

Análise microestrutural de ligas semissólidas da série 7XXX submetidas a ensaios de compressão a quente entre placas paralelas

Microstructural analysis of 7XXX semi-solid alloys series submitted to parallel plate hot compression tests

Luis Vanderlei Torres^{1,2}, Eugênio José Zoqui²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Avenida Major Fernando Valle, 2013, bairro São Miguel, Bragança Paulista, SP, Brasil.

²Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais - DEMM/FEM/UNICAMP, Rua Mendeleev, 200, bairro Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas, São Paulo, Brasil.

e-mail: torres@ifsp.edu.br, torres@fem.unicamp.br, zoqui@fem.unicamp.br

RESUMO

O presente trabalho visa a análise microestrutural de ligas de alumínio da série 7XXX, a saber: AA7004 e AA7075, em vista de sua aplicação nos processos de tixoconformação. As ligas foram reaquecidas às temperaturas semissólidas, ou seja, as temperaturas correspondentes às frações sólidas de 60% e 45% e mantidas nos tempos de tratamento térmico de reaquecimento de 0, 30, 90 e 210 s e na sequência submetidas a ensaios de compressão a quente entre placas paralelas. Como resultado, a condição de 60% de fração sólida de ambas as ligas apresentaram diferenças significativas na aparência das amostras tixoconformadas, com bordas mal preenchidas e quebradiças, quando comparadas com a condição de 45% de fração sólida, isto devido às ligações existentes na microestrutura que possivelmente ainda estavam fortemente ligadas entre si, exigindo maior tensão para sua deformação; a fração sólida de 45% adotada durante os ensaios foi satisfatória, pois as bordas das amostras não apresentaram trincas e/ou quebras intensas como também apresentou um bom acabamento superficial. Quanto ao seu comportamento microestrutural, as ligas semissólidas AA7004 e AA7075, apresentaram morfologia globular na região da borda das amostras com grãos/glóbulos primários bastante esferoidizados, devido aos fenômenos de *ostwald ripening* e coalescência e na região central das amostras grãos/glóbulos primários totalmente deformados, com pouca presença de líquido e grande presença de fase sólida, devido à deformação imposta.

Palavras-chave: Tixoconformação, comportamento microestrutural, AA7004, AA7075.

ABSTRACT

The present work aims at the microstructural analysis of 7XXX aluminum alloys series, namely: AA7004 and AA7075, in view of their application in thixoforming processes. The alloys were reheated to semi-solid temperatures, that is, the temperatures corresponding to 60% and 45% solid fractions and maintained to heat reheat treatment of 0, 30, 90 and 210 s and subsequently submitted to parallel plate hot compression tests. As a result, the 60% solid fraction condition of both alloys showed significant differences in the appearance of thixoforming samples, with to poorly filled and brittle edges, when compared to the 45% solid fraction condition, due to the microstructure bonds that were possibly still strongly bonded between themselves, requiring bigger tension to the forming; the 45% solid fraction adopted during the tests was satisfactory, since the edges of the samples did not present intense cracks and/or breaks, as well as a good surface finish. Regarding their microstructural behavior, the semisolid alloys AA7004 and AA7075 showed globular morphology in the edge region of the samples with very spheroidized grains/primary globules, due to the phenomena of *ostwald ripening* and coalescence and in the central region of the grain/primary globules samples fully deformed, with small liquid presence and large solid phase presence due to imposed deformation.

Keywords: Thixoforming, microstructural behavior, AA7004, AA7075.

1. INTRODUÇÃO

O processo de tixoonformação trata-se do processamento de ligas metálicas no estado semissólido. Este processo tem ganhado mercado e importância nos últimos anos, principalmente nas indústrias automotiva e aeronáutica, devido as suas vantagens em relação aos processos convencionais de fabricação: alta produtividade, aumento da vida útil das matrizes, obtenção de peças próximas à geometria final, obtenção de microestruturas refinadas, boas propriedades mecânicas, etc [1-5]. O primeiro pesquisador a observar o comportamento reológico de ligas metálicas no estado semissólido foi Spencer, no ano de 1972, quando desenvolvia trabalhos de sua tese de doutorado. Spencer descobriu que ligas metálicas no estado semissólido, cuja microestrutura é composta por partículas sólidas esféricas envoltas por líquido, apresentavam comportamento similar aos fluidos tixotrópicos [1].

Em geral, as características reológicas e consequentemente as características microestruturais das ligas semissólidas são explicadas pela interação entre as partículas, ou seja, quando uma microestrutura semissólida permanece em repouso, as partículas sólidas aglomeram-se formando uma rede tridimensional e a viscosidade aumenta, porém quando o material sofre um cisalhamento esta aglomeração é quebrada e a viscosidade diminui; esta viscosidade passa a ser dependente da taxa de cisalhamento, temperatura e tempo [6]. Assim, a viscosidade da liga metálica no estado semissólido depende do tamanho e morfologia das partículas de fase primária e da quantidade de líquido; quanto menores e mais próximas à forma de uma esfera forem essas partículas e maior a fração líquida efetiva, menor será a viscosidade [2]. As partículas esféricas interagem entre si, através do deslocamento, da rotação e do deslizamento quando cisalhadas, como também a fase líquida que flui entre os espaços formados entre os grãos [7]. Portanto, este trabalho tem como objetivo a análise microestrutural das ligas semissólidas AA7004 e AA7075 submetidas a ensaios de compressão a quente entre placas paralelas utilizando as frações sólidas de 60% e 45% e tempos de tratamento térmico de reaquecimento de 0, 30, 90 e 210 s.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram as ligas comerciais de alumínio da série 7XXX, a saber, AA7004 e AA7075 produzidas via lingotamento contínuo convencional pela empresa ALCOA Alumínio S.A, cujas composições químicas podem ser vistas na Tabela 1 [8-10].

Tabela 1: Composição química em peso (wt%) das ligas AA7004 e AA7075.

Ligas	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Al
AA7004	5,8	1,5	0,1	0,4	0,3	0,5	Balanço
AA7075	6,2	2,0	1,7	0,5	0,4	0,1	Balanço

As temperaturas *solidus*, *liquidus* e de trabalho foram caracterizadas via ensaios de análise térmica de calorimetria diferencial de varredura (DSC) através do equipamento de análise térmica NETZSCH modelo STA-409C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min até a temperatura de 700 °C e resfriamento até temperatura ambiente.

Os ensaios de compressão a quente entre placas paralelas (tixoonformação) foram realizados em uma máquina universal de ensaios MTS-810 (capacidade de carga de 100 kN), com um forno resistivo acoplado ao eixo da máquina, com capacidade de atingir uma temperatura máxima de trabalho de 1200 °C, com placas paralelas de Inconel 718 que possuem área superior a área máxima ocupada pelas amostras deformadas, mantendo assim o volume deformado constante e um sistema de aquisição de dados. As amostras possuíam dimensões de 15 mm de altura e 20 mm de diâmetro e submetidas a uma taxa de compressão constante de 10 mm/s e tempo de execução de ensaio de 1 s [10] utilizando as frações sólidas de 60% e 45% e tempos de tratamento térmico de reaquecimento de 0, 30, 90 e 210 s; o conjunto utilizado nestes ensaios pode ser visto na Figura 1.

Após os ensaios, as amostras foram caracterizadas via metalografia convencional, sendo lixadas, polidas com pasta de diamante (6 µm e 1 µm) e atacadas com reagente Keller (2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1,0 ml HF e 95,0 ml H₂O) pelo tempo de 10 s, sendo utilizado para a aquisição das imagens um microscópio óptico Leica DM ILM. Para a caracterização via metalografia colorida, as mesmas amostras passaram por ataque eletrolítico com deposição de HBF₄ (ácido fluorbórico) em solução 6,0% e tensão de 20 V pelo tempo de 90 s com agitação moderada e constante [8-10]. As medições de tamanho de glóbulos primários e de grãos foram obtidas pelo Método dos Interceptos de Heyn, regido pela norma ASTM E112 [11].

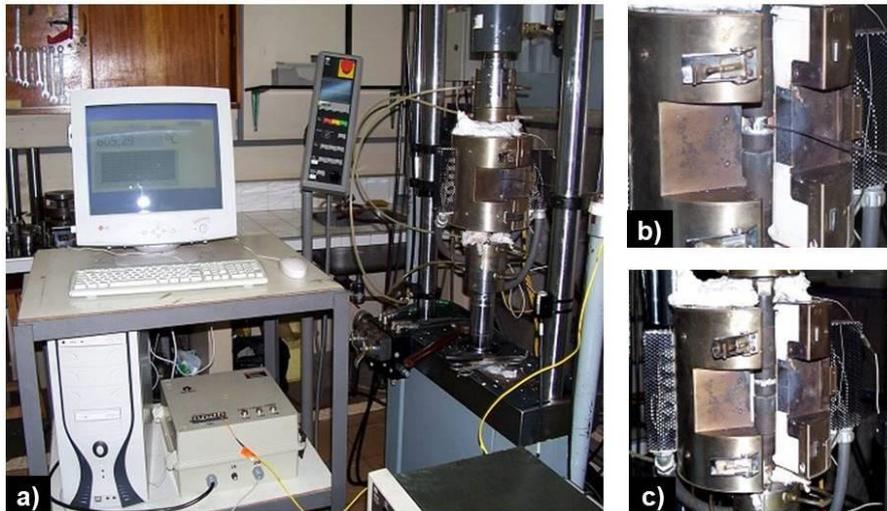


Figura 1: Máquina universal de ensaios MTS-810 com forno resistivo acoplado ao eixo da máquina e sistema de aquisição de dados (a), detalhe da amostra antes do ensaio (b) e detalhe da amostra imediatamente após o ensaio (c).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A determinação da faixa semissólida (intervalo das temperaturas *solidus* e *liquidus*), como também as temperaturas de trabalho tornam-se essenciais para os processos de tixotomização, isto é, obtenção do metal semissólido com estrutura globular. Como resultado dos ensaios de análise térmica de calorimetria diferencial de varredura (DSC), têm-se os termogramas que podem ser vistos na Figura 2, com seus respectivos detalhes.

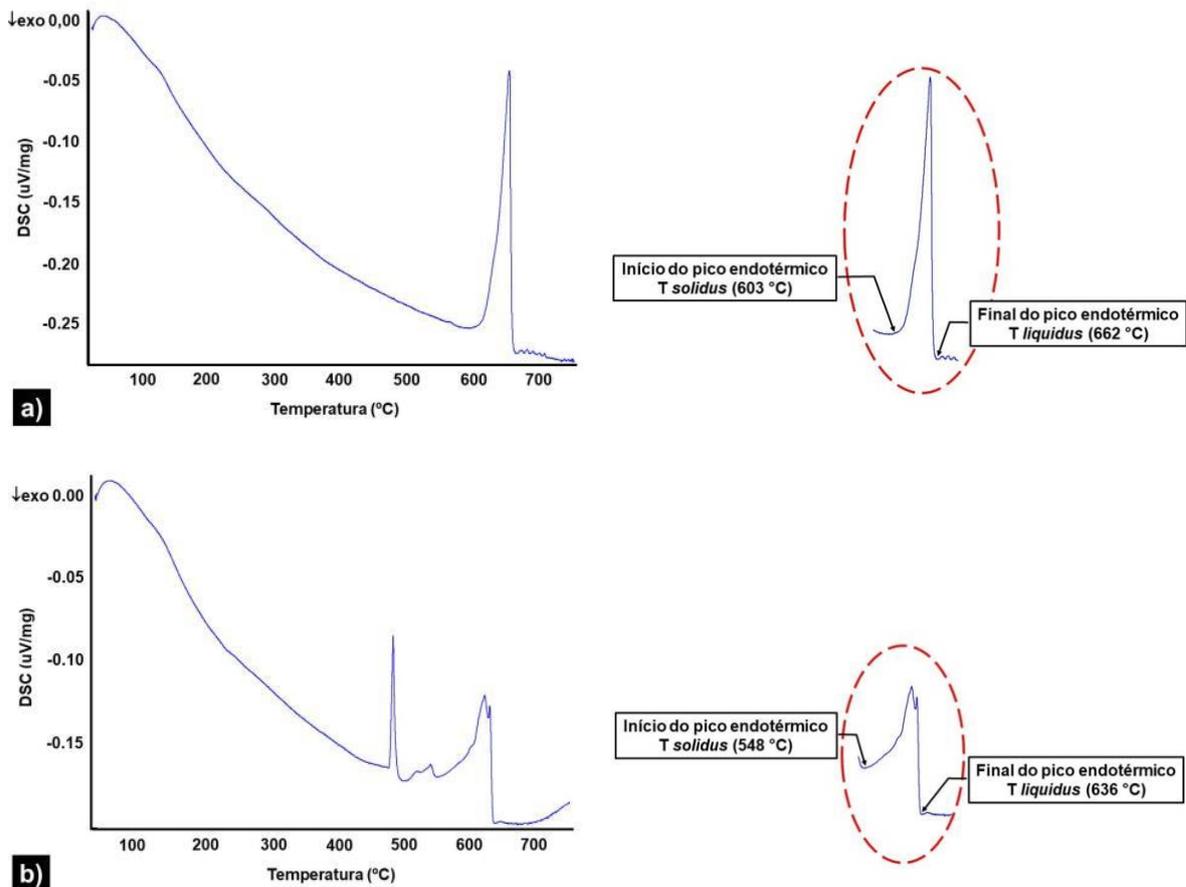


Figura 2: Termogramas obtidos via ensaio de DSC com seus respectivos detalhes: liga AA7004 (a) e liga AA7075 (b).

Analisando a Figura 2(a), que corresponde ao termograma obtido via ensaio de *DSC* da liga AA7004, tem-se a ocorrência de um pico endotérmico. Esse pico corresponde à fusão da liga, sendo a temperatura de 603 °C (início do pico endotérmico) que corresponde à temperatura *solidus* e a temperatura de 662 °C (final do pico endotérmico) que corresponde à temperatura *liquidus*; como em sua composição química não há cobre ou outros elementos em quantidade suficiente para estabelecer grande quantidade de compostos intermetálicos, só há a existência deste pico. Para a Figura 2(b), que corresponde ao termograma obtido via ensaio de *DSC* da liga AA7075, tem-se dois picos endotérmicos, o primeiro pico ocorre entre as temperaturas de 470 °C a 500 °C ocorrendo a dissolução do composto de zinco $MgZn_2$ e a formação do composto $CuMgAl_2$, já o segundo pico corresponde à fusão da liga, sendo a temperatura de 548 °C (início do pico endotérmico) que corresponde à temperatura *solidus* e a temperatura de 636 °C (final do pico endotérmico) que corresponde à temperatura *liquidus* [8]. As caracterizações das frações sólidas ocorrem através da integração da área abaixo dos picos correspondentes à fusão do material em função da temperatura; um resumo das temperaturas encontradas pode ser visto na Tabela 2 [8-10].

Tabela 2: Temperaturas obtidas via ensaio de *DSC*.

Ligas	T <i>solidus</i> (°C)	T <i>liquidus</i> (°C)	T trabalho 60% fs (°C)	T trabalho 45% fs (°C)
AA7004	603	662	642	647
AA7075	548	636	607	614

Com a determinação da faixa semissólida e conseqüentemente as temperaturas de trabalho, foram realizados os ensaios de compressão a quente entre placas paralelas para a análise microestrutural e conseqüentemente a obtenção da viscosidade aparente média das ligas deste estudo. Na Tabela 3 são apresentados os valores de viscosidade aparente média [8], observa-se que as ligas apresentaram resultados satisfatórios quando submetidas aos ensaios de compressão a quente entre placas paralelas, com resultados de viscosidade aparente na faixa de 10^4 a 10^6 Pa.s. Flemings [2] em seus estudos relata que materiais que possuem valores de viscosidade aparente entre 10^5 a 10^6 Pa.s apresentam comportamento similar ao do vidro fundido e demonstram alta conformabilidade. ZOQUI *et al.* [12] reportaram valores de viscosidade aparente da ordem de 10^5 Pa.s para a liga A356 comercial e outra produzida por agitação eletromagnética que foram comprimidas a uma temperatura de 580 °C e com tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 210 s. Observa-se ainda que quando adotado a condição de 45% fração sólida e tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 210 s os resultados de viscosidade aparente de 10^4 Pa.s são ainda mais satisfatórios e por este fato é que a análise microestrutural foi realizada nesta condição para ambas as ligas.

Tabela 3: Valores de viscosidade aparente média (Pa.s) das ligas para cada condição de ensaio proposta.

Fração Sólida	AA7004				AA7075			
	0 s	30 s	90 s	210 s	0 s	30 s	90 s	210 s
60%	$3,5 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$
45%	$4,6 \times 10^5$	$5,8 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$4,3 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$4,7 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$

Observando as Figuras 3 e 4 das amostras tixoconformadas, tem-se que a condição de 60% de fração sólida de ambas as ligas apresentaram diferenças significativas em sua aparência, quando comparadas com a condição de 45% de fração sólida, isto ocorre pelo fato das ligações existentes na microestrutura possivelmente ainda estarem fortemente ligadas entre si, exigindo uma maior tensão para ocasionar os rompimentos acarretando em bordas mal preenchidas e quebradiças, fato também observado por DE PAULA [13]. Quando adotada a fração sólida de 45% há uma mudança significativa na aparência das amostras, tornando-as muito mais homogêneas e simétricas, pois devido ao aumento da temperatura de trabalho há o favorecimento do crescimento dos grãos/glóbulos primários, aumentando a fluidez do material e conseqüentemente uma maior presença da fase eutética na liga metálica semissólida auxiliando no escoamento das partículas sólidas de fase primária, ou seja, tornando-se um lubrificante natural da estrutura do material.



Figura 3: Amostras tixoconformadas pelo ensaio de compressão a quente entre placas paralelas da liga AA7004 para as frações sólidas de 60% e 45% e tempos de tratamento térmico de reaquecimento de 0, 30, 90 e 210 s.

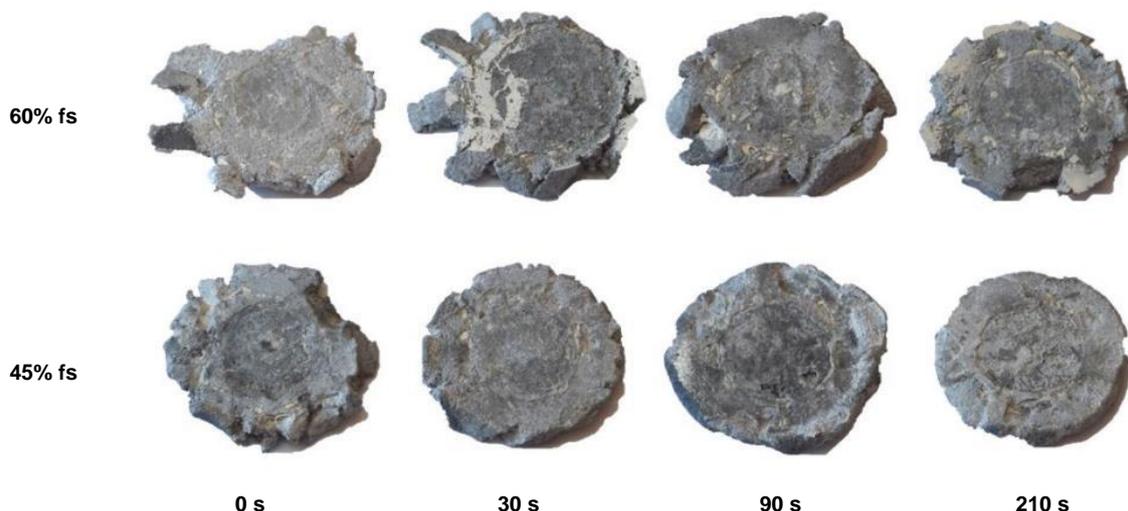


Figura 4: Amostras tixoconformadas pelo ensaio de compressão a quente entre placas paralelas da liga AA7075 para as frações sólidas de 60% e 45% e tempos de tratamento térmico de reaquecimento de 0, 30, 90 e 210 s.

Observa-se para a fração sólida de 45% pouca presença de trinca e o acabamento superficial foi pouco heterogêneo, exceto para a condição com tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 0 s. Esta diferença da borda na amostra tixoconformada em 0 s se explica pelo baixo escoamento no momento da aplicação da força de compressão durante o ensaio, devido à sua microestrutura não apresentar grãos/glóbulos primários totalmente esféricos. As partículas esféricas movem-se com maior facilidade uma sobre as outras quando o material é submetido à deformação, ao contrário das partículas dendríticas que, devido à morfologia ramificada e não esférica, exigem maiores esforços para serem rompidas e conseqüentemente deformadas [1, 14]. KANG *et al.* [15] em seus estudos relatam que o formato das bordas e o acabamento superficial das amostras apresentaram-se diferentes em função das frações sólidas adotadas para a liga metálica semissólida A356. PRONI [16] elenca algumas características para que um material possa ser utilizado como matéria-prima nos processos de tixoconformação e conseqüentemente ser submetido ao ensaio de compressão a quente entre placas paralelas, a saber: intervalo de temperatura semissólida suficientemente grande, fração sólida que permita a maior quantidade possível de eutético ao redor dos grãos (favorecendo a lubrificação do material), microestrutura homogênea e com morfologia esférica. TORRES e ZOQUI [9] analisaram as mesmas ligas utilizadas neste estudo no processo de tixoforjamento em prensa excêntrica e verificaram que os materiais passam pelas etapas de escorregamento da fase sólida em suspensão no líquido, da expulsão do líquido para

frente do escoamento, da deformação dos grãos e consequentemente da compactação da fase sólida.

As Figuras 5 e 6 apresentam as microestruturas das ligas através da metalografia convencional (escala de cinza) mostrando os glóbulos primários e através da metalografia colorida mostrando os grãos, de acordo com a posição na seção transversal das amostras após os ensaios de compressão a quente entre placas paralelas, sendo caracterizada a região central como também a borda da amostra. A análise microestrutural ocorreu para a fração sólida de 45% e tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 210 s, uma vez que os resultados de viscosidade aparente foram mais satisfatórios nesta condição.

A utilização de ambas as técnicas de caracterização metalúrgica agregam resultados significativos aos materiais estudados, uma vez, que a caracterização via metalografia colorida complementa os resultados obtidos via metalografia convencional. Observando as Figuras 5(a, c) e 6(a, c) das ligas semissólidas AA7004 e AA7075, nota-se uma morfologia globular na região da borda das amostras tixoconformadas, com grãos/glóbulos primários bastante esferoidizados; houve a evolução para morfologia globular mesmo para o tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 0 s, ocorrendo um ligeiro aumento no tamanho destes grãos/glóbulos primários durante a manutenção das ligas à faixa semissólida para o tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 210 s; têm-se que os fenômenos de *ostwald ripening* e de coalescência ocorrem simultaneamente e independentes sempre quando o material for reaquecido à temperatura semissólida. O mecanismo de engrossamento por *ostwald ripening* consiste na dissolução de ramos menores e deposição dos mesmos nos ramos maiores, tendo como resultado uma redução do número de ramos dendríticos e o aumento da distância entre eles, conforme modelos propostos por KATTAMIS *et al.* [17] e KAHLWEIT [18]. O mecanismo de engrossamento por coalescência consiste na aglomeração de grãos menores, resultando na supressão de superfícies de separação, levando a coalescência de dois ou mais grãos em apenas um com maior dimensão, sendo esse mecanismo propostos por GENDA *et al.* [19] e KIRKWOOD [20]. Observa-se que devido à expulsão do líquido para frente do escoamento (bordas), a região central das amostras apresenta grãos/glóbulos primários totalmente deformados, com pouca presença de líquido (desaparecimento dos contornos de grãos - eutético) e grande presença de fase sólida, fato observado por TORRES e ZOQUI [10]. A Tabela 4 apresenta os valores médios de tamanho de glóbulos primários e de grãos para a condição de 45% de fração sólida e tempo de tratamento térmico de reaquecimento de 210 s.

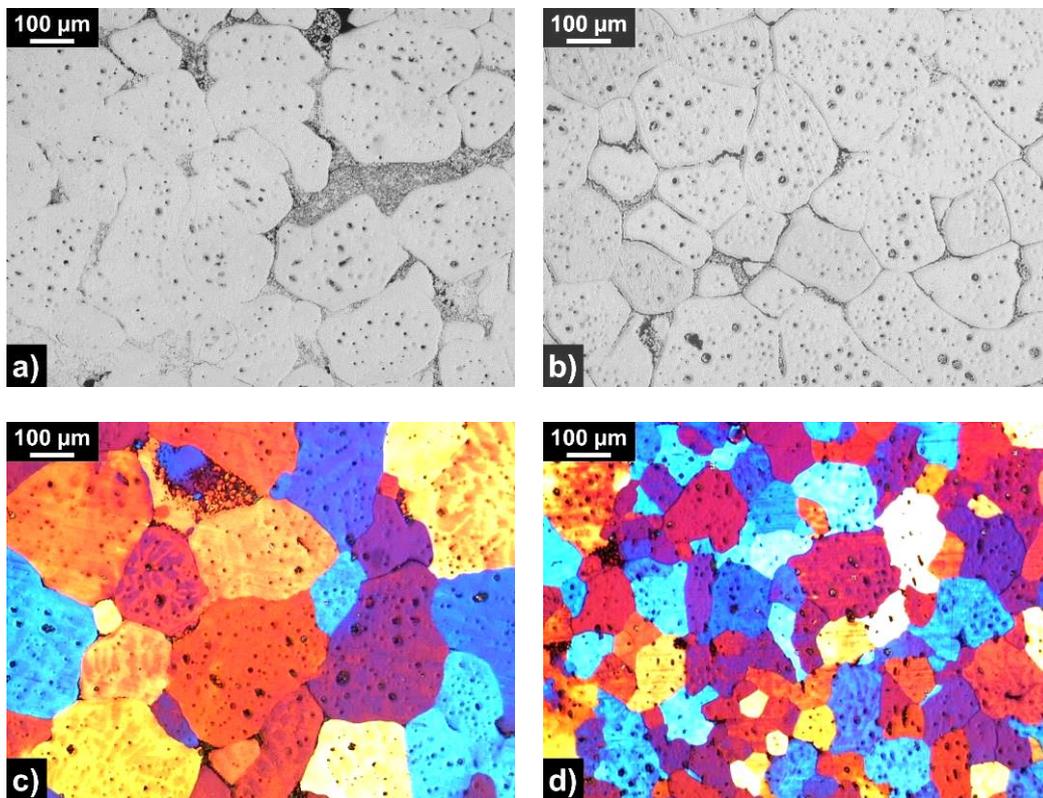


Figura 5: Micrografias da liga AA7004 em regiões distintas da amostra: borda (a, c) e centro (b, d).

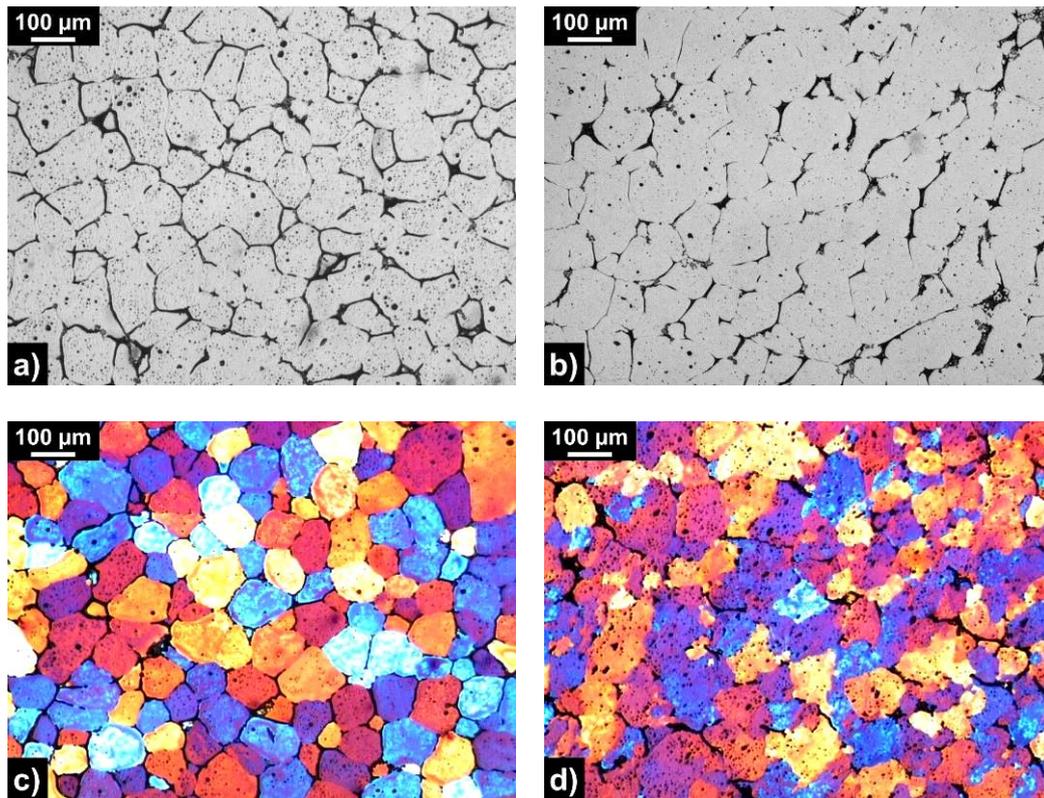


Figura 6: Micrografias da liga AA7075 em regiões distintas da amostra: borda (a, c) e centro (b, d).

Tabela 4: Valores médios de tamanho de glóbulos primários e de grãos.

Parâmetros metalúrgicos	AA7004		AA7075	
	Borda	Centro	Borda	Centro
Tamanho de glóbulo primário (μm)	193 ± 29	135 ± 26	85 ± 11	113 ± 17
Tamanho de grão (μm)	272 ± 24	154 ± 21	127 ± 19	121 ± 23

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que as ligas da série 7XXX possuem características propícias para serem utilizadas nos processos de tixoconformação. As ligas apresentaram uma boa faixa semissólida, ou seja, a liga AA7004 apresentou uma faixa de 59 °C e a liga AA7075 uma faixa semissólida ainda maior de 88 °C, permitindo seu controle durante o processamento semissólido. O formato das amostras, mais especificamente na região das bordas, evidenciou que a fração sólida de 45% adotada nos ensaios de compressão a quente entre placas paralelas foi satisfatória. As ligas apresentaram morfologia globular na borda das amostras e morfologia globular deformada na região central das amostras, devido às partículas esféricas moverem-se com maior facilidade uma sobre as outras quando o material é submetido à deformação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa ALCOA Alumínio S.A. pela doação da matéria-prima e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por seu apoio financeiro. Agradecemos também ao DEMM/FEM/UNICAMP - Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas e ao IFSP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Bragança Paulista por seu apoio prático.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] SPENCER, D.B., MEHRABIAN, R., FLEMINGS, M.C., “Rheological behavior of Sn-15%Pb in the crystallization range”, *Metallurgical Transactions*, v. 3, pp. 1925-1932, 1972.
- [2] FLEMINGS, M.C., “Behavior of metal alloys in the semi-solid state”, *Metallurgical Transactions A*, v. 22, pp. 957-981, 1991.
- [3] ATKINSON, H.V., “Modeling the semi-solid processing of metallic alloys”, *Progress in Materials Science*, v. 50, pp. 341-412, 2005.
- [4] MOHAMMED, M.N., OMAR, M.Z., SALLEH, M.S., ALHAWARI, K.S., KAPRANOS, P., “Semisolid metal processing techniques for nondendritic feedstock production”, *The Scientific World Journal*, v. 2013, Article ID752175, 2013.
- [5] TORRES, L.V., “Uma revisão sobre a tecnologia de processamento de ligas metálicas no estado semissólido”, In: Holzmann, H.A.; Biscaia, R.V.B. (eds), *Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica*, 1 ed., capítulo 12, Ponta Grossa, Brasil, Atena Editora, 2019.
- [6] HIRT, G., KOPP, R., *Thixoforming: semi-solid metal processing*, 1 ed., Wiley-VCH, 2009.
- [7] KIUCHI, M., KOPP, R., “Mushy/semi-solid metal forming technology - present and future”, *Manufacturing Technology*, v. 51, pp. 653-670, 2002.
- [8] ZOQUI, E.J., TORRES, L.V., “Evaluation of the thixoformability of AA7004 and AA7075 alloys”, *Materials Research*, v. 13, n. 3, pp. 305-318, 2010.
- [9] TORRES, L.V., ZOQUI, E.J., “Caracterização microestrutural das ligas AA7004 e AA7075 tixoforjadas em prensa excêntrica”, *Revista Matéria*, v. 24, n. 3, e-12452, 2019.
- [10] TORRES, L.V., ZOQUI, E.J., “Caracterização mecânica e metalúrgica das ligas tixoconformadas AA7004 e AA7075”, *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 16, n. 3, pp. 407-413, 2019.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. E112: Standard test methods for determining average grain size, West Conshohocken, 1996.
- [12] ZOQUI, E.J.; PAES, M.; ROBERT, M.H., “Effect of macrostructure and microstructure on the viscosity of the A356 alloy in the semi-solid state”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 153-154, pp. 300-306, 2004.
- [13] DE PAULA, L.C., *Otimização do refino de grão, via tratamento por ultrassom da liga de alumínio 355 para tixoconformação*. Tese de D.Sc., FEM/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2018.
- [14] LASHKARI, O., GHOMASHCHI, R., “The implication of rheology in semi-solid metal processes: an overview”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 182, pp. 229-240, 2007.
- [15] KANG, C.G., CHOI, J.S., KIM, K.H., “The effect of strain rate on macroscopic behaviour in the compression forming of semi-solid aluminium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 88, pp. 159-168, 1999.
- [16] PRONI, C. T. W., *Efeito da taxa de aquecimento no desmantelamento e na globularização da microestrutura para propiciar a tixoconformação*. Tese de D.Sc., FEM/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2014.
- [17] KATTAMIS, T.Z., COUGHIN, J.L., FLEMINGS, M.C., “Influence of coarsening on dendritic arm spacing of Al-Cu alloys”, *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, v. 239, pp. 1504-1511, 1967.
- [18] KAHLWEIT, M., “On the ageing of dendrites”, *Scripta Metallurgica*, v. 2, pp. 251-254, 1968.
- [19] GENDA, G., YUYON, C., GEING, A., “Mechanism of coarsening of dendrite during solidification”, In: *Proceedings of the Solidification Processing Conference*, pp. 416-419, Sheffield, 1987.
- [20] KIRKWOOD, M.C., “Semi-solid metal processing”, *International Materials Reviews*, v. 39, pp. 173-189, 1994.

ORCID

Autor Luis Vanderlei Torres

<https://orcid.org/0000-0002-2249-668X>

Autor Eugênio José Zoqui

<https://orcid.org/0000-0002-3614-0051>