

Conception d'un canal avant-corps

Steps in forehearth design

John J McMinn
Emhart Glass

Beaucoup d'étapes et de points précis doivent être pris en considération lors de la conception d'un canal avant-corps et, heureusement, la plupart sont basés sur des principes mathématiques et techniques bien connus. La conception du canal 340 Emhart Glass est tout cela à la fois.

Ce canal avant-corps est à l'avant-garde de la technologie en la matière. C'est un produit d'innovation, issu de la modélisation mathématique et physique et de nombreuses années d'expérience dans la réalisation des "forehearths".

There are many steps and considerations in forehearth design and, fortunately, the majority of these are based on sound mathematical and engineering principles. This design of the Emhart Glass 340 Forehearth is all of that. The 340 Forehearth is at the cutting edge of forehearth technology, a product of innovation, mathematical and physical modeling and many cumulative years of forehearth experience

Les exigences d'un canal avant-corps

La première étape, lors de la conception, est de bien définir le problème. Il y a beaucoup d'éléments, tant internes qu'externes, qui vont à l'encontre et gênent le conditionnement thermique dans les canaux avant-corps. Le flux de verre, la perte de chaleur structurale, la perte de chaleur asymétrique, l'influence de canaux avant-corps adjacents et les fluctuations intrinsèques du four, sont des éléments à prendre en compte et à intégrer comme objectif dans la conception du canal avant-corps et ses systèmes annexes. L'interaction de ces influences dans le canal avant-corps est extrêmement complexe et les demandes de production, meilleures en qualité et à la fois plus légères en poids, rendent la tâche de conception du canal avant-corps également plus compliquée.

En traitant le procédé comme un problème abstrait, nous sommes

en présence d'un lit de verre contenant des gradients thermiques et s'écoulant dans un réfractaire et le long de ses parois, à travers lesquelles le verre perd de la chaleur par conduction. Le transfert de chaleur dans le verre s'opère principalement par radiation et la chaleur gagnée ou perdue par le verre se fait par la radiation venant ou allant vers la surface du verre. Tous ces facteurs influencent, et dans certains cas multiplient, les gradients thermiques dans le verre. Le but est de dissiper ces gradients tout en réduisant la température globale du verre.

Pour réduire cette température globale à un niveau compatible avec les conditions de formage, une certaine forme de refroidissement est nécessaire. Pour dissiper les gradients thermiques dans le verre, une certaine forme de refroidissement et de ré-chauffage sélectifs est essentielle.

Dans le fonctionnement du canal avant-corps, la surface du verre, la

surface du réfractaire de la superstructure et les températures relatives de ces surfaces jouent un rôle crucial dans le conditionnement thermique. La capacité à contrôler, de façon sélective, les températures superficielles des réfractaires et du verre est une fonction clef de la conception du canal avant-corps. Bien que nous puissions ajouter de la chaleur par un système de combustion et en extraire par le circuit de refroidissement, les questions techniques associées à la sélectivité ou l'orientation de la chaleur à ôter ou à apporter sont considérables.

Le bloc de voûte du canal avant-corps est un élément critique dans la conception du forehearth. En effet, toutes les conceptions de canal avant-corps actuelles peuvent être identifiées par le profil de leurs blocs de voûte. Ces blocs agissent non seulement comme une couverture réfractaire mais comme un séparateur, un radiateur et un régulateur de pression

de la chambre de combustion. Le bloc de voûte, en même temps que la configuration des cheminées utilisées, déterminent l'efficacité tant du refroidissement que des fonctions de réchauffage dans le canal avant-corps.

Utilisation de la modélisation mathématique

La connaissance de la configuration des conduites, du profil du bloc de voûte et de l'interaction avec les gaz de combustion et l'air de refroidissement, est cruciale pour la conception. Le meilleur outil disponible, pour étudier ces interactions complexes et l'effet sur l'homogénéité de température du verre, est la modélisation mathématique.

de verre) dans la chambre du canal avant-corps. Trois flux sont contrôlés comme un moyen de séparer les composants de chauffage et de refroidissement. La séparation du chauffage et du refroidissement est indispensable pour maximiser l'effet de chaque entrée, et régler l'aspect de sélectivité du contrôle de la radiation. Dans le canal avant-corps type 540, on garantit la séparation entre le refroidissement de l'air et les gaz de combustion grâce aux régulateurs sur le circuit de refroidissement. Dans des canaux avant-corps à refroidissement direct, cependant, on ne garantit pas cette séparation et, dans bien des cas, cet aspect est inhérent à la conception. Tôt dans le développement de la recherche, les résultats ont indiqué

La figure 2 représente une configuration à cinq cheminées qui, avec quelques modifications mineures, a servi de base au développement du canal avant-corps 340.

Cette conception emploie simultanément un circuit unique de double refroidissement. On utilise une combinaison de régulateurs-tampers du refroidissement et un refroidissement direct par convection forcée. Dans le mode refroidissement, les deux circuits de refroidissement fonctionnent ensemble. Ils sont alimentés et contrôlés par une seule valve de contrôle d'air, montée dans la canalisation de refroidissement. La configuration consiste en une conduite centrale placée à l'extrémité de la zone, directement au-

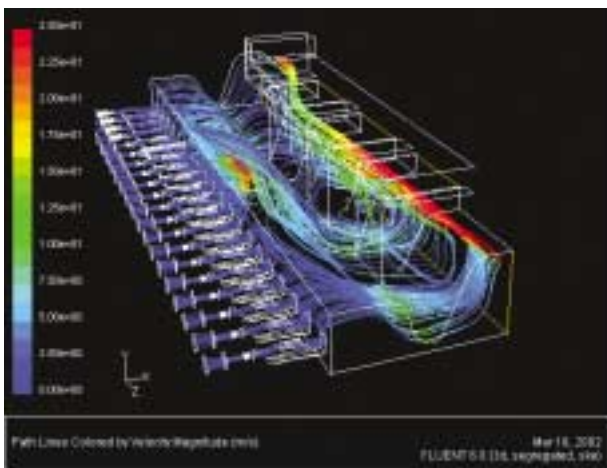


Figure 1. Configuration d'un forehearth à 3 cheminées

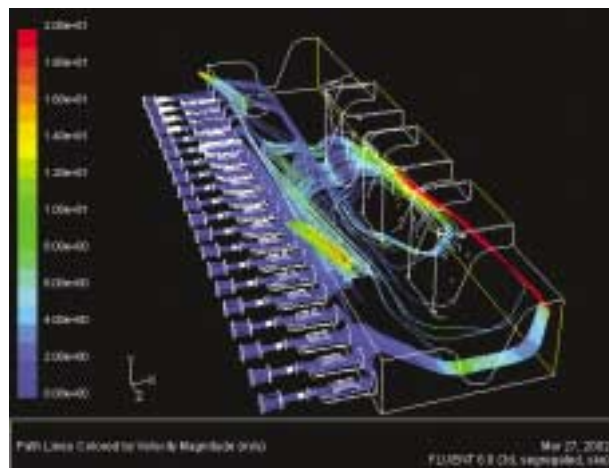


Figure 2. Configuration à 5 cheminées – la base pour la conception du 340

Alors que le bloc de voûte est d'importance incontestable, le nombre, la position et la géométrie des cheminées d'échappement déterminent en grande partie les passages de flux de l'air de refroidissement et des gaz de combustion dans le canal avant-corps. La figure 1 représente une étude de configuration à trois cheminées suggérée au départ dans le développement du canal avant-corps type 340. Dans cette conception, l'air de refroidissement est forcé longitudinalement (en direction du flux

que la conception à trois cheminées et refroidissement direct offre véritablement un degré de séparation. Mais il est insuffisant pour optimiser le déplacement de chaleur et le potentiel de conditionnement thermique du canal avant-corps. De même que la recherche avec modélisation mathématique a progressé, différentes configurations, positions et géométries de cheminées ont été étudiées et une configuration optimum a été identifiée.

dessus du lit central de verre avec, de nouveaux, deux cheminées sur chaque côté du canal avant-corps, placées directement au-dessus des combustions latérales. La superstructure du canal avant-corps est aussi configurée avec une cheminée séparée, non contrôlée qui est utilisée pour l'évacuation de l'air de refroidissement à travers des tampons régulateurs. Tandis que le double circuit de refroidissement et le contrôle sophistiqué des cheminées fournissent un degré sans précédent

de puissance de refroidissement, et conviennent clairement à des applications à haut tonnage, les avantages peuvent être ressentis aussi là où les besoins d'une isolation beaucoup plus importante se font sentir sur l'infrastructure du canal avant-corps. Des pertes de chaleur inférieures par l'infrastructure conduisent à des améliorations dans les niveaux d'homogénéité thermiques et permettent aussi au canal avant-corps de se stabiliser plus rapidement (par exemple, lors des changements de fabrication).

Le contrôle des cinq cheminées d'échappement détermine efficacement le débit de l'air de refroidissement et des gaz de combustion, tant longitudinalement que latéralement, dans la chambre du canal avant-corps. Cela détermine aussi les températures superficielles relatives du flot de verre et les blocs de voûte de canal avant-corps et fournit par conséquent un mécanisme puissant pour sélectivement apporter ou enlever de la chaleur au verre, assurant un contrôle serré du processus de conditionnement thermique.

Du modèle à l'ingénierie

L'étape suivante dans le processus de conception est de convertir le modèle mathématique en réalité technique. L'importance du contrôle des cheminées a été identifié comme un facteur critique dans le fonctionnement de ce que devait devenir le Forehearth 340. De nombreuses cheminées et divers mécanismes de contrôle des blocs tampon ont été considérés en termes de contrôle et de comportement linéaire. Le déplacement vertical des blocs tampons a été utilisé dans la conception des forehearths pendant de nombreuses années mais le degré de contrôle des flux autorisé par ce mécanisme est limité. Le contrôle de l'échappement est limité à une



Figure 3. Le contrôle du flux d'échappement type 340

gamme étroite de blocs tampons, et même à l'intérieur de cette gamme, il est inadéquat. Des configurations de blocs tampons suspendus ont aussi été adoptées, mais n'ont apporté que de faibles améliorations. Le problème principal est que le degré de contrôle de chaque conception diminue lorsque l'ouverture du tampon augmente. Pour réaliser le degré de contrôle du flux exigé pour une conduite optimale du canal avant-corps, un contrôle linéaire et plus précis des tampons est impératif.

Les Forehearth 340 utilisent une combinaison cheminée et bloc tampon, telle qu'elle est représentée sur la figure 3, où le bloc tampon et la conduite restent toujours en contact pendant tout le cycle d'ouverture du tampon. Dans ce système, l'ouverture du flux d'échappement est directement proportionnelle à la position du tampon avec, pour résultat, un contrôle très nettement amélioré. Les problèmes d'usure potentielle, du fait du contact permanent bloc tampon et cheminée, ont été réso-

lus par un choix de matériaux réfractaires tout à fait appropriés.

En fonctionnement, l'ouverture de la conduite peut être contrôlée exactement, et de façon linéaire, en modulant la position du bloc tampon sur la cheminée à l'aide d'un arbre de liaison solidaire de la superstructure métallique. La résistance en friction associée à un tel montage est réduite au minimum en limi-

tant la surface de contact entre le bloc tampon et la cheminée. Une faible résistance en friction n'exige qu'un couple limité pour sa commande. Un tel système de commande ne nécessite pas de contre-poids comme ceux, fréquemment utilisés, sur d'autres configurations de canal avant-corps.

Dans le mode "refroidissement", la conduite centrale est utilisée pour contrôler l'échappement du circuit de refroidissement direct. Pendant le mode réchauffage, avec les blocs tampons latéraux entièrement fermés, la conduite centrale est utilisée pour évacuer les gaz de combustion. Les blocs tampons latéraux sont aussi automatiquement contrôlés et leur position décidée suivant le débit d'air de refroidissement.

À cause des températures plus basses associées aux blocs du tampon et de la cheminée, les blocs tampons sont souvent contaminés par des condensats de gaz de combustion et de verre. Dans un système où les tampons se déplacent, il existe la possibilité d'éliminer par le

contact (grattage) cette contamination résultante.

Dans le canal avant-corps 340, chacune des 5 cheminées a été conçue avec un système-gratteur unique et un piège associé. Par le mouvement du tampon sur le bloc de conduite, les condensats sont grattés de la surface du tampon et déposés dans une chambre secondaire du bloc de la cheminée. On accède à cette cavité par une ouverture sur le côté pour permettre aux condensats d'être enlevés au cours de la maintenance normale.

Contrôler la position du bloc tampon

L'étape suivante, dans la conception, était de chercher comment moduler au mieux les systèmes de blocs tampons.

Un élément crucial de contrôle d'un système multi-tampons, est la capacité à résister à l'environnement agressif au niveau de la voûte du canal avant-corps sans avoir besoin de réglage ou de maintenance fréquents. Cette condition était fondamentale pour la conception du système 340 de commande des tampons. Ce système, montré dans la figure 4, utilise trois arbres de contrôle en liaison. Chaque tampon est connecté à son arbre de commande par des biellettes et des accouplements d'arbre à réglage rapide. La modulation est réalisée au moyen d'une liaison mécanique. Les biellettes de liaison entre l'arbre de contrôle principal et les deux autres arbres fournissent le même degré de contrôle aux trois arbres. Une fois réglés, les systèmes de tampons et les mécanismes de contrôle n'exigent aucun nouvel ajustement. De plus, l'utilisation de roulements et pièces spéciales haute température offre un système à maintenance excessivement réduite.



Figure 4. Système de commande des tampons type 340

Vérification des solutions techniques

La phase de prototype du processus de conception a impliqué la construction du premier canal avant-corps 340 dans des conditions à "froid". Cela a permis d'étudier individuellement les mécanismes dans le contexte du système complet. Pendant ces essais, le système de commande du refroidissement était simulé en continu par cycle de 24 heures jusqu'à ce que chaque composant ait été testé et vérifié.

Le canal avant-corps 340 a été conçu avec une superstructure métallique au profil abaissé. Cette structure métallique, en plus de fournir une tenue verticale et latérale aux blocs de voûte, soutient aussi le mécanisme de contrôle tampons et les systèmes de refroidissement.

La première production 340

Nous avons, avec succès, mis en service le premier canal avant-corps type 340 aux Etats-Unis au

début janvier 2003 sur une ligne produisant des flasques vertes à vin, de 1,5 litres. Les avantages du système étaient évidents et immédiats et mesurables en termes d'homogénéité thermique et taux de rendement en hausse sensible. Les résultats de la modélisation mathématique ont été vérifiés et l'innovation du système de commande de refroidissement prouvée. Ce canal avant-corps a maintenant fonctionné dans une grande variété de conditions de production. Il a, de façon continue, produit un verre correctement conditionné sur le plan thermique et stable au fil du temps. Le système suscite un intérêt indéniable venant des trois continents et la première installation européenne de deux canaux avant-corps 340 est déjà projetée.

Les étapes depuis la conception du canal avant-corps jusqu'à la mise en route, ont pris 12 mois d'étude, de conception, d'innovation et d'essais. Le canal avant-corps Emhart 340 est prêt pour devenir synonyme de conditionnement de verre ■