

ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DO SUPERAQUECIMENTO NAS MACROESTRUTURAS DE SOLIDIFICAÇÃO DO ALUMÍNIO, ZINCO E DAS LIGAS EUTÉTICAS Al-33Cu E Zn-5Al

Otávio Fernandes Lima da Rocha

João Lobo Peralta

Antonio Luciano Seabra Moreira

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

Resumo

Embora a conformação de metais utilizando a solidificação seja o mais antigo dos processos convencionais de fabricação, somente nas últimas décadas surgiram as primeiras pesquisas sistemáticas sobre o assunto, incentivadas pela sua crescente utilização no desenvolvimento de novos processos tornando, portanto, inadequado o estabelecimento dos mesmos a partir de métodos empíricos. Assim, ao solidificar, a macroestrutura de um metal pode apresentar três diferentes zonas estruturais conhecidas como zona coquilhada, zona colunar e zona equiaxial central, cujas características físicas influenciam bastante as propriedades mecânicas do produto fundido. Considerando o exposto, este trabalho apresenta um estudo experimental comparativo sobre a formação das macroestruturas do alumínio, zinco e das ligas eutéticas Al-33Cu e Zn-5Al obtidas em lingoteiras cilíndricas a partir de mesmas condições iniciais de solidificação. Para tanto, foram levadas em conta variações do superaquecimento correspondentes a zero, 10% e 20% acima da temperatura de fusão dos materiais em questão. Os resultados encontrados, nas referidas condições, demonstram um comportamento bastante diferente para os materiais analisados.

Palavras-chave: Alumínio, Zinco, Macroestrutura, Superaquecimento, Grão.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da elevada importância alcançada pelos cerâmicos, polímeros e compósitos os materiais metálicos continuam sendo, em função de suas propriedades e possibilidades de combinação na constituição de ligas, a principal fonte de matérias-primas para o atendimento das diversas necessidades da sociedade moderna (Chiaverini, 1997). A complexidade do conhecimento básico sobre a solidificação de metais quando são investigadas causas fenomenológicas sobre características particulares do mesmo, o que leva a concluir que o conhecimento necessário sobre o assunto somente é alcançado com base no estudo científico e/ou tecnológico (Rocha, 1998; Santos, 1997; Quaresma, 1999; Vives, 1996). Os efeitos da transição colunar/equiaxial nas propriedades de um produto fundido parecem resultar de modificações na distribuição de heterogeneidades existentes na estrutura do mesmo as quais são responsáveis pelas características mecânicas inferiores apresentadas por estruturas grosseiras como trincas, porosidade, inclusões não metálicas, precipitados e outras (Peralta, 1998; Siqueira, 1998; Wang, 1996). São três as regiões macroestruturais típicas existentes em um fundido, ou seja, coquilhada, colunar e equiaxial central (Ohno, 1976), apresentadas na figura 1, as quais proporcionam um elevado grau de anisotropia sendo, portanto, indesejáveis.

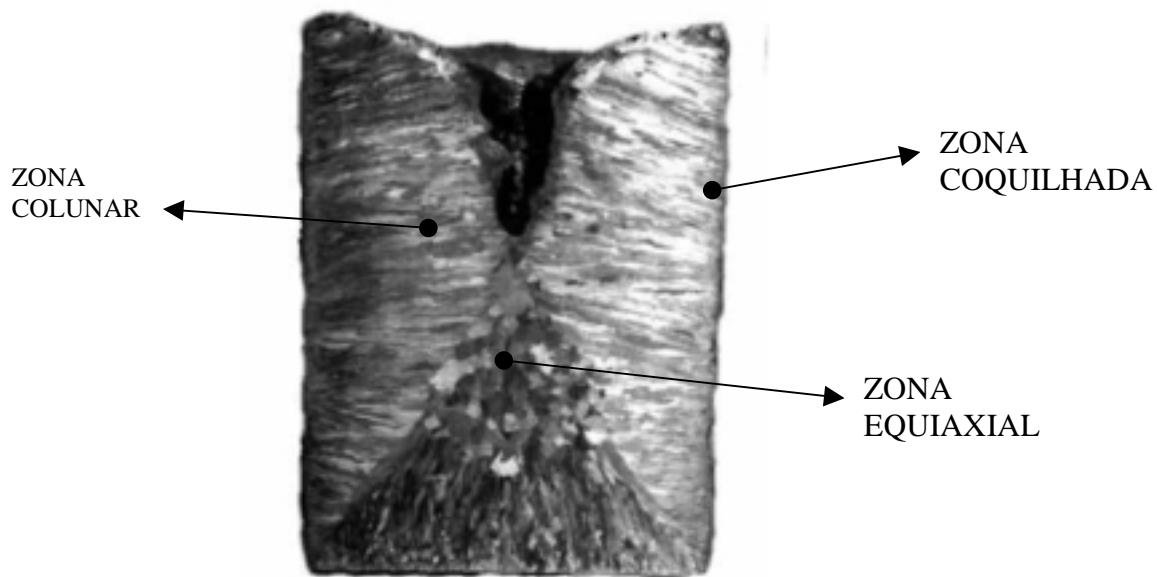


Figura 1. Indicação das zonas estruturais típicas da macroestrutura de solidificação do zinco.

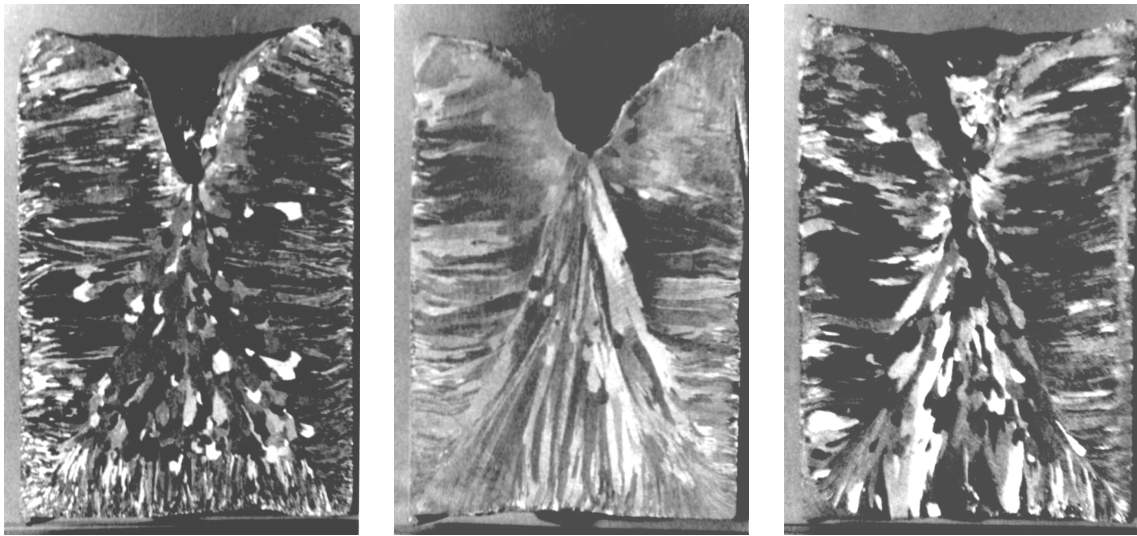
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os lingotes de alumínio, zinco, Al-33Cu e Zn-5Al foram obtidos em lingoteira cilíndrica de aço carbono ABNT 1045 com 62 mm de diâmetro médio, 5 mm de espessura e 102 mm de altura. O resfriamento do metal líquido foi monitorado através de termopares até as temperaturas de vazamento de interesse correspondentes a superaquecimentos de zero, 10% e 20% acima da temperatura de fusão de cada material. No caso das ligas eutéticas, com o objetivo de manter-se uma mistura com concentração de soluto aproximadamente uniforme, ou seja, a fim de não permitir a segregação de soluto, foi procedida uma agitação permanente no líquido até o momento do vazamento nas respectivas temperaturas. Após o processo de obtenção dos lingotes, estes foram submetidos a um processo de preparação de superfície e posteriormente polidos e atacados com reagentes específicos (Rocha, 1998; Peralta, 1998). Finalmente, as macroestruturas reveladas foram fotografadas em tamanho natural e com iluminação adequada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Materiais puros

Inicialmente serão analisadas as macroestruturas dos materiais puros a partir da variação do superaquecimento, isto é, zero, 10% e 20% acima da temperatura de fusão do alumínio e do zinco. Os resultados obtidos encontram-se apresentados, respectivamente, nas figuras 2 e 3. A macroestrutura obtida para o alumínio sem superaquecimento, mostrada na figura 2(a), apresenta grãos colunares bastante alongados, localizados próximos à interface metal/molde, com forte orientação preferencial em direção ao centro do lingote. Observa-se, também, a formação de grãos equiaxiais centrais de grandes dimensões e sem orientação preferencial localizados no centro da peça. Por outro lado, no lingote de zinco, mostrado na figura 3(a),



(a)

(b)

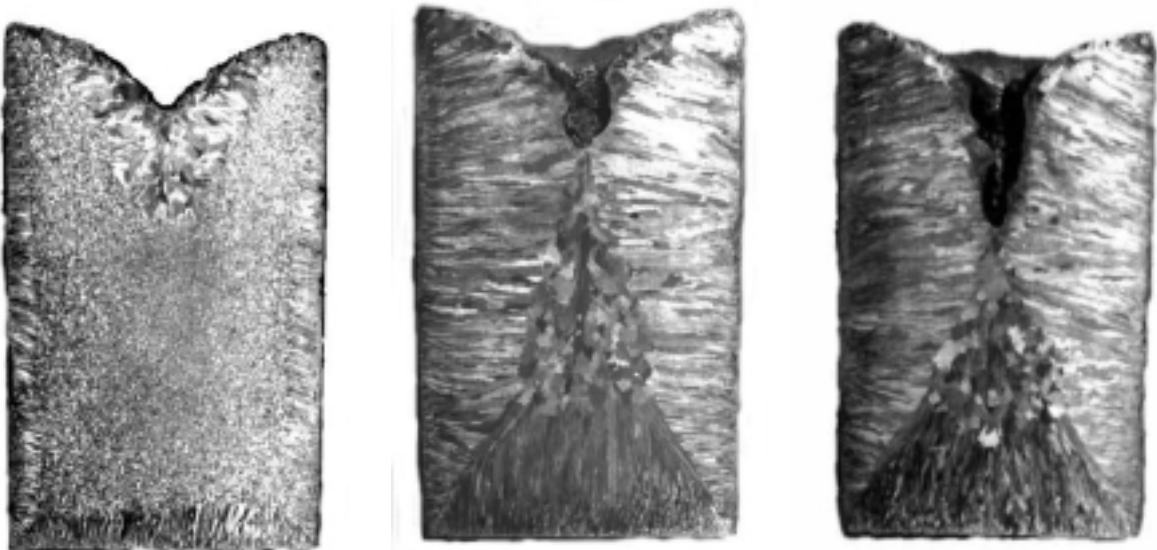
(c)

Figura 2. Macroestruturas obtidas para o alumínio solidificado a partir de diferentes níveis de superaquecimento.

(a) Nulo (660 °C)

(b) 10% acima da temperatura de fusão (725 °C)

(c) 20% acima da temperatura de fusão (790 °C)



(a)

(b)

(c)

Figura 3. Macroestruturas obtidas para o zinco solidificado a partir de diferentes níveis de superaquecimento.

(a) Nulo (420 °C)

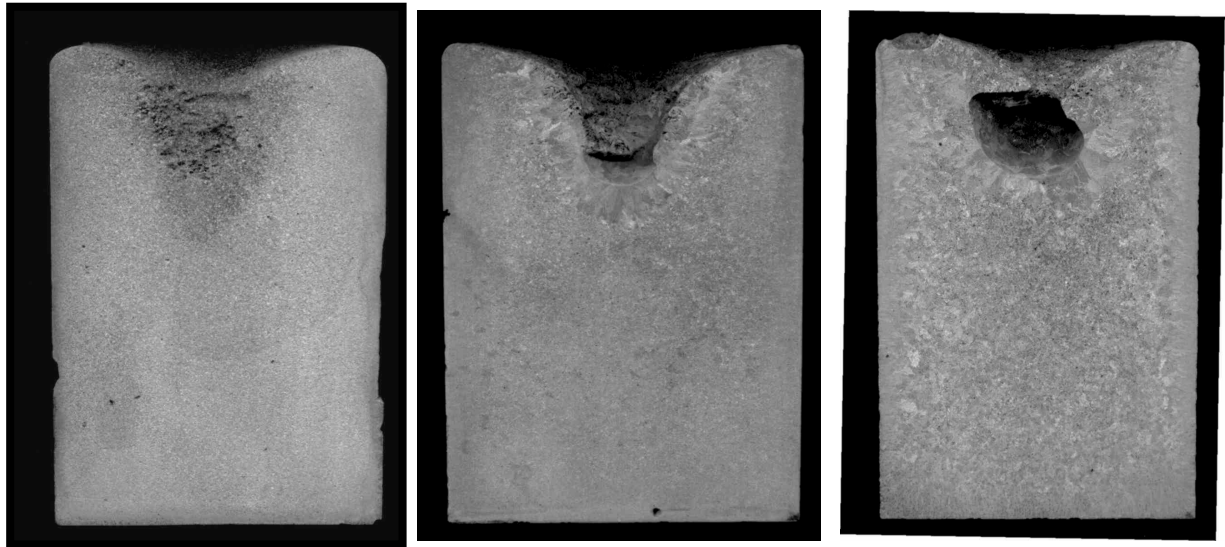
(b) 10% acima da temperatura de fusão (462 °C)

(c) 20% acima da temperatura de fusão (504 °C)

verifica-se a presença da zona equiaxial em quase toda a superfície do lingote, constituída de grãos de pequenas dimensões e distribuídos aleatoriamente em sua região central. Contudo, nota-se também a presença da zona colunar em quantidade relativamente pequena, com grãos de dimensões reduzidas e orientados preferencialmente segundo a direção da extração de calor. De acordo com as teorias existentes sobre o assunto, essa condição é particularmente viável em lingotes obtidos a partir de baixas temperaturas de vazamento que possibilitam a nucleação, em todo o volume do líquido, de grãos equiaxiais interrompendo portanto o crescimento dos grãos colunares conforme propõem as Teorias do Showering (Southin, 1967) e do Big- Bang (Biloni & Chalmers, 1968). No que se refere aos lingotes de zinco e alumínio obtidos com 10% de superaquecimento, observa-se que a macroestrutura do alumínio é constituída somente de grãos colunares bastante grosseiros e alongados, localizados a partir da interface metal/molde, com forte orientação preferencial em direção ao centro da peça, conforme apresentado na figura 2(b). No lingote de zinco, mostrado na figura 3(b) e obtido nas mesmas condições de solidificação, verifica-se o significativo efeito do superaquecimento na formação da zona colunar constituída igualmente de grãos de grandes dimensões, bastante alongados e orientados da periferia para o centro do lingote. Nota-se, também, a presença de grãos equiaxiais grosseiros localizados na região central da peça, fato não verificado para o alumínio. As macroestruturas para o alumínio e zinco, obtidas a partir de temperaturas de vazamento correspondentes a 20% de superaquecimento são apresentadas, respectivamente, nas figuras 2(c) e 3(c). Observa-se, nos dois casos, a elevada presença de grãos colunares bastante grosseiros, alongados, distribuídos em toda a seção longitudinal dos lingotes e com forte orientação preferencial em direção ao centro dos mesmos. A zona equiaxial, no caso, se apresenta somente no zinco sendo localizada no centro do lingote, possuindo grãos de grandes dimensões e sem orientação preferencial.

3.2. Ligas eutéticas

Verifica-se que a macroestrutura obtida para a liga eutética Al-33Cu correspondente ao superaquecimento nulo, mostrada na figura 4(a), é constituída de grãos equiaxiais de dimensões bastante reduzidas, sem orientação preferencial e distribuídos uniformemente em toda a seção do lingote. Nota-se, contudo, que o aumento progressivo do superaquecimento estimula tanto a discreta presença de grãos colunares localizados próximo ao rechepe, figura 4(b), como a tendência no sentido de aumentar o tamanho médio dos grãos equiaxiais em toda a superfície da peça, conforme indica a figura 4(c). No que se refere aos lingotes do eutético Zn-5Al, observa-se que aquele obtido sem superaquecimento, mostrado na figura 5(a), apresenta uma macroestrutura semelhante àquela observada para o eutético anterior, solidificado nas mesmas condições. O fato de ambas as macroestruturas encontrarem-se particularmente bastante refinadas pode ser explicado através da existência de elementos residuais na composição química dos eutéticos estudados atuarem como potentes substratos de nucleação dos mesmos incentivando o mecanismo da nucleação extensiva (Rocha, 1998; Peralta, 1998). Por outro lado, verifica-se que à medida que o superaquecimento se eleva, passam a ocorrer mecanismos de ativação da zona colunar originando assim grãos, a partir da interface metal/molde, com direção preferencial correspondente a da extração de calor pelo molde e cujas dimensões aumentam com o nível de superaquecimento, conforme mostrado nas figuras 5(b) e 5(c). Assim, apesar dos efeitos impostos pelo aumento progressivo da temperatura de vazamento do líquido passarem a predominar sobre os efeitos proporcionados pela nucleação extensiva nos eutéticos estudados, os mesmos exercem influências bastante diferentes nos referidos materiais.



(a)

(b)

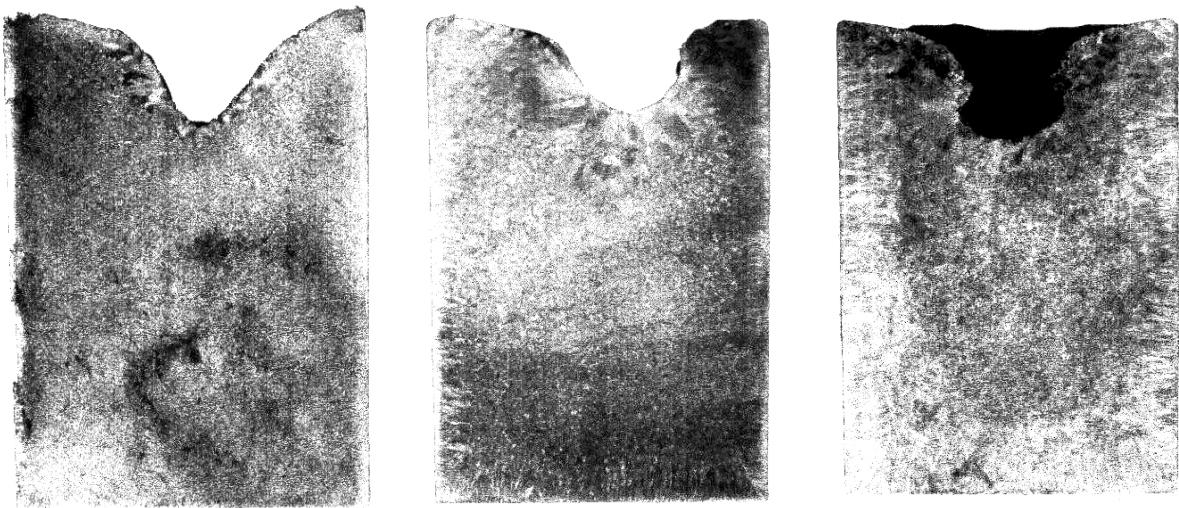
(c)

Figura 4. Macroestruturas obtidas para a liga Al-33Cu solidificada a partir de diferentes níveis de superaquecimento.

(a) Nulo (548 °C)

(b) 10% acima da temperatura de fusão (602 °C)

(c) 20% acima da temperatura de fusão (657 °C)



(a)

(b)

(c)

Figura 5. Macroestruturas obtidas para a liga Zn-5Al solidificada a partir de diferentes níveis de superaquecimento.

(a) Nulo (382 °C)

(b) 10% acima da temperatura de fusão (420 °C)

(c) 20% acima da temperatura de fusão (458 °C)

3.3 Análise comparativa

A figura 6 apresenta uma análise comparativa da porcentagem da zona equiaxial formada no alumínio e no zinco em função do grau de superaquecimento. De acordo com a mesma, nota-se que para o alumínio, nas condições de solidificação assumidas, não ocorreu qualquer formação da referida zona, ou seja, as respectivas macroestruturas mostram-se completamente colunares. No caso do zinco, contudo, observa-se a significativa influência do superaquecimento no sentido de inibir os mecanismos de formação da zona equiaxial. Finalmente, a figura 7 apresenta a mesma análise comparativa para os eutéticos Al-33Cu e Zn-5Al. Assim, para o eutético Al-33Cu, verifica-se que a elevação do grau de superaquecimento apesar de contribuir para o discreto aumento do tamanho do grão equiaxial, conforme visto anteriormente, não incentiva a formação da zona colunar. Por outro lado, o mesmo não ocorre no eutético Zn-5Al uma vez que o superaquecimento exerce uma forte influência no sentido de inibir a formação dos grãos equiaxiais e estimular o crescimento colunar.

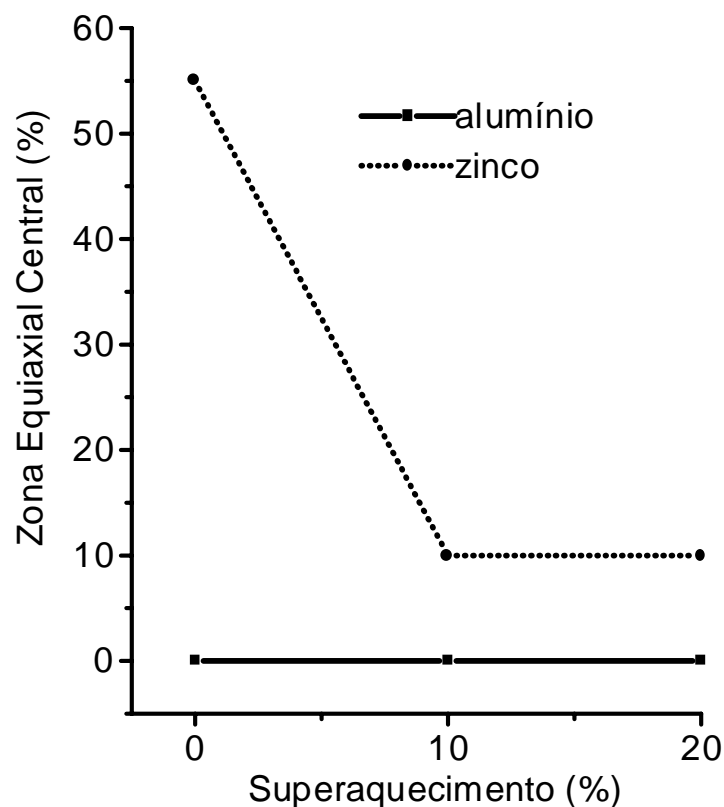


Figura 6. Análise comparativa da porcentagem da zona equiaxial formada no alumínio e no zinco em função do superaquecimento.

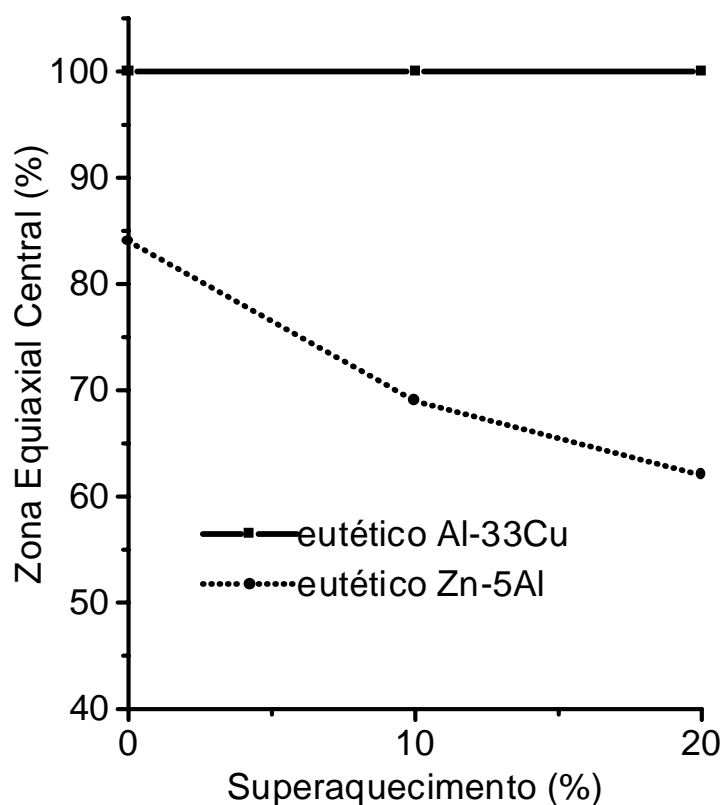


Figura 7. Análise comparativa da porcentagem da zona equiaxial formada nos eutéticos Al-33Cu e Zn-5Al em função do superaquecimento.

4. CONCLUSÃO

Para o alumínio podemos concluir que o aumento progressivo do superaquecimento não se constitui em um fator importante na formação da zona colunar. Os efeitos proporcionados pelo superaquecimento no zinco, contudo, em função das diferentes propriedades físicas apresentadas pelos referidos materiais e não levadas em conta pelas diversas teorias propostas sobre o assunto, são bastante significativos e parecem permanecer constantes a partir de um determinado valor atribuído ao mesmo. No que se refere às macroestruturas obtidas para as ligas eutéticas estudadas podemos afirmar que a presença de soluto, na ausência de superaquecimento, contribui fortemente para a formação da zona equiaxial central ativando, portanto, certos mecanismos como o da separação de cristais. No entanto, à medida que o superaquecimento aumenta, podemos observar um comportamento bastante diferente para os eutéticos em questão, ou seja, enquanto a quantidade de zona equiaxial na liga Al-33Cu permanece inalterada, na liga Zn-5Al ocorre uma forte inibição dos mecanismos de formação de grãos equiaxiais. Assim, os resultados apresentados neste trabalho para os eutéticos estudados mostram, ao contrário do que as teorias sobre o assunto estabelecem, que certos mecanismos de formação da zona equiaxial podem ser válidos somente para alguns materiais desde que obtidos a partir de determinadas condições de solidificação.

4. REFERÊNCIAS

- Biloni, H.; Chalmers, B., 1968, "Origin of the Equiaxed Zone in Small Ingots", Journal of Material Science, V. 3, p. 139.

- Chalmers, B; Walton, D., 1959, “ The Origin of the Preferred Orientation in the Columnar Zone of Ingots”, Transactions of the Metallurgical Society AIME, V. 215, p.447.
- Chiaverini, V., 1994, “O Papel da engenharia na era dos materiais”, III Congresso de Engenharia Mecânica Norte Nordeste, Belém, PA, Brasil, p.65-68,.
- 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, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 121 p.
- 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.
- 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, 159 p.
- Santos, C. A., 1997, “Influência da Taxas Direcionais de Resfriamento na Evolução da Solidificação em Sistemas Metal/Molde”, Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 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”, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 168p.
- Southin, R. T., 1967, “ Dynamic Nucleation of Solidifying Metals”, Transactions of the Metallurgical Society AIME, V.236, p.30 .
- Vives, C., 1996, “Effects of Forced Electromagnetic 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.