

LE MOULAGE DE L'ALUMINIUM (2^E PARTIE)

Introduction

Comme annoncé dans le Feuillard technique précédent, nous traiterons dans ce 10^e numéro du tout dernier procédé relié au moulage de l'aluminium, soit celui des procédés spécialisés.

Les procédés spécialisés

Le moulage au plâtre

Le moulage au plâtre utilise un modèle démontable, similaire à celui utilisé dans le moulage au sable « à vert ». Les moules en plâtre s'obtiennent en mélangeant le plâtre, les matériaux réfractaires et l'eau pour former une barbotine. Par la suite, la barbotine est coulée sur les modèles et on la laisse durcir de 5 à 15 minutes. Le séchage des moules est l'une des étapes les plus critiques, car toute l'humidité doit être éliminée pour empêcher la contamination avec le gaz échappé des vapeurs lorsque le métal liquide est coulé dans le moule.

Les propriétés isolantes du moule au plâtre sec gardent le métal chaud longtemps, entraînant ainsi une solidification lente qui permet au métal de remplir les sections les plus minces. De plus, la perméabilité du moule permet au gaz de s'échapper du métal. Après la solidification complète, le moule est cassé; le système de coulée et d'alimentation est enlevé. Les pièces coulées par ce procédé vont de quelques grammes à plus d'une tonne.

Ce procédé produit des pièces avec des états de surface supérieurs au moulage au sable ou en coquille. De plus, il est possible de fabriquer des pièces détaillées avec des tolérances dimensionnelles très étroites et avec des parois minces.

Par contre, ce procédé offre des cadences de production réduites destinant le procédé aux petites séries et au prototypage.

Le forgeage liquide ou squeeze casting

Ce procédé est encore peu utilisé à l'extérieur de l'industrie automobile. Ce procédé se subdivise en deux procédés : le *squeeze casting direct* et le *squeeze casting indirect*.

Dans le procédé d'origine, appelé *direct*, le moule est conçu comme pour le matriçage; il est monté sur une presse verticale de forge. Le métal est coulé directement dans l'empreinte. Ce procédé présente plusieurs inconvénients, dont la maîtrise de l'épaisseur qui dépend de la précision du dosage. De plus, il ne permet d'obtenir que des pièces d'épaisseur pratiquement uniforme, sinon les parties les plus minces, qui se solidifient les premières, bloquent la transmission de la pression aux parties plus épaisses, qui peuvent alors présenter des retassures.

Le procédé indirect est dérivé de la coulée sous pression; il utilise les mêmes presses et la même technologie pour les moules. Cependant, il diffère sur deux points :

- L'injection se fait à des vitesses beaucoup plus faibles, ce qui supprime les entraînements d'air pendant la coulée et rend possible le traitement thermique des pièces.
- Le système d'alimentation est très différent du moulage sous pression, ce qui permet de masselotter selon le même principe qu'en moulage par gravité et avec une efficacité accrue en raison de l'application de la pression.

En contrepartie, les épaisseurs minimales sont plus élevées, puisque le métal reste au contact du moule pendant le remplissage. La liberté de formes est également réduite. Par rapport au moulage en coquille, le refroidissement est beaucoup plus rapide et la structure plus fine. Cela donne une ductilité supérieure, une meilleure tenue en fatigue et un excellent état de surface.

Le thixomoulage

Ce procédé utilise les mêmes presses et la même technologie d'outillages que le *squeeze casting indirect*. Le métal est injecté à l'état pâteux (mélange d'environ 60 % liquide et 40 % solide).

Le métal doit posséder une fluidité optimale pour permettre son injection malgré son état pâteux. C'est pourquoi l'aluminium utilisé pour le thixomoulage doit recevoir un traitement spécial avant injection, ce qui rend son approvisionnement coûteux et incertain sur le plan des délais.

Les pièces obtenues par thixomoulage peuvent être traitées thermiquement. Les masses isolées donnent lieu à des retassures de plus faible volume que les autres procédés, du fait de la moindre quantité de liquide à solidifier. Par rapport à tous les procédés sous pression, la chaleur à évacuer est diminuée de moitié, ce qui permet des cadences plus élevées et, conjuguée à une vitesse d'injection modérée, augmente la durée de vie des outillages. Les restrictions de formes sont à peu près les mêmes que le *squeeze casting indirect*, sauf que le thixomoulage permet d'obtenir des épaisseurs plus faibles.

La sélection d'un procédé de fonderie

Le choix du procédé de moulage pour la production d'une pièce est un exercice ardu. En effet, bien que les principales propriétés et les applications typiques de plusieurs procédés aient été présentées dans les descriptions précédentes, il reste néanmoins difficile de dire quel procédé doit être utilisé pour une application précise. Il y a beaucoup de paramètres à considérer outre le coût par pièce. Par exemple, une pièce incluse dans un cube de 20 cm de côté qui doit être produite à 2 000 unités annuellement peut être fabriquée à l'aide de plusieurs procédés. Toutefois, si les propriétés mécaniques de la pièce sont critiques, le procédé en coquille par gravité sera probablement le plus approprié. Par contre, si la pièce à produire est d'une très grande complexité, les procédés en modèle perdu seront à privilégier.

Pour les raisons identifiées ci-haut, le tableau suivant ne vise pas à pointer un procédé précis pour une application donnée, mais recherche plutôt à identifier de grandes lignes directrices pour départager les différents types de procédés.

Tableau 1
Performances des différents procédés de moulage

Propriétés	Sable		Coquille			
	À vert	À prise chimique	Gravité	Basculée	Basse pression	Cobapress
Poids maximum standard des pièces ¹ (kg)	Illimité	Illimité	50	50	50	10
Plus grande dimension standard ¹ (mm)	Illimité	Illimité	500	500	500	400
Critère de limitation des dimensions	Tolérance sur les grandes dimensions		Dimensions et poids des moules			
Épaisseur minimale courante (mm)	5	4	4	4	5	3
Épaisseur minimale locale (mm)	4	3	3	3	4	2
Précision dimensionnelle ²	1	2	3	3	3	4
Rugosité de surface (µm)	12,5	6,3	1,6 à 6,3 (°)			1,6
Forme complexe ⁴	3	3	3	3	4	1
Traitement thermique et soudage	Possible sans réserve					
Pièces sollicitées mécaniquement ⁵	2	2	4	4,5	4,5	5
Alliages couramment utilisés	Tous les alliages de moulage		Séries 2xx et 3xx		356, A356, 357, A360, 380, A380 et 390	Non disponible
Coût des outillages ⁶	1	1	3	3	4	4
Coût de production unitaire ⁶	4	4	2	2	2	3

- 1) Il est possible de produire des pièces de dimensions excédant les standards établis. Toutefois, les critères de limitation des dimensions devront être pris en considération.
- 2) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 étant le moins précis et 5 le plus précis).
- 3) La rugosité de surface en moulage en coquille dépend de la possibilité d'utiliser un poteyage plus ou moins lisse.
- 4) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 permettant très peu de complexité de formes et 5 permettant le plus de complexité de formes).
- 5) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 ne permettant pas l'utilisation de ce procédé pour des pièces sollicitées et 5 correspondant à un excellent procédé pour la production de pièces sollicitées mécaniquement).
- 6) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 constituant le plus économique et 5 le plus coûteux).

Tableau 2
Performances des différents procédés de moulage (suite)

Propriétés	Modèle perdu		Procédés spécialisés			Sous pression
	Lost foam	Cire perdue	Plâtre	Thixomoulage	Squeeze casting	
Poids maximum standard des pièces ¹ (kg)	20	15	100	15	20	35
Plus grande dimension standard ¹ (mm)	500	400	500	400	400	500
Critère de limitation des dimensions	Tolérance sur les grandes dimensions		Dimensions et poids des moules	Réchauffage	Force de fermeture des machines	
Épaisseur minimale courante (mm)	4	2,5	2,5	2,5	5	2,5
Épaisseur minimale locale (mm)	4	1,3	1	1,5	4	1,5
Précision dimensionnelle ²	4	4	4	5	5	5
Rugosité de surface (µm)	6,3	6,3	6,3	0,8 à 1,6		
Forme complexe ⁴	5	5	4	2	1	3
Traitement thermique et soudage	Possible sans réserve					Non
Pièces sollicitées mécaniquement ⁵	2	2	2	5	5	1
Alliages couramment utilisés	Tous les alliages de moulage			356, A356, 357, C355, 319S, 380 et 390 (les alliages utilisés doivent recevoir un traitement spécial)	A356, 357, 355, 390	356, A360, A380, A383, 384, 385, B390, A413, C443, 516, 518, 520
Coût des outillages ⁶	2	2	2	5	5	4
Coût de production unitaire ⁶	3	4	5	3	2	1

- 1) Il est possible de produire des pièces de dimensions excédant les standards établis. Toutefois, les critères de limitation des dimensions devront être pris en considération.
- 2) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 étant le moins précis et 5 le plus précis).
- 3) La rugosité de surface en moulage en coquille dépend de la possibilité d'utiliser un poteyage plus ou moins lisse.
- 4) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 permettant très peu de complexité de formes et 5 permettant le plus de complexité de formes).
- 5) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 ne permettant pas l'utilisation de ce procédé pour des pièces sollicitées et 5 correspondant à un excellent procédé pour la production de pièces sollicitées mécaniquement).
- 6) On utilise une échelle de 1 à 5 (1 constituant le plus économique et 5 le plus coûteux).

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.

La liste des fonderies

Toutes les fonderies d'aluminium du Québec ne sont pas incluses dans cette liste. En effet, certaines sont captives et l'ensemble de leur production est destiné à un client précis qui est souvent une autre unité de la même compagnie; ces fonderies ont alors été volontairement éliminées de la liste.

Au sable (S) et en coquille (C)

CIF Métal Itée (C) 1900, rue Setlakwe Thetford Mines (Québec) G6G 8B2 Téléphone : (418) 338-6250 Télécopieur : (418) 338-5799 Site Internet : www.cifmetal.com	Fonderie Saint-Romuald inc. (S et C) 450, 2 ^e Avenue Lévis (Québec) G6W 5M6 Téléphone : (418) 839-8836 Télécopieur : (418)839-1598
Créations Le Bronzier inc. (Les) (S et C) 96, rue Warmall, C. P. 183 Cowansville (Québec) J2K 3A6 Téléphone : (450) 263-7494 Télécopieur : (450) 263-9115	Fondremy inc. (S et C) 1465, boulevard Industriel Chambly (Québec) J3L 4C4 Téléphone : (450) 658-7111 Télécopieur : (450) 658-5459 Site Internet : www.fondremy.com
Fabrication Powercast inc. (C) 540, boul. Industriel Saint-Eustache (Québec) J7R 5V3 Téléphone : (450) 473-1517 Télécopieur : (450)473-5591	Industries Luxor inc. (Les) (S) 7941, rue Léonard-de-Vinci Montréal (Québec) H1Z 3R5 Téléphone : (514) 721-9882 Télécopieur : (514) 722-4171
Fonderie Fondalco inc. (S) 2485, rue Vallée Plessisville (Québec) G6L 2Y6 Téléphone : (819) 362-3443 Télécopieur : (819) 362-9130 Courriel : morissma@vic.qc.ca Site Internet : www.fondalco.com	L.L. Fonderie Itée (S) 417, chemin Saint-Robert Saint-Robert (Québec) J0G 1S0 Téléphone : (450) 785-2200 Télécopieur : (450) 785-2230
Fonderie Benoît Marcoux inc. (S) 841, rang 8, Ouest Laurierville (Québec) G0S 1P0 Téléphone : (819) 365-4371 Télécopieur : (819) 365-4900	Robert Mitchell inc. (S) 350, boul. Décarie Saint-Laurent (Québec) H4L 3K5 Téléphone : (514) 747-2471, poste 4270 Télécopieur : (514) 747-3904 Site Internet : www.robertmitchell.com
Fonderie d'aluminium et modèlerie Itée (S et C) 714, rue Calais Dorval (Québec) H9P 2P3 Téléphone : (514) 631-1331 Télécopieur : (514) 631-8448	Sigama (C) 386, rue Saint-Laurent, C. P. 370 Cap-de-la-Madeleine (Québec) G8T 7W6 Téléphone : (819) 378-4011 Télécopieur : (819) 378-9236
Fonderie Mercier Itée (S) 2425, boul. Ford Châteauguay (Québec) J6J 4Z2 Téléphone : (450) 691-1031 Télécopieur : (450) 691-8101	Fonderie Richelieu inc. (S) 330, chemin Saint-François-Xavier, suite 102 Delson (Québec) J0L 1G0 Téléphone : (450) 635-7338 Télécopieur : (450) 632-1996
Fonderie Pelletier (S) 251, rang des Pelletier Saint-Aubert, cté l'Islet (Québec) G0R 2R0 Téléphone : (418) 598-9164 Télécopieur : (418) 598-9886	Métallurgie Syca inc. (S et P) 500, rue Principale Saint-Dominique (Québec) J0H 1L0 Téléphone : (450) 261-0853 Télécopieur : (450) 261-0894 Site Internet :www.syca-inc.com

Sous-pression

Darona inc. M. Robert Poirier, président 320, rue Saint-Michel Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec) J3B 1T4 Téléphone : (450) 348-6831 Télécopieur : (450) 348-5166	Industrie Lyster inc. 2555, rue Bécancour, C. P. 250 Lyster, cté Lotbinière (Québec) G0S 1V0 Téléphone : (819) 389-5751 Télécopieur : (819) 389-2193 Site Internet : www.indlyster.com
E.D.C. inc. 2020, Lucien Thimens Montréal (Québec) H4R 1L1 Téléphone : (514) 331-7510, poste 225 Télécopieur : (514) 331-6393 Site Internet : www.easterndiecast.com	Moulage Sous Pression A.M.T. inc. 106, rue Côte, C. P. 160 Saint-Cyprien, cté Rivière-du-Loup (Québec) G0L 2P0 Téléphone : (418) 963-3227 Télécopieur : (418) 963-2494
Fonderie Lemoltech inc. M. Luc Lemieux, président 70, boul. Carignan Princeville (Québec) G6L 4M4 Téléphone : (819) 364-7616 Télécopieur : (819) 364-7706	

À la cire perdue

Alphacasting inc. 391, boul. Sainte-Croix Ville Saint-Laurent (Québec) H4N 2L3 Téléphone : (514) 748-7511 Télécopieur : (514) 748-0237 Site Internet : www.alphacasting.com	Moulage d'aluminium Howmet Itée 4001 autoroute des Laurentides Laval (Québec) H7L 3H7 Téléphone : (450) 680-2500 Télécopieur : (450) 680-2600 Site Internet : www.howmet.com
Fonderie Shellcast inc. M. B. Morgenstern, président 10645, av. Lamoureux Montréal-Nord (Québec) H1G 5L4 Téléphone : (514) 322-3760 Télécopieur : (514) 322-7226 Site Internet : www.shellcast.com	Eastern Aerocast inc. 2280, 43e Avenue Lachine (Québec) H8T 2J9 Téléphone : (514) 636-7990 Télécopieur : (514) 636-8558 Site Internet : www.eastern.ca

Au plâtre

Precicast Itée 102, rue Joseph-Gagné Nord Ville de la Baie (Québec) G7B 4T1 Téléphone : (418) 544-8448 Télécopieur : (418) 544-9391 Site Internet : www.precicast.ca	Moules et modèles PCM inc. plâtre et sable) 35, chemin de la Rivière Ouest Sainte-Claire, Bellechasse (Québec) G0R 2V0 Téléphone : (418) 883-4009 Télécopieur : (418) 883-1386
--	--