



ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESFRIADORES NA SOLIDIFICAÇÃO DE PEÇAS EM ALUMÍNIO

Gustavo Trevisan Sartori

Universidade Federal de Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS.

Simone Teloecken

Universidade Federal de Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS.

Aleir Antonio De Paris

Universidade Federal de Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS, E-mail: aparis@ct.ufsm.br

***Resumo.** Os resfriadores são empregados rotineiramente nas fundições para diminuir o número de massalotes e também para provocar a solidificação dirigida. Normalmente, são materiais metálicos com condutibilidade térmica mais elevada, que se colocam no interior dos moldes o que permite o resfriamento mais rápido de certas seções da peça. Na literatura técnica se encontram referências para resfriadores de peças em ferro fundido e aço e poucas informações no seu emprego para alumínio. Para estudar este comportamento foram fundidas peças de alumínio em moldes de areia empregando resfriadores metálicos de aço e cobre. A temperatura no interior da peça foi monitorada através do uso de termopares para determinar a velocidade de resfriamento e as conseqüências na solidificação das peças. O estudo micro e macrográfico mostra as alterações efetuadas na estrutura do alumínio bem como sua influência na densidade e surgimento de defeitos. As porosidades são menores em tamanho e quantidade. A microestrutura é mais refinada com relação à peças fundidas em areia.*

***Palavras-chave:** resfriadores, solidificação dirigida, liga de alumínio, microestrutura.*

1. INTRODUÇÃO

Quando um metal fundido inicia o processo de resfriamento e solidificação, ele sofre uma contração volumétrica ocasionando a formação de rechupes na peça. A porcentagem de contração depende do tipo de metal e de suas propriedades específicas, sendo seu valor final ocasionado pelos três estágios que passa consecutivamente no resfriamento. Inicialmente, o metal líquido sofre uma diminuição de volume a partir do resfriamento da temperatura de vazamento no molde até o início da solidificação. Após, a contração continua até a solidificação completa, finalizando com uma redução de volume até a temperatura ambiente.

Para compensar esta redução no volume devido às contrações, as fundições recorrem ao uso de massalotes, que são reservas de metal líquido, proporcionando peças sem defeitos. A contração é transferida ao massalote a medida que ele fornece metal para a peça. Os massalotes muitas vezes precisam ser maiores do que a peça ou parte da peça que alimentam, já que é preciso fornecer metal a uma distância de solidificação muito grande. Quanto maior o tamanho ou número de massalotes, maior o custo de produção. Vários métodos são empregados para reduzir o tamanho requerido do

massalote, incluindo resfriamento da peça (redução no tempo de solidificação) ou isolamento do massalote (aumento do tempo de solidificação), Suschill (1989).

Entre estes os dois métodos, o uso de resfriadores metálicos é bastante eficaz e barato, já que aumenta efetivamente a distância de atuação entre massalotes, reduzindo o número deles. Além disso, o uso de resfriadores aumenta a taxa de resfriamento da solidificação e o gradiente de temperatura promovendo a solidificação direcional reduzindo a zona pastosa, Pan et al (1990), Kuo et al (1989). Esta função do resfriador é principalmente válida nas ligas de grande intervalo de solidificação, Beeley (2001).

Apesar desta metodologia ser bastante conhecida e empregada na prática, para as fundições de ferro fundido e aço, poucas informações e divulgação existe no seu emprego nas fundições de alumínio.

Este trabalho tem como objetivo o estudo do uso de resfriadores na fundição de peças de alumínio.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As referências bibliográficas não fazem menção ao tamanho dos resfriadores que sejam eficazes na solidificação de peças de alumínio. Desta forma, procurou-se aplicar a relação desenvolvida por Chvorinov (1939) que relaciona o tempo de resfriamento considerando o volume da peça com sua área de retirada de calor Equação (1).

$$t = k \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

t – tempo de solidificação da peça

k – constante dependente das propriedades da liga e do molde

V – volume da peça

A – área da peça

A relação V/A foi denominada módulo da peça e a equação foi simplificada para $M = V/A$. Quanto maior o módulo, maior o tempo de solidificação da peça. Desta forma, pode-se considerar que o resfriador funcionaria como uma peça acoplada que deveria alimentar o fundido. A espessura do resfriador deve ser no mínimo igual ao dobro do módulo da peça (relação encontrada para ferros fundidos) e a largura da superfície de contato com a peça deve ser no mínimo igual a espessura do resfriador, Jeancolas (1961), ou segundo outros autores, no mínimo a espessura da peça onde está posicionado Facy e Pompidou (1983).

Como liga metálica empregou-se alumínio-silício do tipo A357 fundida em forno elétrico de resistência com temperatura controlada e cadinho de carbetto de silício. A liga foi vazada diretamente, sem desgaseificação, em moldes de areia sílica padrão AFS 70, com uma temperatura de 700°C. O formato da peça foi uma barra retangular de seção 30 x 30 mm e comprimento 300 mm.

Aplicando a regra dos módulos tem-se:

$$\text{Volume da peça} = 30 \times 30 \times 300 = 27.10^4 \text{ mm}^3$$

$$\text{Área de superficial} = 2.(30 \times 30) + 4.(30 \times 300) = 3,78.10^4 \text{ mm}^2$$

$$M = \frac{V}{A} = \frac{27.10^4}{3,78.10^4}$$

$$M = 7,1 \text{ mm}$$

O módulo de resfriamento calculado para a peça é 7,1 mm. Para verificar a eficiência dos resfriadores, foram empregadas placas de aço carbono e cobre com espessuras de 6 mm e 15 mm colocadas na extremidade oposta ao canal de vazamento, Fig. (1), e comparadas com peças fundidas em areia somente. Esta espessura corresponde aproximadamente ao valor igual e ao dobro do módulo de resfriamento da peça.

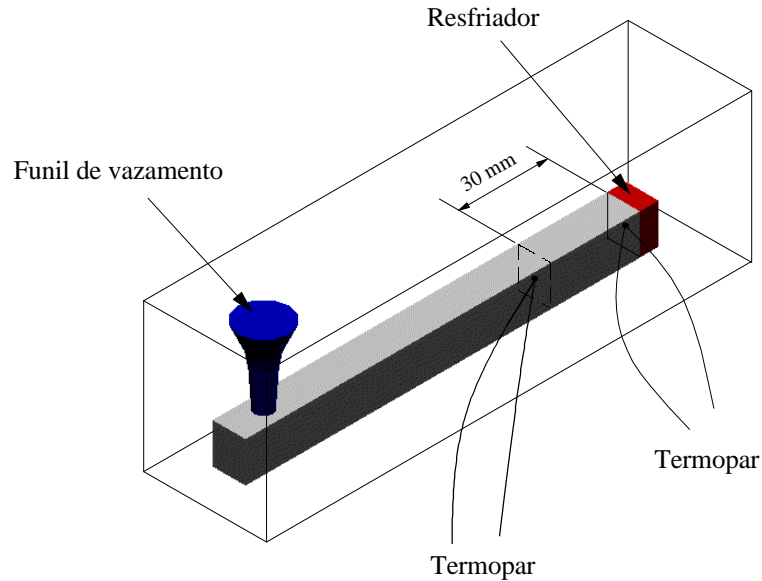


Figura 1. Esquema da peça e resfriador usado nos experimentos.

Visando monitorar a temperatura de resfriamento, termopares foram colocados na interface metal/resfriador e a uma distância de 30 mm da mesma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alumínio, após o início da fusão, foi mantido no forno durante um intervalo de tempo de aproximadamente 30 minutos para homogeneizar antes do vazamento. A escória foi retirada por escumadeira e o alumínio vazado diretamente no molde. Durante um certo intervalo de tempo, o comportamento térmico foi registrado e as curvas de resfriamento estão mostradas na Fig. (2), em função dos resfriadores de cobre e aço com espessura de 15 mm.

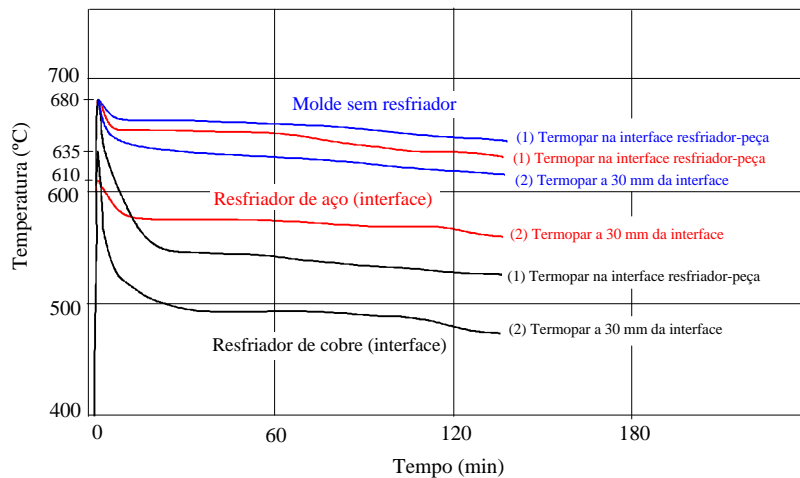


Figura 2. Curvas típicas de resfriamento da peça de alumínio empregando resfriadores de cobre e aço.

A inclinação das curvas mostra a diferença existente no gradiente térmico entre a areia e os dois tipos de resfriadores. A queda de temperatura da interface metal líquido/resfriador é mais acentuada para o cobre, seguida pelo aço e finalmente a areia, já que a difusividade térmica do cobre é maior que a do aço, e este por seu turno maior que a areia. Desta forma, e como já esperado, o cobre apresenta maior poder de extração de calor o que aumenta a solidificação dirigida.

Após vazadas e solidificadas, as peças foram seccionadas transversalmente na sua metade longitudinal, lixadas e polidas para verificar as porosidades existentes. A Fig. (3) mostra a extremidade das peças que ficaram em contato com o resfriador.

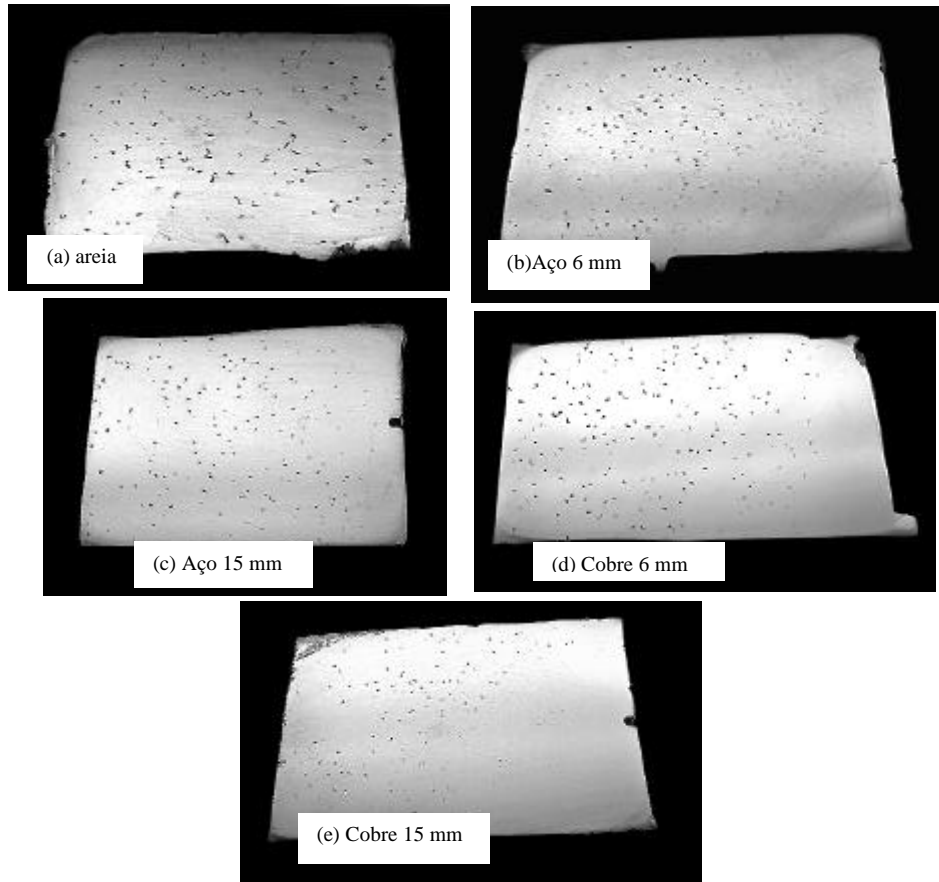


Figura 3. Distribuição de porosidades próximo do resfriador.

A Fig. (3a), peça fundida sem resfriador, mostra porosidades em grande número e dimensões, distribuídas ao longo do comprimento da peça. Com o emprego de placas de aço, Fig. (3b) e (3c), com as espessuras escolhidas de 6 mm e 15 mm, as porosidades apesar de apresentarem dimensões reduzidas não tem uma diferença muito significativa entre os dois resfriadores. Para as peças fundidas com resfriadores de cobre, Fig. (3d) e (3e), a diferença é mais acentuada, apresentando uma zona livre de porosidades na extremidade em contato com o resfriador, aumentando com o aumento de sua espessura. Para todas as situações testadas no trabalho, sempre houve a presença de porosidades, previstas devido a não desgaseificação do alumínio. O que não foi remarcado é a formação de rechupes na peça, o que descaracterizou a idéia principal da pesquisa. A diminuição das porosidades com o uso dos resfriadores, leva a uma densificação maior das peças. Uma tentativa de medir a densidade das peças foi efetuada, mas os resultados não foram conclusivos devido a erros de medidas. A metodologia empregada foi pelo diferença de peso e volume entre uma amostra fundida e a densidade de uma peça sem porosidades.

A Fig. (4) mostra a macroestrutura das peças atacadas com reativo de Keller. Houve um refinamento com a utilização de resfriadores, maior quanto maior a espessura dos mesmos. De um

modo geral, apesar do cobre apresentar alguns cristais grosseiros lateralmente, a macroestrutura apresenta cristais refinados. O mesmo ocorreu para resfriadores de aço.

As microestruturas de cada peça fundida feita em duas regiões distintas estão mostradas na Figura (5).

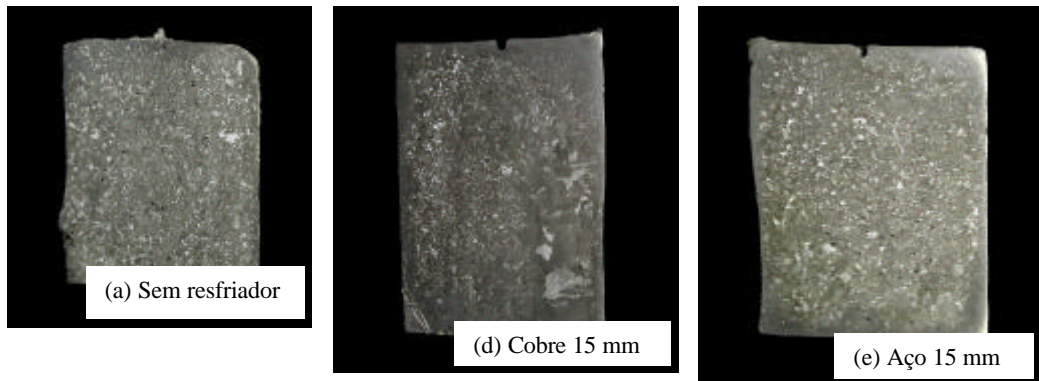


Figura 4. Macroestrutura das peças de alumínio fundidas.

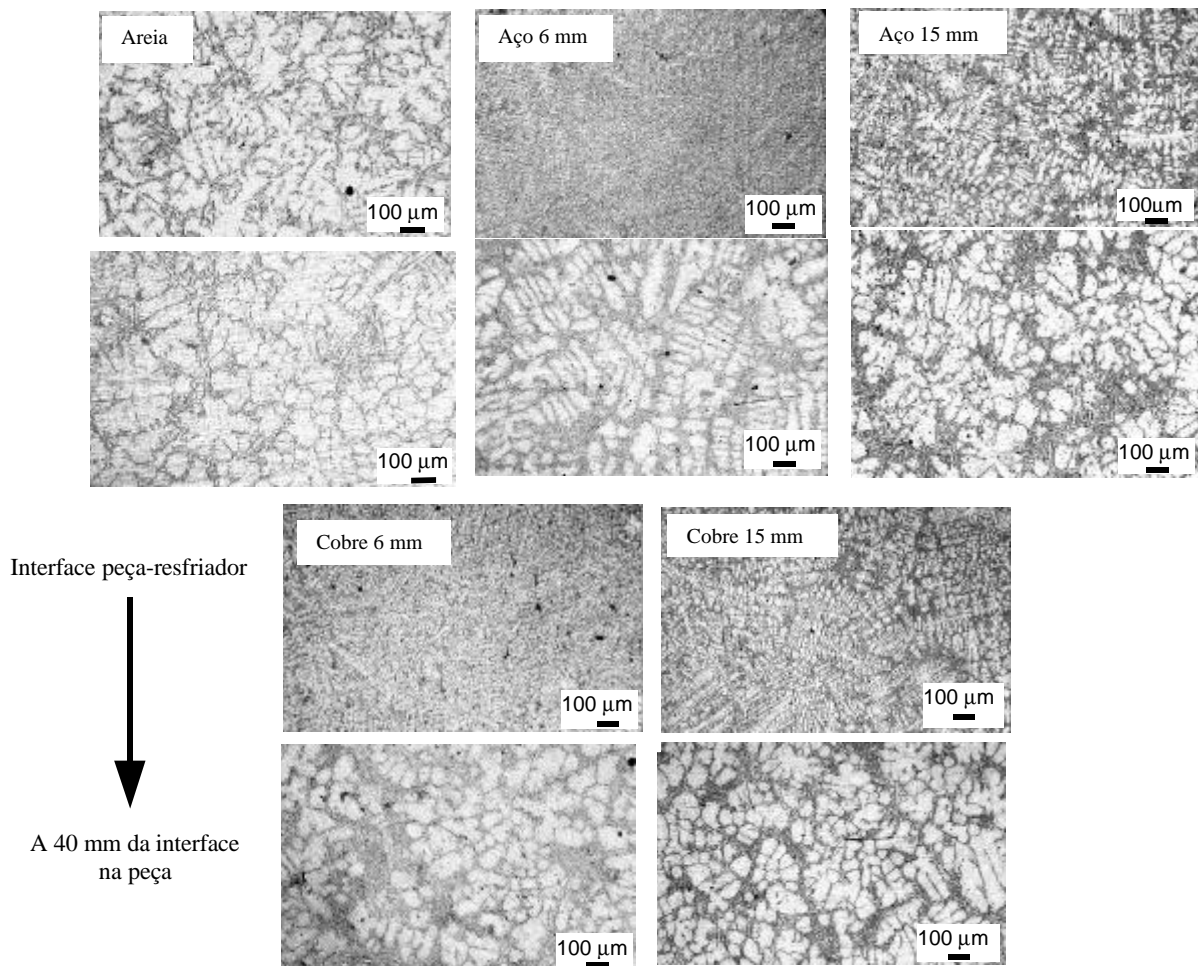


Figura 5. Microestrutura das extremidades das amostras em contato com areia e com resfriadores.

As microestruturas da Fig. (5) mostram, como já esperado, uma diminuição no tamanho dos cristais próximo da extremidade onde foram colocados os resfriadores. As fotos da microestrutura foram feitas na extremidade entre a peça e o molde ou resfriador, e a uma distância de 4 cm da interface. A estrutura se torna dendrítica comparada com peças fundidas em areia. Esta estrutura

peculiar é devido a retirada de calor ser orientada em direção a zona de maior gradiente térmico, no caso a extremidade da peça resfriada. É interessante notar que para os resfriadores com dimensões menores, tanto para o cobre como para o aço, a microestrutura formada é mais fina, sem uma explicação adequada para o fenômeno.

Para verificar a eficiência dos resfriadores, já que não se verificou a formação de rechupes na peça, foi empregada simulação numérica com o programa AFSolid 2000™. A Fig. (6) mostra algumas imagens obtidas para os resfriadores utilizados e também para o molde de areia somente. Comparando as figuras, verifica-se que não existe praticamente influencia significativa entre o emprego de aço ou cobre como elemento resfriador. No entanto, para ambas as situações, a zona final de solidificação é deslocada de uma distância maior da extremidade onde foi posicionado os resfriadores, o que significa uma aumento da eficiência.

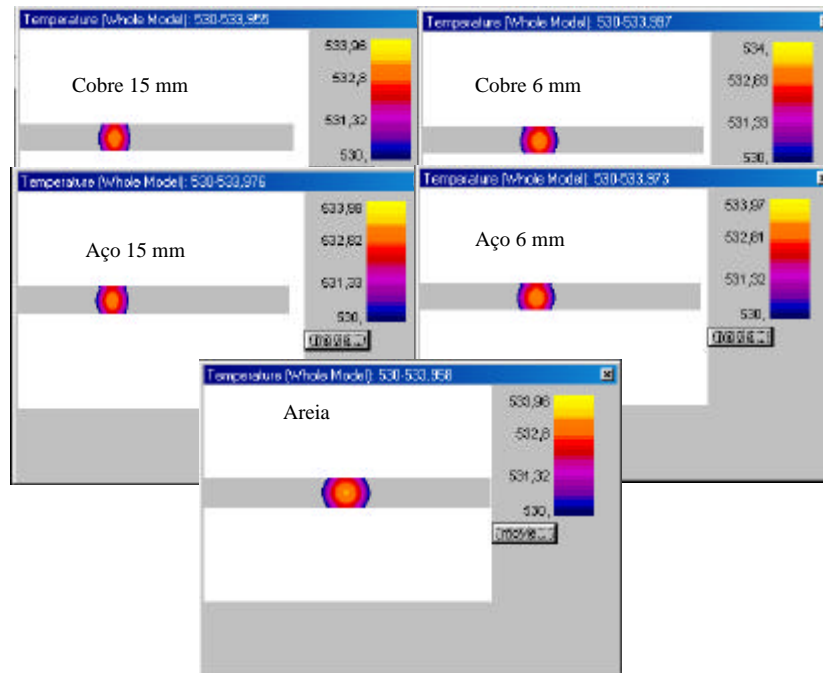


Figura 6. Simulação da eficiência do uso de resfriadores.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na utilização de resfriadores na fundição de alumínio mostram o efeito destes na solidificação dirigida. A zona de formação de rechupes, se existentes, ficam deslocados para uma posição mais afastada da extremidade o que melhora a eficiência dos massalotes. As porosidades encontradas são devido à retenção de hidrogênio que não foi eliminado na fusão com degaseificantes adequados. Não foram encontrados rechupes visíveis nas peças fundidas. No entanto, estes resultados seriam mais conclusivos com o uso de raio X. A microestrutura segue uma orientação preferencial em função do maior coeficiente de dissipação de calor dos resfriadores.

5. REFERÊNCIAS

- Beeley, P. Foundry Technology. Ed. Butterworth-Heinemann, Londres, 2ª ed, 2001, p.156
 Chvorinov, N. Control of the solidification of castings by calculation. Foundry Trade Journal, V. 70, n. 8, 1939, pp. 95-98.
 Facy, G. ; Pompidou, M. Précis de Fonderie, Ed. AFNOR, Paris, 1983, p. 139
 Jeancolas, M. Donnés générales sur le masselottage des pièces moulées en sable. Fonderie, V. 181, n. 2, 1961, pp. 43-56.

Kuo, Y-S. , Chang, E. , Lin, Y-L. The feeding effect of risers on the mechanical properties of A201 Al alloy plate casting, v. 97, n. 159, 1989, pp. 777-782.

SolidCast. Training Course Workbook. Version 5.20.49, Ed. Finite Solutions, 2000, 156 p.

Pan, E.N.; Lin, C.S.; Loper Jr, C.R. Effects of solidification parameters on the feeding efficiency of A356 aluminum alloy. AFS Transactions, v. 98, n. 117, 1990, pp. 735-746.

Suschill, T. Designing gates and risers is an artful compromise. Modern Casting, n. 3, 1989, pp. 27-29.

THE STUDY OF CHILLS APPLICATION IN CAST ALUMINUM PIECES SOLIDIFICATION

Gustavo Trevisan Sartori

Federal University of Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS.

Simone Teloeken

Federal University of Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS.

Aleir Antonio De Paris

Federal University of Santa Maria – Campus Universitário Camobi, CT, 97105-900, Santa Maria, RS, E-mail: aparis@ct.ufsm.br

***Abstract.** The chills are used in the foundries to decrease the riser number and also to promote the directional cooling. Usually, they are metallic materials with higher thermal conductivity, which are placed inside the molds that allow the fastest cooling of certain sections of the piece. In the technical literature there are references for chills of pieces in cast iron and steel but little information on its employment for aluminum. To study this behavior, piece of aluminum were melted in sand molds using metallic coolers of steel and copper. The temperature inside the piece was monitored by thermocouples to determine the cooling speed and the consequences in the solidification of the pieces. The micro and macrographic study shows the alterations made in the structure of the aluminum as well as its influence in the density and appearance of defects. The porosities are smaller in size and amount. The microstructure is more refined with relationship cast in sand molds.*

***Keywords:** chills, directional cooling, aluminum alloy, microstructure.*