

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA 6351 REOFUNDIDA

Palavras-Chave: FUNDIÇÃO, REOFUNDIÇÃO, LIGAS DE ALUMÍNIO

Autores(as):

Isabela Freitas Kierulff - FEM Unicamp

Orientador: Prof. Dr. Eugênio José Zoqui - FEM Unicamp

INTRODUÇÃO:

O processamento de ligas metálicas no estado semissólido (SSM) é uma técnica de fabricação que combina elementos de fundição e forjamento em que o material é conformado no estado pastoso, resultando em peças com menor porosidade e contração em comparação com a fundição tradicional, uma vez que o fluxo viscoso pode proporcionar um preenchimento mais laminar da cavidade do que o normalmente alcançado. Existem duas principais técnicas: a reofundição, que utiliza a solidificação parcial do metal; e a tixoconformação que utiliza a fusão parcial do material. [1] Um dos métodos utilizados para processar ligas por reofundição é o GISS (Gas Induced Semi-Solid), em que a pasta semissólida é formada através da injeção de gás inerte em um metal fundido durante os primeiros estágios de solidificação [2].

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de processamento da liga 6351 como reofundida por GISS, por meio da avaliação e comparação da microestrutura e das propriedades mecânicas de amostras produzidas via SSM e por conformação no estado líquido. Vale ressaltar que o material em questão se trata de uma liga de alumínio para trabalho a frio, normalmente não utilizada na indústria de fundição tradicional [1]. A fabricação de peças por conformação exige um maior número de etapas de processamento do que a fundição sobre pressão e testar a viabilidade da fabricação de peças nesta série de ligas por métodos que impliquem em menor número de etapas é fundamental para diminuição dos custos de fabricação, especialmente relativos aos gastos energéticos.

METODOLOGIA

Lingotes da liga 6351 foram fundidos em um forno resistivo a 670 °C com acréscimo de 4% de uma anteliga Al-Ti-B para refino de grão. Em seguida, após um processo de desgaseificação com gás argônio por 5 minutos, foi utilizado um processo análogo ao GISS injetando gás argônio a uma vazão de 0,6 L/min no material a fim de gerar uma pasta semissólida. Essa pasta foi então vazada em um molde de 50,5 x 78 x 11 mm e conformada em uma prensa pneumática Alphamatic 12 Ton gerando peças em formato de paralelepípedos para a caracterização microestrutural e a confecção de corpos de prova de tração e ensaio de dureza.

Variando o tempo de vazão de gás foram gerados quatro tipos de amostras: 3s, 5s e 7s de GISS e ainda amostras sem injeção de gás (condição líquida/fundida).

Antes da realização do experimento foi verificada a composição química do material como recebido utilizando um espectrômetro de emissão óptica modelo Bill-Oes – ANACOM Científica. A Tabela 1 mostra a composição química do material especificado da norma ISO para esta liga [1] e o resultado da análise.



Figura 1 - GISS

Elemento	Composição química (wt% peso)								
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Cr	Ti	Al
6351	0,70 - 1,3	<0,10	0,40 - 0,80	<0,5	0,40 - 0,80	<0,20	<0,05	<0,20	bal
Análise	1,012	0,044	0,714	0,282	0,478	0,032	0,0174	0,0213	97,333

Tabela 1 - Composição química do material como recebido

As peças produzidas foram cortadas, aproximadamente no centro, e embutidas para caracterização microestrutural e de porosidade. As amostras preparadas foram lixadas e polidas manualmente em uma politriz Arotec Aropol 2V e, em seguida, polidas de forma automática por vibração no equipamento VibroMet 2. Posteriormente, foi usado um microscópio ótico de marca Leica modelo DM ILM para se obter imagens por microscopia convencional e, utilizando o software ImageJ, foram calculadas a porcentagem de áreas dos poros. Nota-se que para a análise de porosidade optou-se por imagens com excesso de saturação de cor branca e iluminação para facilitar a identificação dos poros.

Após ataque eletrolítico com solução de HbF_4 a 1,8% e corrente de 20 Volts durante 5 minutos foi utilizado novamente um microscópio de mesmo modelo para se obter imagens por microscopia convencional (preto e branco) e com luz polarizada (colorida). Através do método dos Interceptos de Heyn, conforme a norma *ASTM 112-13 - Standard Test Methods for Determining Average Grain Size* [3], e com a utilização do software ImageJ, as imagens em preto e branco foram usadas para determinar o valor médio de tamanho de glóbulo e as imagens coloridas foram usadas para determinar o tamanho médio de grão.

Para avaliar as propriedades mecânicas do material foi realizado teste de dureza Vickers e tração. O teste de dureza foi realizado seguindo a norma *ASTM E384 - Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials* [4] com 1 Kgf de carga aplicada durante 15 segundos em um durômetro digital FV-800. Já o teste de tração, foi realizado de acordo com a norma *ASMT E8/E8M - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials* [5] em uma máquina de tração MTS modelo 810. A Figura 2 abaixo mostra as dimensões adotadas para o corpo de prova especificado pela norma.

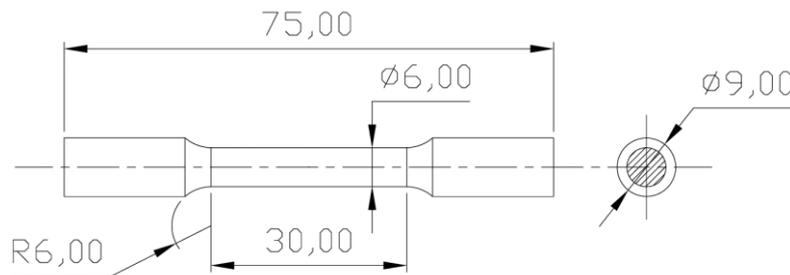


Figura 2 - Dimensões do corpo de prova de tração

RESULTADOS:

A Figura 3 apresenta os resultados da microestrutura da liga 6351 por metalografia convencional e colorida para as condições fundida (a e b), 3 segundos de GISS (c e d), 5 segundos de GISS (e e f) e 7 segundos de GISS (g e h). Abaixo, na Tabela 2, há os principais resultados da caracterização microestrutural, incluindo a análise de porosidade e os valores de tamanho médio de grão e de glóbulo.

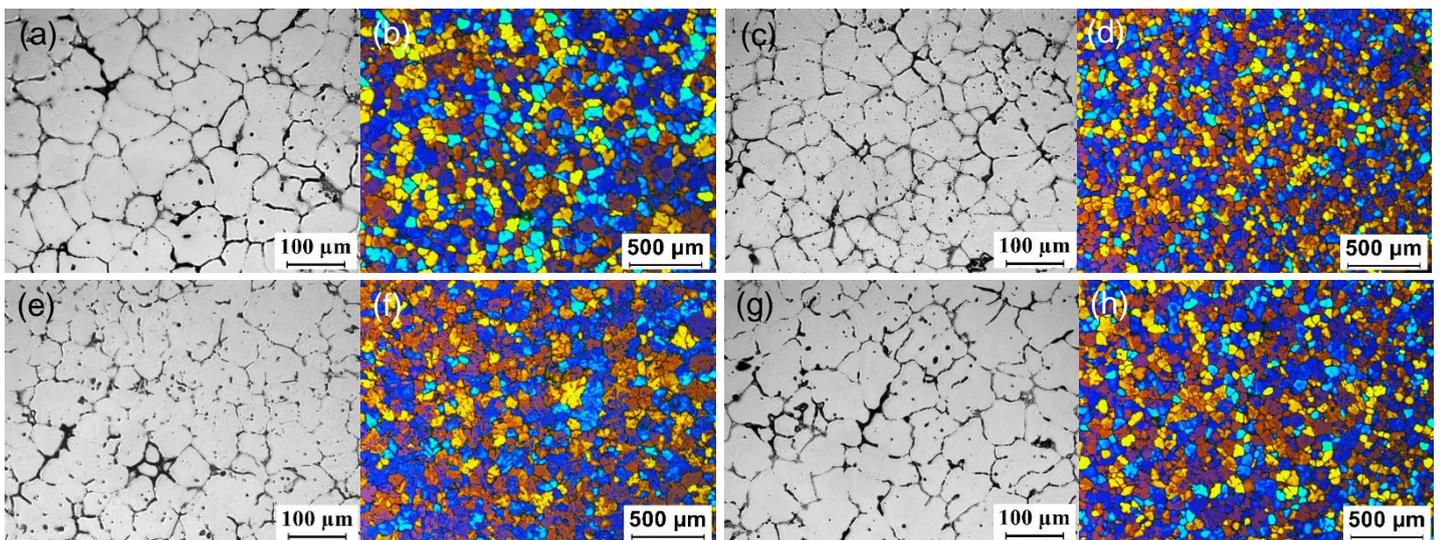


Figura 3 - Metalografia P&B e colorida da liga 6351 usadas para medir o tamanho médio de grão e de glóbulo, para o tempo de GISS de: (a e b) 0s, (c e d) 3s, (e e f) 5s e (g e h) 7s

Tempo de GISS [s]	Porosidade [%]	σ	Tamanho médio de grão	σ	Tamanho médio de glóbulo	σ
0	2,01	2,15	82,6	15,9	53,4	12,3
3	0,44	0,25	75,2	7,6	48,2	6,9
5	0,58	0,54	87,7	14,5	58,5	13,5
7	0,33	0,05	82,6	13,1	60,1	12,7

Tabela 2 - Principais resultados da caracterização microestrutural, com seus respectivos desvios padrão (σ)

A figura 4 apresenta uma comparação das melhores curvas obtidas no ensaio de tração de cada condição e, na Tabela 3, há os principais resultados obtidos das propriedades mecânicas, incluindo os resultados médios de dureza, tensão no limite de escoamento, resistência a tração e alongamento.

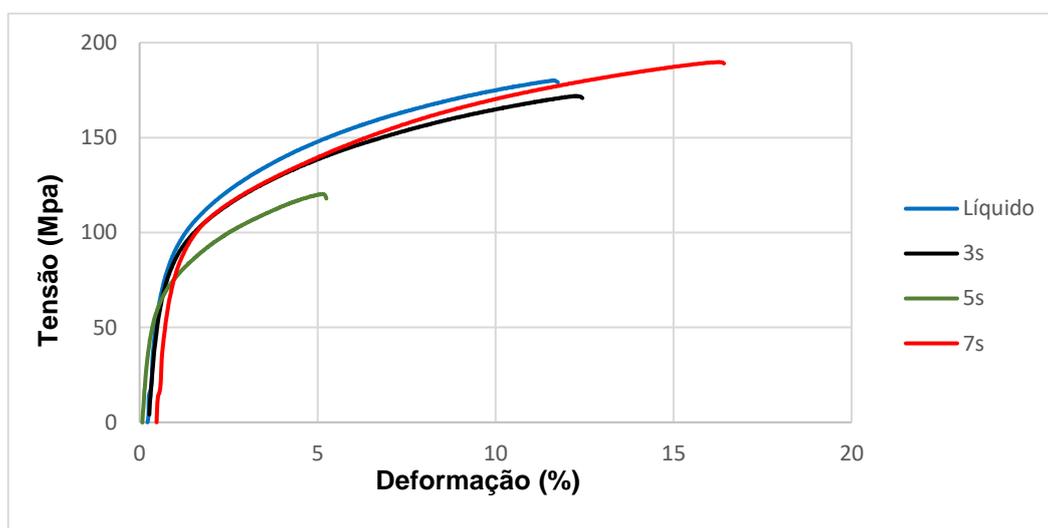


Figura 4 - Curvas tensão x deformação obtidas nos ensaios de tração para a Liga 6351 para diferentes tempos de GISS

Tempo de GISS [s]	Dureza [HV]	σ	Tensão Limite de Escoamento [Mpa]	σ	Resistência à tração [Mpa]	σ	Alongamento [%]	σ
0	55,91	3,07	94,8	1,2	175,8	3,9	12,0	0,9
3	55,62	6,65	85,3	5,1	151,5	15,7	9,4	3,0
5	63,19	6,42	67,1	4,3	98,7	19,2	3,4	1,6
7	64,98	3,25	91,9	9,5	169,5	18,1	11,8	4,3

Tabela 3 - Principais resultados obtidos das propriedades mecânicas, com seus respectivos desvios padrão (σ)

CONCLUSÕES:

Observa-se que com o processamento da liga 6351 no estado semissólido por GISS foi possível se obter uma microestrutura com menor porosidade em relação ao fundido, mas apenas a condição com 3 segundos apresentou um tamanho médio de grão e glóbulo menor do que a condição líquida. Com relação às propriedades mecânicas, como pode ser observado na Tabela 3, foi possível obter amostras com GISS com tensão limite de escoamento, resistência à tração e alongamento maiores do que a condição fundida, porém, os resultados médios do ensaio de tração são muito semelhantes para a melhor condição produzida via SSM (7s) e a conformada no estado líquido. Já no ensaio de dureza, pode-se verificar melhores resultados para as amostras produzidas via GISS com 5 e 7 segundos de injeção de gás. Assim, em comparação com as amostras conformadas no estado líquido, obteve-se êxito em diminuir a porcentagem de porosidade e aumentar as propriedades mecânicas da liga 6351 pelo processamento no estado semissólido.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASM International Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Volume 2 (1992)
- [2] Wannasin, J.; Martinez, R.A.; Flemings, M.C. Grain refinement of an aluminum alloy by introducing gas bubbles during solidification. *Scr. Mater.* 2006, *55*, 115–118. Disponível em: [[Google Scholar](#)]
- [3] ASTM E112-13: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2024. Disponível em: <<http://www.astm.org>>
- [4] ASTM E384: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials, ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2024. Disponível em: <<http://www.astm.org>>
- [5] ASTM E8/E8M - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2024. Disponível em: <<http://www.astm.org>>