

Programa de Simulação de Solidificação de Ligas Metálicas por Choque Térmico



Autor: Rodrigo Rutsatz
Orientador: Carlos R. Frick Ferreira

Introdução:

A simulação de solidificação de metais puros e ligas metálicas por choque térmico, baseada em um modelo analítico, é de fundamental importância para as engenharias de materiais e metalúrgica, pois então seria possível ter previsões de características químicas e mecânicas de um material sem sequer realizar um ensaio sobre ele. Este programa visa alcançar essa simulação com base no modelo de Schwarz modificado (MSM).

Objetivo:

- Desenvolver um programa que simule a solidificação por choque térmico de metais puros e da liga Al-Si A356 utilizando o MSM.

Metodologia Aplicada:

- Compreender os modelos analíticos necessários de solidificação.
- Desenvolver um programa que simule a solidificação por choque térmico de metais puros.
- Adaptar o programa para a simulação da liga Al-Si A356.

Modelo de Schwarz Modificado:

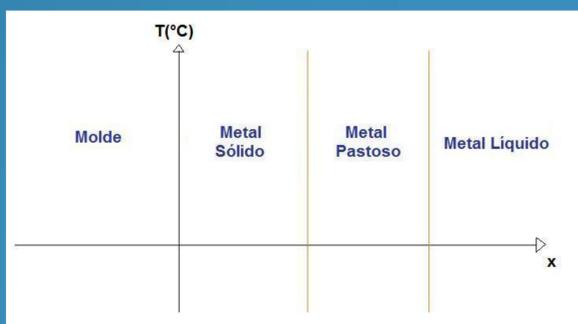
O modelo de Schwarz consiste em resolver a equação de transferência de calor de Fourier para metais puros.

$$\frac{dT}{dt} = K \frac{d^2T}{dx^2}$$

Para obter as necessárias condições de contorno, foi considerado um modelo semi-infinito, obtendo uma solução da seguinte forma:

$$T(x,t) = A + B \operatorname{erf}(\varphi)$$

O MSM somente inclui a zona pastosa no modelo de Schwarz. Então é necessário achar as novas condições de fronteira, onde se inicia e termina a



zona pastosa. Aplicando essas condições de fronteira na equação de Fourier, finalmente obtemos um modelo de solidificação analítico de ligas metálicas.

O Programa de Simulação:

O programa é um aplicativo para Windows, desenvolvido no C++ Builder 6 da Borland, que possui uma base de dados para as entradas, janelas de ajuda e do desenvolvedor, relatório, resultados em tela e em gráficos e a parte de resolução das equações matemáticas.

Até o momento o programa simula satisfatoriamente a solidificação por choque térmico de metais puros, entretanto há uma inconsistência numérica nas resoluções das equações para solidificação de ligas metálicas.



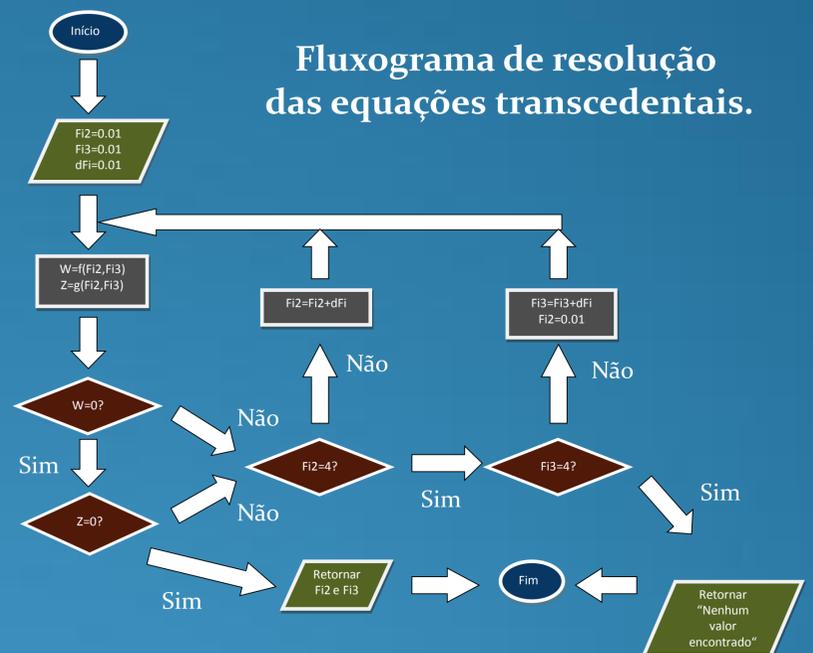
Esta inconsistência se encontra na função complementar do erro, na resolução de duas equações, tendo valor tão pequeno que o computador considera o valor nulo e gera uma divisão por zero na maioria dos casos.

As soluções triviais já foram testadas, sem sucesso, assim uma reforma de modelagem numérica da função erro vai ser necessária.

$$T_M = T_{sol} + (T_{liq} - T_{sol}) \frac{\operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta) - \operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_L)}{\operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_S) - \operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_L)}$$

$$\frac{\theta_E \exp(-\eta_S^2)}{\operatorname{erf}(\eta_S)} - \frac{\sqrt{a} r_{MS} \theta_{liq} \exp(-a\eta_S^2)}{\operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_L) - \operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_S)} = \frac{\sqrt{\pi} \eta_S (1 - g_{S,sol})}{St}$$

$$\frac{\sqrt{a} \theta_{liq} r_{MS} \exp(-a\eta_L^2)}{\operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_L) - \operatorname{erf}(\sqrt{a}\eta_S)} + \frac{\sqrt{b} r_{LS} \theta_i \exp(-b\eta_L^2)}{\operatorname{erfc}(\sqrt{b}\eta_L)} = \frac{\sqrt{\pi} \eta_L g_{S,liq}}{St}$$



Conclusão:

- A solidificação de metais puros é simulada por completo, com todos recursos do programa, como relatório, resultados, entre outros, demonstrando a eficiência do software.
- A simulação da liga Al-Si A356, embora quase completa, não foi simulada como esperado, devido a inconsistências de modelagem numérica, para qual ainda se busca uma solução.

Referências:

- “An analytical solution for conduction-dominated unidirectional solidification of binary mixtures” Dutta et al., 2002
- “INFLUÊNCIA DO CHOQUE TÉRMICO NOS PARÂMETROS DE SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS PUROS CARLOS” Ferreira, 2008

Agradecimentos:

