Evolution of the punching strength of mortar subjected to fire

Evolution de la résistance au poinçonnement d'un matériau cimentaire soumis à la flamme

M. Ezziane¹, T. Kadri¹, R. Jauberthie², et L. Molez²

¹Département Génie Civil, Laboratoire LMPC. Université de Mostaganem 27000, Algérie

²Laboratoire LGCGM EA 3913. INSA UEB – 35043 Rennes Cedex, France

Abstract. The mechanical properties of the cement-based materials, when subjected to high temperatures, are reduced. The surface cracking causes a drop in flexural strength very sensitive to the surface state. The mortars tested are mortars reinforced with fibres of various types: control sample without fibres, steel fibre mortar, polypropylene fibre mortar and steel / polypropylene fibre mortar. After testing these materials in the oven by varying the temperature parameter, we were interested to the behaviour of the test specimens in the presence of a propane flame. The fibre-reinforced mortar is subjected to the flame on one face; the evolution of the temperature gradient is followed in time. The influence of fibre type is quantified. The cracks appear both on the side exposed to the flame but also, and to a lesser extent on the cold face. After a certain exposure time, the mechanical properties are compared. A mechanical test was developed to determine the influence of cracking on the punching strength. The role of fibres, by their nature and by their position relative to the hot face is analysed. When the plates tested are designed with a low water to cement ratio, the phenomenon of spalling appears. The intensity of this phenomenon varies with the nature of the fibering.

Résumé. Les matériaux à base cimentaire, lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées, voient leurs caractéristiques mécaniques diminuer. La fissuration de surface entraîne notamment une chute de la résistance en flexion très sensible à l'état de surface. Les mortiers testés sont des mortiers fibrés avec des fibres de différentes natures: échantillon témoin non fibré, mortier fibré acier, mortier fibré polypropylène, mortier fibré acier/polypropylène. Après avoir testé ces matériaux au four en faisant varier le paramètre température, nous nous sommes intéressés au comportement en présence d'une flamme propane. Le mortier fibré est soumis à la flamme sur une face, l'évolution du gradient thermique est suivie dans le temps. L'influence du type de fibres est quantifiée. Les fissurations apparaissent aussi bien sur la face exposée à la flamme mais aussi, et de façon moindre sur la face froide. Après un certain temps d'exposition, les caractéristiques mécaniques sont comparées. Un test mécanique est mis au point afin de déterminer l'influence de la fissuration sur la résistance au poinçonnement. Le rôle des

fibres, de part leur nature et de part leur position par rapport à la face chaude est analysé. Lorsque les plaques testées sont conçues avec un rapport eau sur ciment faible, le phénomène de spalling apparaît. L'intensité de ce phénomène varie suivant la nature du fibrage.

1 Introduction

L'introduction de fibres d'acier dans un mortier ordinaire permet d'obtenir une augmentation de la résistance mécanique et de la ductilité à température ambiante. Lors d'expositions à des températures élevées, un matériau cimentaire renforcé par des fibres d'acier subit un endommagement plus ou moins important.

Le chauffage induit différentes modifications de ses propriétés et, en particulier, des changements de microstructure accompagnés de perte de résistance mécanique et de masse ([1], [2]). L'influence mécanique de différents types de fibres après exposition à des températures élevées a été précédemment étudiée ([3]). Dans cet article, nous avons étudié le comportement mécanique de mortiers normalisés, de mortiers renforcés de fibres d'acier, de mortiers avec fibres de polypropylène et de mortiers hybrides, traités thermiquement à 400°C, 600°C, 800°C et 1000°C.

Un essai spécifique est mis au point pour tester les mortiers à la flamme propane. Après avoir déterminé la propagation de la chaleur à travers les éléments fibrés, ceux-ci sont soumis à un poinçonnement ; ainsi cet essai permettra de comparer les résistances résiduelles après cette simulation incendie. Les mortiers fibrés ont un comportement lors d'élévation de la température déjà étudié par de nombreux auteurs ([4, 5]). Une série d'essais est également réalisée sur des mortiers fibrés mais avec un rapport eau/ciment réduit.

2 Appareillage

Un système de chauffage à la flamme propane a été mis au point au laboratoire afin de compléter les essais de tenue en température précédemment réalisés dans un four. Les tests mécaniques n'étant pas applicables sur les échantillons chauffés, nous avons également confectionné un système de poinçonnement voisin du test CBR utilisé en mécanique des sols.

2.1 Essai à la flamme

La figure 1 représente la forme de l'éprouvette testée. Elle est constituée d'un parallélépipède 4x16x16 cm³ avec un épaulement de 1cm "Figure 3" qui permet de l'introduire dans le four et évite les déperditions latérales de chaleur. L'appareillage de chauffage est visible sur la figure 2, l'échantillon est positionné à l'arrière du cône. La température dans l'échantillon est suivie par des thermocouples "Figure 4" répartis sur l'épaisseur de l'épreuve. La position de la flamme permet de régler de façon précise la température de la surface.

Fig. 1. Eprouvette de mortier fibré.

Fig. 2. Appareillage de chauffage au propane.

Fig. 3. Echantillon après test de chauffage (Face flamme).

Fig.4. Echantillon après test de chauffage (Face froide).

2.2 Essai de poinçonnement

L'échantillon à tester est positionné entre 2 cylindres, l'un de diamètre intérieur 10cm et le second de diamètre extérieur 4cm comme indiqué figure 5. Les ruptures se propagent suivant les directions indiquées par les flèches.

Fig. 5. Schéma de l'essai de poinçonnement.

3 Propagation de la chaleur

Les figures 6, 7 et 8 récapitulent la propagation de la chaleur à travers les échantillons conçus avec fibres d'acier, avec fibres de polypropylène et avec fibres mixtes.

Fig. 6. Evolution de la température dans le mortier avec fibres d'acier.

Fig. 7. Evolution de la température dans le mortier avec fibres de polypropylène.

Fig. 8. Evolution de la température dans le mortier avec fibres d'acier + polypropylène.

Dans un premier temps la flamme est positionnée de façon à obtenir 1000°C en surface chaude (pendant environ 50mn) ce qui correspond au palier interface interne. Puis on fixe un deuxième palier à 1200°C. Comme il était prévisible, il n'y a pas de différence entre les comportements thermiques des 3 mortiers quelle que soit la nature des fibres. Il est à noter que la température de la face externe ne dépasse pas 100°C après 1h d'exposition.

4 Résistance mécanique résiduelle

Après chauffage, la résistance mécanique résiduelle est mesurée par le test précédemment décrit. Les résultats du poinçonnement sont transcrits dans le tableau 1. Il ne donne que des résultats comparatifs. Le comportement le meilleur, au sens résistance résiduelle est obtenu avec les fibres d'acier, leur quantité jouant également un rôle favorable. Les fibres de polypropylène améliorent elles aussi les résistances au poinçonnement mais dans une plus faible ampleur. Après chauffage, une partie des fibres de polypropylène est toujours présente côté face extérieure, le front de leur détérioration est voisin de 200°C.

Leur température de fusion voir de carbonisation est donnée par les manufacturiers à 250°C. Au-delà de cette valeur, la porosité qui en découle est réputée faciliter le transfert de vapeur et ainsi éviter le spalling. C'est ce dernier point que nous allons vérifier.

Tableau 1. Résistances au poinçonnement avant et après chauffage à 1200°C pendant 1h.

	Mortiers	Normal	Acier	Polypropylène	Mixte (A+pp)
Fmax (kN)	Non chauffé	27,5	40	33	37
Fmax (kN)	Chauffé	5	28,7	10,3	14,4
Fi/Fnormal	Non chauffé	1	1,45	1,20	1,35
Fi/Fnormal	Chauffé	0,18	1,04	0,37	0,52

5 Ecaillage durant la chauffe

Fig. 9. Test d'écaillage des différents mortiers.

Les mortiers fibrés sont adjuvantés de façon à réduire le rapport eau/ciment à 0,4. Ils sont ensuite exposés à la flamme. Après quelques minutes, ils s'écaillent quelles que soit la nature des fibres. La

figure 9 représente les échantillons fibrés qu'après 10mn de chauffe. Ils sont comparés au mortier normal non fibré qui, lui, n'a pas présenté d'écaillage après 1h de chauffe. Il est évident que le rôle des fibres est à proscrire pour les mortiers de faible rapport eau/ciment et qui doivent résister à la flamme.

6 Conclusion

Le comportement mécanique de mortiers normalisés, de mortiers renforcés de fibres d'acier, de mortiers avec fibres de polypropylène et de mortiers hybrides, traités thermiquement à 400°C, 600°C, 800°C et 1000°C a été étudié précédemment.

La présente communication rapporte l'influence du comportement à la flamme des mêmes matériaux. Le chauffage est réalisé à la flamme propane et atteint 1200°C. Le gradient de température est mesuré dans les mortiers : il s'avère que, après 1h d'exposition, la température atteint 500°C à 1cm de la flamme et ceci quelle que soit le fibrage. Après cette exposition, les échantillons sont testés par poinçonnement. Le fibrage est efficace en comparaison au matériau non fibré. Les fibres de polypropylène sont encore présentes à 200°C et jouent leur rôle. Les fibres d'acier améliorent nettement ce comportement suivant leur dosage.

Les résultats montrent que les fibres d'acier permettent de limiter l'endommagement des mortiers lors du traitement thermique. En effet, même si les fibres d'acier ne modifient pas les dégradations physico-chimiques, elles permettent de limiter la fissuration lors du traitement thermique et de contrôler la propagation de ces fissures lors du chargement mécanique.

Les fibres de polypropylène, en fondant dès 200°C, sont supposées créer une porosité permettant de limiter les pressions dues à l'évaporation de l'eau lors du traitement thermique, et ainsi de réduire la fissuration lors de ce traitement. Pour vérifier cette donnée non avons conçus des mortiers fibrés mais avec un rapport eau/ciment=0,4. Cet essai s'est accompagné très rapidement d'écaillage quelle que soit la nature des fibres. Des essais complémentaires sont à réaliser avec un taux de fibrage en polypropylène plus élevé afin d'établir des connections entre pores.

Références

1. A. Serdar, Y. Halit, B. Bulent, Construction and Building Materials, **22**, 504-512 (2008)
2. Y.F. Fu, Y.L. Wng, C.S. Poon, C.A. Tang, P. Lin, **33**, 789-797 (2004)
3. M. Ezziane, L. Molez, R. Jauberthie, D. Rangeard, European Journal of Environmental and Civil Engineering, **15**, 715-726 (2011)
4. P. Kalifa, F.D. Menneteau, D. Quenard, Cement and Concrete research **30**, 1915-1927 (2000)
5. H. Young-Sun, J.G. Sanjayan, H. Cheon-Goo, H. Min-Cheol, Construction and Building Materials, **25**, 2928-2938 (2011)