

Ensaio sobre condutividade térmica em areia de fundição com sistema embarcado

Luiz Antonio Dutra de Souza Junior¹, Guilherme Rodrigues de Paula da Silva², Laos Alexandre Hirano³, Carolina Del Roveri^{1,3}

¹Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, Brasil (luiz.dutra@sou.unifal-mg.edu.br)

²Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, Brasil

Resumo: A condutividade térmica dos materiais utilizados em areias de fundição é uma variável fundamental para controle do produto final. Diante disso, este estudo propõe um método alternativo de baixo custo, utilizando termopares Tipo K e um microcontrolador, baseando-se na NBR 8894-2, para poder medir a condutividade térmica de forma acessível e prática, seja em indústrias, laboratórios ou universidades.

Palavras-chave: NBR 8894-2; condutividade térmica; prototipagem; fundição; areia.

INTRODUÇÃO

Fundição em areia é um dos métodos mais flexíveis utilizados no processo de manufaturas, principalmente em peças de metal com geometria variada. A quantidade e a taxa de calor transferida entre o metal fundido e a areia determinam a estrutura e propriedades da fundição (Khalifa e Mzali, 2024).

O principal método utilizado para medir a condutividade térmica de moldes de fundição é realizada a partir da análise do equilíbrio de calor do molde durante a solidificação do fundido. Este método, embora eficaz necessita de equipamentos e técnicas específicas, tornando o ensaio pouco prático, seja para indústria ou fins de estudo (Silva, 2021).

Baseado nisso, buscou-se desenvolver uma montagem prática, e de baixo custo, apoiando-se na NBR 8894-2 como norma regulamentadora, e fazendo uso de sistemas embarcados simples como material necessário.

MATERIAL E MÉTODOS

Adotou-se a norma NBR 8894-2 que trata sobre o método do fio quente para determinar condutividade térmica, neste caso, de material granular. Toda a parte de cálculo foi feita baseada nesta norma. A fórmula apresentada nesta se divide em duas partes, a primeira sendo um cálculo de potência no fio quente, a segunda sendo uma fração em duas partes, o numerador é uma relação entre diferenças de temperatura que é convertido em um valor tabelado, então o valor tabelado se torna o novo numerador e se divide pela variação de temperatura no tempo (t). Por fim, se calcula o produto da potência pela relação

entre variações de temperatura e se obtém a condutividade térmica em [W/m. K]

$$\lambda = \frac{V \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot L} \times \frac{\Delta \theta(2t)}{\Delta \theta(t)} \quad (1)$$

Para o tratamento das incertezas instrumentais aplicou-se os métodos propostos por Vuolo (1996), baseando-se nos mínimos quadrados e nas incertezas instrumentais. Neste método soma-se às incertezas de todos os instrumentos utilizados baseado em como as variáveis se distribuem equação, neste caso a fórmula apresentada na NBR 8894-2.

O molde foi confeccionado com chapa de aço comum e soldado com eletrodos 6013, assim como o aro e a tampa. Foram feitos rebaixos a fim de encaixar o termopar e o fio quente. Para isolamento térmico e elétrico foram colocadas duas lâminas de muscovita em cima e embaixo do fio quente e do termopar. O fio quente de níquel-cromo foi unido aos fios de cobre com conector cerâmico.



Figura 1. Posicionamento do termopar e fio quente.

Os termopares utilizados são do Tipo K, um deles tendo a solda exposta vai dentro do molde, outro rosqueável vai em cima da tampa e serve como “referência”. Todos os termopares utilizados foram aferidos em banho-maria indo de temperatura ambiente até a máxima (aproximadamente 90oC), baseado em um termômetro aferido como referência.

A fonte utilizada de alimentação foi a SUNSHINE P-3005A, 30V 5A. Esta foi configurada para 11V e 5A, mantendo durante todos os ensaios ~10,6V e ~5,17A, para isso foram utilizados cabos banana-jacarê de 1,5mm.

Os ensaios foram feitos em duas triplicadas em dois dias diferentes, ambos utilizando a mesma areia de sílica pura. No primeiro ensaio foi adicionada a areia no molde até que ficasse cheio, este foi batido três vezes na bancada sendo solto de uma altura de 1cm a 2cm aproximadamente. Em seguida, foram colocados o fio quente e o termopar. Cobriu-se até quase encher, bateu-se três vezes na bancada como já descrito anteriormente, foi colocado mais areia, bateu-se mais três vezes e por ultimo a areia foi nivelada de acordo com a borda do molde utilizando uma régua.

A segunda montagem foi feita com o objetivo de utilizar o vibrador de peneiras AG-SS, a vibração foi feita em três ciclos de 30s cada na intensidade 5, este valor foi adotado de forma experimental. A vedação não sendo perfeita na tampa incorreu em pequenos vazamentos de areia e observou-se experimentalmente que o tempo de 30s e a intensidade da vibração escolhida, foram o suficiente para que se tivesse algum efeito a vibração e pouca perda de areia.

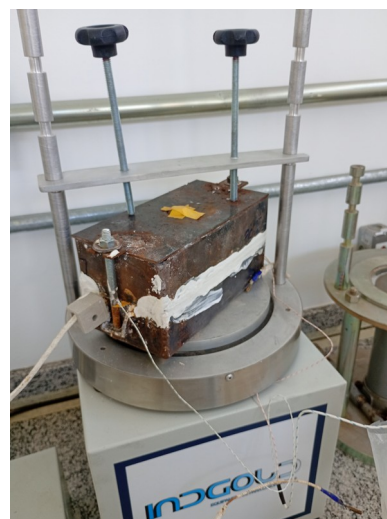


Figura 2. Vibração do molde.

Para a coleta de dados do microcontrolador foi utilizado um código básico em Python para criar um arquivo. Os dados plotados deste arquivo são baseados no código em C carregado no micro controlador. O tratamento de dados foi automatizado com outro código para comparar os valores da razão da diferença de temperatura entre os termopares no tempo (2t) em relação ao tempo(t) com a tabela da norma, possibilitando o cálculo final da condutividade térmica.



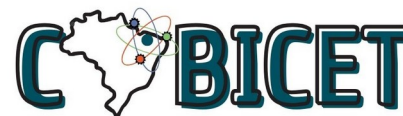
Figura 3. Montagem do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento de dados das duas triplicatas demonstrou resultados positivos e negativos.

Positivamente, o método é reproduzível, houve constância entre os seis ensaios, além disso ocorreu um aumento sutil na condutividade térmica da areia de sílica após ser conformada em um vibrador de bancada, o que confirmaria a hipótese da melhor conformação entre os grãos gerar melhor condutividade.

Os valores calculados levaram em conta os dados após a quebra da inércia térmica, avaliada qualitativamente após as leituras se estabilizarem. Para a triplicata com areia de sílica sem uso de mesa



vibratória a condutividade média após a inércia térmica foi de 0,479 W/m.K, com o uso da mesa vibratória foi de 0,507 W/m.K, este resultado confirma a hipótese de que a melhor conformação dos grãos possibilitada pela vibração da areia de fato aumenta sua condutividade, ainda mais quando levado em consideração que as duas primeiras triplicatas tiveram média respectivamente de 0,524 W/m.K e 0,534 W/m.K, no terceiro teste o valor foi um pouco abaixo 0,461 W/m.K mas houve 128 leituras “nan”, que ocorre quando há alguma falha no termopar, assim o módulo não retorna uma temperatura errada mas este erro.

Negativamente a incerteza instrumental apresentou inconsistências já que ao se propagá-las como Vuolo (1996) propõe se acaba tendo uma incerteza final não confiável. No início do teste quando a condutividade resultante é normalmente alta pela fase de rompimento da inércia térmica, a incerteza é muito grande, correspondendo até 2/3 da medida, ao ser calculada para os valores normais da condutividade esta se torna quase irrelevante na ordem de 10^{-2} .

CONCLUSÃO

O método e os materiais empregados demonstraram na prática reprodutibilidade. E ainda o resultado final absoluto das medições apresenta grande potencial futuro. Até o momento, dadas as complicações com o cálculo da incerteza da medida, esta será deixada de lado nos ensaios futuros, se focando mais em estudos comparativos entre os resultados obtidos em laboratório e resultados publicados confiáveis.

Atualmente, o estudo se encontra em fase de teste em outros tipos de areia, a fim de se compreender melhor as limitações do arranjo experimental. Embora desde o princípio a montagem foi toda pensada para se utilizar mufla para medir a condutividade em altas temperaturas, até o momento só foi testado em temperatura ambiente, ainda não se tendo plena dimensão do potencial total da prototipagem.

A próxima etapa planejada é realizar mais ensaios adicionando-se mais variáveis, como variação granulométrica, umidade e compactação do material, a fim de se entender melhor as limitações do sistema e suas medições.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores pela dedicação, e ao financiamento (bolsa) FAPEMIG, processo APQ-07015-24.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 8894-2: Determinação da condutividade térmica. Parte 2: Método do fio quente paralelo. Rio de Janeiro, 2014.

Khalifa, Dorsaf; Mzali, Foued. Study of the effect of green sand properties on thermal conductivity variation of sand mould. Journal of Engineering and Applied Science, 71, 178, 2024

Silva, Guilherme Rodrigues de Paula da. Estudo da condutividade térmica de areias de fundição utilizando o método do fio quente paralelo. 2021. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2021.

Vuolo, José Henrique. FUNDAMENTOS DA TEORIA DE ERROS. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo, 1996.