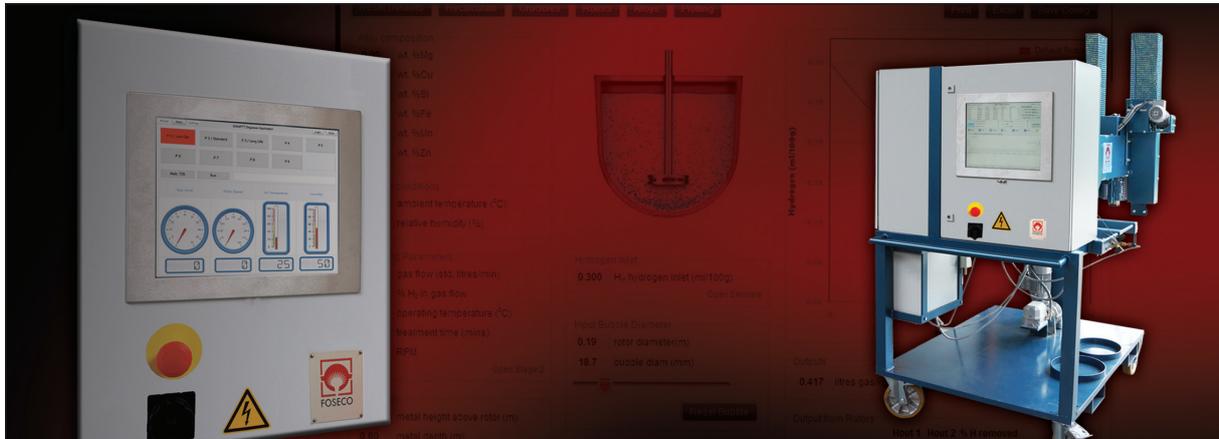


L'innovation pour la maîtrise du dégazage des alliages d'aluminium avec un rotor



Introduction

La production de pièces en aluminium dans le monde est dominée par l'industrie automobile et l'importance croissante des réductions des émissions et de consommation de carburant a entraîné une augmentation rapide de l'utilisation des pièces en aluminium. Pour ces applications exigeantes, les caractéristiques en termes de résistance mécanique, d'allongement et de résistance à la fatigue ne peuvent plus être satisfaites par des alliages standards : De nouveaux alliages ayant un potentiel plus important ont été et continueront à être développés. Pour exploiter complètement le potentiel de ces alliages, des pièces moulées sans porosité, de grande propreté et de structure fine doivent être produites. Les pièces de sécurité exigent maintenant un allongement supérieur à 10% par rapport à la pièce moulée elle-même, ce qui se rapproche de la limite de l'alliage. La « fenêtre » à la fusion pour satisfaire à ces exigences devient de plus en plus petite, tandis que les conditions de départ telles que la qualité du lingot, les conditions de fusion et de maintien, la maîtrise de la température et le transfert de métal liquide peuvent devenir des facteurs limitants. Pour garantir une qualité de pièce correcte, un processus de fusion plus efficace et plus robuste est essentiel, en amont d'une pratique de coulée bien conçue et maîtrisée.

Un autre attribut important requis par l'industrie automobile est la reproductibilité et donc tout traitement du métal liquide adopté doit être capable d'atteindre des niveaux reproductibles de propreté et de contrôle de l'hydrogène dissous. De nombreux systèmes de gestion de la qualité exigent également un enregistrement des données de production à 100%, aussi un système sophistiqué de traitement du métal avec stockage de données devient-il plus attrayant pour l'industrie automobile.

Un processus innovant qui peut automatiquement obtenir la même qualité de bain, indépendamment des conditions environnementales externes, sera la clé de la production future de pièces de haute qualité répondant aux besoins de ce segment de marché en croissance.

Simulation de dégazage

L'équipe de Marketing et Technologie Non Ferreux de Foseco a travaillé avec TSC - Technology Strategy Consultants - pour développer un modèle de dégazage en poche hébergé sur le Web. Il a été conçu comme un outil pour analyser rapidement les opérations de fonderie et faire des suggestions pour leur amélioration.

Le modèle mathématique sur lequel s'appuie ce logiciel est basé sur les meilleures informations disponibles publiées concernant la cinétique du dégazage à l'hydrogène (par exemple solubilité de l'hydrogène, diffusivité, taux de transfert de masse et tailles de bulles). Un vaste programme d'essais a été entrepris pour fournir des informations précises sur les différents rotors dans différentes conditions.

Pour caractériser différents rotors, les essais suivants ont été effectués :

- Analyse de la puissance dégagée par les rotors
- Capacités de mélange des différents rotors
- Tests de solubilité de gaz dans l'eau
- Essais en fonderie sur de l'aluminium liquide

Une description complète de ces travaux de développements est disponible dans Foundry Practice 256 de 2011.

Paramètres influents pour le dégazage

Trois principaux groupes de variables influencent l'efficacité du dégazage : conditions ambiantes, paramètres de dégazage avec rotor et propriétés de l'alliage. La concentration en hydrogène dans l'alliage liquide a été calculée avec le logiciel Degassing Simulation pour les combinaisons suivantes, largement répandues, de paramètres. Les variations de chacun des paramètres illustrent combien ils influent sur les résultats du dégazage et sur la teneur finale en hydrogène dans le métal liquide en fin de traitement.

ATL 1000 chargée à 850 kg	Rotor XSR 220
AlSi7Mg	420 tours par minute
Température 750 °C	20 l/min de gaz inerte
Humidité relative 50 %	0,30 ml H ₂ / 100 g Al au démarrage
Température ambiante 25 °C	

Tableau 1 : paramètres utilisés pour la simulation

1. Conditions ambiantes

L'alliage liquide et l'eau de l'atmosphère ambiante forment un équilibre. Une ambiance chaude et humide génère dans le métal liquide une concentration en hydrogène supérieure à celle obtenue avec une ambiance froide et sèche

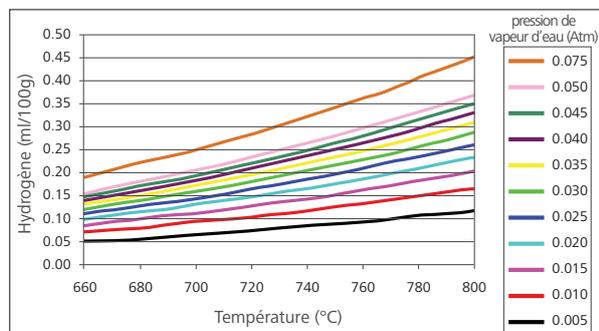


Figure 1 : influence des conditions ambiantes sur la teneur en hydrogène dissous à l'équilibre (0.005 atm = 5 °C / 50 % rH; 0.050 atm = 35 °C / 90 % rH)

Pendant le dégazage, le métal liquide interagit avec l'atmosphère et s'enrichit en hydrogène. La Simulation de Dégazage illustre l'impact des conditions ambiantes (Diagramme 1):

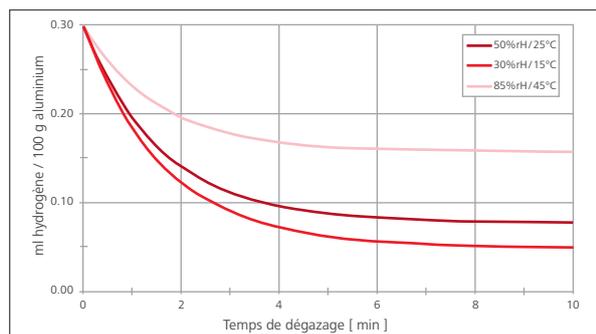


Diagramme 1 : Courbes de dégazage pour différentes conditions ambiantes

2. Paramètres de dégazage avec rotor

Le rotor de dégazage peut exécuter un traitement à différentes vitesses de rotation et différents débits de gaz inerte. Chaque géométrie de rotor a des valeurs minimales et maximales pour ces paramètres : vitesse du rotor et débit de gaz inerte. Il est important que les deux paramètres soient dans ces valeurs limites. Un traitement à vitesse de rotation très élevée et/ou débits importants de gaz inerte créerait trop de turbulences ou, dans des cas extrêmes, une aération du rotor avec une perte totale des performances de dégazage.

Les diagrammes 2 et 3 montrent le comportement au dégazage des paramètres typiques d'un rotor XSR 220 dans des conditions variables:

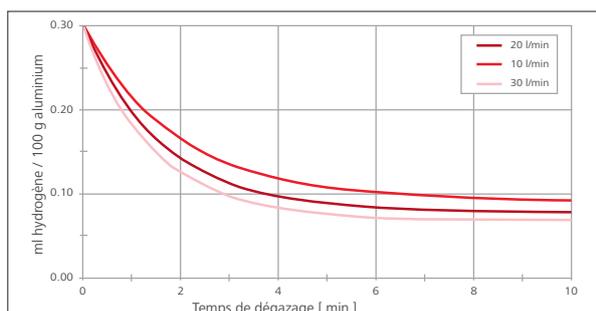


Diagramme 2 : Courbes de dégazage pour différents débits de gaz inerte

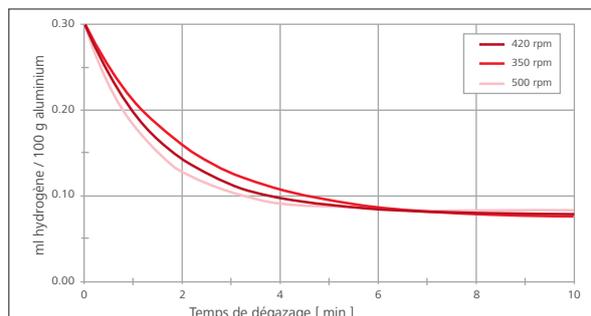


Diagramme 3 : courbes de dégazage pour différentes vitesses de rotation

3. Propriétés de l'alliage liquide

La composition de l'alliage a une influence énorme sur l'efficacité du dégazage. Des éléments tels que le magnésium, augmentent la solubilité de l'hydrogène alors que d'autres, silicium ou cuivre, la réduisent un peu (diagramme 4). La température de l'alliage modifie l'équilibre avec l'atmosphère : plus la température du bain est élevée, plus grande est la solubilité de l'hydrogène (diagramme 5).

La teneur initiale en hydrogène est souvent inconnue mais les courbes montrent qu'elle a finalement peu d'influence sur la teneur finale en hydrogène (diagramme 6)

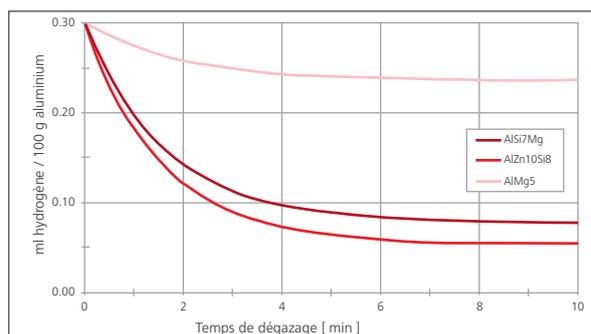


Diagramme 4 : courbes de dégazage pour différents alliages

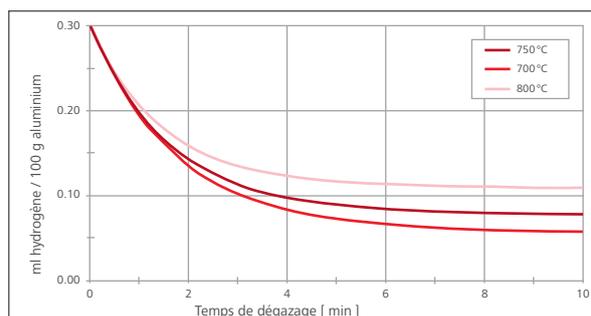


Diagramme 5 : courbes de dégazage pour différentes températures d'alliage

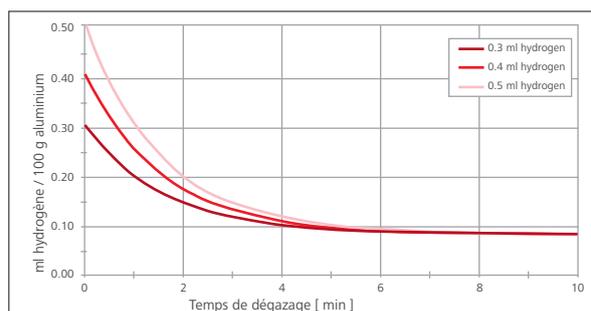


Diagramme 6 : courbes de dégazage pour différentes teneurs initiales en hydrogène

SMARTT un système innovant pour la maîtrise et le contrôle du process

SMARTT est un acronyme pour Self-Monitoring Adaptive Recalculation Treatment (système autonome et de calcul adaptatif pour le traitement). C'est un équipement innovant qui analyse l'ensemble des données d'entrée et calcule les paramètres du process de dégazage avec un rotor avant chaque traitement. L'optimisation a pour but d'obtenir toujours les mêmes propriétés sur l'alliage après chaque traitement.

Le logiciel SMARTT est installé sous un environnement Windows pour PC. Il dispose d'un écran tactile pour entrée et sortie des données. Une connexion LAN relie SMARTT à l'automate Siemens.

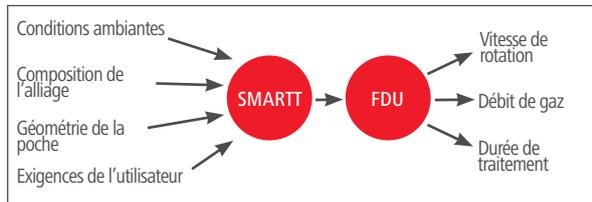


Figure 2 : principe schématique de SMARTT

Le système de base de données SQL en fait une interface ouverte et permet à l'opérateur de définir un nombre quasiment illimité de formes de creuset ou de poche, types d'alliage et programmes de traitement

La cible pour toutes les simulations est la teneur en hydrogène dans l'alliage fondu. Elle est utilisée et pour les procédures de dégazage et pour celles de re-gazage.

1. Conditions ambiantes

Humidité relative et température ambiantes sont mesurées par un capteur standard installé à proximité de l'armoire de contrôle, donc dans la zone où sont pratiqués les traitements. Les mesures effectuées sont transmises en temps réel à SMARTT. Elles sont enregistrées.

2. Composition d'alliage et géométrie de poche/creuset

Nombre d'alliages, de géométries de poches ou de creusets sont déjà enregistrés dans SMARTT. Il est possible de les modifier ou de les effacer. Alliage et géométrie de poche font partie de

chacun des programmes définis par l'utilisateur au même titre que la géométrie et le diamètre du rotor (figure 4)

3. Exigences de l'utilisateur

SMARTT propose quatre schémas de traitement différents à choisir. Le calcul est basé sur un débit minimum et maximum de gaz et une vitesse de rotation du rotor en fonction du type et du diamètre du rotor ainsi que de la taille de creuset/poche. Le temps minimum de dégazage est un paramètre pour assurer une bonne élimination des oxydes.

Dégazage à haute vitesse – temps de traitement le plus court possible à la vitesse maximale du rotor et au débit de gaz inerte le plus élevé. Un temps de traitement minimum est requis pour permettre l'homogénéisation et l'élimination des oxydes.

Faible consommation de gaz – exécute le traitement pendant un temps donné à une consommation de gaz inerte la plus faible et une vitesse de rotor ajustée pour atteindre la cible.

Longue durée de vie – fonctionne à la vitesse de rotation la plus faible possible pour réduire l'usure de l'arbre et du rotor. Le débit de gaz inerte correspondant dépend de la durée totale du traitement.

Dégazage standard – équilibre entre les deux schémas extrêmes, faible consommation de gaz, longue durée de vie

Le système à grande vitesse est utilisé quand le dégazage est le goulot d'étranglement dans la fonderie ou quand la demande des chantiers en aval est très importante. Le traitement à haute vitesse peut être utilisé à des moments particuliers, le matin quand la demande est forte, ou si les pièces moulées sont lourdes et produites en un temps de cycle court. Les autres régimes sont fonction des besoins locaux.

4. MTS 1500 settings

SMARTT est adapté pour les équipements de dégazage avec addition automatisée de flux granulés MTS 1500. Le paramétrage de MTS est effectué sur l'écran tactile de manière classique. Ces derniers paramètres ne sont pas utilisés en tant que tels pour le calcul de l'optimisation SMARTT pour le cycle de dégazage. Néanmoins, ces différents programmes MTS sont ensuite intégrés aux schémas d'optimisation et aux objectifs d'hydrogène (figure 5).



Figure 3 : Écran tactile intégré à la porte de l'armoire de contrôle du FDU

Name	Mg %	Cu %	Si %	Fe %	Mn %	Zn %
AlMg5	5	0	0.3	0.3	0.3	0.1
AlSi10Mg	0.3	0.1	10	0.8	0.3	0.1
AlSi12iCL	0.3	1	12	0.3	0.3	0.3
MTS	0.5	0.1	7	0.3	0.3	0.1
AlSi9Cu3	0.3	3	9	1	0.3	1
AlZn10Si	0.4	0	8	0.1	0	0

Figure 4 : écran présentant les différents alliages

MTS Name	as Flow [l/min]	Vortex Speed	Treatment Speed	Predegas Time	Vortex Time 1	Flux Time 1	React Time 1	Inter. Deg. Time	Vortex Time 2	Flux Time 2	React Time 2
Hopper 1	20	650	350	5	20	15	20	1	0	0	0
Hopper 1 and 2	20	600	300	5	15	10	20	20	15	5	10
Hopper 2	20	750	420	4	0	0	0	0	15	20	15
No MTS	20	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0

Écran de paramétrage MTS

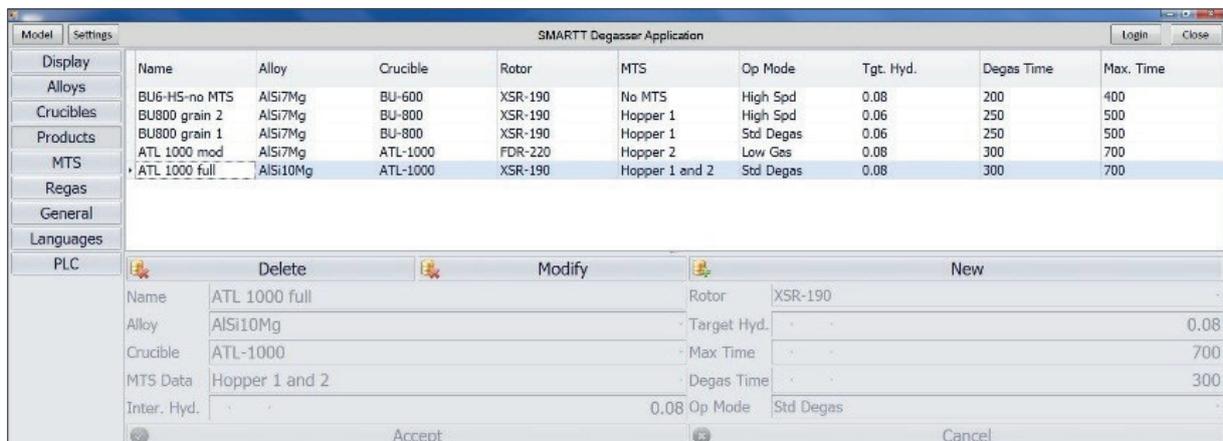


Figure 6: Ecran « Produit »

5. Écran « Produit »

Le menu « Produit » regroupe la totalité des paramètres utilisés pour définir un programme d'optimisation : géométrie de poche ou creuset, alliage et MTS 1500. De plus, on définit dans cet écran les limites de durée de dégazage. La teneur en hydrogène requise dans l'alliage est la cible du processus d'optimisation (figure 6).

Les différents schémas d'optimisation permettent à la fonderie d'obtenir un résultat final de dégazage identique en utilisant différents paramètres. L'option de faible consommation de gaz devrait être utilisée pour les régions où les coûts du gaz inerte sont élevés ; L'option longue durée réduit l'érosion de l'arbre et du rotor alors que le dégazage standard est un bon équilibre entre les deux extrêmes. Le dégazage à haute vitesse est une option où la procédure de dégazage est le goulot d'étranglement à la fusion.

Il est possible de nommer les différents programmes d'optimisation définis afin de rendre plus facile pour les opérateurs leur sélection ultérieure.

6. Écran « Opérateur »

Tous les écrans précédemment décrits sont accessibles uniquement à l'administrateur. L'opérateur ne voit qu'une interface spécialement conçue pour faire un choix facile parmi 10 programmes d'optimisation différents définis auparavant par l'administrateur. Conditions ambiantes et durée de traitement restante sont affichées sur cet écran « Opérateur » (figure 7).



Figure 7 : Ecran « Opérateur »

Résultats des essais sur le terrain

Le logiciel SMARTT est installé sur une unité mobile de dégazage FDU Mark 10 avec un système de dosage MTS 1500 à 1 trémie. Les essais ont été démarrés par une simple opération de dégazage. L'objectif était d'obtenir une qualité standard pour l'alliage traité avec un taux d'hydrogène de 0,08 ml d'hydrogène pour 100 g d'aluminium.

Les paramètres du tableau 2 - semblables à ceux utilisés pour la simulation modèle au début de cet article (tableau 1) - ont été utilisés pour les essais SMARTT:

ATL 1000 chargée à 850 kg	Rotor XSR 220
AlSi7Mg	0,30 ml H ₂ / 100 g Au démarrage
Température 750 °C (*)	Durée minimale de traitement 300 secondes (*)
Humidité relative 50 % (*)	Température ambiante: 25 °C (*)

(*) peut être différents dans certains cas

Tableau 2 : Paramètres de simulation SMARTT

Les tableaux suivants comparent les paramètres de traitement SMARTT optimisés pour atteindre la cible dans des conditions et des paramètres variables. Le tableau 3 illustre les différents schémas d'optimisation, le tableau 4 compare les paramètres pour trois conditions ambiantes différentes et le tableau 5 fournit des paramètres pour différentes températures d'alliage avant traitement.

1. Schémas d'optimisation

Les schémas : dégazage standard, faible consommation de gaz inerte, longue durée de vie des arbres et rotor commencent leur procédure d'optimisation avec une durée de traitement minimum donnée et essaient de trouver un résultat logique pour atteindre la cible. Si aucun résultat n'est trouvé, le temps de traitement est augmenté. L'option basse consommation de gaz fonctionne avec la vitesse maximale du rotor. Le débit de gaz inerte est défini pour atteindre la cible d'hydrogène dans le temps imparti. L'option longue durée suit la stratégie inverse avec la vitesse de rotor la plus faible possible et débit de gaz inerte à la limite maximale. Le schéma de dégazage standard prend un résultat juste entre les deux extrêmes. Le dégazage à haute vitesse effectue le traitement près du maximum pour la vitesse du rotor et du débit de gaz inerte et calcule le temps de traitement le plus court possible pour atteindre le niveau d'hydrogène après le traitement (tableau 3).

L'option à faible consommation de gaz consomme 55 litres de gaz inerte de moins par traitement que l'option longue durée de vie des consommables. Les fonderies effectuant 4 traitements

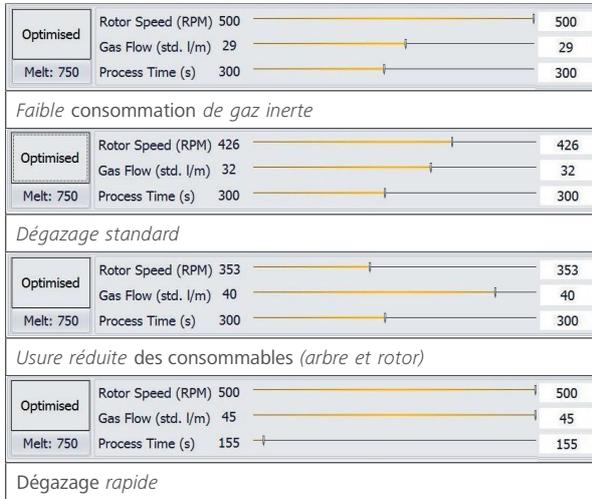


Tableau 3 : Résultats obtenus pour différents schémas d'optimisation

par heure peuvent économiser jusqu'à 1 500 Nm³ par an. Cela équivaut à plus de 150 bouteilles de gaz.

La vitesse réduite entraîne une réduction de l'usure de l'arbre en graphite. Des essais en clientèle ont montré que la durée de vie de l'arbre et du rotor peut être augmentée de 25% quand la vitesse de rotation est diminuée de 150 tours par minute. Selon les conditions de traitement, une fonderie avec 4 traitements par heure peut économiser jusqu'à 15 ensembles de consommables - rotor et arbre - par an.

2. Conditions ambiantes

SMARTT mesure et prend en compte les conditions ambiantes juste avant chaque traitement et lance la procédure d'optimisation en fonction des paramètres définis. Pour des niveaux d'humidité plus élevés dans l'atmosphère, la vitesse du rotor et le débit de gaz augmentent pour le dégazage standard. Ceci est un résultat attendu en raison des interactions de la surface du bain avec l'atmosphère. Le logiciel SMARTT trouve des conditions optimales de traitement pour des rH de 75% maxi et des températures de 28°C. Pour des niveaux d'humidité ou de température plus élevés, la cible d'hydrogène de 0,08 ml/100 g de Al n'est pas atteignable en raison du re-gazage permanent à la surface du bain pendant le traitement.

3. Température de l'alliage

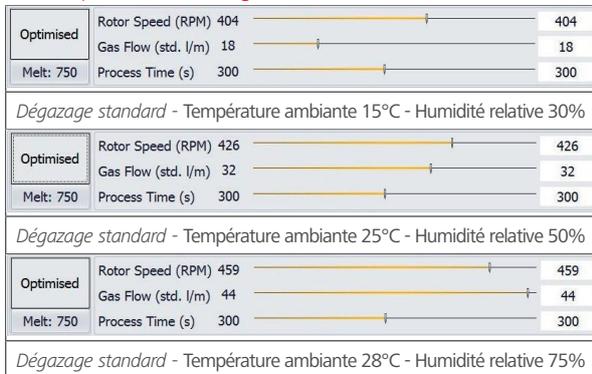


Tableau 4 : Résultats obtenus pour différentes conditions ambiantes

L'aluminium dissout davantage d'hydrogène à des températures plus élevées et absorbe encore plus d'hydrogène depuis l'atmosphère à la surface du bain. Le traitement est effectué à une vitesse de rotor plus rapide et à des débits de gaz inerte plus élevés avec une température croissante et inversement. SMARTT a trouvé une solution logique jusqu'à 780 °C, aucun

paramétrage n'a pu être défini pour 800 °C en raison d'une teneur en hydrogène initiale trop élevée et de la reprise à la surface du bain (tableau 5).

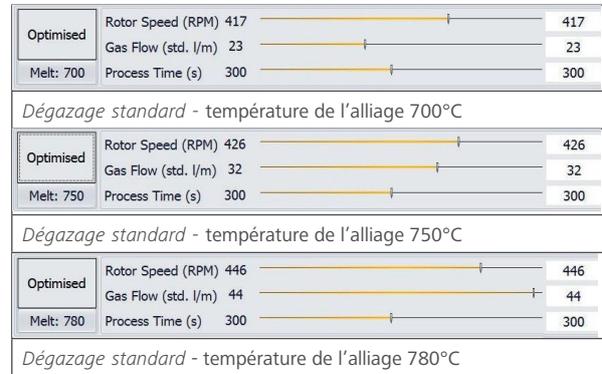


Tableau 5 : Résultats pour différentes températures d'alliage

4. Enregistrement des données

Le logiciel SMARTT exécute un programme d'enregistrement des données qui permet un suivi complet des paramètres par date et toutes les fonctions de dégazage prédéfinies et optimisées. Cette fonction très confortable remplace les systèmes complexes exécutés sur des ordinateurs externes à l'aide d'un logiciel d'enregistrement de données tiers. Les données de traitement peuvent être exportées vers des applications Office standard pour une analyse plus poussée.

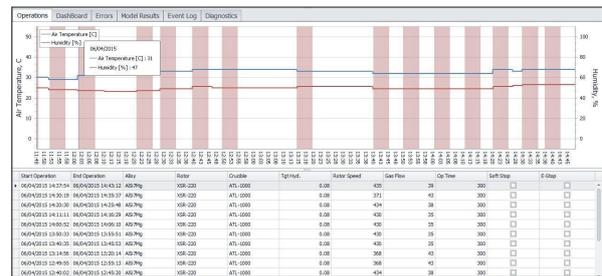


Figure 8: Ecran d'enregistrement des données

Résumé

- La pièce requiert un alliage avec une teneur constante en hydrogène.
- Des la variabilité des conditions initiales en fonderie rend ce résultat inatteignable de manière rentable.
- Les fonderies d'aujourd'hui compensent cet effet en « sur traitant » largement ce qui gaspille le gaz inerte et les consommables de graphite.
- SMARTT offre une interface confortable pour programmer toutes les étapes de traitement nécessaires.
- Ce système innovant de maîtrise du dégazage prédit les meilleurs paramètres de traitement pour différents schémas dans des conditions données.
- SMARTT économise du gaz inerte ou prolonge la durée de vie des consommables graphite.
- SMARTT enregistre tous les paramètres de traitement.
- Un contrôle de processus innovant est la meilleure solution pour les fonderies qui traitent de grandes quantités pour fabriquer une grande variété de pièces réclamant des niveaux de qualité similaires.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature or transmitted in any form or by any means, including photocopying and recording, without the written permission of the copyright holder.

All statements, information and data contained herein are published as a guide and although believed to be accurate and reliable (having regard to the manufacturer's practical experience) neither the manufacturer, licensor, seller nor publisher represents or warrants, expressly or impliedly:

- (1) their accuracy/reliability
- (2) that the use of the product(s) will not infringe third party rights
- (3) that no further safety measures are required to meet local legislation

The seller is not authorised to make representations nor contract on behalf of the manufacturer/licensor. All sales by the manufacturer/seller are based on their respective conditions of sale available on request.

*FOSECO and the logo are Trade Marks of the Vesuvius Group, registered in certain countries, used under licence.

© Foseco International Ltd. 2015

COMMENT

Editorial policy is to highlight the latest Foseco products and technical developments. However, because of their newness, some developments may not be immediately available in your area. Your local Foseco company or agent will be pleased to advise.



Foseco International Limited

P.O. Box 5516
Tamworth
Staffordshire
England B78 3XQ
Registered in England No. 468147