



Au sommaire

- 8 De l'innovation dans le polissage des moules
- 16 Le Contrôle Non Destructif :
l'actualité des méthodes, tendances et perspectives
- 26 Indispensables abrasifs, quelquefois mal connus...
- 48 Perspectives 2017 des principaux secteurs
clients de la forge et de la fonderie

SinterCast supermetal CGI

SinterCast Interview – Forge Fonderie

Revue Forge Fonderie : pouvez-vous brièvement résumer l'histoire de la fonte à graphite vermiculaire (FGV) et de la participation au développement de SinterCast sur le marché ?

Steve Dawson, President and CEO :

Tout d'abord, la fonte grise à graphite vermiculaire (FGV), aussi appelée fonte à graphite compact (*Compacted Graphite Iron - CGI*) a été observée et documentée pour la première fois en 1948. A cette époque, les chercheurs essayaient d'améliorer la résistance de la fonte grise et ils ont découvert que l'addition de 0,030 - 0,070 % de magnésium transformait les lamelles de graphite en particules sphéroïdales - c'était la découverte de la fonte ductile. A cette même époque, ils ont aussi trouvé que, quand l'addition de magnésium était dans une fourchette comprise entre 0,008 et 0,015 %, le graphite germait sous forme vermiculaire - c'était la découverte de la fonte à graphite vermiculaire. Les chercheurs ont alors déposé des brevets pour ces deux fontes en 1948.

Il est compréhensible que le développement initial se soit concentré sur la fonte ductile - la fourchette de production étant plus grande et la résistance plus élevée. Malgré cela, il y a eu quelques tentatives d'industrialisation de la fonte vermiculaire, en particulier dans les années 1970 et au début des années 1980, lorsque les équipementiers automobiles ont manifesté de l'intérêt pour le matériau. Malheureusement, en raison de la fourchette étroite, ces tentatives ont été

SinterCast est le premier fournisseur mondial de technologie de contrôle *process* pour la production de fonte à graphite vermiculaire. Avec 44 installations dans 13 pays, la technologie SinterCast est principalement utilisée pour la production de blocs-cylindres de moteurs essence et Diesel et de composants d'échappement pour les véhicules de tourisme, de blocs-cylindres pour véhicules utilitaires et moteurs industriels, et aussi de composants pour applications de moteurs marins, ferroviaires, hors route et stationnaires.

SinterCast a officiellement lancé sa nouvelle technologie Ladle Tracker™ en 2016, afin de surveiller et d'enregistrer la présence et le statut de chaque poche de coulée au fur et à mesure de sa progression dans les ateliers de fonderie. Cette technologie offre aux responsables de fonderies un moyen de contrôle, de mesure et d'amélioration du *process* et de la productivité au sein de la fonderie.

infructueuses. Au moment où SinterCast est entré sur le marché en 1990, il y avait un certain scepticisme envers la fonte vermiculaire - l'appréciation prédominante était que la fonte vermiculaire n'était pas adaptée pour la production en grande série.

SinterCast a été officiellement créé en 1983. A cette époque, un professeur de l'Université de Stockholm a déposé un brevet sur une technologie de contrôle pour la fonte vermiculaire. Parallèlement, il a enregistré la société SinterCast (en raison de ses intérêts de recherche dans le frittage et le moulage) et a attribué le brevet à la société. La recherche s'est poursuivie avec le professeur et ses étudiants au cours des

années 1980 et les activités commerciales ont débuté vers 1990. A cette époque, le professeur a obtenu un financement initial et recruté une petite équipe d'ingénieurs fonderie, d'ingénieurs moteur et de cadres. Un siège social a été établi à Detroit et un ancien ingénieur en chef de General Motors a été nommé président. J'ai été recruté en 1991 en tant que directeur technique.

De 1990 à 1995, nous avons présenté notre technologie aux fonderies, discuté des propriétés du matériau et des avantages pour la conception de moteurs avec les fabricants d'équipements d'origine (FEO, en anglais *Original Equipment Manufacturer - OEM*). Certains des premiers travaux

par les FEO ont débuté dans le domaine de la course automobile et aujourd'hui, quel que soit le constructeur, tous les moteurs NASCAR sont en fonte à graphite vermiculaire (produits en Angleterre avec le processus de contrôle SinterCast). De 1996 à 1999, nous nous sommes concentrés sur le développement de solutions d'usinage pour faire face à une plus grande résistance de la fonte vermiculaire. Et, en 1999, nous avons eu notre première série de production, avec le début de la production du bloc-moteur Diesel Audi 3,3 litres V8. Les volumes étaient seulement d'environ 10 000 blocs par an, mais nous avons notre premier moteur fonctionnant avec succès sur la route. L'étape suivante fut la production de volumes élevés pour Ford et Audi pour les blocs-moteurs Diesel 2,7 et 3,0 litres V6. L'approbation du programme a été approuvée en 2001 avec SOP (Start of production) en 2003. Ces moteurs sont toujours en production, avec un volume combiné d'environ 400 000 par an. Les premières références de véhicules utilitaires ont commencé par l'introduction des émissions Euro 4 en 2005, et un plus grand nombre de FEO ont adopté la fonte vermiculaire pour chaque nouvelle génération de moteurs. Notre dernière percée, en 2014, a été avec le début de la production en grand volume des moteurs essence Ford 2.7 et 3,0 litres, utilisés dans six différents véhicules Ford et Lincoln. Par exemple, le bloc moteur de 3,0 litres V6 fournit 400 chevaux.

Globalement, le développement de la fonte vermiculaire a nécessité cinquante ans, de 1948 à 1999. Depuis, les moteurs en fonte vermiculaire ont fait leurs preuves sur la route et ont apporté de la confiance aux constructeurs, ce qui a alimenté la croissance. En 2016, plus d'un million de moteurs en fonte vermiculaire a été produits. Nous aurions aimé que le développement soit plus rapide et plus important, mais c'est une belle réussite.

RFF : quelles sont les applications principales de la fonte vermiculaire ?

Steve Dawson : notre gamme de production en série varie de 2,7 kg à 9 tonnes, donc il y a beaucoup de variétés. Les pièces les plus petites sont des boîtiers de turbocompresseur pour les véhicules particuliers et la pièce la plus grosse est un châssis moteur pour Allen Diesel (anciennement Rolls-Royce) pour les moteurs thermiques de groupes stationnaires.

Si nous considérons la forme du graphite dans les fontes, nous pouvons définir les opportunités et les applications pratiques de la fonte vermiculaire. Les longues lamelles de graphite résultent en une bonne coulabilité et une bonne conductivité thermique tandis que les particules sphéroïdales dans la fonte fournissent une bonne résistance et une bonne rigidité au détriment de la coulabilité et de la conductivité thermique. Le graphite vermiculaire est une forme intermédiaire combinant les bonnes propriétés des deux types de fonte citées, légèrement à moindre effet, et est donc optimal pour des applications qui subissent simultanément des charges thermiques et mécaniques. Les particules de graphite sont allongées et orientées au hasard comme dans la fonte grise, cependant elles sont plus courtes et plus épaisses, avec des extrémités arrondies. Si vous avez seulement besoin de résistance, comme dans un vilebrequin, la fonte ductile est préférée. Mais si vous avez besoin de résister aux charges thermiques et mécaniques, la fonte vermiculaire peut être la meilleure solution.

L'application la plus évidente pour la fonte vermiculaire est pour les blocs-moteurs et les culasses. Dans les blocs-moteurs, nous réalisons habituellement de 10 à 15 % de réduction de

pois par rapport à la fonte grise tout en offrant une meilleure durabilité. Nous avons également des blocs Diesel en production jusqu'à 9,0 litres avec chemises de cylindre intégrées en raison de la meilleure résistance à l'usure de fonte vermiculaire par rapport à la fonte grise. Une extension à ceci est que la fonte vermiculaire peut être employée pour les chemises de cylindre Diesel pour les poids lourds. Pour les culasses, nous avons des références de production en série de 5 à 95 litres, pour les camions utilitaires, les tracteurs, les véhicules utilitaires, les camions miniers, les applications de groupes stationnaires et les applications ferroviaires.

Les autres composants de la production comprennent des boîtiers de turbocompresseurs et des collecteurs d'échappement. Ces composants, fabriqués en fonte vermiculaire SiMo, offrent une meilleure coulabilité que la fonte ductile, sont plus performants pour répartir les charges thermiques et sont suffisamment solides pour supporter les composants des gaz d'échappement. Nous soutenons également la production de segments de piston en fonte vermiculaire pour les grands moteurs à 2 temps, de 200 à 980 mm de diamètre, pour les applications marines. Initialement, le segment de piston supérieur était en fonte vermiculaire pour résister aux charges thermiques et de compression élevées alors que les trois segments inférieurs étaient en fonte grise. Mais aujourd'hui, il y a des pistons avec trois anneaux en vermiculaire qui remplacent l'ancienne combinaison 1 (vermiculaire) + 3 (fonte grise), offrant une meilleure durabilité à un coût total plus faible. Notre expérience en segments de piston a également conduit au développement de cylindres de diamètre entre 350 à 980 mm pour des poids de pièces individuelles allant de 2,5 tonnes à 10 tonnes.

RFF : quels ont été les principaux marchés qui ont contribué à la croissance de la fonte vermiculaire ? Quelles sont les nouvelles opportunités de marché ?

Steve Dawson : la fonte vermiculaire a connu une croissance tant en tonnage qu'en nombre de demandes ces dernières années. Ses propriétés sont très bénéfiques pour les concepteurs de moteurs. Comparée à la fonte grise, la fonte vermiculaire est 75 % plus résistante, 45 % plus rigide et fournit le double pour la résistance à la fatigue. Cette augmentation de la résistance permet aux moteurs d'avoir une augmentation de la pression maximale (Pmax) et une performance spécifique améliorée (puissance par litre). Dans les applications hors route, la fonte vermiculaire est utilisée pour augmenter les performances tout en assurant la durabilité, par exemple pour augmenter la puissance d'un moteur existant ou, dans un nouveau design, pour obtenir les performances d'un moteur de 15 litres à partir d'un moteur de 12 ou 13 litres. La plupart des moteurs fonctionnent près de la limite de durabilité, il n'est donc pas possible de faire des améliorations significatives de performance sans recourir à des matériaux plus résistants.

Nous avons plusieurs programmes de moteurs pour véhicules utilitaires en Europe et en Asie où la fonte grise est utilisée pour le « moteur de base » et la fonte vermiculaire est utilisée pour le bloc-cylindres et la culasse, notamment pour les moteurs de puissance élevée. Les fabricants utilisent les mêmes outils de fonderie et la même ligne d'usinage, mais substituent la fonte vermiculaire pour améliorer les performances et la durabilité. D'après le test de fatigue thermique standardisé développé par AVL en Autriche, la fonte vermiculaire fournit approximativement le double de la durée de vie en fatigue par rapport à la fonte grise.

Un autre facteur de croissance principal

correspond à la recherche croissante pour plus de puissance et un besoin de réduction du poids tout en assurant la durabilité. Dans les applications pour véhicules particuliers, la fonte vermiculaire fournit 20 à 30 % de moins en distorsion d'alésage. Cette intégrité dimensionnelle améliorée permet une réduction de la tension et des frottements des joints d'étanchéité (en particulier au démarrage à froid) et donc une moindre consommation d'huile. Les concepteurs de moteurs peuvent également s'attendre à une réduction de bruit de 1,0 à 1,5 dB en raison de la rigidité plus élevée. Si vous donnez aux concepteurs du moteur le choix pour les matériaux, ils choisiront toujours le matériau le plus résistant.

Nous sommes à une étape où il existe des références de volume élevé crédibles dans tous les secteurs du marché, et ces références fournissent des repères concurrentiels qui aident la fonte vermiculaire à sécuriser des applications supplémentaires. Ce qui est satisfaisant pour nous, c'est qu'aucun fabricant n'a fabriqué un seul moteur SinterCast en fonte vermiculaire, puis s'est arrêté. Si l'on se souvient du scepticisme des années 1990, il y avait plusieurs raisons pour lesquelles la fonte vermiculaire ne pouvait être utilisée : trop difficile dans la fonderie, trop difficile à usiner, trop chère. Mais, quand un FEO produit son premier moteur en fonte vermiculaire, les ingénieurs voient les avantages et ils appliquent ce matériau dans plus de moteurs. Par exemple, Ford a neuf moteurs en fonte vermiculaire alors que Hyundai et Audi en ont tous deux six. Notre défi est d'obtenir le premier moteur – si nous pouvons en obtenir un, il y a une forte probabilité qu'il y en ait plusieurs.

RFF : quelles sont les principales technologies concurrentielles pour la fonte vermiculaire pour les dix prochaines années ?

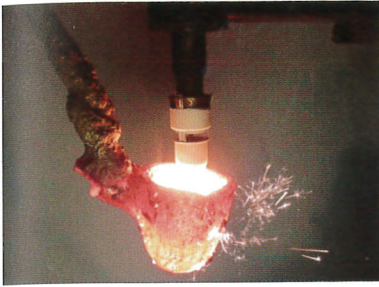
Steve Dawson : du côté des véhicules particuliers, l'aluminium est un concurrent

évident. Mais la fonte a une belle histoire et nous avons juste besoin d'apprendre à la raconter. La législation a naturellement mis l'accent sur les émissions d'échappement de CO₂, ce qui a incité certains constructeurs de véhicules particuliers à adopter des carters cylindres en aluminium afin de réduire leur poids. Mais la production d'aluminium est beaucoup plus énergivore que la fonte. La production de chaque kilogramme d'aluminium génère 9-12 kilogrammes de CO₂, selon la source d'énergie. La réduction de poids obtenue par l'aluminium est typiquement d'environ 10 kg pour un moteur de 1,6 litre en aluminium pour véhicule particulier. Les études du cycle de vie montrent systématiquement que la rentabilité à la fin de la récupération de la production initiale de CO₂ est supérieure à dix ans de conduite. La fonte est plus résistante, moins coûteuse et plus respectueuse de l'environnement.

Du côté des véhicules utilitaires, la fonte vermiculaire a été bien accueillie comme le « prochain » matériau d'avenir. Les pressions de pointe les plus élevées (250 bars pour les poids lourds contre 175 bars pour les véhicules particuliers Diesel) et les diamètres plus grands (130 mm pour les poids lourds et 90 mm pour les véhicules particuliers) signifient que l'aluminium n'est tout simplement pas assez solide pour les exigences de durabilité.

RFF : comment la technologie SinterCast aide-t-elle les fonderies à produire de la fonte vermiculaire ?

Arnaud Denis, Chief Engineer, Tracking Technologies : le contrôle de processus SinterCast repose sur une stratégie basée sur deux étapes. Le procédé commence par le traitement de la fonte de base avec du magnésium et de l'inoculant, soit par injection de fil fourré ou par la méthode « sandwich ».



Le godet en acier breveté de SinterCast est le seul outil d'analyse thermique dans le monde offrant une grande précision de mesure et permettant la réutilisation de thermocouples

Après ce traitement, on prélève un échantillon de fonte traitée et on remplit un godet d'analyse thermique SinterCast en l'immergeant dans la fonte liquide - pour éviter toute oxydation ; notre but est d'analyser la fonte liquide traitée et non « traitée + oxydée ». Une fois l'analyse terminée, notre System 3000 calcule les longueurs nécessaires de fil fourré en magnésium et en inoculant. Ces ajouts se font automatiquement, pour arriver à la qualité de fonte prédéfinie lors de la calibration. Chaque pièce a ses propres paramètres de contrôle, en fonction de la tendance à créer des retassures ou non. Lors de la production en série, la seconde addition de magnésium n'est que de 30 grammes par tonne en moyenne. Cette précision garantit que la fonte reste dans la fenêtre prédéfinie du début jusqu'à la fin de la coulée.

Pendant la phase d'étalonnage, pour chaque nouvelle fonderie et chaque nouvelle pièce, SinterCast travaille avec les ingénieurs pour définir les paramètres optimaux pour la Modification - index mesurant l'effet du magnésium et des terres rares sur la modification de la forme du graphite - et l'Inoculation. Un sous-traitement conduira à la formation de graphite lamellaire en début de solidification, aux centres des cellules eutectiques, en fin de coulée - évanouissement du magnésium - voire au début de coulée si le traitement est vraiment faible - résultant en une faible résistance et une défaillance prématurée. Un sur-traitement avec du magnésium ou de l'inoculant entraîne des défauts de porosité élevés dans des pièces com-



System 3 000 complètement automatisé avec deux stations d'échantillonnages. La technologie du contrôle du processus SinterCast a été installée sur 44 lignes de production de fonderie dans 13 pays différents. La fonte vermiculaire peut être produite dans les fonderies de carters cylindres et culasses utilisant les techniques de fusion et de moulage existantes.

plexes telles que des carters cylindres et des culasses. Même lorsque le traitement de base est réalisé par fil fourré et optimisé avec des entrées de données automatiques pour le soufre, le poids et la température de la fonte - System 3000 Plus - prenant aussi en compte les résultats d'analyse des poches précédentes, notamment pour une même charge - il y a toujours une poche, un traitement, qui ne réagit pas exactement comme les autres. Une étape de correction est nécessaire, pour ne pas dire obligatoire pour assurer la qualité de toutes les pièces coulées en grande série.

RFF : SinterCast a récemment lancé la technologie Ladle Tracker™. Pouvez-vous expliquer comment cette technologie fonctionne et comment la fonderie peut en bénéficier ?

Arnaud Denis : la technologie Ladle Tracker™ offre une solution unique pour identifier, suivre et documenter correctement le mouvement des poches tout au long du processus de fonderie. Ladle Tracker™ peut être configuré pour s'adapter au flux de processus et le volume de production de toute fonderie. Le système peut



System 3000 Plus avec deux stations de traitements au fil fourré. Ce System 3000 Plus permet d'automatiser et réguler les traitements en fonction des données de poids, température, et du retour d'informations pour limiter les variations du traitement

également interagir avec des périphériques tels que la mesure de température, le poids et la composition chimique entre autres, pour s'assurer que chaque poche reçoit tous les traitements critiques et complète toutes les étapes du processus dans les limites prédéterminées (temps, températures). La technologie Ladle Tracker™ permet aux responsables fonderie de définir des règles et d'automatiser le processus, au lieu de dépendre du comportement des opérateurs. Ladle Tracker™ utilise soit l'identification par radiofréquence (RFID), soit l'identification optique, pour détecter l'arrivée et le départ de chaque poche à toute étape critique du processus. Le système fournit une surveillance de précision, une meilleure traçabilité et des renseignements temporels afin d'améliorer le processus et la productivité. SinterCast a installé le premier système Ladle Tracker™ dans une fonderie de fonte à haut volume en Amérique du Nord. Celui-ci fonctionne depuis janvier 2015 et a permis le suivi de plus de 75 000 poches. C'est une technologie passionnante pour les fonderies de contrôler la coulée mais aussi d'améliorer la qualité et la productivité.



Ladle Tracker™ RFID Tags placés sur les poches



Ladle Tracker™ RFID Antenna Set placée à toutes les positions critiques du processus de fabrication

RFF : comment les ingénieurs de SinterCast assurent-ils le service à leurs clients de fonderie ?

Arnaud Denis : avant l'installation d'un nouveau système de contrôle de la fonte vermiculaire, les clients sont invités une semaine à notre centre technique en Suède pour recevoir une formation. Après la formation, nous expédions l'équipement à la fonderie et nous fournissons sur place l'installation et des formations complémentaires, généralement dédiées aux opérateurs. Notre ambition avec notre équipement a été de le rendre aussi simple que possible – l'objectif initial était un bouton vert et un bouton rouge. Nous n'avons pas tout à fait atteint cet objectif, mais l'équipement est très convivial et l'interface est toujours dans la langue locale. C'est un outil de production qui permet l'automatisation du traitement en magnésium et en inoculant. De plus, avec une connexion Internet, nous pouvons nous connecter sur tous les systèmes installés, suivre la production à distance et donner des conseils si nécessaires. Chaque mois, nous examinons le rapport de production et comparons les performances de chaque client dans le but de réduire le coût de production. Depuis leurs ordinateurs, les clients ont accès aux données des systèmes et peuvent générer eux-mêmes des rapports de production, journaliers, hebdomadaires, mensuels. Enfin, nous offrons également des visites sur

place et des visites annuelles de service pour la maintenance du matériel. La plupart des ingénieurs SinterCast sont environ 75 jours en déplacement par an. Cette collaboration proche et continue entre SinterCast et le client conduit à de bonnes amitiés, une confiance et une confidentialité qui font que nous sommes plus que des fournisseurs, mais des partenaires pour nos clients. Notre but est le même que celui de nos clients, produire de la fonte vermiculaire de qualité constante, quelles que soient la pièce coulée ou la poche utilisée et à un coût maîtrisé.

RFF : la technologie Ladle Tracker™ peut-elle être appliquée à d'autres entreprises que les fonderies produisant de la fonte vermiculaire ? Existe-t-il d'autres initiatives au sein de SinterCast pour aider les entreprises à mesurer et à améliorer leurs processus ?

Steve Dawson : à l'heure actuelle, les discussions d'installation de Ladle Tracker™ sont en cours avec nos clients actuels, avec des fonderies de fonte grise et de fonte ductile, et avec des usines métallurgiques au-delà de l'industrie de la fonderie de fonte, notamment des aciéries. Notre objectif initial est d'établir la première poignée d'installations de référence et nous faisons de bons progrès dans ce domaine. Nous croyons que le contrôle et l'automatisation dans l'industrie sont la voie vers

l'amélioration de l'efficacité et de la productivité tout en gardant une haute qualité et nous croyons que les utilisateurs finaux de pièces de fonderie continueront à exiger une documentation et une traçabilité accrue. Ces croyances guident notre développement. Le dicton fondateur de SinterCast est le suivant, « vous ne pouvez pas contrôler ce que vous ne pouvez pas mesurer ». Notre objectif est d'apporter ces nouvelles capacités de mesure à l'industrie pour aider notamment les fonderies à améliorer la qualité, l'efficacité, la productivité et la rentabilité de la production. Nous ne voulons pas être une deuxième source pour les produits ordinaires – notre ambition est d'apporter de nouvelles idées et de nouvelles technologies.

Propos recueillis par Olivier Vasseur, Responsable Technique Fédération Forge Fonderie



SinterCast is the world's leading supplier of process control technology for the reliable high volume production of Compacted Graphite Iron (CGI). The SinterCast technology, with 44 installations in 13 countries, is primarily used for the production of petrol and Diesel engine cylinder blocks and exhaust components for passenger vehicles, medium-duty and heavy-duty cylinder blocks and heads for commercial vehicles, and industrial power engine components for marine, rail, off-road and stationary engine applications. SinterCast formally launched its new Ladle Tracker™ technology in 2016. The SinterCast Ladle Tracker™ technology monitors and records the presence and status of each ladle as it progresses through the foundry. The technology provides a new opportunity for foundry managers to measure, control and improve process flow and productivity within the foundry.