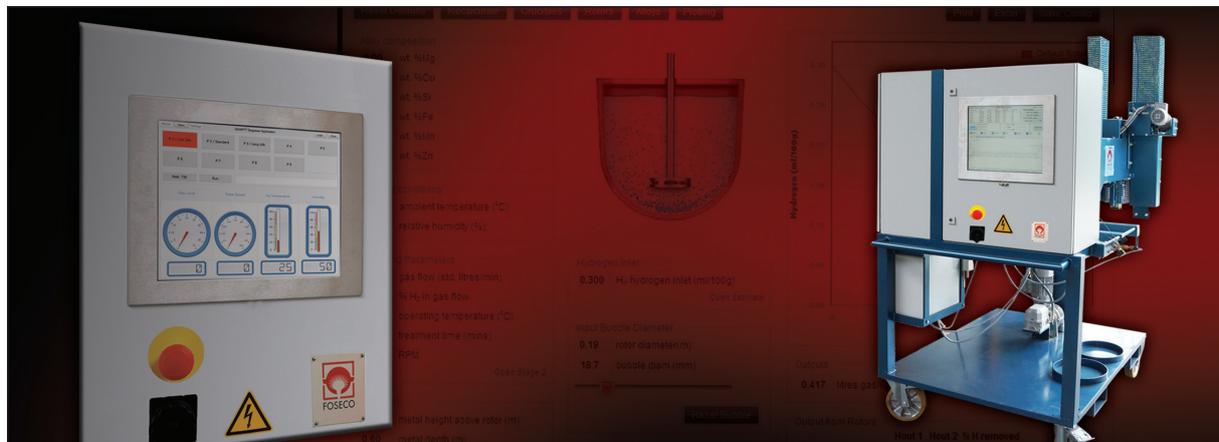


SMARTT – Innovador control del proceso de desgasificación rotativa de aleaciones de aluminio



Introducción

La producción de piezas fundidas de aluminio está dominada globalmente por el sector de la automoción, y la importancia cada vez mayor de las emisiones y el ahorro de combustible ha provocado un rápido incremento del uso de piezas fundidas de aluminio. Para estas aplicaciones tan exigentes, las aleaciones estándar ya no pueden proporcionar gran parte de las características de resistencia mecánica, alargamiento y resistencia a la fatiga y, por tanto, se han estado desarrollando (y se van a continuar desarrollando) aleaciones nuevas con un mayor potencial. Para aprovechar el potencial de estas aleaciones, hay que producir coladas sin poros de gran limpieza y estructura muy fina. En la actualidad, las piezas fundidas críticas requieren un alargamiento superior al 10 % de la propia pieza y esto se acerca al límite de la aleación. La «ventana» para que las propiedades de fusión cumplan estos requisitos es cada vez menor, al tiempo que las condiciones iniciales, por ejemplo, calidad de los lingotes, situación del horno de fusión y mantenimiento, control de la temperatura y transferencia del metal fundido pueden llegar a ser factores muy restrictivos. Para garantizar que se obtiene la calidad de colada adecuada, es esencial disponer de un tratamiento de fusión más efectivo y técnicamente sólido seguido por una práctica de vertido bien diseñada y controlada.

Otra característica importante que requiere el sector del automóvil es la capacidad de reproducción. Por tanto, cualquier tratamiento de fusión adoptado debe poder lograr niveles consistentes de limpieza y control del hidrógeno. Muchos sistemas de gestión de calidad también requieren un registro de datos de producción del 100 %. Por tanto, un sistema de tratamiento de fusión sofisticado con almacenamiento de datos es muy atractivo para el sector del automóvil.

Un proceso innovador que pueda conseguir automáticamente la misma calidad de fusión independientemente de las condiciones ambientales externas será clave para la futura producción de piezas fundidas de verdadera calidad que satisfagan las necesidades de este segmento del mercado en constante crecimiento.

Simulación de la desgasificación

El equipo de Marketing y Tecnología de productos no ferrosos de Foseco ha colaborado con tsc - Technology Strategy Consultants para desarrollar un modelo de desgasificación por lotes basado en una web. Este modelo ha sido diseñado como una herramienta que analiza rápidamente el funcionamiento de las fundiciones y realiza sugerencias de mejora.

El modelo matemático subyacente a este software se basa en la mejor información publicada disponible relativa a la cinética de la desgasificación de hidrógeno (por ejemplo, solubilidad del hidrógeno, difusividad, velocidad de transferencia de masa y tamaño estable de las burbujas). Se ha llevado a cabo un amplio programa de ensayos para proporcionar información específica sobre rotores individuales en diferentes condiciones.

Para caracterizar los diferentes rotores, se han llevado a cabo los siguientes ensayos:

- Análisis de potencia de los rotores del desgasificador
- Capacidad de mezcla de los rotores del desgasificador
- Pruebas de solubilidad del gas en agua
- Ensayos en fundiciones con fundidos de aluminio

En la Práctica de Fundición 256 (2011) se incluye una descripción minuciosa de este trabajo de investigación.

Parámetros que influyen en los resultados de la desgasificación

Tres grupos principales de variables influyen en la eficiencia de la desgasificación: condiciones ambientales, parámetros del desgasificador rotativo y propiedades de fusión. La concentración de hidrógeno en el fundido se ha calculado utilizando una simulación de desgasificación para el siguiente conjunto de parámetros extremadamente común. Las variaciones de los parámetros muestran la influencia en el resultado de la desgasificación y el contenido final de hidrógeno en el fundido después del tratamiento.

ATL 1000 con 850 kg fundido	Rotor XSR 220
AlSi7Mg	420 rpm
Temperatura de fusión 750 °C	Gas inerte 20 l/min
Humedad relativa 50 %	Nivel inicial 0,30 ml H ₂ / 100 g Al
Temperatura exterior 25 °C	

Tabla 1: Parámetros de simulación del modelo

1. Condiciones ambientales

El fundido forma un equilibrio con el agua en la atmósfera circundante. Un clima cálido y húmedo proporciona un contenido de hidrógeno mucho mayor en el fundido que un clima frío y seco (imagen 1).

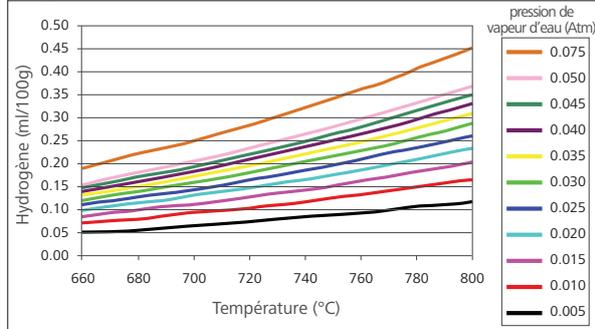


Imagen 1: Influencia de las condiciones ambientales sobre el equilibrio de hidrógeno

Durante la desgasificación rotativa, el fundido interactúa con la atmósfera y vuelve a captar hidrógeno. La simulación de la desgasificación muestra el efecto de las diferentes condiciones ambientales (diagrama 1):

2. Parámetros del desgasificador rotativo

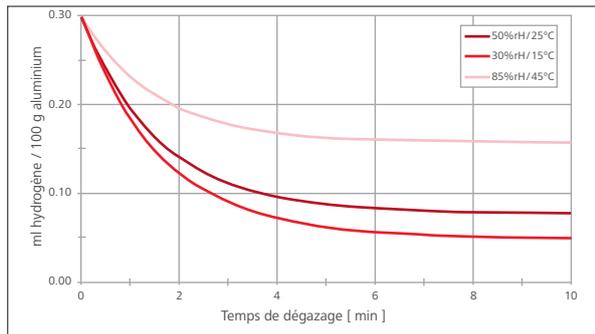


Diagrama 1: Curvas de desgasificación para diferentes condiciones ambientales

El desgasificador rotativo puede realizar un tratamiento con diferentes velocidades de rotación y caudales de gas inerte. Todos los diseños de los rotores disponen de valores mínimos y máximos para dichos parámetros –condiciones de trabajo– para la velocidad del rotor y el caudal de gas inerte. Es importante que ambos parámetros se sitúen dentro de los límites. La realización de un tratamiento con una velocidad de rotación muy alta y caudales importantes crearía demasiadas turbulencias o, en casos extremos, una aireación del rotor con una pérdida total del efecto desgasificador.

Los diagramas 2 y 3 muestran el comportamiento desgasificador para los parámetros típicos de un rotor XSR 220 en condiciones variables:

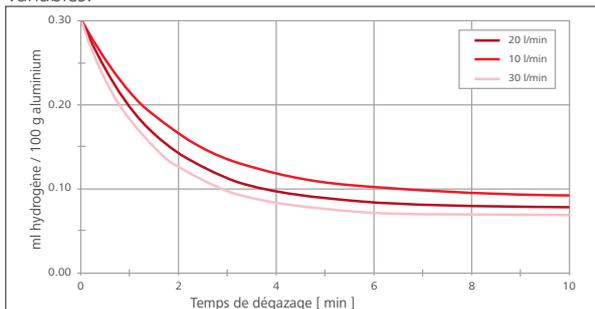


Diagrama 2: Curva de desgasificación para variaciones del flujo de gas inerte

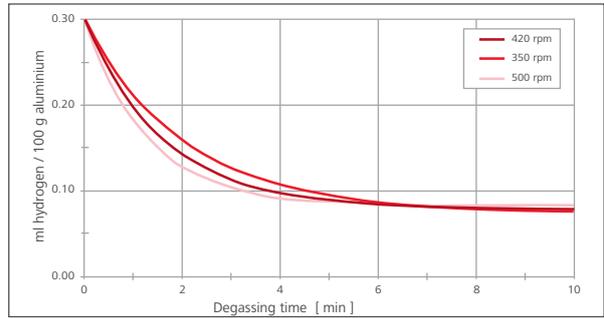


Diagrama 3: Curvas de desgasificación para variaciones de la velocidad del rotor

3. Propiedades de fusión antes del tratamiento

La composición de las aleaciones influye poderosamente en los resultados de la desgasificación. Elementos tales como el magnesio incrementan la solubilidad del hidrógeno, mientras que el silicio y el cobre la disminuyen ligeramente (diagrama 4). La temperatura de fusión influye en el equilibrio con la atmósfera. La fusión a temperaturas superiores disuelve más hidrógeno (diagrama 5).

Es frecuente que se desconozca el nivel de hidrógeno inicial, pero el diagrama muestra que las variaciones en el hidrógeno inicial no alteran el resultado final (diagrama 6).

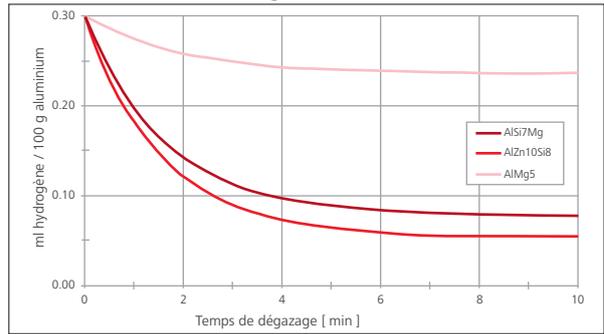


Diagrama 4: Curvas de desgasificación para diferentes aleaciones

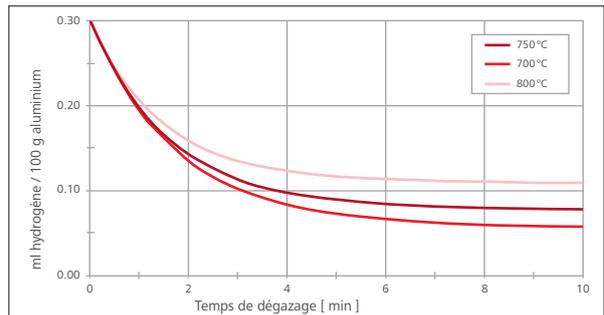


Diagrama 5: Curvas de desgasificación para diferentes temperaturas de fusión

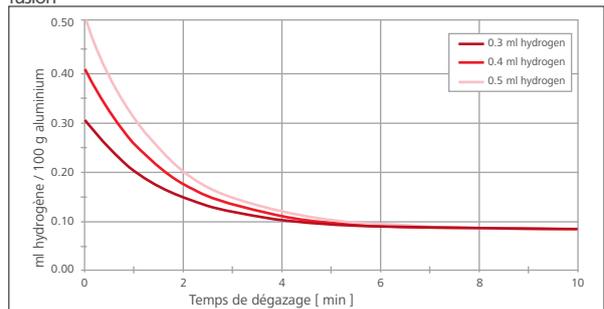


Diagrama 6: Curvas de desgasificación para diferentes niveles iniciales de hidrógeno

SMARTT – un control del proceso innovador

SMARTT es un acrónimo en inglés de «tratamiento de recálculo adaptativo con monitorización automática»

Es un innovador proceso de control que analiza todos los parámetros de entrada y calcula los parámetros del tratamiento para el proceso de desgasificación rotativa justo antes de cada tratamiento

Garantiza una calidad de fundido constante después de cada tratamiento

El software SMARTT se instala en un PC Windows con panel de pantalla táctil y conexión LAN al PLC SIEMENS.

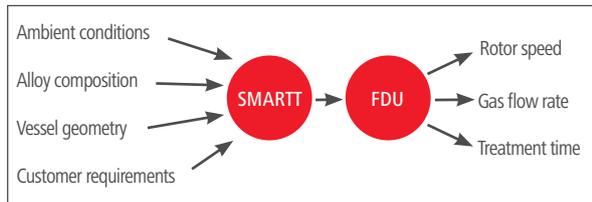


Imagen 2: – Configuración esquemática de SMARTT

El sistema de base de datos SQL lo convierte en una interfaz abierta y posibilita que el operario defina un número casi ilimitado de formas de cucharas o crisoles, tipos de aleación y programas de tratamiento

El objetivo de todas las simulaciones es el contenido de hidrógeno en el fundido y se utiliza para los procedimientos tanto de desgasificación como de regasificación.

1. Condiciones ambientales

Un sensor estándar montado junto al armario de control en el área en la que se lleva a cabo el tratamiento mide la humedad relativa y la temperatura exterior. Las lecturas reales se transfieren oportunamente a SMARTT y son registradas periódicamente.

2. Composición de la aleación y geometría del recipiente

SMARTT dispone de diversas geometrías predefinidas de cucharas de transferencia o crisol y aleaciones. El usuario puede modificarlas, añadir las y borrarlas fácilmente. El recipiente para el tratamiento y la aleación se convierte en parte de cada programa, junto con el diámetro y el tipo de rotor recomendado (imagen 4).



Imagen 3: Interfaz de pantalla táctil en una puerta de armario de control FDU

3. Requisitos del cliente

SMARTT ofrece la posibilidad de elegir entre cuatro programas de tratamiento diferentes. El cálculo se basa en los límites mínimo y máximo de la velocidad del rotor y del caudal del gas dependiendo del diámetro y el tipo de rotor así como del tamaño del recipiente. El tiempo de desgasificación mínimo es un parámetro que asegura la eliminación adecuada del óxido

Desgasificación a alta velocidad – el tiempo de tratamiento más breve posible alcanzando el límite máximo de velocidad del rotor y de caudal de gas inerte. Se respeta un tiempo de tratamiento mínimo para permitir la homogeneización y la eliminación del óxido.

Desgasificación con poco gas – lleva a cabo el tratamiento durante un período de tiempo determinado con un consumo de gas reducido y una velocidad del rotor correlativa para conseguir el objetivo.

Larga duración – se utiliza la velocidad de rotación más baja posible para reducir la abrasión del rotor y el eje. El caudal de gas inerte correspondiente depende del tiempo de tratamiento total.

Desgasificación estándar – la asociación de poco gas y baja velocidad proporciona un equilibrio entre los dos programas extremos.

El programa de alta velocidad se usa en caso de que el proceso de desgasificación ralentice la fundición y sea necesario un gran volumen de fundido para las siguientes fases de la colada. El tratamiento de alta velocidad puede usarse durante cierto tiempo, es decir, durante el turno de mañana con gran demanda de fundido o si las coladas son pesadas con un tiempo de un ciclo corto. Los otros programas dependen de los requisitos locales.

4. Valores MTS 1500

SMARTT también resulta apropiado para desgasificadores con añadido automático de granulado MTS 1500 opcional. El valor del parámetro MTS se selecciona en la pantalla táctil del modo convencional. Otros parámetros no forman parte de la optimización. Sin embargo, los diferentes programas MTS forman parte de los programas de tratamiento y se combinan con programas de optimización y objetivos de hidrógeno (imagen 5).

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
AlSi12Cu	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

Imagen 4: Pantalla de aleación

MTS Name	as Flow [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	0	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

Imagen 5: Pantalla de valores de los parámetros MTS

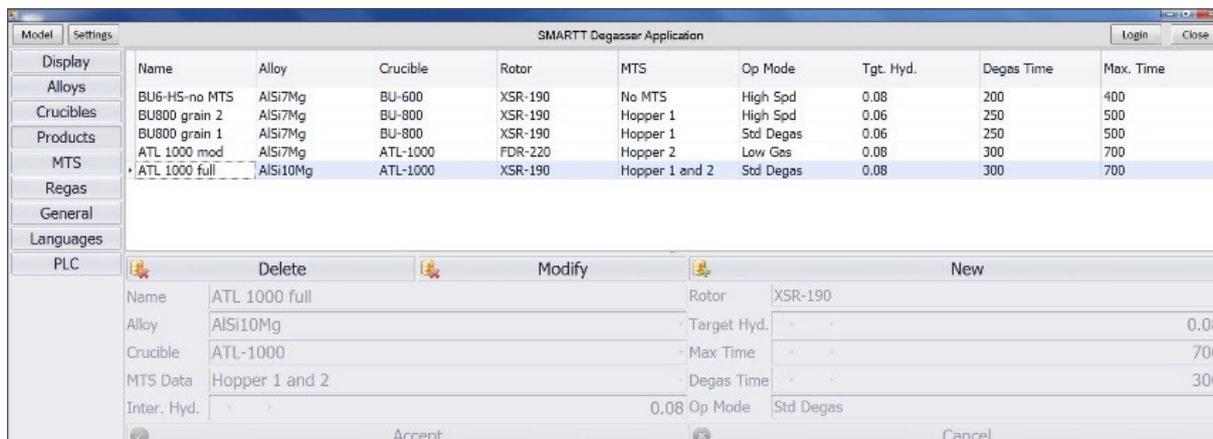


Imagen 6: Pantalla de productos

5. Pantalla de productos

El menú de productos visualiza conjuntamente todos los parámetros predefinidos del programa, la geometría del recipiente de tratamiento, la aleación y el MTS 1500. Adicionalmente, se definen los límites para el tiempo de desgasificación. El contenido en hidrógeno necesario en el fundido es el objetivo del proceso de optimización (imagen 6).

Los diferentes programas de optimización posibilitan que la fundición consiga el mismo resultado de desgasificación en el mismo plazo de tiempo utilizando diferentes valores para los parámetros. Las opciones de poco gas deben utilizarse en regiones en las que los costes del gas inerte sean elevados. La opción de larga duración reduce la erosión del eje y el rotor, mientras que la desgasificación estándar constituye un buen equilibrio entre los dos extremos. La desgasificación a alta velocidad es una opción cuando el procedimiento desgasificador es el elemento que obstaculiza el proceso en el taller.

Un nombre de producto diferencia los diversos valores y facilita al operario la selección del valor adecuado.

6. Pantalla del operario

El administrador es la única persona que puede acceder a todas las pantallas descritas previamente. El operario ve una interfaz especialmente diseñada que facilita la selección entre 10 productos diferentes definidos por el administrador. También se muestran las condiciones ambientales y el tiempo de tratamiento restante (imagen 7).



Imagen 7: Pantalla del operario

Resultados de las pruebas de campo

El software SMARTT se instaló en una unidad de desgasificación FDU Mark 10 con una tolva con sistema de dosificación MTS 1500. Los ensayos se iniciaron con un procedimiento de desgasificación simple. El objetivo era conseguir una calidad estándar del fundido con un nivel mínimo de hidrógeno de 0,08 ml de hidrógeno por 100 g de aluminio.

Para las pruebas SMARTT se utilizaron los parámetros de la tabla 2 - similares a la simulación del modelo descrito al principio de este informe (tabla 1):

En las siguientes tablas se comparan los parámetros del

ATL 1000 con 850 kg fundido	Rotor XSR 220
AlSi7Mg	Nivel inicial 0,30 ml H ₂ / 100 g Al
Temperatura de fusión 750 °C (*)	Tiempo de tratamiento mínimo 300 s (*)
Humedad relativa 50 % (*)	Temperatura exterior 25 °C (*)

(*) – podría variar en algunos ejemplos

Tabla 2: Parámetros de simulación SMARTT

tratamiento SMARTT optimizado para conseguir el objetivo en condiciones y con parámetros variables. En la Tabla 3 se ilustran los diferentes programas de optimización. La tabla 4 compara los parámetros para tres condiciones ambientales diferentes y la tabla 5 indica los parámetros para las diferentes temperaturas del fundido antes del tratamiento.

1. Programas de optimización

La desgasificación estándar, el volumen escaso de gas y la larga duración inician el procedimiento de optimización con un tiempo de tratamiento mínimo específico intentando hallar un resultado lógico para alcanzar el objetivo. Si no se encuentra ningún resultado, se incrementa el tiempo de tratamiento. La opción de poco gas se implementa con la velocidad máxima del rotor y con el caudal de gas inerte correspondiente para alcanzar el objetivo de hidrógeno a tiempo, mientras que la opción de larga duración sigue la estrategia contraria con la velocidad del rotor más baja posible y el gas inerte en su límite máximo. El programa de desgasificación estándar proporciona un resultado intermedio entre los dos extremos. La desgasificación a alta velocidad lleva a cabo el tratamiento cerca del nivel máximo tanto de la velocidad del rotor como del caudal de gas inerte y calcula el tiempo de tratamiento más breve posible para alcanzar el nivel de hidrógeno necesario después del tratamiento (tabla 3).

Optimised	Rotor Speed (RPM) 500	500
	Gas Flow (std. l/m) 29	29
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Bajo consumo de gas</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 426	426
	Gas Flow (std. l/m) 32	32
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 353	353
	Gas Flow (std. l/m) 40	40
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Larga duración de los consumibles</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 500	500
	Gas Flow (std. l/m) 45	45
Melt: 750	Process Time (s) 155	155
<i>Desgasificación a alta velocidad</i>		

Tabla 3: Resultados de diferentes programas de optimización

La opción de poco gas consume 55 litros de gas inerte menos en cada tratamiento en comparación con el programa de larga duración. Las fundiciones con cuatro tratamientos por hora pueden ahorrar hasta 1500 Nm³ al año. Esto equivale a más de 150 cilindros de gas.

La velocidad reducida provoca un menor desgaste del eje de grafito. Basándose en la experiencia de los clientes, la duración del eje y el rotor se incrementa en un 25 % con una velocidad inferior de 150 rpm. Dependiendo de las condiciones del tratamiento, una fundición con cuatro tratamientos por hora puede ahorrar hasta 15 conjuntos de consumibles –rotor y eje– al año.

2. Condiciones ambientales

SMARTT determina las condiciones ambientales justo antes de cada tratamiento e inicia el procedimiento de optimización basándose en los valores del producto. Con niveles de humedad muy altos en la atmósfera, la velocidad del rotor y el caudal de gas se incrementan para la desgasificación estándar y viceversa. Este es un resultado excepcional debido a las interacciones de la superficie fundida con la atmósfera. El software SMARTT halla resultados hasta condiciones ambientales de H.R. 75 % y 28 °C. Para niveles de humedad más elevados, el objetivo de 0,08 ml de hidrógeno no puede conseguirse debido a la regasificación de la superficie fundida turbulenta durante el tratamiento.

Optimised	Rotor Speed (RPM) 404	404
	Gas Flow (std. l/m) 18	18
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar - 15 °C temperatura exterior / 30 % humedad relativa</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 426	426
	Gas Flow (std. l/m) 32	32
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar - 25 °C temperatura exterior / 50 % humedad relativa</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 459	459
	Gas Flow (std. l/m) 44	44
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar - 28 °C temperatura exterior / 75 % humedad relativa</i>		

Tabla 4: Resultados de diferentes condiciones ambientales

3. Temperatura de fusión

El aluminio disuelve más hidrógeno a temperaturas más altas y vuelve a captar incluso más hidrógeno de la atmósfera en la superficie fundida. El tratamiento se realiza con una velocidad del rotor más rápida y caudales de gas inerte superiores con incremento de la temperatura y viceversa. SMARTT halló una solución lógica hasta 780 °C. No se pudo predecir ningún valor de los parámetros para 800 °C debido al contenido inicial excesivo de hidrógeno y a la recaptación en la superficie (tabla 5).

Optimised	Rotor Speed (RPM) 417	417
	Gas Flow (std. l/m) 23	23
Melt: 700	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar – 700 °C temperatura de fusión</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 426	426
	Gas Flow (std. l/m) 32	32
Melt: 750	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar – 750 °C temperatura de fusión</i>		
Optimised	Rotor Speed (RPM) 446	446
	Gas Flow (std. l/m) 44	44
Melt: 780	Process Time (s) 300	300
<i>Desgasificación estándar – 780 °C temperatura de fusión</i>		

Tabla 5: Resultados de diferentes programas de optimización

4. Registro de datos

El software SMARTT ejecuta un sistema de registro de datos que posibilita un seguimiento completo de los parámetros de fecha, hora y de todas las funciones de desgasificación predefinidas y optimizadas. Esta es una función muy conveniente que sustituye a sistemas complejos que se ejecutan en ordenadores externos utilizando software de registro de datos de terceros. Los datos del tratamiento pueden exportarse a aplicaciones de oficina estándar para su posterior análisis.



Imagen 8: – Pantalla de registro de datos

Resumen

- La colada requiere una fusión con un nivel de hidrógeno constante.
- Unas condiciones iniciales poco consistentes en una fundición imposibilitan alcanzar siempre esto de forma rentable.
- En la actualidad, las fundiciones compensan este efecto utilizando sobre todo el tratamiento que desperdicia gas inerte y consumibles de grafito.
- SMARTT ofrece una interfaz conveniente para programar todas las fases necesarias del tratamiento.
- El innovador control de la desgasificación predice los mejores parámetros para el tratamiento para diferentes programas en determinadas condiciones.
- SMARTT ahorra gas inerte o amplía la duración de los consumibles de grafito.
- SMARTT registra todos los parámetros del tratamiento.
- Un control del proceso innovador es la mejor solución para las fundiciones que gestionan grandes volúmenes de fundido con varias coladas diferentes que requieren los mismos niveles o niveles similares de calidad.

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