

IMPORTÂNCIA DA VARIAÇÃO DA VAZÃO DE UM GÁS INERTE E DO SUPERAQUECIMENTO NA TRANSIÇÃO COLUNAR/EQUIAXIAL DO ALUMÍNIO E DO EUTÉTICO Al-33Cu

Otávio Fernandes Lima da Rocha

Antonio Luciano Seabra Moreira

Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará, Coordenação de Metalurgia e Materiais, 66.000-000, Belém, Pa, Brasil. E-mail: orochoa@amazon.com.br

Resumo

É sabido que um dos maiores objetivos da metalurgia física nas últimas décadas tem sido o desenvolvimento de técnicas capazes de controlar a dimensão, geometria, distribuição e orientação dos grãos cristalinos de produtos fundidos, visando a obtenção de estruturas de solidificação compatíveis com as propriedades mecânicas exigidas. Logo, observa-se a real dependência dessas propriedades em função também da estrutura obtida. Assim, verifica-se que, em quase todas as aplicações práticas, com raras exceções, procuram-se produzir fundidos com estruturas constituídas de grãos equiaxiais refinados pois as mesmas, por serem isotrópicas, apresentam propriedades superiores. Considerando o exposto, este trabalho apresenta como principal objetivo o desenvolvimento de um estudo experimental sobre a influência da convecção forçada, promovida pelo borbulhamento do gás Hélio, a partir de diferentes níveis de superaquecimento, na transição da zona colunar para a zona equiaxial central no alumínio e no eutético Al-33Cu. Para tanto foram levadas em conta, durante o vazamento, variações de vazão do gás inerte correspondentes a zero, 0,2, 0,4 0,6, 0,8 e 1,0 l/min e superaquecimentos equivalentes a zero, 10% e 20% acima da temperatura de solidificação dos referidos materiais.

Palavras-chave: Alumínio, Solidificação, Grão, Vazão, Superaquecimento.

1 . INTRODUÇÃO

Podemos entender como transição da zona colunar para zona equiaxial de um material como sendo a obtenção de estruturas fundidas constituídas por grãos de dimensões bastantes reduzidas, distribuídos por toda a seção da peça e sem orientação preferencial de crescimento, isto é, a formação dessas estruturas implica necessariamente na supressão da zona colunar, geralmente presente inicialmente nas mesmas (Ohno, 1976 e Rocha, 1998).

A ativação dos mecanismos de formação da zona equiaxial depende, basicamente, de parâmetros de natureza operacional, ou seja, superaquecimento do metal líquido, presença de convecção forçada, composição do material, forma de extração de calor do sistema metal/molde, espaçamento interdendrítico, dimensões e geometria do molde, etc (Appolaire et al, 1997; Quaresma,1999; e Wang & Beckermann, 1996). Na prática, são apontados os mecanismos de nucleação extensiva, inoculação de substratos e da multiplicação cristalina como sendo os de maior importância na utilização de processos de refino de grão de materiais

metálicos, os quais encontram-se classificados com base nos seguintes métodos (Peralta, 1998 e Siqueira, 1998):

Método Térmico: consiste em controlar o fluxo de extração de calor do sistema metal/molde impondo ao metal líquido que solidifica flutuações térmicas por convecção/condução, gradientes de temperaturas e cinéticas de solidificação (Santos, 1997).

Método Mecânico: consiste em controlar os movimentos convectivos da massa líquida, através da vibração do molde, irradiação ultra-sônica do banho, agitação eletromagnética, agitação gasosa, controle da geometria e superfície de alimentadores (Vives, 1996).

Método Químico: consiste essencialmente em interferir físico-quimicamente na massa líquida do metal que solidifica, através da adição de elementos de liga, inoculação de agentes nucleantes e compostos químicos adequados (Robert, 1983).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados vazamentos com superaquecimentos correspondentes a $\Delta T = 0\%$, 10% e 20% acima da temperatura de fusão dos materiais, ou seja, $660\text{ }^\circ\text{C}$, $725\text{ }^\circ\text{C}$ e $790\text{ }^\circ\text{C}$, para o alumínio e $548\text{ }^\circ\text{C}$, $602\text{ }^\circ\text{C}$ e $657\text{ }^\circ\text{C}$, para o eutético Al-33Cu. O sistema completo de injeção de gás (Rocha, 1998), é composto por um cilindro de alta pressão, rotâmetro, regulador de pressão, molde cilíndrico de aço ABNT 1045 e um tubo injetor de gás de aço inoxidável. As vazões de Hélio no metal líquido para produzir o borbulhamento, corresponderam a zero, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 l/min. Após o processo de obtenção dos lingotes, estes foram cortados e faceados. Em seguida, os mesmos foram submetidos a um tratamento superficial e posteriormente atacados com reagente químico adequado (Rocha, 1998) o que possibilitou a obtenção de suas respectivas macroestruturas. Posteriormente, para a verificação do tamanho do grão e porcentagem de área refinada, amostras de alumínio e do eutético foram retiradas da região central de cada lingote e preparadas visando a análise micrográfica. As mesmas foram atacadas com reagente químico constituído de 10% de ácido fluorídrico concentrado e 90% de água destilada. Finalmente, as microestruturas das amostras foram reveladas e fotografadas e os grãos foram contados através do método do Intercepto de contagem de grãos equiaxiais de materiais metálicos, baseado no Processo Heyn, conforme norma ABNT – NB 1323 (Rocha, 1998 e Peralta, 1998).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas, para efeito de ilustração, algumas macroestruturas encontradas para o alumínio e o eutético Al-33Cu em determinadas condições de solidificação assumidas neste trabalho.

A figura 3 apresenta os resultados da quantidade percentual de zona equiaxial formada em função da vazão de gás, a partir de diferentes níveis de superaquecimento, para o alumínio e a liga eutética Al-33Cu. Para o alumínio, podemos observar, para os menores valores de vazão do gás, a convecção forçada como importante mecanismo de formação da zona equiaxial central. No entanto, apesar do aumento progressivo da vazão do gás, verifica-se que a quantidade de zona equiaxial constituída mantém-se praticamente constante ao longo do processo em todos os níveis de superaquecimento considerados. No caso do eutético analisado, notamos um comportamento bastante diferente do observado no alumínio bem como daquele previsto pelas teorias que estudam o assunto (Ohno, 1976), ou seja, o aumento da vazão do gás contribui para a diminuição da zona equiaxial formada principalmente na presença de baixos graus de superaquecimento.

Na figura 4 são mostrados os resultados da quantidade percentual de zona equiaxial formada em função do superaquecimento, a partir de diferentes níveis de vazão do gás para o

alumínio e a liga eutética Al-33Cu. No caso do alumínio, podemos observar que aumentos no superaquecimento, para os valores de vazão de gás assumidos, atuam como fatores inibidores do processo em questão, conforme previsto pelas teorias propostas. Por outro lado, para o

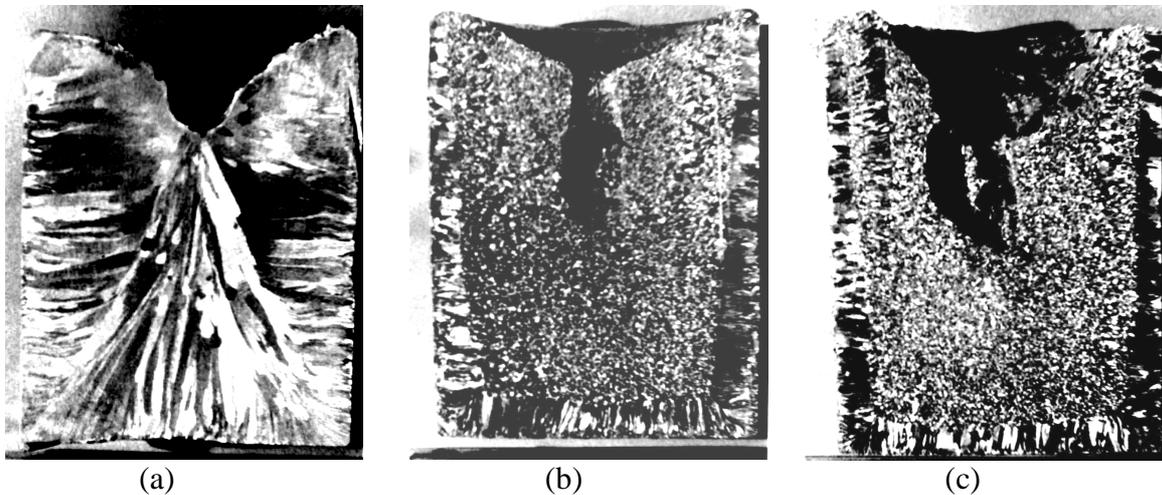


Figura 1. Macroestruturas obtidas para o alumínio solidificado com superaquecimento de 10% acima da temperatura de fusão e vazões de gás correspondentes a (Redução 3x):
(a) Nula;
(b) 0,4 l/min
(c) 0,8 l/min

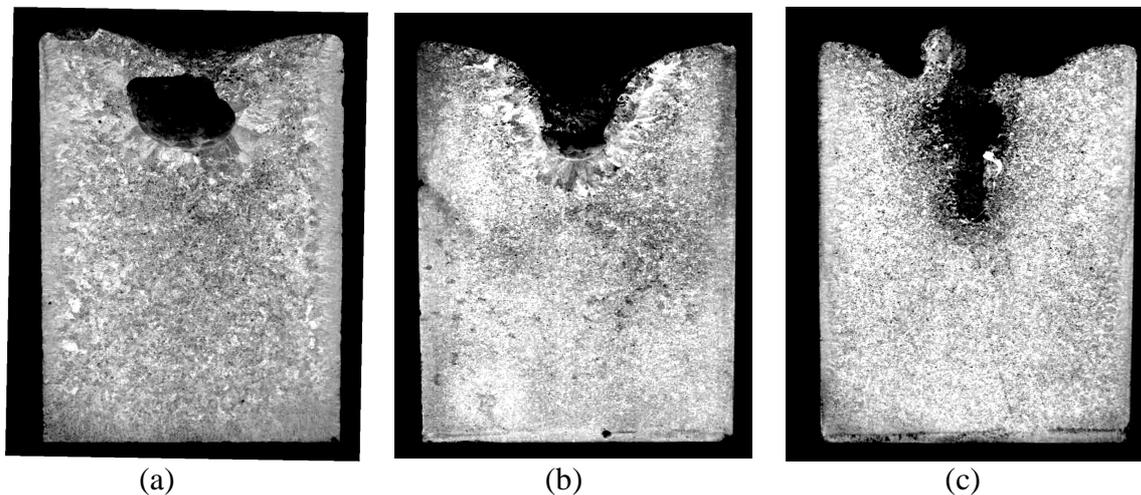


Figura 2. Macroestruturas obtidas para o eutético Al-33Cu solidificado com superaquecimento de 20% acima da temperatura de fusão e vazões de gás correspondentes a (Redução 3x):
(a) Nula;
(b) 0,4 l/min
(c) 0,8 l/min

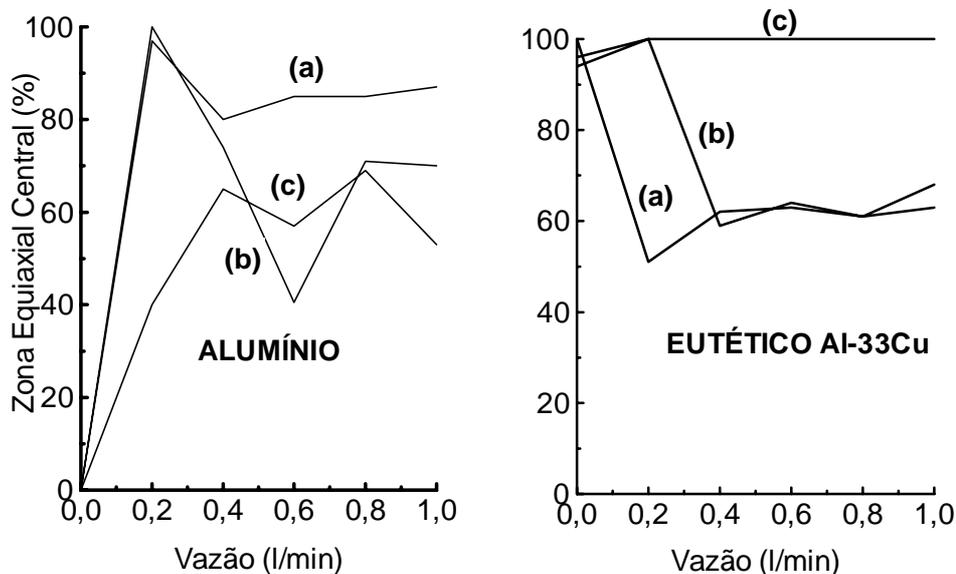


Figura 3. Efeito da vazão de gás inerte na formação da zona equiaxial central para o alumínio e o eutético Al-33Cu solidificados a partir de diferentes níveis de superaquecimento.

- (a) nulo
- (b) 10% acima da temperatura de fusão
- (c) 20% acima da temperatura de fusão

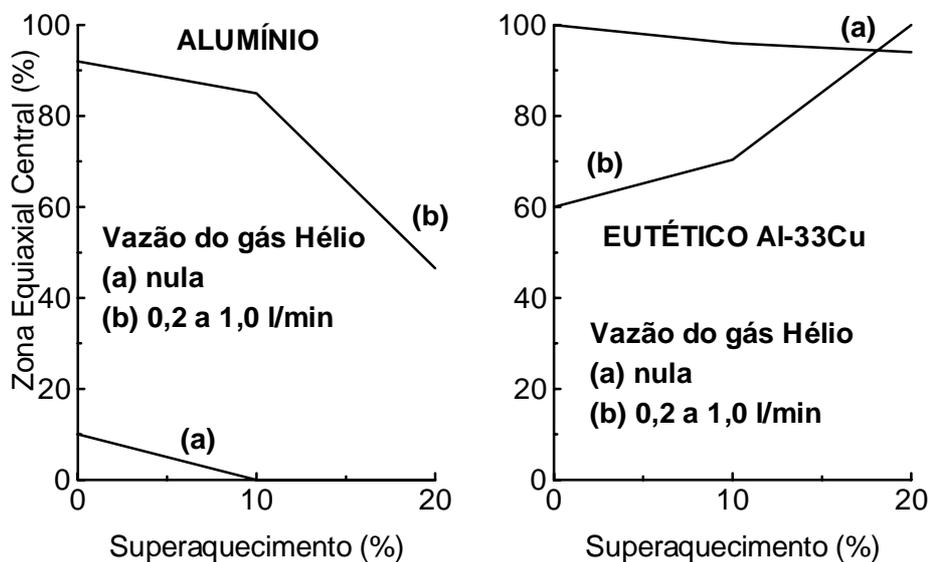


Figura 4. Efeito do superaquecimento na formação da zona equiaxial central para o alumínio e o eutético Al-33Cu solidificados a partir de diferentes valores de vazão do gás Hélio.

eutético estudado, notamos, igualmente, um comportamento contrário do verificado no alumínio bem como daquele previsto pelas mesmas teorias (Ohno, 1976), isto é, a presença de

elevados níveis de superaquecimento, para os valores de vazão de gás considerados, estimulam a transição colunar/equiaxial no referido material.

A figura 5 apresenta, respectivamente, a variação da formação da zona equiaxial central em função da vazão e do superaquecimento para o alumínio e para o eutético Al-33Cu. Podemos notar, no que se refere à vazão de gás, um comportamento diferente para ambos os materiais na formação da zona estrutural em questão, isto é, à medida que aumenta a vazão do gás verificamos, para o caso do alumínio, uma significativa influência da mesma na formação da zona equiaxial central. No que se refere ao eutético, solidificado nas mesmas condições, notamos que as vazões de gás assumidas não influenciam a formação da citada zona estrutural uma vez que ao aumentarmos progressivamente a vazão do gás ocorre uma discreta diminuição na formação da mesma. Da mesma forma, notamos que os níveis de superaquecimento aplicados proporcionam um comportamento bastante divergente na formação da zona equiaxial central nestes materiais, isto é, o aumento da temperatura de vazamento implica, para o alumínio, na diminuição da formação da zona equiaxial, no entanto, no caso do eutético os superaquecimentos considerados estimulam a formação da zona estrutural em análise.

Na figura 6 são apresentados, respectivamente, a variação do diâmetro médio do grão do alumínio em função da vazão de Hélio e do superaquecimento. Pode-se observar, claramente, a influência dos efeitos impostos pela injeção de gás, nos diferentes níveis de superaquecimento assumidos, no sentido de reduzir bastante o tamanho do grão equiaxial do alumínio, sendo que estes efeitos são discretamente inibidos à medida que o superaquecimento se eleva. Finalmente, podemos notar que aumentos progressivos da temperatura de vazamento, mesmo na presença de maiores vazões de gás, tendem a estimular o crescimento do grão equiaxial do alumínio.

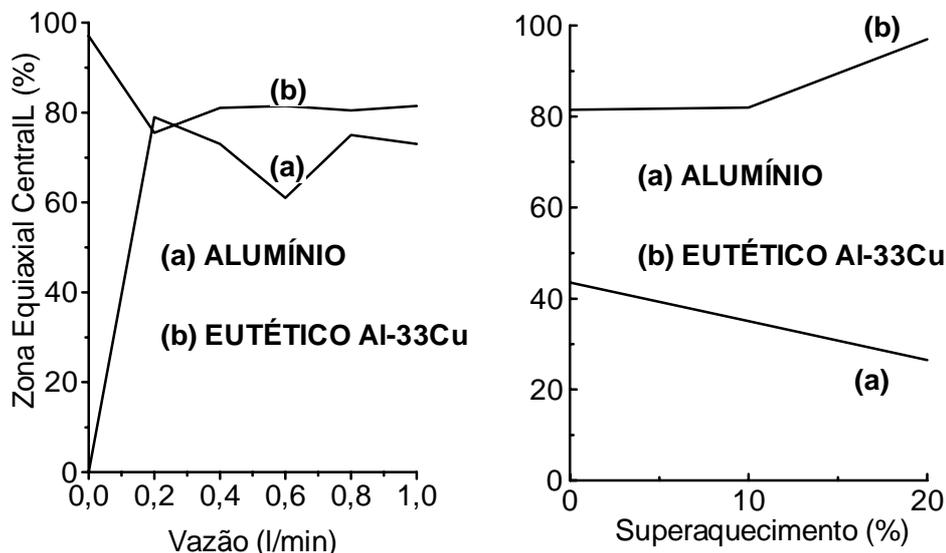


Figura 5. Análise comparativa dos efeitos da vazão de gás inerte (médias das curvas apresentadas na figura A/B) e do superaquecimento (médias das curvas apresentadas na figura C/D) na formação da zona equiaxial central do alumínio e do eutético Al-33Cu.

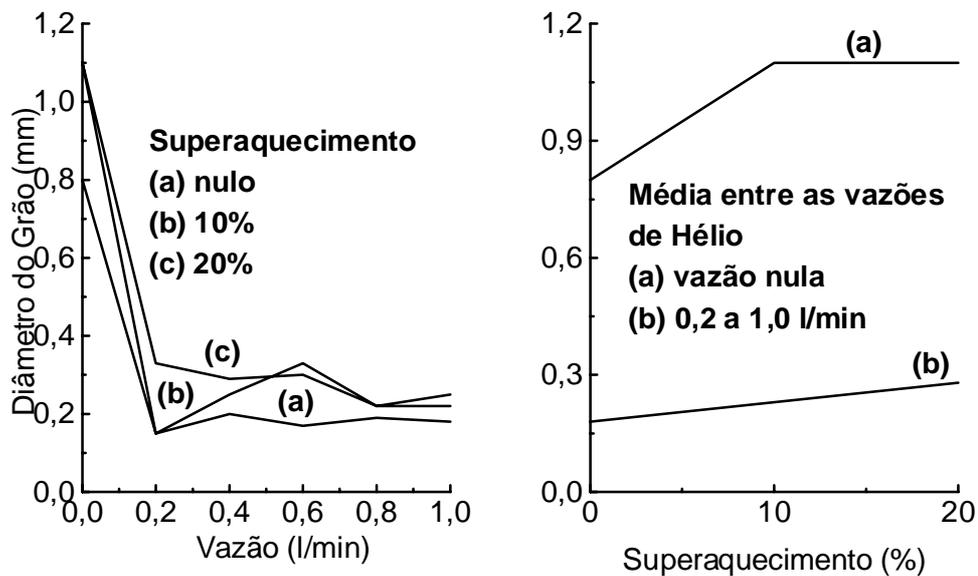


Figura 6. Variação do diâmetro médio do grão em função da vazão de gás e do superaquecimento para o alumínio.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para o alumínio, em todas as condições de solidificação adotadas, encontram-se de acordo com as teorias existentes na literatura, pois as mesmas comprovam os importantes efeitos da convecção forçada provocada pela injeção de gases inertes na transição da zona colunar para a zona equiaxial central do alumínio. No caso da liga eutética Al-33Cu, no entanto, os resultados obtidos mostram um comportamento contrário àqueles encontrados para o alumínio comercialmente puro, pois quando a mesma é submetida ao borbulhamento do gás nos níveis de superaquecimento nulo e 10% acima da temperatura de fusão, a convecção forçada não constitui um fator importante à formação da zona equiaxial. Por outro lado, quando este eutético é submetido ao superaquecimento de 20% acima da temperatura de solidificação o borbulhamento do gás proporciona uma elevada eficiência na transição colunar/equiaxial da liga em questão. Logo, os efeitos da convecção promovida pela injeção de gases inertes, no processo de transição colunar/equiaxial de materiais metálicos, pode não ser inquestionável. Assim, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que algumas teorias propostas anteriormente e atualmente aceitas, formuladas a partir de determinados tipos de mecanismos que visam estimular esta transição não são genéricas, ou seja, podem ser restritas somente a certos materiais submetidos a condições específicas de solidificação.

5. REFERÊNCIAS

- Appolaire, B.; Combeau, H & Lesoult, G., 1997. "Modelling growth with convection". Proceedings of the 4th Decennial International Conference on Solidification Processing, Sheffield, p. 295-298,.
- Ohno, A., 1976. "The Solidification of Metals", Chijin Shokan, Co. Ltd. , Japan.

- Peralta, J. L., 1998. “Influência do superaquecimento e da vazão de um gás inerte no refino de grão do Zn e do eutético Zn-5Al”, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, DEM/CT/UFPA, 121p.
- Quaresma, J. M. V., 1999. “Correlação entre condições de solidificação, microestrutura e resistência mecânica”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 180p.
- Robert, M. H., 1983. “Refino de estruturas de alumínio pela adição de nióbio, zircônio e titânio via sais halogenados, e implicações nas suas propriedades mecânicas e elétricas”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 225p.
- Rocha, O. F. L., 1998. “Influência do superaquecimento e da vazão de um gás inerte na formação da macroestrutura de solidificação do alumínio e do eutético Al-33Cu”, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pa, Brasil, 159p.
- Santos, C. A., 1997. “Influência da taxas direcionais de resfriamento na evolução da solidificação em sistemas metal/molde”, Tese de Mestrado, 125p
- Siqueira, C. A. F., 1998. “Influência da pressão e da vazão de um gás inerte na macroestrutura de solidificação do alumínio em lingoteiras de dimensões variadas”, Universidade Federal do Pará, Belém, Pa, Brasil, 168p.
- Vives, C., 1996. “Effects of Forced Eletromagnetic Vibrations during the Solidification of Aluminium Alloys”: Part I e II, Metallurgical Transactions, v. 27 B, p.445-454,
- Wang, C.Y.; Beckermann C., 1996. “Equiaxed Dendritic Solidification with Convection”, Metallurgical Transactions., v. 27 A, p. 2754-2792.