

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
ANDRÉ LUÍS LEONEL

N. CLASS.	M673.2
GUTTER	2583.2
ANO/EDIÇÃO	2013

ANÁLISE SISTÊMICA PARA SELEÇÃO DE ISOLANTES TÉRMICOS NOS
CADINHOS DE TRANSPORTE DE ALUMÍNIO LÍQUIDO

Varginha
2013

TECSONIG

ANDRÉ LUÍS LEONEL

**ANÁLISE SISTÊMICA PARA SELEÇÃO DE ISOLANTES TÉRMICOS NOS
CADINHOS DE TRANSPORTE DE ALUMÍNIO LÍQUIDO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Esp. Valter Barbosa.

**Varginha
2013**

ANDRÉ LUÍS LEONEL

**ANÁLISE SISTÊMICA PARA SELEÇÃO DE ISOLANTES TÉRMICOS NOS
CADINHOS DE TRANSPORTE DE ALUMÍNIO LÍQUIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS:

Dedico este trabalho aos meus familiares e aqueles que estiveram presente nas horas mais necessitadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares por sempre confiar em mim, mesmo diante as dificuldade que a vida nos impõe, agradeço aos profissionais da empresa que estive durante a elaboração do trabalho, àqueles que nunca faltaram com a atenção nas dúvidas que surgiram. Agradeço ao professor/orientador Valter Barbosa por participar das minhas dúvidas quando foram necessárias. Agradeço a minha namorada Tamires pela força nas horas de desânimo e em especial ao meu colega de trabalho Walter Adriano que teve papel fundamental desde o início do projeto, auxiliando constantemente nas pesquisas e dúvidas.

RESUMO

O trabalho discute um aspecto do processo de fundição de rodas, especificamente a comparação entre dois tipos de isolantes térmicos utilizados no cadinho, meio que realiza o transporte do metal entre o forno de fusão até as injetoras. O isolante térmico é um material cerâmico que reveste o cadinho junto ao concreto refratário com a finalidade de reduzir a troca de calor do metal com o ambiente. Descrevemos um teste em campo utilizando dois tipos de isolantes, o convencional a base de alumina e o microporoso. O isolante de composição microporosa tem como principal característica a sua baixa condutividade térmica. Tal metodologia teve como objetivo demonstrar a melhor opção em isolantes térmicos e seus impactos no processo produtivo. O isolante teste comparado ao convencional é um produto inovador no mercado em termos de isolamento térmico e materiais refratários. O resultado encontrado foi discutido em três fatores importante, a perda de temperatura durante o transporte do metal, o volume disponível do cadinho e a temperatura da face fria do cadinho.

Palavras-chave: Fundição. Cadinho. Isolante térmico.

ABSTRACT

This scholarly work addresses a subject in the process of casting wheels, specifically a comparison between two types of insulators used in performing the crucible metal transport between the melting furnace to the injection. The insulator is a ceramic material that covers adjacent to the crucible refractory concrete to reduce the metal heat exchange with the environment. We describe a field test by using two types of insulators, the conventional alumina-based and microporous. The insulating microporous composition has as its main characteristic low thermal conductivity. This methodology had the objective to demonstrate the best option for thermal insulation and its impact on the production process. The test compared to the conventional insulation is an innovative product in the market in terms of thermal insulation and refractory materials. The result found was discussed in three major factors, the loss of temperature during transport, the available volume of the crucible and the temperature of the cold face of the crucible.

Key words: Casting. Crucible. Insulation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO	9
2.1 Fusão	9
2.2 Tratamento do metal	10
2.3 Injeção em moldes	10
2.4 O cadinho	10
2.5 Isolante térmico convencional	10
2.6 Parâmetros de processo	11
3 INOVAÇÃO EM ISOLANTES TÉRMICOS	12
4 METODOLOGIA	13
4.1 Instrumentos de medição	13
4.2 Condições	13
4.2.1 Cadinho teste	13
4.2.2 O metal	14
4.3 Revestimento com isolante A (atual).....	14
4.4 Revestimento com isolante B (proposta 01).....	14
4.5 Revestimento com isolante C (proposta 02).....	14
5 RESULTADOS	16
5.1 Perda de temperatura	16
5.2 Volume útil	17
5.3 Face fria	18
6 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	21

I INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta como tema a análise sistêmica para seleção de isolantes térmicos nos cadinhos de transporte de alumínio líquido em um processo de fundição de rodas de liga leve.

Os cadinhos são painéis revestidas com concreto refratário e um isolante térmico para transportar metal na forma líquida a altas temperaturas com a menor perda térmica, dinâmica e estática possível. Este transporte é feito dos fornos de fusão do tipo torre até as injetoras. O metal que é vazado a 780°C dos fornos de fusão e chega ao forno da injetora com uma temperatura próxima de 720°C, perdendo 60°C durante o transporte até o tratamento de gases e até as injetoras.

A substituição do material isolante convencional a base de alumina por outro com composição microporosa de baixa condutividade térmica pode reduzir a perda de temperatura durante o transporte do metal e também aumentar a capacidade do cadinho, utilizando uma placa com menor espessura. O microporoso é um material com tecnologia avançada e atualizada em isolantes térmicos. Sendo assim, o trabalho acadêmico tem como objetivo geral apresentar uma forma de minimizar a perda de temperatura do metal no cadinho durante o seu transporte, substituindo o isolante térmico.

Com os testes de comparação e um quadro comparativo, o trabalho apresentará o melhor isolante térmico, a sua espessura econômica, os ganhos financeiros, as principais conseqüências e importância do isolante térmico no processo de fundição de rodas.

Assim como o isolante térmico tem sua importância fundamental no cadinho, o trabalho acadêmico servirá de pesquisa para outras aplicações, como isolamento das paredes dos fornos de fusão, dos fornos das injetoras, dos fornos filtros, entre outros.

2 FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

A construção de peças automotivas com peso reduzido é um setor de alto crescimento devido às necessidades ecológicas de economizar combustível e aumentar a capacidade de carga dos veículos. A roda de liga leve, por exemplo, é um mercado atual que está em alta (VENDRAMIM, 2010).

A redução de massa dos componentes de forma geral é o principal fator que aumenta a capacidade de carga e a economia combustível dos veículos, por isso, a grande evolução da fundição de liga leve atualmente (TASSIN, 1995).

Entre os processos de fabricação das rodas de liga leve encontra a fundição sobre pressão. O processo de fundição sob pressão de alumínio tem se desenvolvido significativamente nas últimas décadas, ocupando um lugar de destaque na indústria por produzir componente de engenharia inovadora (VIANA, 2012).

Nas décadas de 50 e 60, a fundição sob pressão teve seu apogeu nos EUA e Japão. Na década de 70 teve um grande avanço em equipamentos cada vez mais sofisticados e mais competitivos. Em 80, foi a grande transição, da empresa de arte para uma indústria de alta tecnologia, com grande investimento em pesquisas (TASSIN, 1995).

2.1 Fusão

O início do processo de fundição sobre pressão é a fusão do metal.

A fusão do metal é o aquecimento da matéria-prima, ou seja, o metal no estado sólido, acima de 660°C que é seu ponto de fusão, obtendo metal líquido com alta temperatura. Este processo ocorre em fornos de fusão (CHIAVERINI, 1977).

Segundo Kondic (1973, p.21), a fusão é definida como:

Uma carga constituída por pedaços sólidos de metais e ligas de formatos, tamanhos e pureza química variados, são derretidos num forno revestido de material refratário, pelo fornecimento da necessária quantidade de calor. A liga fundida, com um determinado grau de superaquecimento ou temperatura de corrida, $t_{sa}^{\circ}\text{C}$, é transferida a uma panela [...]

O metal em forma líquida é vazado em cadinhos revestidos com material refratário, que realiza o transporte para o tratamento de gases e em seguida para o forno da máquina injetora (CHIAVERINI, 1977).

2.2 Tratamento do metal

A porosidade é um dos defeitos mais comuns em fundidos de alumínio. Normalmente a porosidade ocorre devido à solubilização de gases no metal (H_2 , SO_2 , CO_2 , CO e O_2) durante o processo de solidificação. O hidrogênio ganha destaque por ser o principal causador da porosidade devido a sua alta solubilidade. Então o metal necessita de um tratamento antes de entrar no processo de injeção. Este tratamento é realizado utilizando uma máquina chamada FDU (*Foundry Degaseification Unit*). A FDU é uma máquina composta por um eixo/rotor de grafite que, com uma determinada rotação, injeta nitrogênio no banho de metal. O resultado é o tratamento do gás hidrogênio, deixando o alumínio pronto para ser injetado (MUENZ, 2011).

2.3 Injeção em moldes

Após o tratamento do metal, o metal abastece os fornos das máquinas injetoras.

No processo de injeção o metal líquido é forçado a passar por um tubo pescador e injetado dentro de uma cavidade de molde metálica, chamada matriz, podendo ser com alta ou baixa pressão. O produto final dessa etapa é uma peça fundida, formatada de acordo com o molde utilizado (VARGAS, 2012).

2.4 O cadinho

O cadinho é um recipiente revestido de material refratário e um isolante térmico para realizar o transporte do metal líquido, entre o forno de fusão, o tratamento do metal e as máquinas injetoras. O cadinho é movimentado através de um empilhadeira (MIYAJI ET AL, 2009).

De acordo com Braulio et al (2006, p.2), sobre a escolha do revestimento do cadinho para o melhor desempenho:

[...] a escolha correta do refratário de revestimento e do isolante térmico do cadinho não é uma tarefa trivial, pois uma série de propriedades deve ser considerada de modo a maximizar seu desempenho. [...] um estudo teórico envolvendo termodinâmica, microestrutura, resistência termodinâmica, propriedades térmicas e projeto torna-se necessário.

2.5 Isolante térmico convencional

O isolante térmico tem como função proteger a carcaça do cadinho e manter a temperatura ideal do processo.

O isolante térmico convencional é uma placa cerâmica, produzida a partir de sílica e alumina de alto grau de dureza, com condutividade térmica variando de 0,06 a 0,3 W/m.K, utilizado na maioria dos processos produtivos (MORGAN, 2013).

2.6 Parâmetros de processo

Os parâmetros do processo de fundição sob pressão é determinado por meio da abordagem de testes, analisando os resultados obtidos nas modificações dos parâmetros. Mesmo feita por profissionais, esta abordagem nem sempre é eficaz, devido ao grande número de variações e fatores existentes no processo. Porém, atualmente, já existem *softwares* capazes de criar o parâmetro ideal para o processo (VIANA, 2013).

A temperatura de processo é de cerca de 700°C a 720°C, dependendo da composição da liga, quando o alumínio é injetado no molde (CONCER, 2011)

3 INOVAÇÃO EM ISOLANTES TÉRMICOS

Uma nova tecnologia no mercado apresenta um isolante térmico de composição microporosa.

O isolante térmico microporoso é isento de amianto, com um coeficiente de condutividade térmica extremamente baixa e de alta capacidade de isolamento nas principais propriedades de transferência de calor (radiação, condução e convecção), isto é, impede a perda de calor do metal para o ambiente (ATHENAS, 2012).

Segundo Morgan (2013, f.1), os principais benefícios são:

Redução da perda de calor relacionando com a economia de energia ou reaquecimento. Por exemplo, painéis de aço que contém isolante microporoso de backup produzem menos aço solidificado nas paredes da panela após o processo de fundição, que requer reaquecimento.
Consistência nas temperaturas de operação, no qual resulta em um produto final mais consistente ou em um fácil processo de regulação e controle.
Otimização de espaço para uma mesma temperatura de isolamento, o material microporoso precisa cerca de $\frac{1}{4}$ da espessura de um material de fibra tradicional (para elevadas temperaturas).
Possui baixa condutividade térmica e baixa perda de calor.
Alta resistência à compressão.

A condutividade térmica é uma das principais variáveis envolvidas nos projetos de revestimento em cadinhos. Ela é responsável pela transferência de calor da região de alta temperatura para a mais baixa. Por isso, o isolante microporoso tem como principal característica a baixa condutividade térmica (AKIYOSHI, 2001).

O isolante microporoso tem sua condutividade térmica variando entre 0,023 W/m.K a 0,035 W/m.K (ALLEBRAS, 2012).

4 METODOLOGIA

Um experimento comparativo foi realizado em campo, com a utilização do isolante térmico nos cadinhos do processo produtivo de fundição sob pressão de rodas de liga de alumínio. A comparação foi feita aplicando o isolante convencional e o microporoso.

4.1 Instrumentos de medição

Para a medição da temperatura do metal durante o teste, foi utilizado um instrumento de medição chamado pirômetro do tipo “K” e para medir a face fria do cadinho foi utilizado um termômetro infravermelho “Raytek”.

4.2 Condições

O processo utilizado para a aplicação foi de fundição a baixa pressão e a liga de alumínio contendo 7% de silício.

4.2.1 Cadinho teste

O cadinho utilizado possui as seguintes dimensões:

Diâmetro sem revestimento (D_1) = 980 mm

Altura sem revestimento (h_1) = 945 mm

Abaixo, conforme a figura 01, o modelo do cadinho sem o revestimento interno, a ser utilizado no experimento:

Figura 01: Modelo do cadinho



Fonte: o autor.

4.2.2 O metal

O experimento é realizado com a utilização de alumínio líquido dos fornos de fusão a 780°C, sendo a temperatura de fundição nos moldes considerada 720°C e densidade do metal de 2.350 Kg/m³.

4.3 Revestimento com isolante A (atual)

O revestimento interno é composto de concreto refratário e um isolante térmico A, que é um isolante convencional cerâmico com composição sílica e alumina de alto grau de dureza:

Concreto refratário 70% Al₂O₃ (r) = 70 mm

Placa de fibra cerâmica (i) = 38 mm

Com os valores de dimensão e densidade, temos a seguinte condição:

Diâmetro interno livre (D) = D₁ - 2r - 2i = 980 - 140 - 76 = 764 mm

Altura interna livre (h) = h₁ - r - i = 945 - 70 - 38 = 837 mm

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * h = \frac{\pi \cdot 0,764^2}{4} * 0,837 = 0,3837 \text{ m}^3$$

Volume interno da panela = 0,3837 m³

Peso de alumínio no cadinho = 2.350 * 0,3837 = 902 Kg

4.4 Revestimento com isolante B (proposta 01)

O revestimento interno é composto de concreto refratário e o isolante B, que é um material microporoso isento de amianto com 10 mm de espessura, tem as seguintes condições:

Concreto refratário 70% Al₂O₃ = 70 mm

Isolante microporoso (m₁) = 10 mm

Diâmetro interno livre = D₁ - 2r - 2 m₁ = 980 - 140 - 20 = 820 mm

Altura interna livre = h₁ - r - m₁ = 945 - 70 - 10 = 865 mm

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * h = \frac{\pi \cdot 0,820^2}{4} * 0,865 = 0,4568 \text{ m}^3$$

Volume interno da panela = 0,4568 m³

Peso de alumínio na panela = $2.350 * 0,4658 = 1.073\text{Kg}$

4.5 Revestimento com isolante C (prospota 02)

O revestimento interno é composto de concreto refratário e o isolante C, que é um material microporoso isento de amianto com 10 mm de espessura, tem as seguintes condições:

Concreto refratário 70% $\text{Al}_2\text{O}_3 = 70 \text{ mm}$

Isolante microporoso (m_2) = 25 mm

Diâmetro interno livre = $D_1 - 2r - 2m_2 = 980 - 140 - 50 = 790 \text{ mm}$

Altura interna livre = $h_1 - r - m_2 = 945 - 70 - 25 = 845 \text{ mm}$

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h = \frac{\pi * 0,79^2}{4} * 0,845 = 0,4142 \text{ m}^3$$

Volume interno da panela = $0,4142 \text{ m}^3$

Peso de alumínio na panela = $2.350 * 0,4142 = 974\text{Kg}$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as condições impostas acima, o teste foi realizado em um processo produtivo com 03 cadinhos, sendo um com isolante convencional (A), o segundo com um isolante microporoso de 10 mm (B) e o terceiro com um isolante microporoso de 25 mm (C).

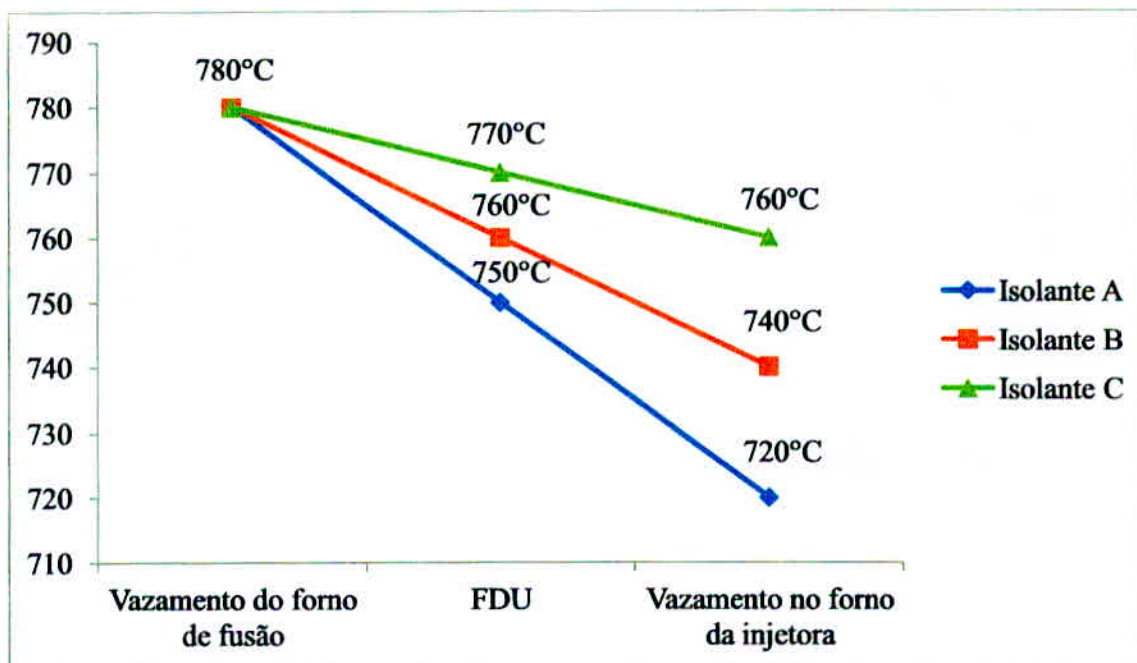
O período de realização do teste foi durante um turno de 8 horas de trabalho, sendo acompanhadas as etapas de medição em todas as corridas feita pelo cadinho. Durante este período, cada cadinho fez 18 corridas, ou seja, abasteceu nos fornos de fusão 18 vezes durante as 08 horas.

Após a execução do teste e o levantamento dos dados obtidos, uma análise crítica apresenta resultados relevantes e discursivos. O teste foi realizado num processo com 45 injetoras trabalhando 24 horas por dia, considerando 54 corridas de cada cadinho.

5.1 Perda de temperatura

Foi realizado um controle de temperatura do metal durante o seu transporte, do forno de fusão até ao forno da injetora, utilizando um pirômetro tipo "K". Os pontos de medição foram no vazamento do metal no cadinho, no tratamento de gases e no metal antes de ser vazado no forno da injetora. Controle feito nos 03 cadinhos em teste, apresentando os seguintes resultados, considerando uma pequena variação de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, conforme o gráfico 01:

Gráfico 1: Temperatura do metal durante do transporte.



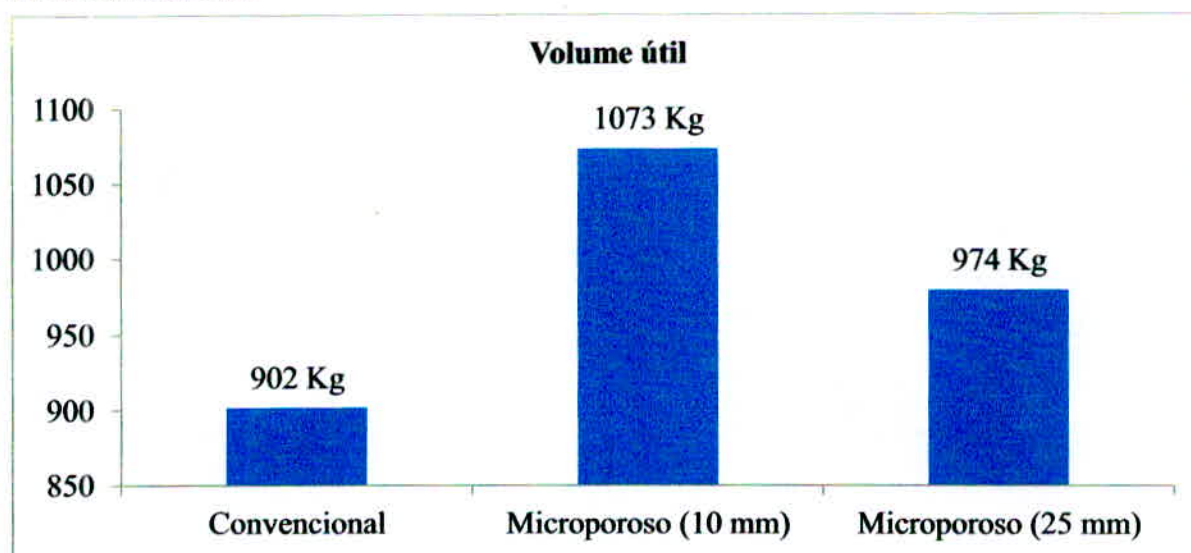
Fonte: o autor

Analisando o gráfico 01, o alumínio com o isolante C vazou na injetora com 760°C, o mesmo aconteceu com o isolante B, em que o metal vazou a 740°C. Este fato é aceito somente em testes, pois, conforme foi citado no decorrer do trabalho, cada modelo de roda possui uma temperatura ideal de fundição e no local a média é de 720°C. Porém, a temperatura de 780°C é programada nos fornos de fusão devido a perda de 60°C que o isolante A proporciona durante o transporte. Com isso, o trabalho nos mostra que, utilizando o isolante C, os fornos de fusão podem ser programados com um *set point* de 740°C, uma vez que, no transporte o metal perde apenas 20°C. O mesmo pode ser aceito com o isolante B, que possui uma perda térmica de 40°C durante o transporte, sendo possível programar um *set point* de 760°C. Como, toda vez que a matéria-prima na temperatura ambiente é carregada nos fornos, os queimadores têm a função de elevar a sua temperatura na condição ideal, um *set point* reduzido resultará numa economia de combustível utilizada pelos queimadores.

5.2 Volume útil

Com a diferença de espessura dos 03 isolantes em teste, o volume útil da panela, ou seja, a quantidade de peso de alumínio a ser transportada sofreu alterações. A seguir, no gráfico 02, a diferença de volume disponível para o transporte do alumínio:

Gráfico 2: Volume útil.



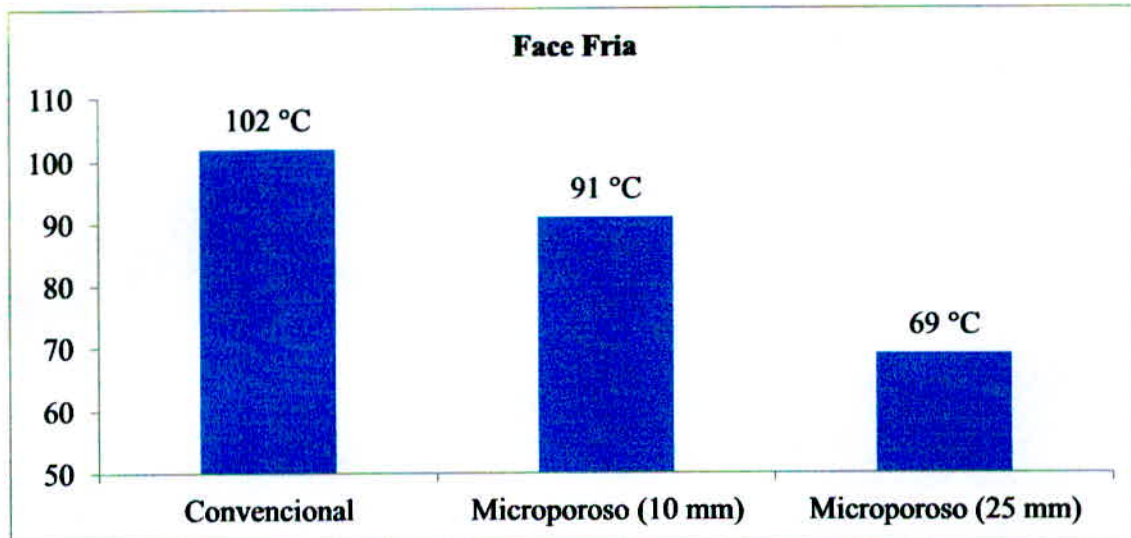
Fonte: o autor

Analisando o gráfico 02, temos uma variação de volume útil devido às diferentes espessuras entre os isolantes utilizados. Os isolantes microporosos, devido a sua baixa condutividade térmica, têm como característica a espessura reduzida. A substituição do isolante A pelo B resulta num acréscimo de 19% no volume, ou seja, 171 Kg de metal a mais por corrida. Como cada cadinho realiza em média 54 corridas durante um dia de trabalho, o isolante A transporta aproximadamente 48 toneladas de metal. O isolante B necessita de apenas 45 corridas para transportar esta mesma quantidade, resultando num ganho de tempo disponível das empilhadeiras.

5.3 Face fria

Outro fator importante é a temperatura da face fria do cadinho, a face externa. A função do isolante térmico nessas condições é reduzir a troca de calor entre o metal e o ambiente, ou seja, minimizar a troca de calor por condução. A seguir, no gráfico 03, o resultado da aplicação dos isolantes em relação a temperatura da face fria no momento do vazamento do metal nas injetoras, utilizando um pirômetro a *laser*, considerando a temperatura da face quente de 750 °C:

Gráfico 3: Face fria.



Fonte: o autor

No gráfico 03, os cadinhos apresentam uma redução da temperatura de face fria com a utilização dos isolantes microporosos. Quanto maior a espessura do microporoso, menor a temperatura da face fria. Isso se deve ao fato da finalidade do isolante, que é reduzir a troca de calor. A face do cadinho com temperatura reduzida significa que está acontecendo menor troca de calor do metal com o ambiente, ou seja, o metal está perdendo menos temperatura durante o transporte.

6 CONCLUSÃO

A partir das pesquisas realizadas e dos resultados obtidos na comparação entre os dois tipos de isolantes, iniciamos a conclusão destacando os objetivos alcançados. O isolante microporoso, devido a sua baixa condutividade térmica, reduz a perda de temperatura do metal durante o transporte. Junto a redução da perda de temperatura, o isolante apresentou uma melhoria na face fria e no volume útil do cadinho. A baixa condutividade térmica, característica principal do isolante novo do mercado, reduz a troca de calor entre o metal e o ambiente.

Os resultados obtidos possuem diversos impactos diretos no processo produtivo de fundição a baixa pressão. Um fator importante melhorado com a substituição do isolante foi a estabilidade do processo, ou seja, um transporte da fusão para a injeção com uma menor variação. Este fato se torna importante devido o processo produtivo ser uma fundição, na qual possuem inúmeras variáveis de alto grau de dificuldade para controlar.

A temperatura do metal no momento da fundição é um fator que deve ser o mais próximo possível do correto, pois os outros parâmetros do processo funcionam corretamente de acordo com a temperatura do momento do *try out*. Então, o isolante térmico microporoso permite as máquinas injetoras trabalhar em uma temperatura próxima do padrão, facilitando os técnicos de fundição realizar um melhor *try out*, com altas possibilidades de elaborar o parâmetro ideal e que fará o molde fundir um maior número de rodas aprovadas.

O curso de engenharia mecânica proporcionou todo embasamento necessário para definir o tema e realizar as pesquisas. A fundição, que é um processo de fabricação, possui muita afinidade com o curso, por exemplo, a troca de calor entre o metal e o ar, as propriedades de composição dos isolantes, entre outros fatores estudados durante as aulas teóricas.

Concluo este trabalho com a satisfação de ter alcançado o objetivo proposto e de ter acrescentado inúmeros conhecimentos técnicos à área de fundição, processo no qual eu estou estagiando e pretendo me especializar.

REFERÊNCIAS

- ATHENS. **Placas microporosas:** WDS Flexipor. 2013. (Catálogo de produto)
- ALLEBRASS. **ALLE Board H.** 2013. (Catálogo de produto)
- BRAULIO, M.A.L. et al. **Análise sistêmica para seleção de refratários para transporte de alumínio líquido.** Cerâmica, V.52, p.115-122, 2006
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica:** estrutura e propriedades dos metais e ligas. Processos de fabricação. São Paulo: McGraw Hill, 1977.
- CONCER, Dionei. **Previsão de fadiga térmica de matrizes para injeção de alumínio sob pressão utilizando a equação de Basquin e elementos finitos.** (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento Mécânica). Universidade Federal do Paraná, 2011.
- KONDIC, Voya. **Princípios metalúrgicos de fundição.** São Paulo: Polígono, 1973.
- MIYAJI, D. Y. et al. Refratários para o transporte do alumínio líquido: fundamentos, simulação e prática industrial. **Cerâmica**, v. 52, p.296-304, 2009.
- MUENZ, Eduardo. A. **Relatório de estágio curricular I.** Joinville, SC: Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.
- MORGAN THERMAL CERAMICS. **Placa Kaowool M, S e HS.** 2013. (Catálogo de produto)
- MORGAN THERMAL CERAMICS. **Plainel flexível Btu-Block.** 2013. (Catálogo de produto)
- TASSIN, A. R. **Tecnologia de Fundição sob Pressão, Alumínio e suas ligas e Zamak, Projeto de moldes,** 1995. (Apostila).
- VARGAS. Fábio R. **Análise da porosidade no processo de fundição sob pressão em máquinas injetoras de Zamac.** (Dissertação, Mestrado em Gestão Tecnológica, Departamento de Engenharia Mécânica). Universidade Feevale: 2012
- VENDRAMIM, J. C. **Considerações sobre a vida útil de moldes para fundição de alumínio sob pressão.** (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento De Engenharia Mécânica). UNICAMP: 2011
- VIANA, Denílson J. **Aplicação do método de taguchi para redução de porosidade de peças fundidas sob pressão.** (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mécânica). Universidade de Taubaté: 2012