

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE ESPERA DE BANHO METÁLICO DE AlSi12MgCuNi NA MORFOLOGIA DO Si-PRIMÁRIO E PERCENTUAL DE POROSIDADES¹

Rafael Maes²

Leonardo Pereirar³

Matheus Roberto Bellé⁴

Willian Martins Pasini⁵

Regis Fabiano do Amaral⁶

Vinicius Karlinski de Barcellos⁷

Resumo

Este trabalho foi realizado com o intuito de se determinar a influência do tempo de vazamento após a realização dos tratamentos da liga fundida AlSi12MgCuNi no diâmetro dos cristais de silício primário ao longo do período de 3 horas, assim como a evolução do percentual de porosidades ao longo do processo. Desta maneira, a motivação destas análises está na identificação do impacto destes parâmetros na microestrutura formada na solidificação da liga e conseqüentemente na qualidade da mesma. As amostras foram produzidas pelo método de fundição por gravidade em molde permanente. Foram realizados os tratamentos de refino, desgaseificação e escorificação. Análise por microscopia óptica foi realizado para se determinar se houve variação significativa do diâmetro dos cristais de silício durante o processo e se houve perda de rendimento do refinador CuP15. Já o teor de porosidades foi determinado através das relações entre as densidades teóricas e aparente, verificando se houve absorção de hidrogênio pelo banho de alumínio ao longo do tempo de espera. Segundo os resultados obtidos nos ensaios, não observou-se variações significativas no diâmetro dos cristais de silício primário, estando em uma faixa de 23,25µm a 37,27µm. Não identificou-se alterações no percentual de porosidades ao longo do tempo de espera, mantendo-se constante em todas as séries analisadas.

Palavras-chave: AlSi12MgCuNi, fundição, silício primário, desgaseificação, porosidades.

INFLUENCE OF THE CASTING TIME ON THE QUALITY OF THE AlSi12MgCuNi

Abstract

This work was carried out with the purpose of determining the influence of the casting time of the AlSi12MgCuNi alloy molten aluminum bath on the size of the primary silicon crystals during the 3hour period as well as the evolution of the porosity percentage over the process. Therefore, the motivation of these analyzes is in the identification of the impact of these parameters on the microstructure formed in the solidification of the alloy and consequently in the quality of the same. The samples were produced by the permanent die casting method. Refining, degassing and slagging treatments were carried out. Optical microscopy was performed to determine if there is significant variation of the diameter of the silicon crystals during the process, verifying if there is

loss of performance of the CuP15 refiner. The porosity content was determined through the relationships between the theoretical and apparent densities, verifying if there is absorption of hydrogen by the aluminum bath during the time of use. According to the results obtained in the tests, no significant variations in the diameter of the primary silicon crystals were observed, being in a range from 23.25 μm to 37.27 μm . No changes in the percentage of porosities were identified throughout the process, remaining constant in all the analyzed series.

Key words: AlSi12MgCuNi, casting, primary silicon, degassing, porosities.

¹ Congresso Nacional de Fundição

² Engenheiro metalúrgico UFRGS.

³ Engenheiro metalúrgico, mestrando no Laboratório de Fundição, PPGE3M da UFRGS

⁴ Graduando em engenharia metalúrgica na UFRGS.

⁵ Engenheiro metalúrgico, doutorando no Laboratório de Fundição, PPGE3M da UFRGS.

⁶ Engenheiro metalúrgico, doutorando e técnico científico no Laboratório de Fundição, PPGE3M da UFRGS.

⁷ Engenheiro metalúrgico, doutor em engenharia, professor e coordenador do Laboratório de Fundição da UFRGS.

1. INTRODUÇÃO

O estudo de como os parâmetros dos processos de fundição influenciam o produto final é de extrema importância para se garantir a qualidade e o funcionamento previsto para fundidos. A necessidade de se diminuir o consumo de combustível e de redução da emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente, impulsionou a indústria automobilística a desenvolver novas ligas para a produção de pistões. Substituiu-se as tradicionais ligas de ferro fundido por ligas leves, como é o caso da liga AlSi12MgCuNi.

Atualmente, as ligas alumínio-silício fundidas desempenham papel preponderante em diversos segmentos da indústria, como a automobilística, devido a excelente combinação entre as suas elevadas propriedades mecânicas em altas temperaturas em conjunto com sua baixa densidade. A liga AlSi12MgCuNi é muito utilizada para a produção de pistões para motores de combustão interna. A adição de elementos (Mg, Cu, Ni) proporciona um excelente desempenho em altas temperaturas por longos períodos. A liga é uma alternativa muito interessante para aplicações onde a relação entre baixa densidade e propriedades mecânicas é fundamental.[1]

Devido à extrema complexidade envolvida nos processos de fundição, diversos fatores afetam a estrutura solidificada os quais acabam determinando as propriedades dos fundidos e, portanto, são responsáveis pela sua qualidade final. Pode-se citar o refino de grão e desgaseificação como parâmetros muito importantes nos processos de fundição. O refino de grão é fundamental em ligas de alumínio, pois cede ao material um aumento a resistência mecânica e tenacidade do material.

A presença de porosidades, que são resultado da presença de hidrogênio dissolvido no metal líquido, são fontes de concentração de tensão, logo a realização da desgaseificação é necessária em ligas alumínio-silício. A presença de concentradores de tensão, em componentes sujeitos a carregamentos cíclicos, facilita o surgimento de fissuras e reduz as propriedades mecânicas da liga.[2][3][4]

A análise de como o tempo de vazamento do banho metálico da liga AlSi12MgCuNi após a realização dos tratamentos afeta estes parâmetros estimulou a realização deste estudo, onde se buscou determinar o tempo máximo para a produção de fundidos sem a perda da qualidade da liga. Obtendo-se estes dados é possível se reduzir a incidência de defeitos vinculados ao excesso de porosidades e se analisar a evolução microestrutural, otimizando-se o processo e reduzindo custos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ETAPA I – Processo de fundição e obtenção das amostras

Os lingotes da liga AlSi12MgCuNi foram fundidos em um forno de fusão a gás com capacidade de 500kg. Posteriormente a fusão da liga, o metal é transportado para um forno resistivo de espera com capacidade de 250kg, para que os tratamentos pudessem ser realizados. A temperatura, tanto do forno de fusão quanto do forno de espera, foi mantida e controlada em 770°C +/- 10°C durante todo o processo.

O primeiro tratamento realizado foi o refino da liga AlSi12MgCuNi através da adição de CuP15(15% de fósforo) granulado. Introduziu-se 300g do refinador ao banho de alumínio. A capacidade do forno de espera é de 250kg, totalizando 45g de fósforo (0,018%). Este tratamento é realizado logo após a transferência do metal fundido para o forno de espera.

Imediatamente após a introdução do refinador realizou-se o tratamento de desgaseificação, com o objetivo de homogeneizar o banho, remover o hidrogênio dissolvido, assim como retirar impurezas e óxidos presentes no metal fundido. A desgaseificação foi realizada com um desgaseificador rotor (FDU), durante um período de 10 minutos com a injeção do gás argônio. Após o término do tratamento de desgaseificação realizou-se a escorificação e, posteriormente a limpeza do banho, retirou-se a escória da sua superfície.

Os vazamentos foram realizados em um cadinho de ferro fundido, pré-aquecido a 155°C. O cadinho possui diâmetros de 30mm e 40mm e altura de 35mm. Após a solidificação, as amostras foram resfriadas ao ar livre sem a aplicação de tratamentos térmicos. Foram realizadas 5 corridas em 5 dias diferentes, obtendo-se assim 5 séries para análise. As séries foram nomeadas de acordo com a ordem que as corridas foram realizadas; sendo elas: série A, série B, série D, série E e série F. As amostras foram coletadas com diferença de 45 minutos, totalizando 5 amostras por série em um período de 3 horas, sendo que as amostras com tempo de zero minutos foram coletadas imediatamente após o término do último tratamento (escorificação e retirada da escória).

Para que fosse possível comparar as séries entre si os seguintes parâmetros foram controlados: temperatura de vazamento, temperatura do cadinho, temperatura no ambiente da fundição e umidade relativa do ar.

A temperatura da liga dos fornos de espera foi controlada por um sistema automatizado o qual controla e mantém a temperatura na faixa de trabalho estabelecida. Para este estudo, a temperatura foi estabelecida em 770°C +/- 10°C.

Contudo, eventualmente, monitorou-se a temperatura dos fornos com o auxílio de um pirômetro manual de imersão do tipo K.

A temperatura do cadinho foi monitorada e registrada com a utilização de um termômetro infravermelho. A medida foi realizada no centro do cadinho a uma distância de 1 metro. A temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar também foram controlados durante as corridas.

2.2 ETAPA II – Métodos de análises das amostras

Após o término do processo de fundição e a obtenção das amostras se iniciou a segunda etapa do trabalho onde foram realizados ensaios para a determinação da densidade, análise da composição química da liga, análise microestrutural por microscopia óptica, além da análise do percentual de porosidades através da relação entre as densidades teóricas e absolutas.

Para o controle da densidade todas as amostras foram verificadas segundo o método de Arquimedes com o auxílio de uma balança (resolução 0,01g).

Para garantir que nenhuma série possuísse uma composição química diferente, foram realizadas análises químicas em amostras todas as 5 séries obtidas. Foram selecionadas as primeiras das 5 amostras de cada. As amostras foram fresadas para a remoção de óxidos e outras impurezas que pudessem afetar a determinação da composição química.

Para análise microestrutural cortou-se as amostras 5 cm acima da base, seguindo com procedimentos de lixa e polimento.

Para a análise da microestrutura das amostras foram realizados ensaios metalográficos utilizando o microscópio óptico. A análise da microestrutura da liga AlSi12MgCuNi foi realizada a fim de se verificar se ocorreu alteração do diâmetro dos cristais de silício primário em função do tempo de vazamento da liga assim como a identificação das fases presentes na liga.

A medida do diâmetro dos cristais de silício primário foi realizada na região central de todos dos corpos de prova, com a finalidade de se comparar a mesma região e poder validar os resultados obtidos. A medição foi realizada no maior sentido dos cristais de silício.[5] As amostras apresentaram variações nas quantidades de cristais de silício primário, estando na faixa entre 12 e 23.

O teor de porosidades nas amostras foi determinado através da relação entre as densidades aparentes, obtidas através do método de Arquimedes, e as densidades teóricas, obtidas através da composição química das amostras. Para se determinar a densidade teórica foram utilizados os percentuais de cada elemento presentes nas amostras através da análise com espectrômetro de emissão óptica e buscou-se na literatura a densidade de cada um dos elementos.

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.1 Resultados da análise do percentual de porosidades

Tabela 1: Percentual de porosidades (%) das 5 séries e tempo de vazamento (min) de cada amostra.

Tempo (min)	Série A	Série B	Série D	Série E	Série F
0	1,91	1,90	1,90	1,90	1,84
45	1,91	1,90	1,90	1,90	1,84
90	1,91	1,90	1,91	1,90	1,84
135	1,91	1,90	1,90	1,90	1,84
180	1,91	1,90	1,90	1,90	1,84

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, através da relação entre as densidades teóricas a aparentes, foi possível determinar que não houve variação significativa do teor de porosidades ao longo do tempo de exposição do banho metálico, podendo-se concluir que o tempo de desgaseificação de 10 minutos utilizado no processo foi suficiente para a remoção do hidrogênio dissolvido e que a camada protetora de óxido de alumínio formada na superfície do banho foi eficiente para se evitar a absorção de hidrogênio até o último vazamento. Desta maneira, como não se observou absorção significativa de hidrogênio nas 3 horas de vazamentos não há necessidade de uma nova desgaseificação neste período.

3.2 Resultados do ensaio de microscopia óptica

Tabela 2: Diâmetro dos cristais de silício primário das 5 séries em relação ao tempo de vazamento após o término dos tratamentos nos tempo de utilização do banho de alumínio.

Tempo (min)	Série A		Série B		Série D		Série E		Série F	
	Diâmetro Médio (μm)	Desvio Padrão	Diâmetro Médio (μm)	Desvio Padrão	Diâmetro Médio (μm)	Desvio Padrão	Diâmetro Médio (μm)	Desvio Padrão	Diâmetro Médio (μm)	Desvio Padrão
0	33,96	10,35	30,58	9,94	28,87	8,88	26,09	7,70	23,53	3,61
45	37,09	8,27	26,25	6,68	29,42	7,10	24,66	6,34	31,10	8,05
90	33,78	6,04	25,60	7,69	27,30	8,41	31,73	8,69	30,26	9,92
135	51,59	25,23	26,39	4,74	28,81	6,62	32,86	7,37	34,26	4,78
180	37,27	8,65	34,74	14,88	36,93	3,60	33,67	10,64	23,25	5,97

A tabela 2 mostra o tamanho médio do diâmetro dos cristais de silício primário para cada uma das amostras das 5 séries. Os resultados obtidos mostram que os valores médios do diâmetro dos cristais de silício nas 25 amostras obtidas variam entre 23,25 μm e 37,27 μm, com exceção apenas da amostra A135 que apresentou valor médio

de 51,59 μm . De acordo com estudos realizados com ligas de Al hipereutéticas refinadas com fósforo, diâmetros de silício primário abaixo de 40 μm são aceitáveis na indústria [7].

Sabe-se da literatura que o fósforo, elemento utilizado para nucleação dos cristais de silício primário, é muito volátil quando exposto a temperaturas elevadas [6].

Garantindo-se que os cristais de silício possuam aproximadamente o mesmo tamanho durante o período da fundição das peças é possível se manter as propriedades mecânicas da liga estáveis (para todas as peças fundidas). A liga AlSi14 quando fundida com uma temperatura de vazamento de 800°C apresenta pouca variação no tamanho nos cristais de silício primário em função do tempo de utilização do banho metálico, resultado semelhante ao encontrado neste estudo [5].

Os cristais de silício primário elevam a dureza e à resistência ao desgaste das ligas alumínio-silício, contudo o aumento descontrolado e excessivo destes cristais reduz a vida útil das ferramentas de usinagem. Portanto, o controle através do refino se torna fundamental.[6]

Desta forma, o refino dos cristais de silício primário da liga AlSi12MgCuNi através da adição de Cu15P não demonstrou perda de rendimento do refinador formado pelo precipitado de fosfeto de alumínio (AIP) durante todo o período de vazamento 3 horas. A figura 1 mostra uma das metalografias das 5 séries analisadas.



Figura 1: Metalografia da amostra A45, com aumento de 100 vezes. As setas indicam alguns dos cristais de silício primário presentes na amostra. A região circulada mostra a morfologia chamada escrita chinesa.

4. CONCLUSÕES

- Não foi constatada variação expressiva no percentual de porosidades nos diferentes tempos de vazamentos, indicando que não houve absorção significativa de hidrogênio pelo banho.

- O diâmetro dos cristais de silício primário nucleados a partir de partículas de fosfeto de alumínio (AlP) não apresentaram variação significativa durante o tempo de utilização do banho de alumínio, demonstrando o bom rendimento do refinador CuP15 ao longo do período de análise, mantendo-se abaixo de 40µm.
- O tempo máximo de vazamento de 3 horas não apresentou impacto negativo na qualidade da liga AlSi12MgCuNi demonstrando a viabilidade deste tempo para a produção de fundidos.
-

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e disponibilização do Portal de Periódicos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Yamawaki, Marcio. Evolução tecnológica dos materiais e geometria de pistões para motores de combustão interna em um estudo de caso de pistão para aplicação em motor diesel com trinca no cubo. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.
- [2] SILVA, CÁSSIA CAVALCANTI DA. Efeito de inoculantes para o refino de grão e modificador de eutético na curva de resfriamento da liga A356 e da liga A356 Reciclada. Tese de Doutorado. UNESP, Guaratinguetá. 2016.
- [3] OPIE, W. R.; GRANT, N. J. Journal of Metals 1950 - Hydrogen Solubility In Aluminum and Some Aluminum Alloys. Transactions Aime, [s. l.], v. 188, n. October, p. 1237, 1950.
- [4] Concer, Dionei. Estudo do comportamento da porosidade via simulação numérica para produtos injetados em alumínio sob pressão. Tese - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- [5] FURLAN, Tarita Shiraishi. Estudo do efeito do tratamento térmico e da adição de zircônio, vanádio, titânio e manganês nas propriedades mecânicas de uma liga AlSi12CuMgNi para aplicação em altas temperaturas. Tese de Doutorado. USP, São Paulo. 2014.
- [6] ZAMBON, Alessio. Phosphorus modification in Al-Si hypereutectic alloys. [s. l.], n. July, 2016.
- [7] AL-HELAL, KAWTHER W. A. New Approaches to Casting Hypereutectic Al-Si Alloys to Achieve Simultaneous Refinement of Primary Silicon and Modification of Eutectic Silicon. [s. l.], n. October, 2013.