INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO MOLDE NA ESTRUTURA DE LINGOTES DE LIGA DE ALUMÍNIO-SILÍCIO.

WADA; Cristiane Mayumi[1], KIYAN; Carlos[2].

[1]UFSC – Universidade de Santa Catarina

[2]UNESP – Universidade Estadual Paulista

cris25may@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo caracterizar a macroestrutura e microestrutura de lingotes da liga Al- 1%Si obtidos em molde de areia e molde metálico. O alumínio já apresenta boas propriedades mecânicas, mas a adição de silício, mesmo que em pequenas quantidades, produzem mudanças na estrutura e ganho nas propriedades mecânicas. Os lingotes foram fundidos em um molde metálico e em um molde de areia e pode-se ver a diferença em suas curvas de resfriamento e estruturas, tanto macroscópicas quanto microscópicas. A peça fundida em molde de areia apresenta menor taxa de resfriamento e consequentemente seus grãos são maiores. Devido a menor densidade de contorno de grão sua dureza é menor em relação ao obtido em molde metálico que apresenta grãos menores e uma maior dureza. Portanto pode-se concluir que a taxa de resfriamento e elementos de liga influenciam a microestrutura de uma peça fundida e melhoram suas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Liga de alumínio; Molde de areia; Molde metálico; Fundição.

ISBN: 978-65-89908-00-5

INTRODUÇÃO

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Seu minério mais importante é a bauxita (PEIXOTO, 2001). O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Entre as ligas de alumínio fundido mais comumente usadas estão as ligas com silício, tradicionalmente chamadas de silumins. Estas ligas devido às suas propriedades mecânicas, excelente fundibilidade, e resistência à corrosão são usados principalmente em engenharia e indústria automotiva (TANSKY, 2016).

Segundo (ABAL) uma das vantagens mais importantes do alumínio é o fato de poder ser transformado com facilidade. O alumínio pode ser laminado em qualquer espessura e extrudado numa infinidade de perfis de seção transversal constante e grande comprimento. O metal pode ser também, forjado ou impactado. A facilidade e a velocidade com o qual o alumínio pode ser usinado é outro importante fator que contribui para difundir o uso desse material e que também aceita, praticamente, todos os métodos de união, tais como rebitagem, soldagem, brasagem e colagem. Além disso, para a maioria das aplicações do alumínio não são necessários revestimentos de proteção.

O Silício é o segundo elemento mais abundante na Terra. Quando usado como elemento de liga no alumínio diminui a temperatura de fusão, aumenta a fluidez da liga, aumenta a resistência mecânica e melhora a ductilidade (ZANGRANDI, 2008).

A fundição é um processo de fabricação onde um metal fundido é vazado na cavidade de um molde que possui a forma desejada; com a solidificação, o metal assume o formato do molde (CALLISTER, 2008).

Os moldes para fundição podem ser divididos em moldes temporários, permanentes ou mistos. Como um exemplo de molde temporário temos o de areia verde que possui grande flexibilidade pois o processo é simples, econômico e pode ser utilizado na produção de peças fundidas de grande variedade de tamanhos (CAMPOS FILHO; DAVIES, 1978). Já o molde metálico é do tipo permanente, estes apresentam algumas

ISBN: 978-65-89908-00-5

vantagens sobre os moldes de areia, como, melhor acabamento superficial e melhores tolerâncias dimensionais (MOREIRA; FUOCO, 2009).

Na maioria das situações práticas de solidificação, para que o líquido possa tomar completamente a forma geométrica que se pretende dar ao sólido, é necessário que o vazamento desse líquido ocorra a uma temperatura superior àquela que dá início à transformação líquido sólido, para que o líquido possa escoar e preencher completamente os contornos geométricos da peça. Uma vez iniciada a transformação em sólido, a temperatura do líquido remanescente atinge rapidamente a temperatura de fusão em função do calor latente que é liberado (GARCIA, 2001). A curva de resfriamento é a ferramenta mais utilizada para o estudo da solidificação, principalmente para determinação das temperaturas de início e término da solidificação.

Uma propriedade mecânica importante é a dureza, que é uma medida da resistência de um material à deformação plástica local. Ao longo dos anos foram desenvolvidas técnicas de dureza quantitativas, nas quais um pequeno edentador é forçado para dentro da superfície de um material a ser testado, sob controladas condições de carga e de taxa de aplicação. É medida a profundidade ou tamanho da resultante, quanto mais macio o material maior a endentação e menos o número índice de dureza.

Nos ensaios de dureza Brinell, um penetrador esférico e duro é forçado contra a superfície do metal a ser testado. O diâmetro do penetrador é de 10 mm e as cargas padrões variam de 500 a 3000 kg, durante o ensaio a carga é aplicada por um tempo específico (entre 10 e 30s) (CALLISTER, 2008).

METODOLOGIA

Fundição e vazamento

Os materiais utilizados para a fundição e vazamento foram: lingotes da liga Al-1%Si, serra de fita, cadinhos, forno, molde metálico, molde de areia verde e termopar.

ISBN: 978-65-89908-00-5

Inicialmente foi preparado o molde de areia. Utilizou-se areia verde, depois adicionou-se água, aglomerante e aditivos. Por fim foi compactada para que tomasse a forma, e então esperou-se para a secagem formando o molde.

Os lingotes da liga Al- 1%Si foram cortados em pedaços menores para que coubesse a quantidade necessária nos cadinhos, então estes foram levados ao forno a uma temperatura por volta de 700°C por um tempo suficiente para fundição total do material. Os moldes foram posicionados para a vazão do líquido e em ambos foram colocados os termopares, no centro do molde, para obtenção dos dados de resfriamento. Após a liga se liquefazer por completo, foi retirada a escória e o líquido foi vazado nos moldes.

As temperaturas durante o resfriamento foram armazenadas até a solidificação do material. Após o resfriamento o molde de areia é desfeito para a retirada da peça.

Curva de resfriamento

As curvas de resfriamento, temperatura x tempo, dos dois tipos de moldes foram obtidos através dos dados medidos pelo termopar. Foi traçado a primeira derivada de ambas as curvas para facilitar na determinação das temperaturas de início e término da solidificação através do software Origin, conhecidas como temperatura liquidus e solidus, respectivamente.

Macrografia

As peças de ambos os tipos de moldes foram cortadas na transversal e estes foram passados pelas lixas de granulometrias: 100, 220, 320, 400 e 600. Após o lixamento foi feito o ataque com 45 ml de HCl (conc.), 15 ml de HNO_3 (conc), 15 ml de HF (48%) e 25 ml de H_2O, durante 15 segundos. O material foi observado através do microscópio óptico Olympus com um aumento de 6.7x até 45x e fotografado.

ISBN: 978-65-89908-00-5

Micrografia

Pedaços menores foram cortados para se observar os grãos nas direções transversais e longitudinais. As peças foram embutidas na embutidora Arotec PRE 30Mi.

As peças embutidas foram passadas pelas lixas de malha 100, 220, 320, 400, 600, 1000, 1200 e 1500 e polidas com alumina 0,1 µm e sílica 0,05 µm em um disco de polimento na politriz Arotec.

Após o polimento foi feito o ataque químico com 2 ml HF (conc.), 3 ml HCl (conc.), 5 ml HNO_3 (conc.) e 190 ml H_2O durante 20 segundos. E pôde ser analisado com um aumento de 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x no microscópio óptico Olympus e fotografado.

Ensaio de dureza brinell

No ensaio de dureza Brinell utilizou-se o durômetro wolpert. Foram feitos vinte pontos nas peças de ambos os moldes, do centro até a borda para uma comparação de dureza por toda a peça. Este método consiste em uma esfera de aço endurecido ou metal duro com 10 mm de diâmetro aplicando uma carga de 15,625 Kp.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Curva de resfriamento do molde de areia

Na figura 1 temos a curva de resfriamento do molde de areia e sua taxa de resfriamento. A temperatura liquidus foi em torno de 656 ºC no tempo de 74 s. A temperatura solidus foi de 595 ºC em torno de 738 s. E a maior taxa de resfriamento é de 3,8 ºC/s.

ISBN: 978-65-89908-00-5

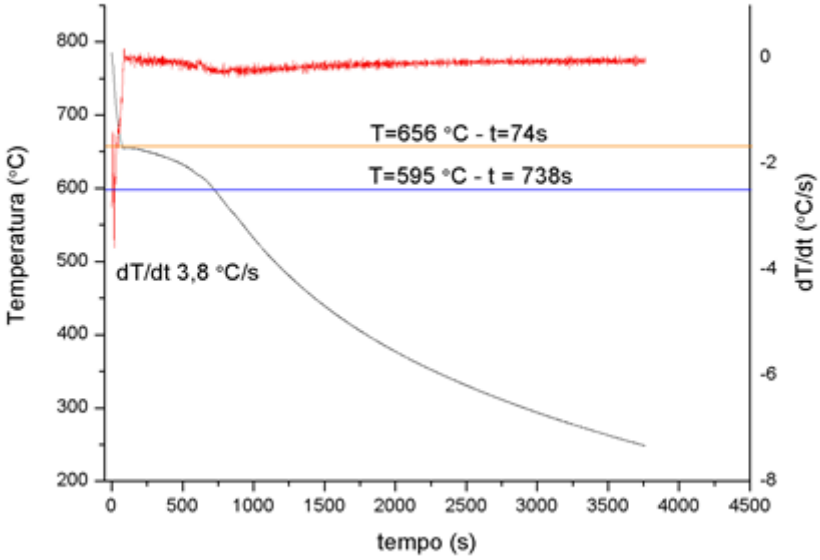


Figura 1 - Curva de resfriamento do molde de areia e sua derivada.

Curva de resfriamento do molde de metal

Na figura 2 temos a curva de resfriamento do molde metálico e sua taxa de resfriamento. A temperatura liquidus onde começa a solidificação é de 668 ºC em 6 s e a temperatura solidus onde tem o final da solidificação é de 606 ºC em 36 s. Na temperatura de 653,55 ºC começa uma mudança de fase devido à liberação do calor latente em um tempo em torno de 20 s. A maior taxa de resfriamento é de 70,5 ºC /s.

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

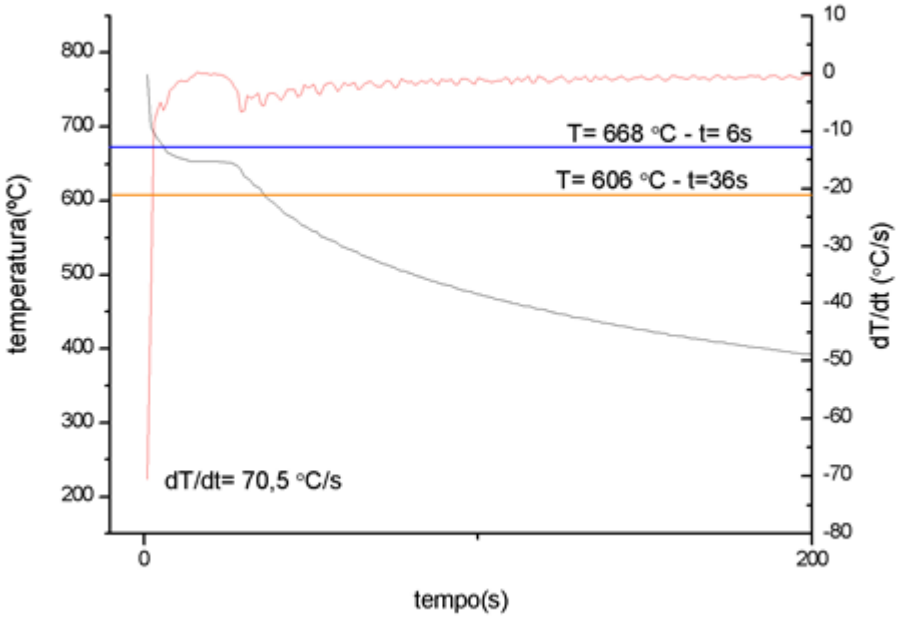


Figura 2 - Curva de resfriamento do molde metálico e sua derivada.

Macrografia do molde de metal

Na figura 3 é observada a macrografia da amostra fundida em molde metálico. Como podemos observar a estrutura do molde metálico contém grãos pequenos, pois apresenta um resfriamento rápido. E só há a presença da zona equiaxial, pois a zona colunar não aparece.

ISBN: 978-65-89908-00-5

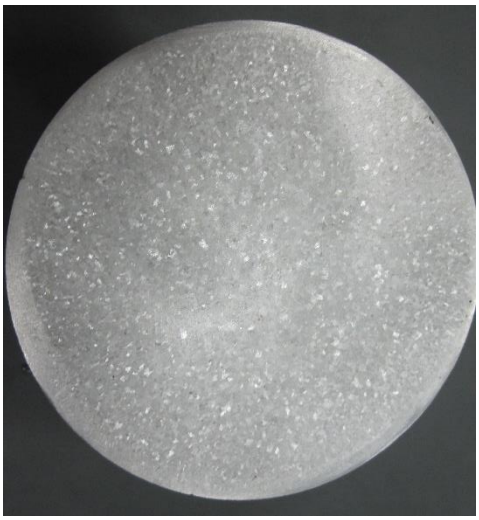


Figura 3 - Macrografia da amostra fundida em molde metálico.

Macrografia do molde de areia

Na figura 4 temos a macrografia da amostra fundida em molde de areia. A peça apresenta grãos ligeiramente grandes devido ao seu resfriamento lento. E não contém zona colunar, apenas a zona equiaxial.

Comparando as peças fundidas em molde de metal e molde de areia verificamos uma grande diferença no tamanho de grão. Isso implica nas propriedades do material.

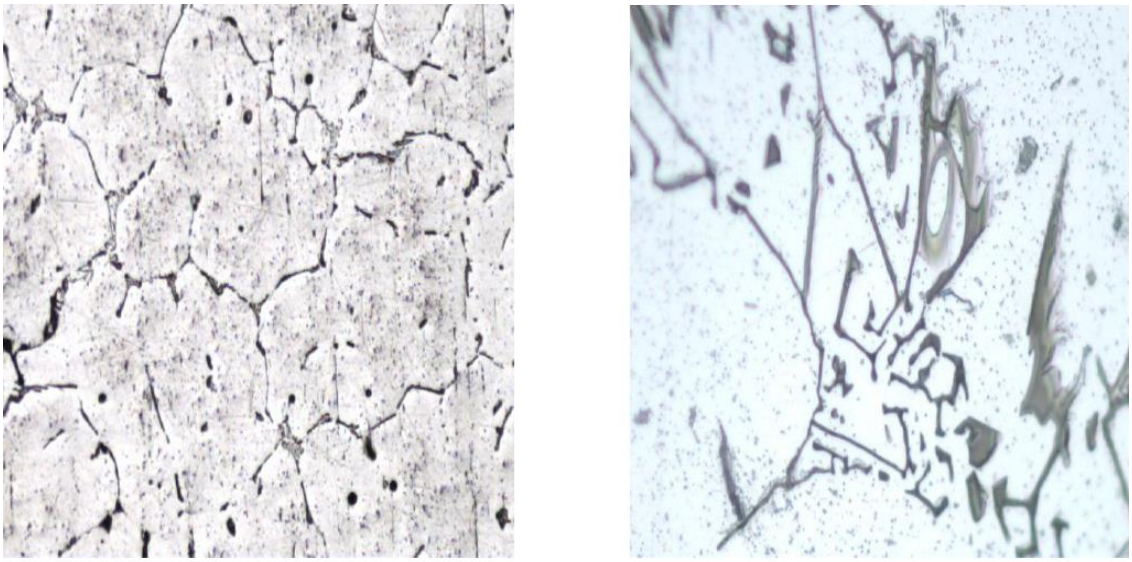
ISBN: 978-65-89908-00-5

Figura 4 - Macrografia da amostra fundida em molde de areia.

Micrografia do molde de areia

Como podemos observar na figura 5 (a) temos a microestrutura longitudinal da peça feita em molde de areia e apresenta grãos relativamente grandes, mas também apresenta muitos poros devido ao seu resfriamento lento. A microestrutura mostra dendritas de alumínio com silício nos espaços interdendríticos. Na figura 5 (b) temos a ampliação da morfologia do silício eutético.

ISBN: 978-65-89908-00-5



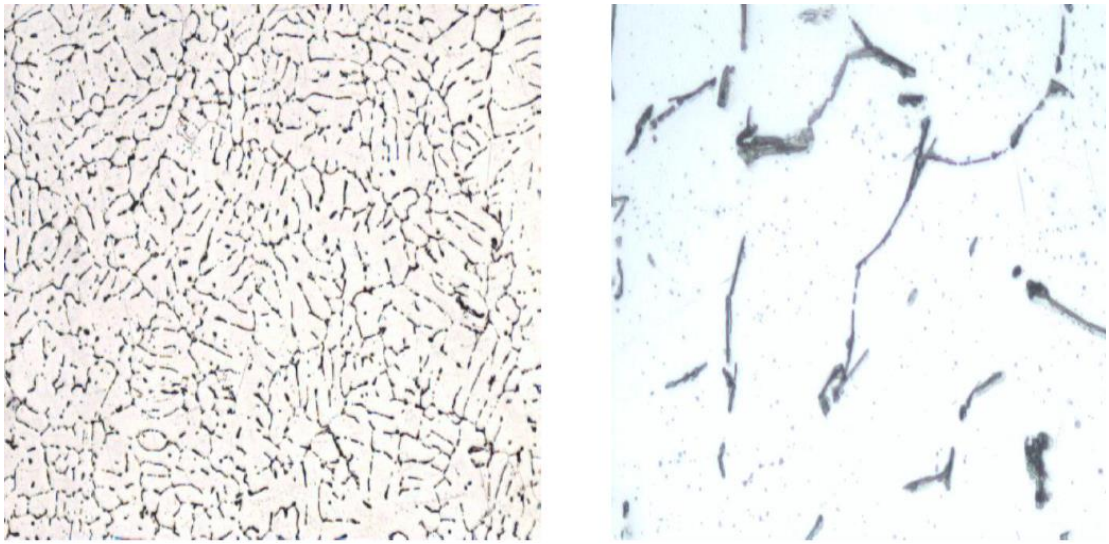
(a) (b)

Figura 5 - (a) Peça longitudinal com aumento de 50x em molde de areia. (b) Peça longitudinal com aumento de 500x em molde de areia.

Micrografia de molde de metal

Pode-se observar na figura 6 (a) a microestrutura longitudinal da peça feita em molde de metal que apresenta grãos pequenos e não apresenta muitos poros devido ao seu resfriamento rápido. A microestrutura mostra dendritas de alumínio com silício nos espaços interdendríticos. Na figura 6 (b) temos a ampliação da morfologia do silício eutético.

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5



(a) (b)

Figura 6 - (a) Peça longitudinal com aumento de 50x em molde de metal. b) Peça longitudinal com aumento de 500x em molde de metal.

Ensaio de dureza brinell

Foi realizado o ensaio de dureza Brinell e os dados obtidos estão na tabela 1. Este ensaio teve por objetivo comparar os valores de dureza do material fundido em molde de areia e em molde de metal. Como podemos observar a peça feita em molde de metal apresenta uma maior dureza com uma média de HB de 39,35 devido ao tamanho dos grãos que são pequenos e assim possuem maior número de contornos de grãos. Esse tamanho de grão se deve devido ao seu resfriamento rápido diferentemente da peça em molde de areia que tem um resfriamento lento e por isso apresenta grãos maiores com uma média de HB de 36,42. A medida feita da borda para o centro nos mostra que a dureza também varia na mesma peça só que em regiões diferentes. O resfriamento da peça ocorre da borda para o centro, então a borda da peça apresenta uma maior dureza. Mas pode-se observar que essa variação não foi tão significativa.

ISBN: 978-65-89908-00-5

Tabela 1 - Tabela de dureza Brinell com a medida do centro para a borda.

Molde		**Areia**			**Metal**	
	D1	D2	HB	D1	D2	HB
1	0,86	0,87	25,5	0,74	0,75	35,7
2	0,8	0,76	31,9	0,74	0,69	37,7
3	0,74	0,74	32,8	0,72	0,76	36,6
4	0,87	0,84	26,1	0,77	0,65	41
5	0,76	0,74	34,6	0,78	0,69	37,4
6	0,75	0,76	35,5	0,75	0,66	38,7
7	0,75	0,75	34,6	0,75	0,69	35,5
8	0,69	0,68	45,5	0,7	0,75	37,8
9	0,82	0,75	31,1	0,73	0,66	36,5
10	0,8	0,67	35,5	0,75	0,73	39,6
11	0,75	0,68	41	0,73	0,73	38,7
12	0,8	0,7	34,6	0,73	0,62	34,7
13	0,85	0,84	41	0,71	0,69	38,1
14	0,7	0,67	36,5	0,68	0,85	41
15	0,75	0,7	46,3	0,63	0,64	42,2
16	0,7	0,6	50,3	0,7	0,62	46,3
17	0,7	0,5	58,3	0,63	0,65	47,7
18	0,8	0,85	28,1	0,7	0,65	42,2
19	0,79	0,78	31,1	0,82	0,67	39,8
20	0,85	0,82	28,1	0,73	0,67	39,8
Média			36,42			39,35

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que a taxa de resfriamento e elementos de liga influenciam na microestrutura final da peça e que taxas mais baixas propiciam crescimento maior do grão. As peças fundidas em moldes de areia apresentaram menores taxas de resfriamento do que as que foram feitas em moldes metálicos. E devido ao resfriamento rápido e menores tamanhos de grãos, as peças feitas em moldes metálicos apresentaram maior dureza. E em

ISBN: 978-65-89908-00-5

uma mesma peça, a dureza aumentou do centro para a borda. Portanto, concluiu-se que o molde pode influenciar nas propriedades do material e de acordo com o objetivo que se deseja aplicar pode-se usar o molde de areia ou o de metal.

REFERÊNCIAS

ABAL – associação brasileira de alumínio. **História do alumínio**. Disponível em: <https://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>. Acesso em: 21/01/2021.

CALLISTER Jr, WILLIAM D. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. 7. Ed. Rio de janeiro: LTC, 2008. 280 p.

CAMPOS FILHO, M.P.; DAVIES, G.J. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1978. 129 p.

GARCIA, A. **Solidificação**: Fundamentos e aplicações. 1.Ed. Campinas,SP: Editora da UNICAMP, 2007. 33 p.

MOREIRA, Marcelo F.; FUOCO, Ricardo. **Ligas de alumínio fundidas**. Disponível em: <http://www.dalmolim.com.br/educacao/materiais/biblimat/aluminiofund.pdf>.

Acesso em: 21 de jan. 2021.

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. **Elemento Químico** - Alumínio. Química Nova na Escola. 13, Maio de 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc13/13-aluminio.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2021.