



Du côté des essais : Investigation des paramètres d'influence de l'affaissement sous charge

Selon la norme ISO 1893, la méthode d'affaissement sous charge permet de déterminer la déformation (différentielle) de produits réfractaires denses et isolants, soumis à une charge constante et à une chauffe à vitesse constante. Le champ des matériaux façonnés est régi par la norme EN ISO 1893 [2007], tandis que les essais sur les produits non façonnés sont décrits par la norme EN ISO 1927-6 [2012]. La température T_0 extraite des résultats d'affaissement figure parmi les plus importantes propriétés d'un produit réfractaire, car elle donne accès à une estimation de la température maximale de service, i.e. $T_0 - 200^\circ\text{C}$. Globalement, le fait que la méthode citée participe à la sécurité des installations haute température recueille un vaste consensus. Ainsi, le procédé expérimental se doit d'être pleinement maîtrisé, de façon à fournir une estimation la plus fiable possible des performances du matériau testé : l'évaluation des effets des possibles paramètres d'influence en est le meilleur moyen.



Cadre de l'investigation

La présente campagne s'inscrit dans le cadre du projet collaboratif européen ReStaR, acronyme de *REview and improvement of testing STAndards for Refractory products*. Ce projet, qui lie 8 laboratoires et 2 fabricants de matériaux, vise à une complète investigation des méthodes d'essais actuelles, dont l'affaissement sous charge, afin d'être force de suggestion pour l'amélioration des normes associées. Pour l'essai qui nous concerne, 3 types de matériaux sont étudiés : à savoir, une brique dense haute teneur en alumine, une brique isolante silico-alumineuse et un béton coulable haute teneur en alumine.



Forschungs-Gemeinschaft
Feuerfest e.V.



Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych



Review and improvement
of testing Standards for
Refractory products

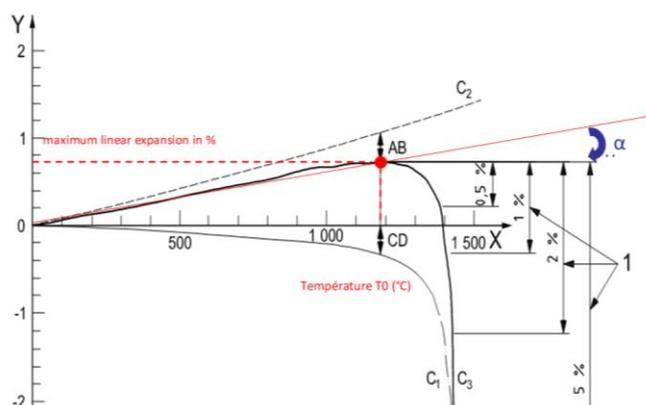
European
Commission
Research Executive Agency

Déroulement de l'étude

L'investigation s'articule autour de 3 étapes, pour appréhender au mieux les multiples aspects de la présente méthode de test. La première campagne – réalisée par ICAR – permet de déterminer les paramètres d'influences les plus pertinents, parmi ceux dont on imagine avoir un impact significatif. La deuxième campagne – réunissant 4 laboratoires – a pour but de conforter les résultats précédemment établis, mais aussi d'optimiser les valeurs des paramètres significativement influents, en termes de praticité et de répétabilité / reproductibilité des résultats. Enfin, la 3ème campagne – regroupant 8 laboratoires (cf. logos ci-dessus) – s'inscrit dans une volonté de questionnement des normes d'essais et de production de données pour alimenter le processus d'optimisation mais également l'analyse statistique de dispersion des données.

Paramètres d'essais

En prenant en compte l'équipement, les conditions du process et la préparation des éprouvettes, un nombre conséquent de paramètres est potentiellement intéressant pour la quantification de leurs effets sur le signal et/ou le bruit. Par exemple, les dimensions de l'éprouvette (hauteur, diamètre) peuvent être étudiées dans une optique de réduction de matière. Dans un souci de praticité, l'étape d'extraction de l'éprouvette peut être simplifiée et l'étape de rectification peut être supprimée, si la preuve scientifique en est fournie. Enfin, la méthode de test peut gagner en flexibilité avec l'assouplissement des conditions de process, comme le chargement mécanique appliqué à l'éprouvette et la position du thermocouple de mesure.





Outils

Les investigations qui ont été menées ont fait appel à un outil particulier bien connu des analystes : le plan d'expérience factoriel fractionnaire. Basé sur une matrice d'expérience de type Hadamard, le **plan de Plackett & Burman** est spécifiquement dédié à l'étude de nombreux paramètres, tout en minimisant le nombre d'expériences à réaliser, mais en maximisant la qualité des informations obtenues. La figure suivante présente pour information un exemple de matrice d'expérience utilisée pour l'étude des briques denses dans le cadre de la campagne n°1. En termes d'analyse statistique des données, les outils logiciels suivant ont été utilisés : GUMsim dédié à l'évaluation des incertitudes de mesure expérimentale, OptIVAL dédié à la planification et à l'optimisation des plans factoriels et PROLab pour l'analyse statistique des résultats d'essais inter-laboratoire de grande envergure.

exp	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1	+	+	+	+	-	+	-	-
2	+	-	+	+	+	-	+	-
3	+	-	-	+	+	+	-	+
4	+	+	-	-	+	+	+	-
5	+	-	+	-	-	+	+	+
6	+	+	-	+	-	-	+	+
7	+	+	+	-	+	-	-	+
8	+	-	-	-	-	-	-	-



Quelques résultats

Concernant l'étude des **briques denses haute teneur en alumine**, le **chargement appliqué** à un effet significatif sur les résultats de mesure, en abaissant la valeur de T0 lorsque la charge est augmentée (+10% de la valeur nominale dans la campagne qui nous intéresse). Ceci confirme la nécessité du soin à apporter à la mise en charge de l'éprouvette, compte tenu de sa section réelle. L'étape de **rectification** des éprouvettes s'avère, quant à elle, d'une grande importance pour éviter une sous-estimation significative des performances des matériaux et une dégradation de leur dispersion. Enfin, l'utilisation d'un **feuille de platine** – requise dans le cas d'une réaction chimique potentielle entre disques d'alumine et éprouvette – semble avoir un impact négatif sur les valeurs de température d'affaissement et leur dispersion, ce qui déconseille une utilisation systématique des feuilles.

Concernant l'étude des **briques isolantes silico-alumineuses**, la **hauteur** de l'éprouvette semble affecter significativement les résultats d'affaissement, tant en termes de signal que de dispersion : en effet, comparativement à une hauteur étudiée de 30mm, la hauteur nominale de 50mm aboutit aux plus hautes valeurs de températures et à une dispersion améliorée.

Concernant l'étude des **non-façonnés**, les paramètres étudiés n'ont révélé **aucune influence** majeure sur les résultats. Seul la **rectification** conduit à un effet significatif positif sur la dispersion des résultats.

Enfin, la 3ème campagne a permis de révéler l'absence de corrélation forte entre la position de l'éprouvette dans la brique initiale et les résultats d'affaissement, et ce pour les briques denses et isolantes. Ceci irait dans le sens d'un assouplissement des précautions usuelles prises dans le cadre de l'extraction des éprouvettes, communément réalisée au centre de l'item.

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

- MALDHURE A.V., TRIPATHI H.S., GHOSH A.

Aspects récents de la recherche sur les réfractaires en Inde (Some aspects of recent refractory research in India)

Refractories Worldforum, vol. 7, n°4, 10/2015, pp. 49-56, 9 tab., bibliographie (34 réf.), ANG.

Un état de l'art de la recherche indienne sur les réfractaires est présenté. Celle-ci est largement guidée par les divers aspects liés à l'amélioration du produit réfractaire en terme de durée de vie. Les activités de recherche incluent principalement l'amélioration des propriétés des matières premières disponibles naturellement par des méthodes techno-économiques viables et le développement d'agrégats synthétiques. D'autres pistes d'activités sont le développement de réfractaires à base de carbone incluant différents antioxydants, la réduction de la teneur en carbone par l'utilisation de nanomatériaux et le revêtement de la surface carbone par des oxydes.

Mots clé : INDE. R&D. MATIERE PREMIERE. PRODUIT REFRACTAIRE. DUREE VIE – INDIA. R&D. RAW MATERIAL. REFRACTORY PRODUCT. LIFETIME

- WEBER H.

Fours rotatifs – Equipement de mise en œuvre pour le traitement thermique de solides denses (Rotary kilns – Processing equipment for the heat treatment of bulk solids)

CFI Ceramic Forum International, vol. 92, n°10-11, 10- 11/2015, pp. E149-E152, 9 fig., bibliographie (5 réf.), ANG.

Les fours rotatifs sont fréquemment utilisés pour le traitement thermique de solides denses. Leurs applications s'étendent des produits pharmaceutiques et chimiques aux matériaux de construction (ciment) en passant par les matériaux fondus, les substrats de catalyses ou les matériaux abrasifs. Dans tous les cas, le procédé de traitement thermique doit être adapté au type de solide dense. De nos jours, en complément d'une large gamme de fours industriels différents, les fours rotatifs sont principalement utilisés. Cet article présente ces équipements de cuisson.

Mots clé : TRAITEMENT THERMIQUE. FOUR ROTATIF – THERMAL TREATMENT. ROTARY KILN



**Bibliographie (suite)**

- MIZUMA Y., OHATA H., TOMONO H.

Développement d'une nouvelle méthode de gunitage à sec (Development of new dry gunning method)

Journal of the Technical Association of Refractories, Japan, vol. 35, n°03, 10/2015, pp. 185-187, 7 fig., 2 tab., bibliographie (2 réf.), ANG.

Un nouveau système de gunitage à sec récemment développé est capable de former une couche pour la réparation de revêtements réfractaires de fours semblable à celle fournie par un système humide sans les opérations d'installation fastidieuses de ce type de mécanisme. De plus, c'est une méthode qui peut être appliquée à la fois en conditions froides ou chaudes.

Mots clé : REFRACTAIRE. FOUR. REVETEMENT. GUNITAGE – REFRACTORY. FURNACE. COATING. GUNNING

- KREUELS N., SCHAFFHAUSER H., OSTRANDER D., ET-AL.

Amélioration de bétons réfractaires avec un système innovant de liant d'aluminate de calcium (Improvement of refractory castables with an innovative calcium aluminate binder system)

Refractories Worldforum, vol. 7, n°4, 10/2015, pp. 88-93, 11 fig., 5 tab., ANG.

Les propriétés et performances de bétons réfractaires ne dépendent pas uniquement du type et de la teneur en ciment d'aluminate de calcium utilisé mais sont largement influencées par les interactions entre le ciment et les agrégats choisis pour un système donné. Le ciment interagit avec les agrégats fins mais également avec les autres éléments présents dans le système liant comme l'alumine, la micro-silice et divers mélanges. L'optimisation de ce système complexe est essentielle pour le paramétrage rhéologique et les propriétés réfractaires du béton.

Mots clé : BETON REFRACTAIRE. ALUMINATE CALCIUM. CIMENT. RHEOLOGIE – REFRACTORY CASTABLE. CALCIUM ALUMINATE. CEMENT. RHEOLOGY

- ERAUW J.-P., MASTROIANNI I., LARDOT V., ET-AL.

Etude des facteurs principaux susceptibles d'influencer les résultats d'essai du module de rupture de matériaux réfractaires (Investigation of the main factors susceptible to influence the modulus of rupture testing results of refractory materials)

Refractories Worldforum, vol. 7, n°4, 10/2015, pp. 95- 103, 12 fig., 11 tab., bibliographie (3 réf.), ANG.

Divers facteurs susceptibles d'influencer les résultats d'essais du module de rupture de produits réfractaires sont scrupuleusement sélectionnés et analysés afin d'identifier les plus significatifs. Ces facteurs ont été choisis selon des paramètres déjà établis dans les normes européennes actuelles. Ainsi, il a été découvert que seule la géométrie de l'éprouvette affecte significativement les résultats d'essai du module de rupture. D'autres facteurs, comme par exemple la charge volumique, ont un effet mineur et non significatif.

Mots clé : REFRACTAIRE. MODULE RUPTURE. NORMALISATION. EPROUVETTE – REFRACTORY. RUPTURE MODULUS. STANDARDISATION. TEST BAR

FORMATIONS A VENIR

- o Du 15 au 18 mars 2016 à Moncel-lès-Lunéville
- o Du 20 au 23 septembre 2016 à Moncel-lès-Lunéville

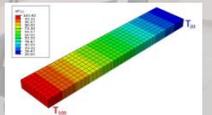
Les matériaux réfractaires : Généralités – ST1

- o Du 14 au 17 juin 2016 à Moncel-lès-Lunéville
- o Mise en œuvre des matériaux réfractaires – ST2

- o Du 21 au 23 novembre 2016 à Moncel-lès-Lunéville (ST3.1)
- o Du 23 au 25 novembre à Moncel-lès-Lunéville (ST3.2)

Tenue en service – ST3.1 / Traitement des réfractaires usagés – ST3.2

- o Le 04 octobre 2016 à Moncel-lès-Lunéville
- o Formation au calcul thermique



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...



Toute l'équipe d'ICAR vous souhaite de bonnes fêtes de fin d'année 2015 et d'ores et déjà une bonne année 2016

