matériaux, Procédés, Environnement et Qualité (LMPEQ), Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Safi, Université Cadi Ayyad, Safi, Maroc. bideq@hotmail.com

²Laboratoire des Technologies de Construction et des Systèmes Industriels (LTCSI), Equipe de Mécanique des Structures et des Matériaux (MSM), Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Université Hassan II, Casablanca, Maroc.

Résumé

La cause principale de la chute des briques réfractaires qui protègent la coque métallique des fours rotatifs des cimenteries est l'ovalité de la section. Dans ce travail, l'ovalité est calculée par éléments finis en utilisant le logiciel Patran/Nastran et comparée aux mesures effectuées directement sur le four de la cimenterie de la région de Settat (maroc) par un dispositif approprié. Les résultats sont comparés et discutés.

Mots clefs (12 gras): *Four rotatif, éléments finis, ovalité, coques cylindriques.*

1. Introduction

Le présent travail a pour objectif l'étude de la tenue mécanique et de la déformabilité des viroles à chaud d'un four rotatif de cimenterie. Cette étude entre dans le cadre des travaux de la maintenance préventive de ces fours géants qui constituent l'élément clé dans le procédé de production du ciment.

Il s'agit de valider un modèle éléments finis simulant le comportement thermoélastique du four en service. Dans un premier temps, une série de mesures expérimentales des déformations du four a été réalisée à chaud. Ensuite, une simulation numérique du comportement thermoélastique de la virole métallique et du mur réfractaire par la méthode des éléments finis (MEF) a été élaborée en utilisant le logiciel Patran/Nastran. Pour la validation du modèle proposé, les résultats obtenus par la MEF sont comparés aux mesures expérimentales.

2. Les fours rotatifs de cimenteries

Les fours rotatifs des cimenteries permettent la cuisson des matériaux de base pour l'obtention de clinker. Le four est un long cylindre incliné en rotation permanente permettant le déplacement du matériau. Un brûleur chauffe le matériau, et les gaz chauds circulent dans le sens contraire du déplacement du matériau.

La virole du four rotatif se compose de plusieurs tronçons de tailles différentes assemblés par soudage et

revêtus de briques réfractaires. Chaque tronçon du four a une épaisseur spécifique et les matériaux sont choisis pour résister aux contraintes dues aux charges mécaniques et thermiques appliquées [1,2]. La température de service à l'intérieur du four dépasse les 1500 °C et croît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'entrée, elle est contrôlée en permanence à l'extérieure de la virole au moyen d'un appareil de mesure approprié. Grâce au revêtement réfractaire, la valeur de référence de la température maximale de la virole métallique est de 350 °C.



Figure 1. Four rotatif dans une cimenterie de la région de Settat au Maroc.

En service, il arrive que la température extérieure de la virole dépasse la valeur limite précitée. Une température excessive au niveau de la virole du four est le résultat d'un briquetage endommagé ou une couche de briquetage trop mince par suite de l'usure. Le remplacement ou la réparation du revêtement réfractaire dans les zones de températures excessives de la virole devient urgent.

Dans le cadre de la maintenance préventive, concernant essentiellement la chute des briques réfractaires qui assurent l'isolation thermique à l'intérieur du four, l'ovalité et l'alignement des axes des différents tronçons de la structure métallique sont les causes principales de la chute des briques [4]. Une étude détaillée de la déformation du four est élaborée pour déterminer l'ovalité des sections du four afin d'anticiper la chute des briques réfractaires.

3. Enoncé du problème

Le revêtement en briques réfractaires du four rotatif peut être endommagé à cause d'une ovalité excessive de la virole [3]. La chute des briques réfractaires altère l'isolation thermique et provoque l'expansion des taches rouges dans la structure métallique. La rotation continue du four, en présence de ces taches rouges, peut endommager de manière irréversible la structure métallique. La prévention des chutes des briques et la programmation des arrêts permettent de réduire les coûts de la maintenance qui comprennent :

- le temps d'arrêt de la production ;
- le coût de la main d'œuvre ;
- le coût du revêtement (briques et mortier) ;
- le coût de la sécurité.

La mesure directe de l'ovalité est une tâche difficile vue les conditions de fonctionnement du four rotatif qui tourne en permanence et la température extérieure qui dépasse les 350 °C rendant dangereux tout contact direct avec la structure. Une modélisation par éléments finis permet l'évaluation de la déformation du four et la prédiction de son comportement en fonction des conditions de marche même anormales et aide à la prise de décision.

4. Mesure de l'ovalité

La mesure de la déformation de la virole du four se fait par un appareil spécial comportant un système de mesure pour relever les différents points de la virole, un PC portable pour l'acquisition des données et un trépied qui sert de support (fig.2). Pour prendre les mesures, il est primordial de se situer à tout instant vis-à-vis du four, on doit alors définir un repère global. Le rôle de ce repère est de donner la position de la station de mesure par rapport au centre des noies ring du joint amont, utilisé comme étant le centre de la virole.



Figure 2. Instruments de mesure de l'ovalité

Pour déterminer l'ovalisation de la virole, on doit tout d'abord repérer la position de la station à l'aide d'un repère global. Ensuite, on insère l'angle de déviation de la station pour déduire la distance qui sépare un point mesuré de la virole par rapport au centre parfait. Ce centre est déterminé en prenant le milieu entre les deux galets supportant le four dans une section donnée.

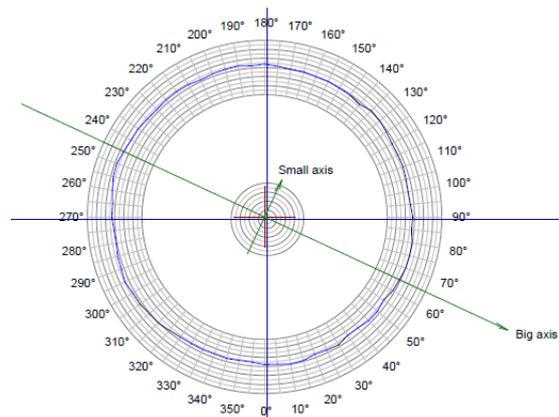


Figure 3. Mesure de l'ovalité réalisée directement sur le four rotatif.

5. Modélisation par éléments finis du four

Certaines hypothèses permettent de simplifier la modélisation du problème sans remettre en cause la précision du modèle à décrire les phénomènes physiques pris en considération [5] :

- l'effet de la rotation du four est négligé étant donné que la vitesse de rotation est faible (3-4 tr/mn) ;
- la température varie le long du four mais est constante dans une section ;
- la masse volumique du revêtement (briques et mortier) est constante ;
- les briques réfractaires ont les mêmes dimensions ;
- la déformation totale est la somme de la déformation due aux contraintes mécaniques et la dilatation thermique ;
- le coefficient de dilatation thermique est constant.

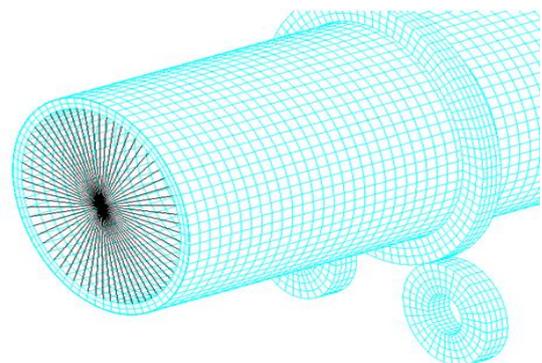


Figure 4. Modèle éléments finis du four rotatif

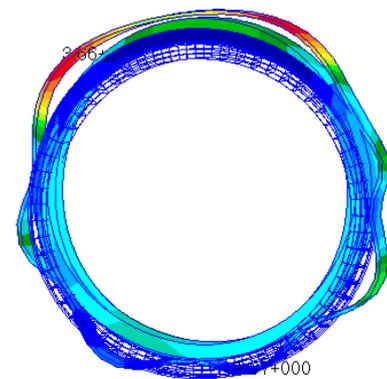


Figure 5. Déformation de la virole

6. Résultats

Les résultats obtenus par le modèle éléments finis sont comparés aux mesures effectuées sur le four comme le montrent les figures ci-dessous.

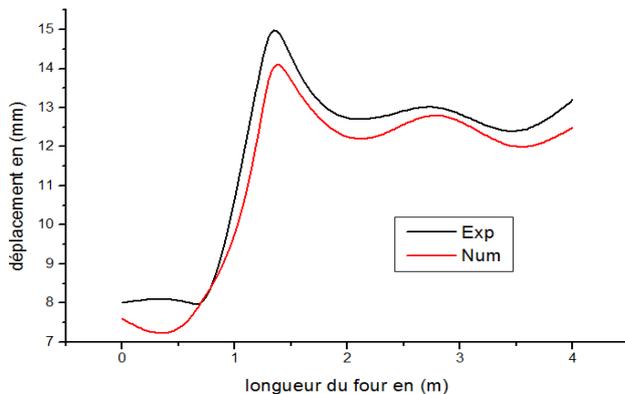


Figure 6. Comparaison de la solution numérique et des mesures expérimentales entre 0 et 4m.

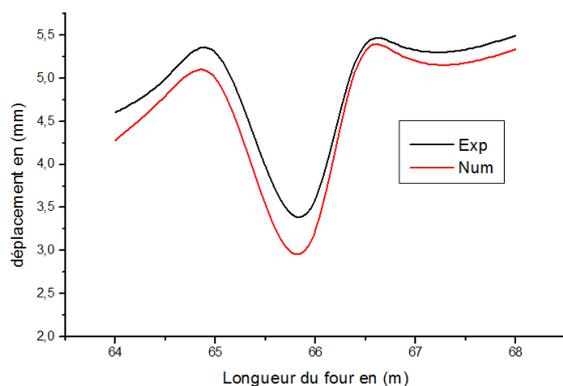


Figure 7. Comparaison de la solution numérique et des mesures expérimentales entre 64m et 68m.

Les figures ci-dessus montrent les déplacements le long d'une génératrice du four dans les tronçons compris entre 0-4 mètres et 64-68 mètres. Les résultats obtenus par le modèle éléments finis proposé sont en concordance avec les mesures expérimentales effectuées directement sur le four rotatif.

7. Conclusion

La maintenance préventive des fours rotatifs des cimenteries ne peut se faire sans le contrôle permanent de la déformation de leur structure. En particulier, la mesure de l'ovalité de la virole métallique permet la prévention de la chute des briques réfractaires qui constituent le revêtement interne permettant un rendement thermique et une protection contre les températures élevées. Un modèle éléments finis est proposé, les résultats obtenus sont comparés aux mesures

expérimentales et montrent la validité du modèle. En perspective, les résultats obtenus permettront d'étudier en détail le mécanisme de chute des briques réfractaires pour l'amélioration de la longévité du revêtement.

8. Références

- [1] Asme Boiler and Pressure Vessel Code VIII, Division 2—Alternative Rules, The American Society of Mechanical Engineers, 1995.
- [2] Asme Boiler and Pressure Vessel Code II—Material Properties, The American Society of Mechanical Engineers, 1995.
- [3] J.J. del Coz Diaz, F. Rodriguez Mazon, P.J. Garcia Nieto, F.J. Suarez Dominguez, Design and finite element analysis of a wet cycle cement rotary kiln, *Finite Elements in Analysis and Design* 39 (2002) 17–42
- [4] K. I. Janati, E. Elkennassi, M. A. Dirhar, L. Bousshine, Comportement thermo-élastique d'un four rotatif pour cimenteries-Expérimentation et simulation numérique, 1er Congrès International sur les Ingénieries Civile, Mécanique et Electrique pour l'Energie CMEEE 2015, Marrakech, 16-19 novembre 2015.
- [5] M. Bideq, K. I. Janati, L. Bousshine, Study of the elastic deformation of rotary cement kiln using finite element analysis, *International Conference on advances in mechanical Engineering – ICAME2016*, 11-13 May, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, 2016.