

LE MOULAGE DE L'ALUMINIUM (1^{RE} PARTIE)

Introduction

Nous traiterons, dans ce numéro, du moulage de l'aluminium. La mise en forme par moulage permet d'obtenir des produits de formes diverses en coulant l'aluminium liquide dans des moules. Derrière cette simplicité relative se cachent plusieurs procédés de fonderie très différents les uns des autres tant par leurs modes opératoires que par leurs applications. En effet, certains procédés de fonderie sont principalement destinés à la fabrication de prototypes ou de très courtes séries de pièces, tandis que d'autres sont développés pour répondre aux besoins de l'industrie automobile où les quantités sont toujours de l'ordre de centaines de milliers de pièces annuellement.

Néanmoins, on peut classer les procédés de moulage en cinq grandes familles :

- Coulée par gravité en moules en sable fabriqués à partir d'un modèle en bois ou en métal;
- Coulée par gravité à modèle « perdu », en cire ou en polystyrène expansé;
- Coulée par gravité ou sous faible pression en moule métallique permanent;
- Coulée par injection, en moule métallique permanent;
- Procédés spécialisés.

Ce feuillard technique n'est qu'un aperçu des différents procédés disponibles et des nouveaux développements dans le domaine de la fonderie d'aluminium. Dans ce numéro, nous ne traiterons que des quatre premiers procédés; quant au cinquième, il sera présenté dans la publication subséquente, soit dans le 10^e Feuillard technique.

Les procédés au sable

Ils offrent une grande liberté de formes et de dimensions et ils permettent d'obtenir des pièces de bonne qualité. De plus, la majorité des alliages de fonderie peuvent être utilisés avec ces procédés. Ces procédés sont largement utilisés pour la réalisation de prototypes, du fait de la rapidité de réalisation, du faible coût des outillages et de la facilité de les modifier.

La faible vitesse de refroidissement du sable favorise la formation de porosités liées au gazage du métal liquide. Les tolérances dimensionnelles sont limitées par l'imprécision du positionnement relatif des parties du moule et par ses déformations. Néanmoins, les résines organiques qui remplacent l'argile dans les sables « à vert » produisent des sables ayant une bonne tenue en traction, ce qui permet d'obtenir des parties de moule suffisamment précises pour pouvoir envisager des empilements avec des positionnements relativement précis et reproductibles.

Des perfectionnements et des automatisations apportés aux procédés au sable permettent d'atteindre une productivité plus importante et de rendre les procédés de moulage au sable économiquement viables pour les moyennes séries.

Les procédés à modèle « perdu »

Ces procédés regroupent principalement le moulage à la cire perdue et le moulage en polystyrène expansé (*lost-foam*). Tous deux offrent une très grande liberté de formes. Ils utilisent des modèles de cire ou de polystyrène assemblés par collage en grappes qui sont par la suite recouvertes. Dans le cas du moulage à la cire perdue, l'assemblage est recouvert de réfractaire. Par après, l'assemblage est cuit afin d'éliminer la cire. La coquille de réfractaire représentant l'assemblage est finalement noyée dans le sable compacté par vibrations et l'aluminium liquide y est versé. Le procédé utilisant le polystyrène expansé diffère en cela que l'assemblage de modèles recouverts de réfractaire n'est pas cuit afin d'éliminer le polystyrène. En effet, les modèles se vaporisent lorsque l'aluminium liquide est versé dans la coquille de réfractaire.

Ces procédés permettent de réaliser des séries importantes par assemblage de grappes à modèles multiples. Ils sont très souples en termes de changement de fabrication. Les tolérances dimensionnelles sont meilleures qu'en moulage au sable, sauf en cas de déformation des modèles lors du compactage. La vitesse de refroidissement est par contre plus faible qu'en moulage au sable, ces procédés sont donc encore plus sensibles au gazage et les pièces présentent une porosité généralisée.

Il est important de noter qu'au Québec, il existe quatre fonderies de moulage à la cire perdue, mais aucune spécialisée dans le moulage en polystyrène expansé.



Les procédés en coquille (moules permanents)

La coquille par gravité

Les moules métalliques autorisent des cadences supérieures par rapport au sable, mais ils réduisent la liberté de formes, qui est récupérée en partie par l'utilisation de noyaux en sable. Le procédé, lorsque comparé au moulage au sable, se caractérise par une plus grande précision dimensionnelle et une vitesse de refroidissement supérieure. Il assure une meilleure compacité et une structure plus fine, donc des performances plus élevées en ductilité et en tenue en fatigue. D'ailleurs, c'est avec ce procédé que la majorité des pièces de moyennes séries sollicitées mécaniquement sont fabriquées.

La principale limite du procédé est inhérente au mode de remplissage, lent par nature. L'épaisseur des pièces réalisables peut difficilement descendre en dessous de 3 mm, et ce, seulement sur des surfaces réduites.

Comme pour le moulage au sable, il existe des règles de conception des systèmes de coulée et de masselotage qui permettent d'obtenir des pièces de bonne qualité. Le positionnement rationnel des attaques et des masselottes est toutefois plus délicat qu'en sable, et la modification des outillages plus difficile donc plus coûteuse.

La coquille basculée

Une variante du moulage en coquille consiste à remplir l'empreinte par basculement, le métal étant coulé dans un bassin fixé au moule. Cette méthode réduit les turbulences au remplissage, ce qui améliore la ductilité et la tenue en fatigue.

Le moulage basse pression

Le remplissage du moule se fait par mise en pression du four installé sous la coquille, à une vitesse lente pour éviter les turbulences. Une légère surpression est appliquée en fin de remplissage. Ce procédé est principalement utilisé dans l'industrie automobile pour la réalisation de pièces de sécurité.

Le matriçage sur ébauche moulée en coquille

Cette autre variante du moulage en coquille, connue également sous le nom de *Cobapress*, consiste à effectuer une opération de matriçage sur l'ébauche coulée.

Ce procédé présente quelques avantages. En effet, l'étape de matriçage produit un état de surface voisin de ceux de la coulée sous pression. Il permet également de diminuer les épaisseurs et les dépouilles nécessaires ainsi que de réaliser certaines formes difficiles par moulage seul. De plus, la pression exercée améliore considérablement la compacité principalement dans les reliefs mal alimentés. Toutes ces caractéristiques améliorent la tenue des pièces au choc et en fatigue. Cependant, les délais de mise en route sont très longs et le procédé est destiné aux moyennes et aux grandes séries.

La coulée par injection (sous pression)

Ce procédé implique que le métal est injecté à très grande vitesse, pouvant atteindre 80 m/s. En réalité, le métal est pulvérisé, ce qui permet d'obtenir des parois très minces de l'ordre du millimètre. La précision dimensionnelle est supérieure à celle obtenue en coquille, mais en contrepartie les pièces obtenues sont de moins bonne qualité métallurgique.

Ce procédé présente plusieurs inconvénients :

- . Le remplissage turbulent, par définition, conduit à des entraînements d'air et à la formation d'oxydes, qui créent des soufflures et des replis;
- . Les pièces présentent des retassures à cœur malgré la pression appliquée. Les retassures sont des défauts de fonderie rencontrés lorsque le métal passe de l'état liquide à l'état solide;
- . Les pièces ne peuvent pas être traitées thermiquement, ce qui limite les propriétés mécaniques des pièces;
- . La faible liberté de formes due aux difficultés d'utilisation de noyaux;
- . Les pièces ne peuvent pas être assemblées par soudage.

Toutefois, plusieurs améliorations au procédé permettent d'éliminer certaines problématiques liées à l'entraînement d'air à l'injection. En effet, plusieurs fonderies sous pression ont la possibilité de créer une dépression dans le moule durant son remplissage. Cette technologie souvent nommée « sous pression sous vide » améliore les propriétés métallurgiques de la pièce. Il existe également des systèmes de pilotage de la vitesse de la première phase de remplissage, ce qui supprime la création de remous dans le conteneur et, par la même occasion, diminue l'entraînement d'air avec le métal.

Bibliographie

Auteurs multiples, *Les alliages d'aluminium moulés*, [CD-ROM], Paris, Centre technique des industries de la fonderie et Centre québécois de la recherche et du développement de l'aluminium, 2002.

L'aluminium dans l'automobile, Pechiney Rhenalu, Paris, 1998, 144 pages.

Aluminum Casting technology, 2nd Edition, American Foundrymen's Society, Des Plaines, Illinois, 1997, 356 pages.

STEFANESCU D. M. coord., *Casting, Volume 15 in ASM Handbook*, 9th Edition, American Society for Metals, USA, 1988.

HOUDE A., *Répertoire des fonderies québécoises*, révision 2002, Québec, Direction des communications du ministère de l'Industrie et du Commerce, 2000.