



PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FUSÃO COM CÂMARA FECHADA INSTRUMENTADA PARA SOLIDIFICAÇÃO DE SILÍCIO GRAU SOLAR

Cleison Luis C. Webber, Dr. Carlos Alexandre dos Santos(orientador)

¹Faculdade de Engenharia, PUCRS, ² Nuclemat/LAM

Resumo

O objetivo do presente trabalho é o projeto, desenvolvimento e a construção de um sistema com câmara fechada em quartzo para a região de fusão/solidificação de um forno vertical tubular, incorporando flanges superior e inferior, entradas e saídas dos gases de proteção, e envolvendo o projeto técnico, montagem de dispositivos e operação dos mesmos. O monitoramento de todo o processo foi feito por um conjunto de termopares dentro do metal, em diferentes posições a partir da base, permitindo o registro da evolução térmica durante solidificação, o qual é utilizado para determinação das variáveis térmicas. Caracterização da estrutura bruta de solidificação no que diz respeito ao tamanho das regiões macroestruturais, sua transição colunar/equiaxial e morfologia dos grãos foram realizadas, procurando-se estabelecer validações ou calibrações de leis de crescimento para solidificação em situações de fluxo de calor transitório.

Introdução

Com o presente projeto pretende-se estudar a solidificação unidirecional ascendente de silício grau solar, sobra da indústria de células solares, em condições favoráveis para a obtenção de lingotes colunares multicristalinos com tamanho médio de grão grosseiro. Por razões estratégicas, o país não pode ficar alienado e à mercê de fornecedores externos em um setor tão sensível, importante e estratégico. A utilização dos métodos metalúrgicos de solidificação unidirecional permite produzir células solares de bom desempenho, empregando técnicas de crescimento de cristais de materiais semicondutores e aproveitando rejeitos da indústria fotovoltaica. O objetivo principal desse projeto é desenvolver processos especialmente adequados para o silício grau solar nacional, mesmo que inicialmente se obtenha eficiências inferiores, que mesmo assim seriam adequadas para serem utilizadas a preços inferiores no País e outros mercados onde o espaço ocupado pelas placas não é crítico.

Metodologia

a. Projeto e construção do forno de solidificação vertical

Foi projetado e desenvolvido um forno tubular resistivo que atinge temperatura máxima de 1650°C, sendo que na Figura 1 pode ser observado o desenho com auxílio do software ProEngineer da estrutura e da câmara quente, e a Figura 2 apresenta o forno construído e a câmara quente em operação [Webber, 2007].

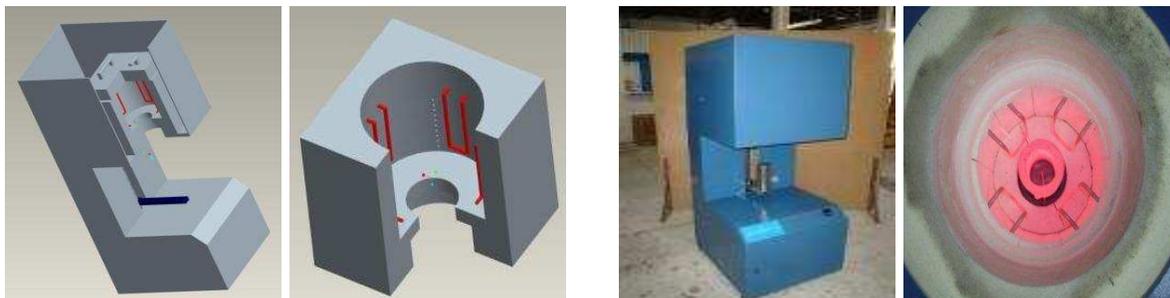


Figura 1 – Projeto conceitual do forno.



Figura 2 – Forno construído e operando.

b. Obtenção dos lingotes solidificados unidirecionalmente

Para a obtenção dos lingotes de silício, a carga foi introduzida sólida no cadinho de quartzo e montada sobre o sistema de resfriamento, indo então para o forno onde é fundida. No momento em que o metal encontra-se completamente no estado líquido e com a temperatura homogênea em toda a cavidade, o forno é desligado, e acionado o sistema de resfriamento que permite a solidificação unidirecional ascendente.

c. Determinação dos parâmetros de solidificação

No momento em que o forno é desligado, inicia-se o processo de aquisição dos dados de temperatura nos termopares posicionados estrategicamente no metal. O sistema de aquisição de dados registra todas as temperaturas simultaneamente em intervalos de tempo de 1s e grava os valores em uma tabela, sendo posteriormente plotadas as curvas desejadas.

d. Análise da macroestrutura

Para analisar a macroestrutura, as amostras foram cortadas com disco diamantado na seção longitudinal e na seção transversal (os cortes transversais foram feitos na posição que se encontram os termopares). As amostras foram lixadas até a granulometria #600, observada visualmente e escaneada para aquisição de imagens.

Resultados

Após o estudo sobre os materiais que poderiam ser utilizados na fabricação da câmara de solidificação, levando em conta a temperatura de operação, possibilidade de contaminação do banho e a viabilidade técnica construtiva do conjunto, foi selecionado o quartzo para as peças submetidas à maior temperatura e em contato com o banho. O aço inoxidável AISI 304 foi selecionado para confecção dos flanges superior e inferior do conjunto, sendo assim realizado o projeto conceitual da câmara de fusão/solidificação, conforme observado na Figura 3. A etapa seguinte foi a construção, montagem, instrumentação e a realização de experimentos com o conjunto completo, como é apresentado nas imagens da Figura 4.

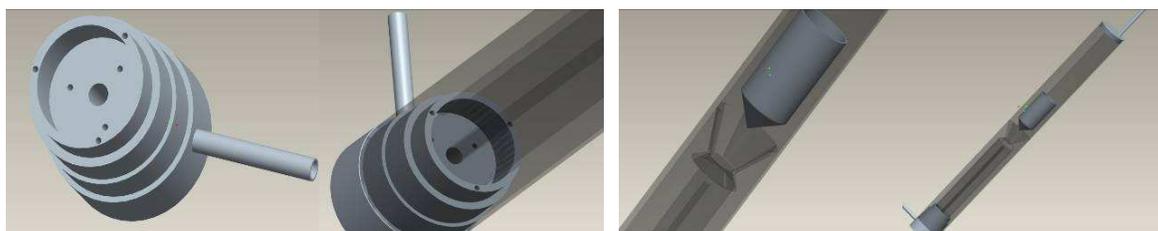


Figura 3 – Projeto conceitual da câmara e sistema de resfriamento.



Figura 4 – Imagens da câmara e do sistema de resfriamento construídos.

Conclusão

A escolha dos materiais empregados na confecção do sistema de fusão/solidificação mostrou-se adequada. O projeto no software ProEngineer permitiu a confecção dos desenhos técnicos utilizados para usinagem dos componentes. Os experimentos preliminares comprovaram a flexibilidade na montagem e no controle e monitoramento dos parâmetros do processo.

Referências

BESKOW, A.B. Estudo da Solidificação Unidirecional Ascendente para Obtenção de Estruturas Colunares Grosseiras. Porto Alegre. 2008. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

WEBBER, C.L.; Beskow, A.B.; Santos, C.A. Desenvolvimento de um Forno Vertical de Fusão/Solidificação Unidirecional para Obtenção de Estruturas Grosseiras Colunares Visando Lingotes de Silício. In: XIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - CREEM 2007, Uberlândia. Anais do evento Rio de Janeiro: ABCM, 2007. v. 1. p. 1-7.

WEBBER, C.L.; Beskow, A.B.; Dedavid, B.A.; Costa, E.M.; Santos, C.A. Desenvolvimento de uma Metodologia Experimental de Solidificação Unidirecional Ascendente para Obtenção de Lingotes com Estrutura Colunar Grosseira em Metais Puros e Silício Policristalino. Anais do XXXIV Seminário de Aciaria – Internacional, ABM, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, Brasil.