



Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

# Otimização da obtenção de matérias-primas semissólidas da liga A356 pelo processo de agitação eletromagnética

Autor: Pedro Gargano Longue

Orientador: Prof. Dr. Eugênio José Zoqui

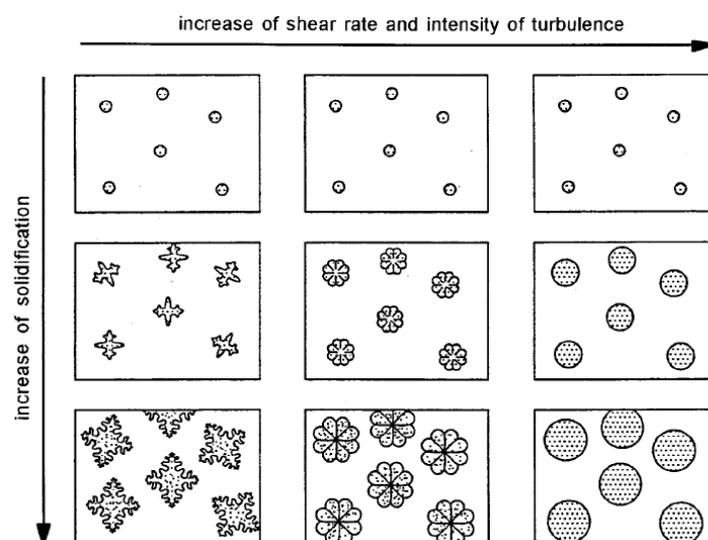


# MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

De maneira acidental, foi descoberta na década de 1970 uma técnica que melhorava significativamente um dos defeitos intrínsecos ao processo de fabricação por fundição. Devido às características da maior parte dos metais de se solidificar por meio de dendritas e de se contrair durante a solidificação, o que se observa é a formação de pequenos vazios entre os braços dendríticos resultantes. Esses vazios fazem parte da porosidade de um metal, o que prejudica as propriedades mecânicas dos materiais que passam por esse processo (Flemings, 1991).

A técnica mencionada se trata da aplicação de uma agitação ao material fundido enquanto ele resfria, que quebra os braços dendríticos, promove a formação de uma estrutura composta por esferoides e diminui consideravelmente a quantidade de vazios de contração resultantes. É possível ver um esquema destas alterações na Figura 1. Os esferoides que compõe a estrutura do sólido acabam rodeados por uma matriz amorfa, que tem ponto de fusão menor que o deles. Assim, com a aplicação de certa quantidade de calor, o que se observa é a obtenção de um material que tem consistência pastosa, entre o sólido e o líquido. A esses materiais se deu o nome de semissólidos (Flemings, 1991).

Com o passar do tempo, a produção de materiais semissólidos se difundiu e se desenvolveu. Atualmente, o principal método de agitação utilizado é a aplicação de um campo magnético ao redor material em solidificação (agitação MHD), principalmente em processos contínuos, e esses metais são, geralmente, utilizados como matérias-primas para outros processos, como conformação mecânica ou fundição por injeção (Fan, 2002).



**Figura 1** – Ilustração das mudanças que ocorrem no processo de solidificação com a adição de um cisalhamento [Fonte: Fan, 2002].



Trabalhos recentes, no entanto, mostram que agitações provenientes de campos magnéticos muito fortes podem trazer um efeito contrário ao desejado, com um aumento da porosidade resultante.

Isto posto, este trabalho tem por objetivo obter a potência ótima fornecida para a criação do campo magnético que agita porções da liga de alumínio A356 durante sua solidificação, bem como analisar os efeitos do processo nos espaçamentos interdendríticos primário e secundário e no tamanho médio de grão.

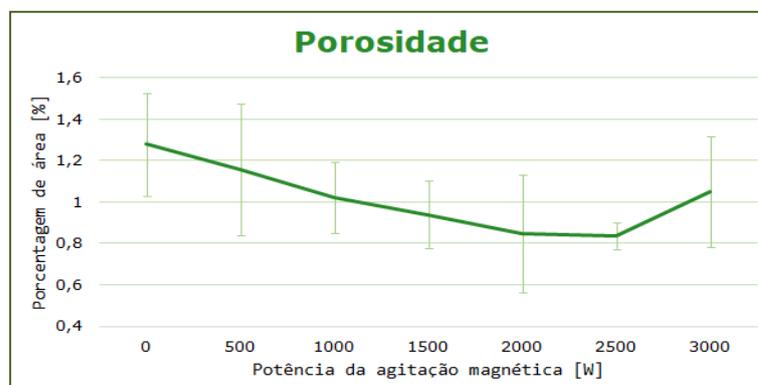
## RESULTADOS

Foram produzidas amostras da liga A356 agitadas por campos magnéticos induzidos por um gerador com potência de 500, 1000, 1500, 2000, 2500 e 3000 W, além de uma amostra sem agitação. É possível observar na Figura 2 exemplos das amostras já cortadas, embutidas e polidas.



**Figura 2** – Exemplos de amostras fabricadas e preparadas [Fonte: o autor].

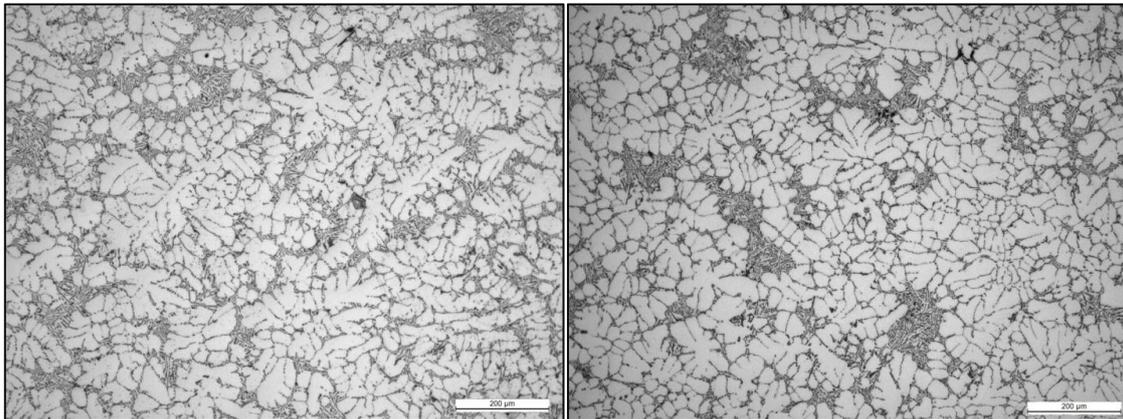
Com a ajuda de um microscópio, foram capturadas imagens que possibilitaram analisar propriedades como porosidade e espaçamentos interdendríticos primário e secundário. A Figura 3 mostra a curva resultante da porosidade encontrada nas amostras. Já a Figura 4 mostra a comparação entre uma imagem da amostra sem agitação e da amostra com agitação de 1000 W, que exibem o maior contraste da estrutura formada.



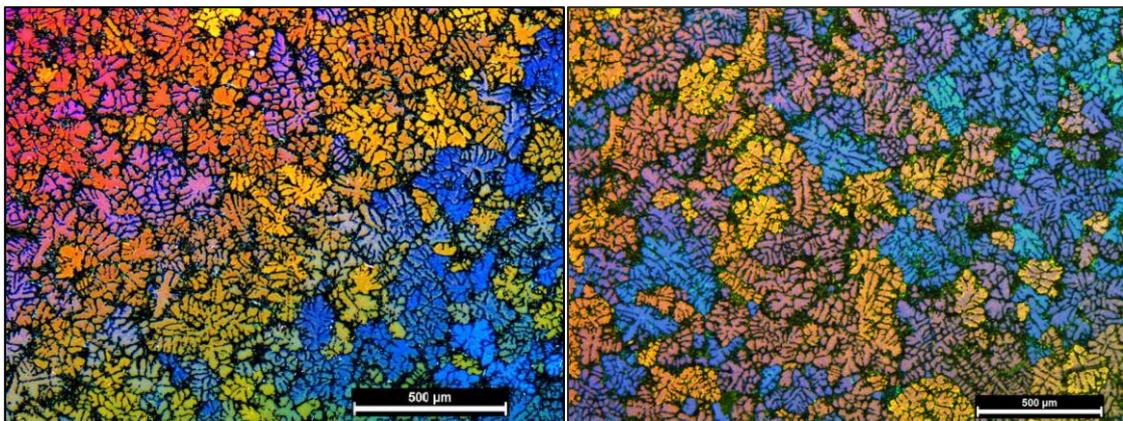
**Figura 3** – Curva de porosidade média por potência de agitação [Fonte: o autor].



Também foram feitos ataques eletrolíticos sobre as amostras, que possibilitaram a obtenção de imagens microscópicas coloridas, que diferenciam os grãos formados na solidificação. Com essas imagens, foi determinado o tamanho médio de grão de cada amostra. Na Figura 5 é possível observar uma comparação entre uma imagem colorida da amostra sem agitação e uma da amostra com agitação de 3000 W, que exibem o maior contraste de tamanho médio de grãos entre as amostras.



**Figura 4** – Comparação entre a pior situação, sem agitação (à esquerda), e a melhor situação, com agitação de 1000 W (à direita) em relação ao espaçamento interdendrítico [Fonte: o autor].



**Figura 5** – Comparação entre a pior situação, sem agitação (à esquerda), e a melhor situação, com agitação de 3000 W (à direita) em relação ao tamanho médio de grãos [Fonte: o autor].

A Tabela 1 exibe um resumo dos principais resultados de maneira numérica. Destacando-se os resultados de porosidade, é possível perceber que a diminuição máxima nos valores de porcentagem de área, presente na amostra com agitação de 2500 W, foi de aproximadamente 35%, uma diminuição consideravelmente grande e que pode afetar diretamente as propriedades do material. Entretanto, quando se considera os resultados de forma mais geral, a amostra que teve uma diminuição razoável de porosidade, cerca de 27%, e que apresentou um bom refino, perceptível



nos valores baixos de espaçamento primário ( $\lambda_1$ ) e secundário ( $\lambda_2$ ) e tamanho de grão, é a amostra que passou por uma agitação de 1500 W.

**Tabela 1** – Valores numéricos das análises de porosidade, espaçamento interdendrítico primário ( $\lambda_1$ ) e secundário ( $\lambda_2$ ) e tamanho de grão (TG), com os respectivos desvios padrão [Fonte: o autor].

Potência [W]	Poros. [%]	$\sigma$	$\lambda_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\sigma$	$\lambda_2$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\sigma$	TG [ $\mu\text{m}$ ]	$\sigma$
0	1,28	0,25	107,0	17,7	20,0	6,4	161,4	26,2
500	1,16	0,32	93,9	19,8	21,8	11,4	141,2	16,9
1000	1,02	0,17	82,0	29,0	16,4	3,2	159,4	26,5
1500	0,94	0,16	82,1	20,1	17,1	3,9	158,2	18,6
2000	0,85	0,29	89,9	17,8	18,9	4,5	166,8	21,9
2500	0,84	0,07	93,5	16,6	22,3	3,9	163,0	18,8
3000	1,05	0,27	96,3	21,5	20,5	8,9	134,6	18,6

## REFERÊNCIAS

Fan, Z., *Semisolid metal processing*, International Materials Reviews, v.47, p. 49-85, 2002.

Flemings, M.C., *Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State*, Metallurgical Transactions, v.22 A, p. 957-981, 1991.