

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM APARATO PARA SOLIDIFICAÇÃO DIRECIONAL

Mário de Mendonça Vitor¹ (IC), Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo (PQ)¹
¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Grãos Colunares. Ligas de Alumínio. Solidificação Direcional.

Introdução

A solidificação é um processo essencial na fabricação de peças metálicas, no qual o material líquido se transforma em sólido à medida que esfria. O avanço do conhecimento sobre a solidificação permitiu à indústria otimizar a microestrutura das ligas, aprimorando propriedades como resistência mecânica, ao desgaste e à corrosão. A solidificação direcional representa um avanço importante, proporcionando maior controle no crescimento de grãos colunares, o que resulta em ligas com propriedades mecânicas superiores. Esse processo é particularmente relevante em setores que exigem materiais de alta resistência, como as indústrias aeroespacial e automotiva, pois melhora o desempenho em altas temperaturas e a resistência à fadiga. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um aparato de solidificação direcional e analisar a influência desse processo na morfologia dos grãos de ligas de alumínio.

Metodologia

Buscando viabilidade econômica e sustentabilidade, priorizou-se o uso de materiais de fácil acesso e baixo custo, com foco na utilização de materiais reciclados ou já disponíveis nos laboratórios da UNIFEI. A construção do aparato de solidificação direcional seguiu uma série de etapas cuidadosamente planejadas. O primeiro passo envolveu a seleção de um recipiente para dar sustentação e ao mesmo tempo oferecer mais segurança. Para tanto, este foi preenchido com areia. Este recipiente foi montado sobre uma base metálica para proporcionar um melhor posicionamento e estabilidade do aparato durante a operação. A coquilha de cobre refrigerada a água, componente essencial para o resfriamento controlado e a solidificação direcional, foi inserida no interior do recipiente preenchido de areia. Três mangueiras foram conectadas à coquilha: uma para fornecer água e resfriar o metal líquido, e as outras duas para escoar a água usada. Esse sistema de resfriamento favorece a formação de um gradiente térmico bem definido, essencial para que o processo de solidificação ocorresse de maneira unidirecional, favorecendo a formação de grãos colunares

no lugar de grãos equiaxiais da solidificação convencional.

Figura 1 – Coquilha de cobre refrigerada à água sobre o suporte metálico preenchido de areia.



Fonte: Dados do autor (2024).

Acima da coquilha, foi posicionada um molde cerâmico de zirconita com geometria cilíndrica. Sete termopares do tipo K foram instalados em pontos estratégicos da casca cerâmica ao redor do molde. Esses sensores de temperatura foram inseridos em furos feitos na cerâmica e preenchidos com cerâmica refratária para garantir o isolamento térmico adequado e evitar interferências na medição de temperatura.

Tabela 1 – Distância dos termopares a partir da coquilha

Distância da coquilha (mm)	
Termopar 1	0,5
Termopar 2	13,5
Termopar 3	25,5
Termopar 4	34,5
Termopar 5	47
Termopar 6	57
Termopar 7	68,5

Fonte: Dados do autor (2024).

Figura 2 – Casca cerâmica com os furos para inserção dos termopares tipo K.



Fonte: Dados do autor (2024).

O aparato foi finalizado com o uso de tijolos, colocados ao redor da casca cerâmica, para garantir maior estabilidade e evitar acidentes durante o processo de vazamento do metal. Com a montagem concluída, o dispositivo estava pronto para iniciar a fusão da liga A356 e a solidificação direcional.

O alumínio A356, previamente seccionado em pequenos pedaços, foi fundido em um forno do tipo mufla, da marca Jung, do modelo 2312. Uma vez fundido, o metal foi vazado no molde cerâmico de zirconita, iniciando o processo de solidificação. A coquilha de cobre refrigerada à água (vazão de água controlada em aproximadamente 8,57 l/min), conduziu o resfriamento do metal de forma gradual e direcionada, promovendo a formação dos grãos colunares ao longo do alumínio solidificado.

Após a solidificação direcional, a liga de alumínio A356 foi submetida à caracterização macro e microestrutural. O corpo de prova foi cortado longitudinalmente em várias partes para facilitar a análise. As amostras foram preparadas através de processos de lixamento e polimento, seguidos de ataque químico com a solução de Keller para revelar a microestrutura.

Figura 3 – Aparato de solidificação direcional montado.



Fonte: Dados do autor (2024).

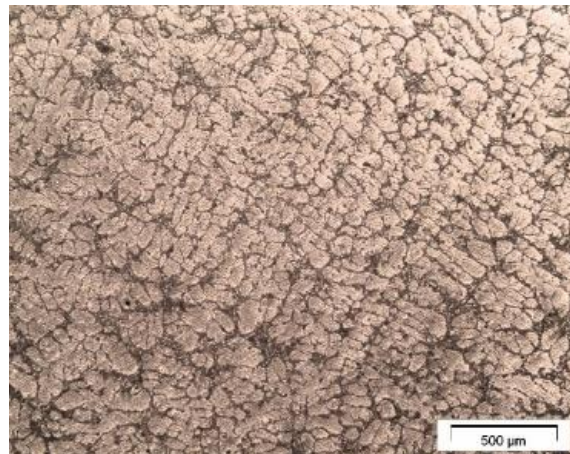
Resultados e discussão

Após a solidificação direcional, a liga de alumínio A356 foi submetida à caracterização macro e microestrutural. O corpo de prova foi cortado longitudinalmente em várias partes para facilitar a análise. As amostras foram preparadas através de processos de lixamento e polimento, seguidos de ataque químico com a solução de Keller para revelar a microestrutura.

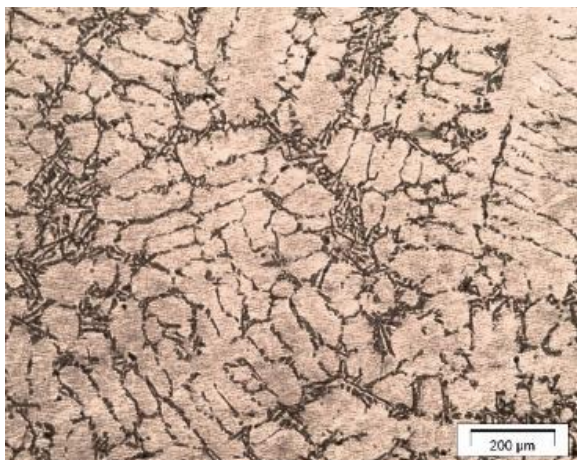
A caracterização das amostras foi realizada utilizando um microscópio óptico ZEISS, modelo Infinity 1, no Laboratório de Metalurgia e Materiais (LMM) da UNIFEI.

Figura 4 – Micrografia da liga A356 pós solidificação direcional.

(a)



(b)



Fonte: Dados do autor (2024).

A análise das amostras por meio do microscópio óptico revelou uma significativa mudança na microestrutura da liga de alumínio A356 após a solidificação direcional. A técnica de solidificação direcional permitiu a formação de grãos colunares, orientados ao longo da direção da extração de calor. Essa mudança está de acordo com o descrito na literatura, que aponta que a solidificação direcional promove o crescimento de grãos colunares, resultado em uma microestrutura mais homogênea e com propriedades mecânicas superiores (GARCIA, 2007).

A figura 5 representa a macrografia da amostra com corte longitudinal a partir de 1 mm até 65 mm de distância da coquilha. É possível visualizar a formação de grãos colunares no formato de “penas”. Essas estruturas são formadas devido a rápida extração de calor e o direcionamento favorecem a formação dos grãos ao longo de eixos específicos (HENRY, 1978).

Figura 5 – Macrografia da liga A356 após solidificação direcional.



Fonte: Dados do autor (2024).

A utilização do aparato para obtenção de solidificação direcional demonstrou que foi possível obtenção de solidificação direcional, visto que foi eficaz na produção de grãos colunares na liga de alumínio.

Conclusões

Foi possível observar, a formação de grãos colunares direcionais, evidenciando a eficácia do aparato em controlar a solidificação de maneira satisfatória. Os resultados indicam que essa técnica oferece vantagens significativas em termos de controle da microestrutura e redução de defeitos. A construção do aparato, utilizando materiais de fácil acesso e baixo custo, possibilitou a produção em escala laboratorial, com potencial para futuras otimizações, como o desenvolvimento de métodos para permitir uma extração controlada, o que pode favorecer ainda mais de grãos colunares.

Agradecimentos

A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte oferecido durante o desenvolvimento deste projeto. O acesso aos laboratórios, materiais e o apoio técnico foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Agradeço também ao CNPq pela oportunidade de participar deste projeto de iniciação científica, cujo incentivo foi crucial para o avanço do meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Referências

ASM Handbook. Vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1990.

GARCIA, A. Solidificação: Fundamentos e Aplicações. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2007.

HENRY S. Minghetti T. and Rappaz M., Dendrite growth morphologies in aluminium alloys – Acta Mater. Vol.46, no. 18 p. 6431-6443, 1998.