NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

# Procédé SEED et moulage sous pression de pièces d'aluminium : Description du procédé et transfert de chaleur

Langlais, Joseph; Bouchard, Dominique; Pineau, Frédéric; Lemieux, Alain

This publication could be one of several versions: author's original, accepted manuscript or the publisher's version. / La version de cette publication peut être l'une des suivantes : la version prépublication de l'auteur, la version acceptée du manuscrit ou la version de l'éditeur.

**Publisher's version / Version de l'éditeur:**

*Fonderie, Fondeur d'aujourd'hui, 253, pp. 9-18, 2006-03-31*

**NRC Publications Record / Notice d'Archives des publications de CNRC:**
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=d56bcb9c-c7ef-4460-9cca-2e3c103397de
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=d56bcb9c-c7ef-4460-9cca-2e3c103397de

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at
https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada
Canada

Conseil national de recherches Canada | National Research Council Canada

Institut des matériaux industriels | Industrial Materials Institute

# Fiche d'information et d'autorisation pour documents internes, externes et conférences

**Année calendrier** 2005-2006

**No de projet** 50_836

## Titre du document

**Procédé SEED et moulage sous pression de pièces d'aluminium: Description du procédé et transfert de chaleur**

## Statut du document

## Types de document

☐ **Sommaire (Abstract)** Écrit final suivra ? ☐ Non ☐ Si Oui Date _____

☒ **Document soumis pour publication**

Si un sommaire (abstract) a été soumis précédemment, veuillez indiquer les numéros IMI _____ CNRC _____

À présenter dans le cadre de Trans-Al 2005

Date de la conférence 19-23 juin Lieu Trois-Rivières

À paraître dans Compte remdu de la conférence Date Juin 2005

☐ **Rapport**

☐ Technique ☐ Industriel de service

☐ **Autre (spécifiez)** _____

**À être complétée par votre secrétaire. Veuillez l'aviser lorsque l'information sera disponible.**

☐ **Publication** **Année calendrier** 2005-2006

☐ Revues et livres avec comité de lecture

☐ Procès-verbaux de conférence avec comité de lecture

☐ Procès-verbaux de conférence sans comité de lecture

Si un sommaire (abstract) a été soumis précédemment, veuillez indiquer les numéros IMI _____ CNRC CNRC

Paru dans (vol. pp) _____

Partenaires _____

Déclaration d'invention _____ Date _____

Demande de brevet déposée _____ Pays _____

Si non, explications: _____

| Auteur (nom prénom) | Affiliation Section | Groupe | Externe | Signature | Date |
|---|---|---|---|---|---|
| * Joseph Langlais | | | Alcan Inc | | 4/5/05 |
| Dominique Bouchard | 502300 | 502301 | | | 4/5/05 |
| Frédéric Pineau | 502300 | 502301 | | | 4/5/05 |
| Alain Lemieux | | | Alcan Inc | | 6/5/05 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

* Je certifie, en tant que premier auteur, que j'ai vérifié avec le(s) partenaire(s) qu'il(s) n'a (n'ont) pas d'objection à ce document.

**Approbations:**

| Signature Chef de groupe | Date | Signature Directeur de section | Date | Signature Directeur général | Date |
|---|---|---|---|---|---|
| | 13/5/2005 | | 11/05/05 | | 25-05-05 |

Numéro IMI 2005 - 109770 - 9 CNRC 51108

imi 2005-109770-g
CNRC 51108

# Procédé SEED et moulage sous pression de pièces d'aluminium: Description du procédé* et transfert de chaleur**

Joseph Langlais*, Dominique Bouchard**, Frédéric Pineau** et Alain Lemieux*

*Alcan International Ltée, Centre de recherche et de développement Arvida, C.P. 1250, 1955 Boul. Mellon, Saguenay, Québec, Canada, G7S 4K8

**Centre des technologies de l'aluminium, Conseil national de recherches du Canada
501 boul. de l'Université Est, Chicoutimi, QC, Canada, G7H 8C3

## Résumé

Depuis le début 2003, le CRDA (Centre de recherche et développement Arvida) de la compagnie Alcan Inc. et le CTA (Centre des technologies de l'aluminium) du CNRC mènent un effort concerté pour développer une version industrielle de la technologie SEED pour la fabrication de pâte d'aluminium semi-solide dédiée au moulage de pièces de haute performance, principalement pour l'industrie de l'automobile. Cette technologie brevetée[1] par Alcan Inc. est un nouveau procédé simple et réduisant les coûts de préparation du matériau d'alimentation des procédés de formage. Le procédé implique deux étapes principales: 1) l'extraction rapide d'une quantité controlée de chaleur de la charge de métal liquide afin de générer un mélange liquide/solide et 2) le drainage de l'excès du liquide laissant derrière une masse compacte, se supportant elle-même et pouvant alors être manipulée et formée sous pression. Le procédé peut être utilisé avec une gamme étendue d'alliages d'aluminium et peu facilement être adapté pour produire différents poids de lopin pour le moulage. Le transfert de chaleur joue un rôle prédominant aussi bien lors de la fabrication de la pâte semi-solide que lors de la production des pièces et son analyse est présentée pour ces deux aspects.

## Introduction

Malgré près de vingt ans de développement, il apparaît maintenant que le thixomoulage (réchauffage d'un lopin solide du matériau d'alimentation) n'aura pas beaucoup de succès pour l'aluminium sur une base commerciale. La principale raison de cette situation est le coût additionnel associé avec le fait de payer pour les rebuts et de les retourner au fournisseur de matériau d'alimentation. D'autres facteurs ont aussi contribués à cet état de chose, comme la disponibilité restreinte des alliages ainsi que des aspects techniques reliés au réchauffage uniforme des billettes.

La Figure 1 illustre le procédé de thixomoulage qui utilisent une billette d'aluminium préalablement coulée et solidifiée en présence d'un brassage magnétohydrodynamique afin de lui conférer la structure globulaire désirée. La billette est ensuite coupée en lopins qui sont réchauffés par induction dans la zone de température où le solide et le liquide co-existent pour finalement être injectés dans la presse.

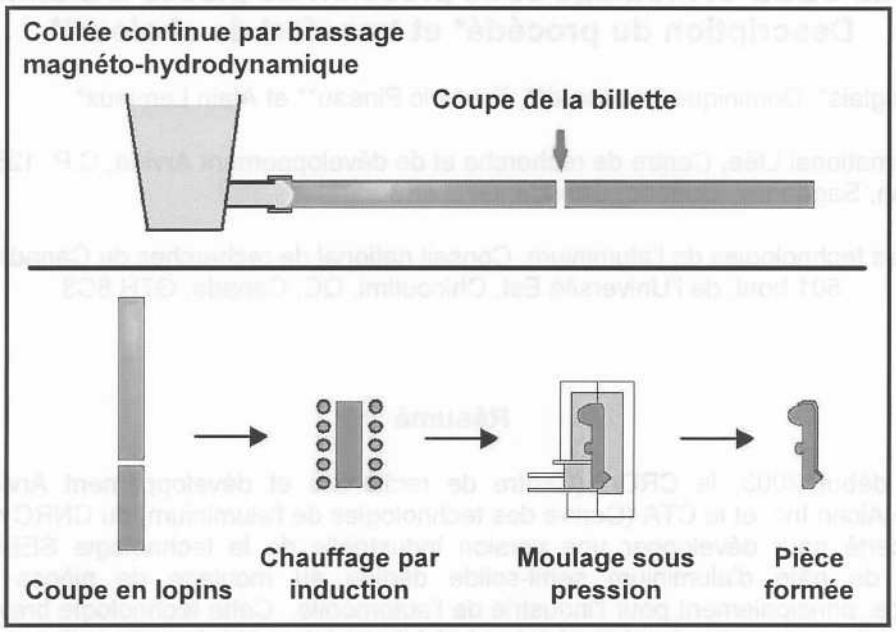


**Figure 1.** Schéma des étapes du thixomoulage

Au cours des dernières années, il y a eu un intérêt renouvelé pour une variante du procédé de moulage semi-solide connue sous le nom de "Rhéomoulage" [2,3,4]. Cette approche commence avec une souce de métal complètement liquide qui est subséquemment refroidie, et généralement brassée ou agitée, jusqu'à ce que la combinaison fraction solide/température désirée soit atteinte. Cette approche est moins coûteuse que le thixomoulage puisqu'il n'y a pas la nécessité d'avoir un matériau d'alimentation spécialisé et que les retours/rebuts sont complètement réutilisables. La Figure 2 illustre le procédé de rhéomoulage pour obtenir directement à partir de l'aluminium liquide un lopin semi-solide pour injection dans la presse.

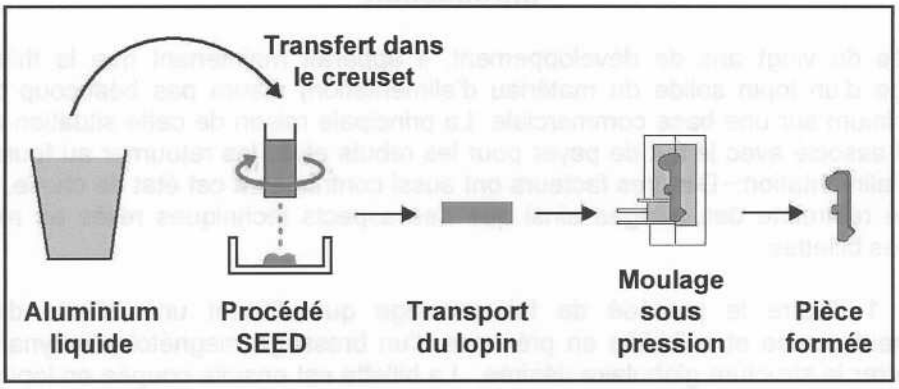


**Figure 2.** Schéma des étapes de rhéomoulage (Procédé SEED).

Les microstructures métallurgiques obtenues par les procédés de thixomoulage et de rhéomoulage sont facilement reconnaissables. En effet, dans le cas du thixomoulage (Figure 3) nous pouvons observer typiquement des ilôts eutectiques emprisonnés dans les grains d'aluminium primaire ($\alpha$-Al). Ces ilôts d'eutectique ne sont pas présents dans le procédé de rhéomoulage (Figure 4). Puisque ceux-ci ne peuvent pas contribuer à la lubrification des

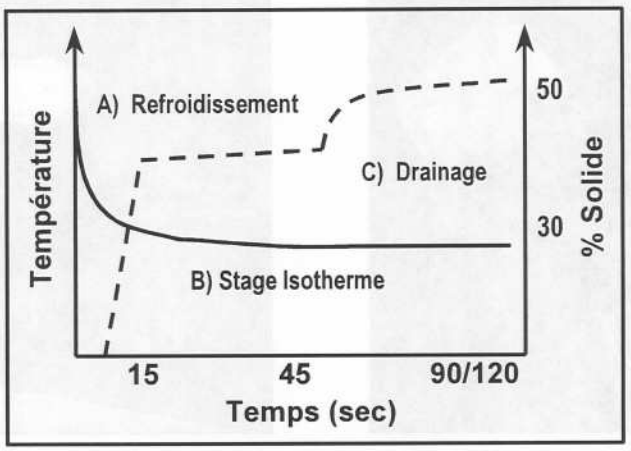


**Figure 6.** Évolution schématique de la température (ligne pleine) et de la fraction de solide (ligne pointillée).

L'effet combiné des paramètres du procédé SEED est de produire un matériau dont la microstructure similaire à celle de la Figure 7. On peut y voir que le matériau consiste principalement en une phase d'aluminium primaire ($\alpha$-Al) globulaire uniformément distribuée au travers de l'eutectique résiduel d'aluminium et silicium.

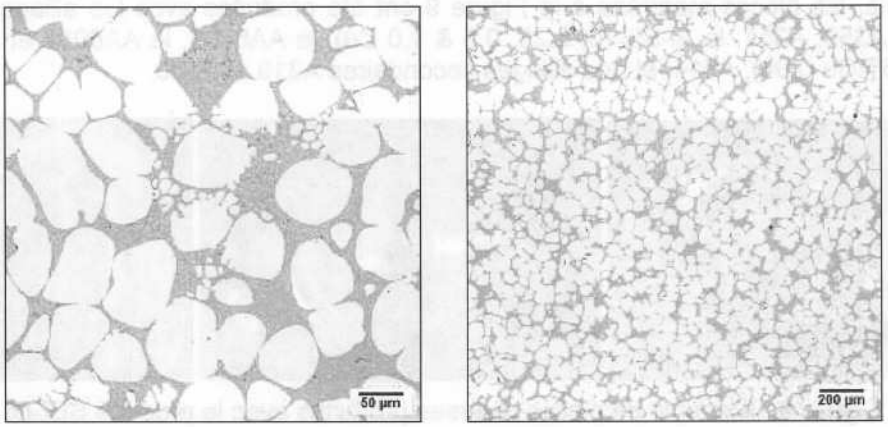


**Figure 7.** Microstructure pour le A356 par le procédé SEED.

Expérimentation

L'appareil prototype de laboratoire SEED et la masse semi-solide en résultant sont montrés à la Figure 8. L'appareil consiste en un tube d'acier avec un recouvrement interne et qui est maintenu sur une plaque de base équipée d'une trappe pouvant être ouverte afin de permettre au métal d'être drainé au travers une ouverture. Lors de l'opération, le creuset est placé sur le support de brassage, du metal liquide à la temperature désirée est transféré dans le creuset et les opérations de rotation et de drainage suivent.

Les paramètres du procédé influencent la formation de la partie solide ainsi que les microstructures finales. Les paramètres en question sont le temps de brassage, le temps d'attente, le pourcentage de drainage, le volume de métal, le poids du creuset, la température du métal, et l'intensité de l'étape de brassage.

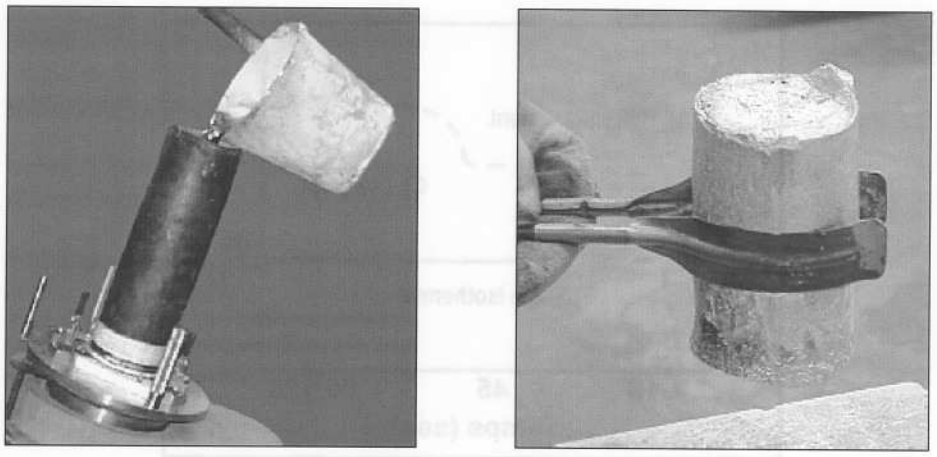

**Figure 8.** L'appareil prototype SEED durant le chargement et la masse prête pour le formage.

Alliages testés avec le procédé SEED

Le procédé SEED est applicable à tous les alliages hypo-eutectiques et a été démontré en utilisant les alliages binaires suivants: Al-0.5 à 10%Si, Al-0.5 à 10% Cu, Al-0.5 à 7% Mg et Al-0.5 à 10% Zn.

Par exemple, les pièces montrées à la Figure 9 ont été produites avec les alliages suivants incluant le A356, A357, le Al-5Si (0, 0.25, 0.5 & 1.0 Cu), le AA6061, le AA6082 et le Al-3Mg-1Mn, Al-4.5%Cu (206), A514, et des alliages secondaires A319 et A380.

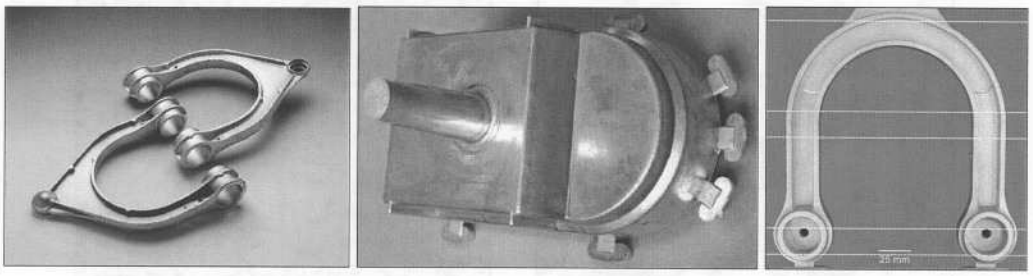

**Figure 9.** Exemple de pièces diverses produites avec le procédé SEED

Essais de démonstration en usine

Afin de démontrer le potentiel du procédé SEED, une série d'essais a été effectuée à l'échelle industrielle sur l'alliage A357. La pièce choisie lors ces essais était un bras de contrôle supérieur avant pesant approximativement 1 kg. Ces pièces étaient produites en utilisant une matrice avec deux cavités et, en tenant compte du système d'alimentation, une charge de 5.7 kg était requise. Un total de 102 injections (204 pièces) ont été produites et utilisées avec la machine automatique et les procédures normales de contrôle des essais. Après la fabrication, 100 pièces ont été testées pour la destruction en utilisant un appareil conçu pour simuler la déformation pouvant survenir lors d'une collision frontale. La Figure 10 montre les pièces telles que coulées attachées au système de jonction et une pièce finie dans l'appareil de test.

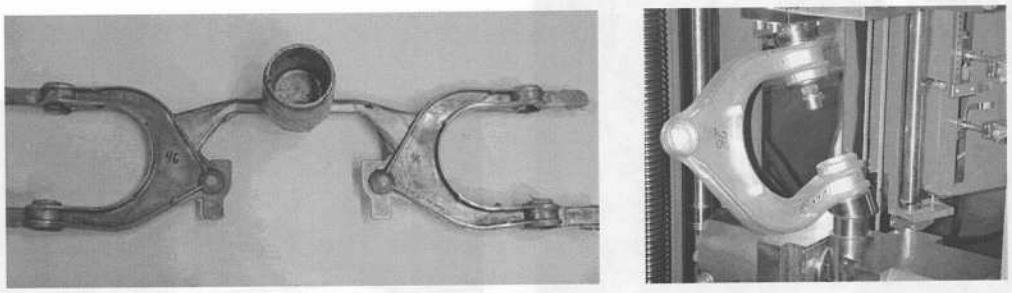

**Figure 10.** Pièces à partir du procédé SEED et essais destructif, respectivement.

Les résultats des essais destructifs sont résumés au Tableau 1. Pour cette application, ces pièces doivent subir un minimum de 40 mm de déflection, résister à une charge maximale de 5,500 N et absorber au moins 200 joules d'énergie avant la rupture. Cette pièce est normalement mise en service dans la condition T4 (traitement thermique avec mise en solution suivie par une trempe à l'eau).

Comme indiqué dans le Tableau 1, les pièces produites à partir du matériau obtenu par le procédé SEED et avec traitement thermique de type T4 excèdent de façon confortable ces spécifications. En fait la majorité des pièces atteignaient la fin de la course de l'appareil de vérification (~78 mm) sans défaillir. Les pièces testées dans la condition telle que coulée ont excédé les specifications de la déflection et de l'absorption de l'énergie et ont presque rempli le critère de charge maximale suggérant que le traitement moins coûteux T5 (pièce refroidie dans l'eau à la sortie du moule et suivi d'un vieillissement artificiel) puisse être substitué au traitement actuel T4.

**Tableau 1.** Résultats des tests destructifs (Procédé SEED).

| | DÉFLECTION | CHARGE MAXIMALE | ÉNERGIE ABSORBÉE |
|---|---|---|---|
| Spécification | >40 mm | >5500 N | >200 J |
| Trempe-T4 | 77 (1.3) | 5876 (134) | 361 (9) |
| Coulée (F) | 68 (5) | 5540 (140) | 308 (19) |

Écarts-type entre paranthèses ( )

Unité pré-industriel du procédé SEED

L'étape suivant les essais en laboratoire était de construire un prototype pour valider la technologie SEED sur une échelle pré-industrielle. Le concept a été construit avec une approche modulaire afin d'offrir une flexibilité et de minimiser la durée des temps d'arrêt.

L'unité pré-industrielle est opérée automatiquement et liée aux équipements standard de l'usine comme la louche de transfert de métal, le robot et l'HPDC (Buehler SC600). Ceci assure une itération plus rapide associée avec le présent développement de la première version de l'unité industrielle. La figure 11 montre l'usine pilote et le prototype pré-industriel.

**Figure 11.** Usine pilote et unité pré-industriel de la technologie SEED, respectivement

## Transfert de chaleur**

Dans le procédé SEED, l'obtention d'un équilibre par transfert de chaleur et brassage joue un rôle prédominant. La partie qui suit porte une attention particulière au transfert de chaleur lors de la fabrication de la pâte semi-solide ainsi que lors du moulage sous pression.

Transfert de chaleur dans le procédé SEED

Une particularité de ce procédé est l'échange de chaleur entre le lopin d'aluminium, le godet et l'air ambiant. Cet échange peut s'exprimer de façon suivante[1,10] :

$$\Delta H_{Al} + \Delta H_c + Q_{air} = 0 \qquad (1)$$

La chaleur fournie par le lopin dépend de son enthalpie, $\Delta H_{Al}$, qui varie selon la température tel que décrit à la Figure 1. Dans la gamme de température où le solide et le liquide co-existent, l'enthalpie de l'aluminium dépend aussi de la fraction solide dont la variation en fonction de la température est selon la Figure 2.

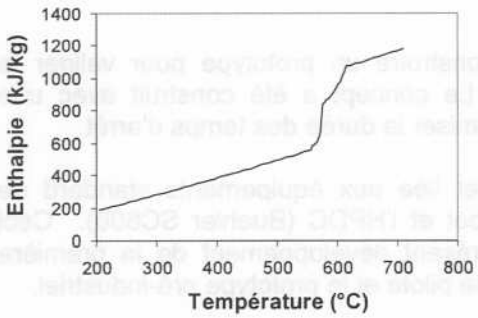


**Figure 13.** Variation de l'enthalpie en fonction de la température pour l'alliage A356.

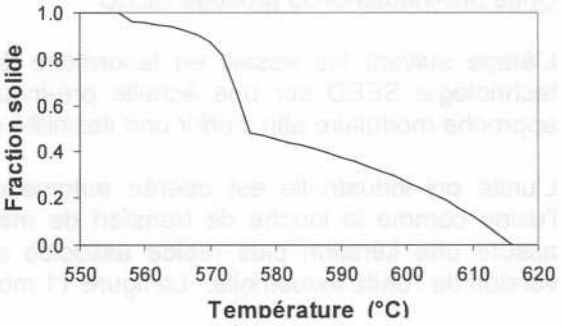


**Figure 14.** Variation de la fraction solide en fonction de la température pour l'alliage A356 selon la relation de Scheil.

La chaleur provenant du lopin qui est absorbée par le godet est fournie par la relation :

$$\Delta H_c = M_c \cdot \int_{T_i}^{T_f} C_p dT \tag{2}$$

De la chaleur, $Q_{air}$, est aussi transférée à l'air ambiant par rayonnement et convection :

$$Q_{air} = A_1 \int_0^t q_{ray}\, dt + A_2 \int_0^t q_{conv}\, dt \tag{3}$$

avec

$$q_{ray} = \varepsilon\sigma(T_{surf}^4 - T_{amb}^4) \tag{4}$$

et

$$q_{conv} = h_{conv}\,(T_{surf} - T_{amb}) \tag{5}$$

Les surfaces $A_1$ et $A_2$ de l'équation (3) correspondent à celles des contacts godet-air et lopin-air, respectivement. L'échange de chaleur décrivant le contact lopin-godet est aussi décrit par la loi de Newton, équation (5)[11]. Le transfert de chaleur à l'intérieur du godet s'effectue par conduction et peut être décrit par l'équation de conduction exprimée ici en 2 dimensions pour des coordonnées cylindriques:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(k_r r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \tag{6}$$

Pour le lopin une formulation enthalpique de cette équation est utilisée afin de tenir compte de la transformation de phase que l'alliage subit. La rotation du godet provoque de plus un transfert de chaleur par convection, cet effet pouvant être considéré en augmentant la conductivité thermique de l'alliage[12].

Un modèle mathématique regroupant l'ensemble des phénomènes discutés (conduction, convection, rayonnement et solidification) a été construit afin de déterminer l'évolution des températures des lopins et des godets. Le logiciel ProCAST™ a été utilisé pour résoudre les équations du modèle. La Figure 14 illustre un exemple de l'évolution de la température d'un lopin. Il est observé que la température calculée est assez bien validée par celle des résultats expérimentaux obtenus à l'aide de thermocouples insérés dans le lopin. Il peut être noté que la chute de température est relativement élevée durant les 20 premières secondes et quelle devient moindre par la suite, le lopin étant alors dans un régime quasi-stationnaire.

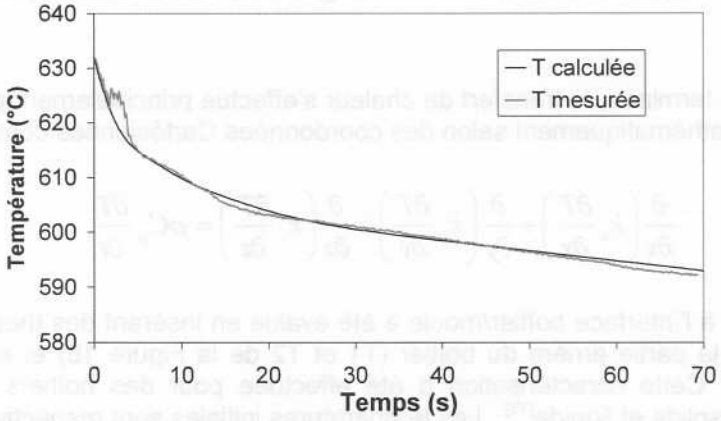


**Figure 14.** Exemple de la variation de la température en fonction du temps d'un lopin.

comme condition frontière au modèle mathématique. Il est supposé ici qu'ils sont représentatifs de l'ensemble de la pièce. Pour chacun des quatre temps de la Figure 17, il est observé que les températures du boîtier moulé avec l'aluminium liquide sont dans l'ensemble plus élevées. Les clichés de la partie supérieure sont pour une pièce moulée à partir d'aluminium liquide et ceux de la partie inférieure sont pour la pièce moulée à partir d'aluminium semi-solide.

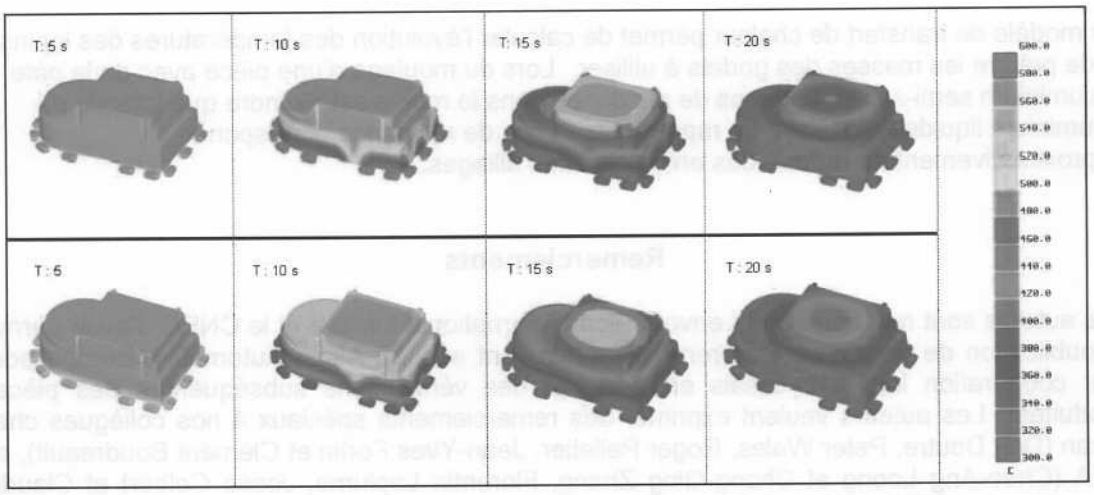


**Figure 14.** Évolution des températures lors du refroidissement du boîtier dans le moule.

La Figure 18 illustre l'évolution de la température moyenne du boîtier lorsque moulé à partir de la condition semi-solide et liquide. Des températures moins élevées pour le boîtier moulé à partir de l'alliage semi-solide sont observées. À partir de la température de solidus (557 °C), celui-ci prend environ 20 % moins de temps à atteindre la même température que le boîtier produit avec l'aluminium liquide. On note qu'au départ, l'aluminium semi-solide contenait environ 25 % moins de chaleur que l'aluminium liquide. En tenant compte des incertitudes associées aux calculs, il est constaté que le rapport des temps de résidence dans le moule correspond grosso modo au rapport des enthalpies des alliages lors de l'injection.

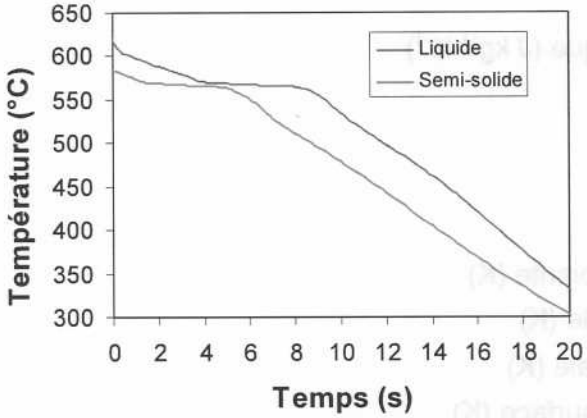


**Figure 18.** Différence dans l'évolution de la température pour le boîtier moulé à partir d'aluminium liquide et d'aluminium semi-solide.

## Conclusions

Un procédé simple et moins coûteux pour la préparation d'alliage d'aluminium semi-solide pour les procédés de formage a été développé. Le procédé peut être appliqué à une large gamme d'alliages d'aluminium et peut facilement être adapté pour produire un éventail de poids pour le formage semi-solide. Un effort concerté est présentement en cours afin de développer une version industrielle de la technoligie SEED.

Un modèle de transfert de chaleur permet de calculer l'évolution des températures des lopins et de prédire les masses des godets à utiliser. Lors du moulage d'une pièce avec de la pâte d'aluminium semi-solide, le temps de résidence dans le moule est moindre que lorsque de l'aluminium liquide est utilisé. Le rapport des temps de résidence correspond approximativement au rapport des enthalpies des alliages.

## Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants envers Alcan International Limitée et le CNRC d'avoir permis la publication de ce travail. Des remerciements vont aussi à Alcan Automotive Europe pour leur coopération lors des essais en usine et des vérifications subséquentes des pièces produites. Les auteurs veulent exprimer des remerciements spéciaux à nos collègues chez Alcan (Don Doutre, Peter Wales, Roger Pelletier, Jean-Yves Fortin et Clément Boudreault), au CTA (Chee-Ang Loong et Chang-Qing Zhang, Florentin Laplume, Josée Colbert et Claudia Sheehy), chez STAS (Pascal Côté, Bahadir Kulunk, Stéphane Leclerc et Roberto Chevarie) ainsi qu'aux autres collaborateurs pour leur travail sur la technologie SEED et leur support en matériel pour le présent article.

Notation

| | |
|---|---|
| $A$ | surface du godet ($m^2$) |
| $h$ | coefficient de transfert de chaleur ($kW\ m^{-2}\ K^{-1}$) |
| $k$ | conductivité thermique ($W\ m^{-1} K^{-1}$) |
| $q$ | flux de chaleur par unité de surface ($W\ m^{-2}$) |
| $t$ | temps (s) |
| $C_p$ | capacité calorifique ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$) |
| $M$ | masse (kg) |
| $Q$ | Chaleur (J) |
| $r$ | rayon (m) |
| $t$ | temps (s) |
| $T$ | température (K) |
| $T_{amb}$ | température ambiante (K) |
| $T_f$ | température finale (K) |
| $T_i$ | température initiale (K) |
| $T_{surf}$ | température de surface (K) |
| $\Delta H$ | enthalpie (J) |
| $x, y, z$ | coordonnées (m) |
| $\varepsilon$ | émissivité |
| $\sigma$ | constante de Stefan-Boltzmann ($5.670 \cdot 10^{-8}\ W/(m^2 \cdot K^4)$) |

## Bibliographie


1) D. Doutre, G. Hay, et P. Wales, P, 'Semi-solid concentration processing of metallic alloys', US Patent No. 6,428,636, August 6 2002.

2) D. Apelian, Q.Y. Pan, et M. Findon, 'Low Cost and Energy Efficient Methods for the Manufacture of Semi-Solid (SSM) Feedstock', Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 22-27.

3) J.L. Jorstad, 'Semi-Solid Metal Processing; The High Integrity Die Casting Process', Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 42-48.

4) J. Yurko, M. Flemings et A. Martinez, 'Semi-Solid Rheocasting (SSRTM) - Increasing the Capabilities of Die Casting' Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 50-52.

5) M. Garat, S. Blais, C. Pluchon et W.R. Loue, 'Aluminum Semi-Solid Processing: From the Billet to the Finished Part', Proceedings 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, A.K. Bhasin, J.J. Moore, K.P. Young and S. Midson Eds., Colorado School of Mines, 1998, pp. 199-213.

6) D. Doutre, P. Wales et J.–P. Gabathuler, 'SEED : A New Process for Semi-Solid Forming', Light Metals 2003 Métaux Légers: 42nd Annual Conference of Metallurgist of CIM, Vancouver, British Columbia, Canada, Edited by J. Masounave and G. Dufour, pp. 293-306.

7) D.Doutre, J. Langlais, S. Roy, 'The SEED Process for Semi-Solid Forming', 8th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Chypre, Septembre 2004. CD-ROM.

8) Sh.Nafisi, R.Ghomashchi, A.Charette, B.Kulunk, and J. Langlais, 'Effects of Grain Refining on Morphological Evolution of Al-7%Si in the Swirled Enthalpy Equilibration Device (SEED)', 66th World Foundry Congress, Turkey, September 2004, pp. 1253-1263.

9) O.Lashkari, Sh.Nafisi, R.Ghomashchi, A.Charette, J. Langlais, B.Kulunk, 'Impact of swirling and superheat on microstructural evolution of 356 alloy in SEED slurry-on-demand process', Light Metals, CIM August 2004, Hamilton, Canada, pp. 315-322.

10) D. Bouchard, F. Pineau, D. Doutre, P. Wales et J. Langlais, 'Heat Transfer Analysis of the Swirled Enthalpy Equilibration Device for the Production of Semi-Solid Aluminium', Light Metals 2003 Métaux Légers : 42nd Annual Conference of Metallurgist of CIM, Vancouver, British Columbia, Canada, Edited By J. Masounave and G. Dufour, pp. 229-241.

11) T.W. Clyne, 'Modeling of Heat Flow in Solidification', Materials Science and Engineering, vol. 65, 1984, pp. 111-124.

12) B. Lally, L. Biegler, et H. Henein, 'Finite Difference Heat-Transfer Modeling for Continuous Casting', Met. Trans., vol. 21B, 19909, pp. 761-770.

13) D. Bouchard, D. Cathelain et C.-A. Loong, 'Heat Transfer in Semi-Solid and Liquid Aluminum Die Casting', 7th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Tsukuba, Japan, Septembre 2002, pp. 461-465.

# Bibliography


1) D. Doutre, G. Hay, et P. Wales, P. 'Semi-solid concentration processing of metallic alloys', US Patent No. 6,428,656, August 6 2002.

2) D. Apelian, D.Y. Ren, et M. Rindon, 'Low Cost and Energy Efficient Methods for the Manufacture of Semi-Solid (SSM) Feedstock', Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 22-27.

3) J.L. Jorstad, 'Semi-Solid Metal Processing, The High Integrity Die Casting Process', Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 42-48

4) J. Yurko, M. Flemings et A. Martinez, 'Semi-Solid Rheocasting (SSR™) - Increasing the Capabilities of Die Casting', Die Casting Engineer, Vol. 48, No. 1, January 2004, pp. 50-52.

5) M. Garat, S. Blais, C. Pluchon et W.R. Loue, 'Aluminum Semi-Solid Processing: From the Billet to the Finished Part', Proceedings 8th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, A.K. Bhasin, J.J. Moore, K.P. Young and S. Midson Eds., Colorado School of Mines, 1998, pp. 199-213.

6) D. Doutre, P. Wales et J.-P. Gabathuler, 'SSEED - A New Process for Semi-Solid Forming', Light Metals 2003 Meeting, Legens, 42nd Annual Conference of Metallurgist of CIM, Vancouver, British Columbia, Canada, Edited by J. Masciantonio and G. Dubois, pp. 293-308.

7) D.Doutre, J. Langlais, S. Roy, 'The SSEED Process for Semi-Solid Forming', 6th Int. Cond. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Chypre, Septembre 2004, CD-ROM.

8) Sh Nafisi, R Ghomashchi, A.Chaterjee, B.Kulunk, and J. Langlais, 'Effects of Grain Refining on Morphological Evolution of Al-7%Si in the Swirled Enthalpy Equilibration Device (SEED)', 66th World Foundry Congress, Turkey, September 2004, pp. 1293-1303.

9) D.Lazzari, Sh Nafisi, R.Ghomashchi, A.Chatterjee, J. Langlais, B.Kulunk, 'Impact of swirling and superheat on microstructural evolution of 356 alloy in SEED slurry-on-demand process', Light Metals, CIM August 2004, Hamilton, Canada, pp. 315-322.

10) D. Bouchard, F. Nguyen, D. Doutre, P. Wales et J. Langlais, 'Heat Transfer Analysis of the Swirled Enthalpy Equilibration Device for the Production of Semi-Solid Aluminum', Light Metals 2003 Meeting, Legens, 42nd Annual Conference of Metallurgist of CIM, Vancouver, British Columbia, Canada, Edited By J. Masciantonio and G. Dubois, pp. 229-241.

11) T.W. Clyne, 'Modelling of Heat Flow in Solidification', Materials Science and Engineering, Vol. 65, 1984, pp. 111-124

12) B. Lally, J. Biegler, et H. Henrich, 'Finite Difference Heat Transfer Modeling for Continuous Casting', Met. Trans., vol. 21B, 1990B, pp. 761-770.

13) D. Bouchard, D. Carlstedt et C.-A. Loong, 'Heat Transfer in Semi-Solid and Liquid Aluminum Die Casting', 7th Int. Cond. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Tsukuba, Japan, September 2002, pp. 481-485.

Conseil national de recherches Canada | National Research Council Canada

Institut des matériaux industriels | Industrial Materials Institute

# Fiche d'information et d'autorisation pour documents internes, externes et conférences

**Année calendrier** 2005-2006

**No de projet** 50_836

## Titre du document

**Procédé SEED et moulage sous pression de pièces d'aluminium: Description du procédé et transfert de chaleur**

## Statut du document

### Types de document

☐ **Sommaire (Abstract)** Écrit final suivra ? ☐ Non ☐ Si Oui Date _____

☒ **Document soumis pour publication**

Si un sommaire (abstract) a été soumis précédemment, veuillez indiquer les numéros IMI _____ CNRC _____

À présenter dans le cadre de Trans-Al 2005

Date de la conférence 19-23 juin Lieu Trois-Rivières

À paraître dans Compte remdu de la conférence Date Juin 2005

☐ **Rapport**

☐ Technique ☐ Industriel de service

☐ **Autre (spécifiez)** _____

**À être complétée par votre secrétaire. Veuillez l'aviser lorsque l'information sera disponible.**

☐ **Publication** **Année calendrier** 2005-2006

☐ Revues et livres avec comité de lecture

☐ Procès-verbaux de conférence avec comité de lecture

☐ Procès-verbaux de conférence sans comité de lecture

Si un sommaire (abstract) a été soumis précédemment, veuillez indiquer les numéros IMI _____ CNRC CNRC _____

Paru dans (vol. pp) _____

Partenaires _____

Déclaration d'invention _____ Date _____

Demande de brevet déposée _____ Pays _____

Si non, explications: _____

| Auteur (nom prénom) | Affiliation Section | Groupe | Externe | Signature | Date |
|---|---|---|---|---|---|
| * Joseph Langlais | | | Alcan Inc | | 4/5/05 |
| Dominique Bouchard | 502300 | 502301 | | | 4/5/05 |
| Frédéric Pineau | 502300 | 502301 | | | 4/5/05 |
| Alain Lemieux | | | Alcan Inc | | 6/5/05 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

* Je certifie, en tant que premier auteur, que j'ai vérifié avec le(s) partenaire(s) qu'il(s) n'a (n'ont) pas d'objection à ce document.

**Approbations:**

| Signature Chef de groupe | Date | Signature Directeur de section | Date | Signature Directeur général | Date |
|---|---|---|---|---|---|
| | 15/5/2005 | | 11/05/05 | | 25-05-05 |

Numéro IMI 2005 - 109770 - g CNRC

Conseil national de recherches Canada | National Research Council Canada

**Autorisation de publier (Droit d'auteur de la Couronne)**

Entente no : 2081

Date : 11 mai 2005

# AUTORISATION DE PUBLIER UN ÉCRIT PROTÉGÉ PAR LE DROIT D'AUTEUR

À : ***Francine Corneau : Comité organisateur de Trans-AI 2005***

Adresse : *637, boul. Talbot, bureau 102*
*Chicoutimi, (QC) G7H 6A4*

La présente a trait à l'écrit intitulé :
***Procédé SEED et moulage sous pression de pièces d'aluminium: Description du procédé et transfert de chaleur***

dont les auteurs sont :
***Joseph Langlais, Dominique Bouchard , Frédéric Pineau et Alain Lemieux***

et qui doit être publié dans :
***Compte rendu de la conférence Trans-AI 2005***

1. Les auteurs (sauf ceux qui sont énumérés ici) ont contribué à l'écrit ci-haut pour le compte du Conseil national de recherches du Canada ("CNRC"), créant de ce fait un droit d'auteur au bénéfice de Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, c'est-à-dire du gouvernement du Canada. Le CNRC n'est pas habilité à transiger avec les droits se rapportant à la contribution de co-auteurs qui sont énumérés ici, et vous êtes tenus de demander la permission de ces co-auteurs séparément: **Joseph Langlais et Alain Lemieux**.

2. À l'égard des droits d'auteur détenus par Sa Majesté, le CNRC vous accorde une autorisation de publier l'écrit dans la revue indiquée ci-haut, à la condition que la contribution des auteurs et du Conseil national de recherches du Canada soit clairement reconnue dans la publication. Après la publication initiale, vous êtes autorisé à publier de nouveau l'écrit sous quelque forme ou sur quelque support que ce soit, sous réserve du respect de la même condition de reconnaissance.

3. Vous ***avez*** le droit d'accorder à d'autres l'autorisation de reproduire et de publier (si ce droit est octroyé, il est assujetti à la même condition de reconnaissance que celle précisée précédemment).

4. Le CNRC, en son nom et au nom des auteurs non mentionnés au paragraphe 1, garantit que le document :

   a) est le travail original des coauteurs nommés et n'a jamais été publié sur support papier;

   b) ne sera pas publié ailleurs sur support papier, si vous l'acceptez pour publication;

c) n'est pas accessible au public sur support électronique et notamment sur Internet, sauf sur les sites mentionnés ci-dessous : l'adresse Internet : et la date d'affichage : ;

d) ne sera pas mis à la disposition du public sur Internet, sauf dans la mesure décrite en c), dans les douze mois suivant la signature du présente document par le CNRC;

e) ne contient aucune déclaration assimilable à de la contrefaçon ou de la diffamation, ni aucune déclaration illégale.

5. Nous estimons que la présente autorisation vous donnera toute la marge de manœuvre que vous demandez au gouvernement du Canada mais ladite autorisation ne vous transfère pas les droits d'auteur sur le document en cause.

Signé à Boucherville, Québec le _____
(Date)

POUR LE **CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA**

_____
Dr Blaise Champagne, Directeur général
Institut des matériaux industriels