

ESTUDO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO NA SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA 356.0

L. F. Kirch⁽¹⁾; A. Y. Shimosaka⁽¹⁾; D. Setti⁽¹⁾

1. UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, DAMEC- Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Via do Conhecimento, km 01 - CEP 85503-390 – Pato Branco - PR. Irkirch@gmail.com.

RESUMO

A vibração na solidificação de ligas de alumínio resulta em refino de grão, microestrutura mais homogênea e contribui na desgaseificação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da vibração na solidificação da liga de alumínio 356.0. No estudo foi utilizado um corpo de prova com módulo de Chvorinov variando entre 0,375 e 0,837 cm. Moldes com dois corpos de prova foram confeccionados em areia cura-frio e vazados a 750 °C. A solidificação ocorreu de forma estática e com vibração de frequência 60 Hz e amplitude 0,05 mm. A caracterização foi realizada por meio de microdureza Vickers e Microscopia Ótica. As condições de vibração mecânica utilizadas neste estudo (frequência de 60 Hz e amplitude 0,05 mm) resultaram no decréscimo da microdureza Vickers para todos os módulos de Chvorinov avaliados. A microestrutura do eutético Al-Si apresentou mudança de morfologia nas amostras submetidas a vibração, e na altura de 24 mm (módulo 0,596 cm) este efeito foi mais pronunciado.

Palavras-chave: Fundição; Solidificação; Vibração; Ligas Alumínio.

INTRODUÇÃO

A liga de alumínio 356.0 utilizada neste estudo é aplicada na produção de diferentes componentes mecânicos ⁽¹⁾, devido a suas propriedades mecânicas. Além de ser excelente para a fundição e soldagem, possui também boa resistência a

corrosão ⁽¹⁾. Devido ao grande campo de aplicação muitos estudos vêm sendo realizados para análises sobre o efeito da vibração nas propriedades deste material ^(2-9, 11-13). Estudos referentes à liga 356.0^(2,4-8, 11, 13) sob vibração na solidificação tem mostrado aumento na dureza e nas propriedades mecânicas.

No estudo feito por Taghavi *et al.* (2009) ⁽²⁾ para vibração em frequências maiores que 50Hz, por mais de 15 minutos, houve um aumento na densidade da liga e um refino de grão de até 53% ⁽²⁾.

Quando a aplicação da vibração é magnética com 55 Hz de frequência, encontra-se um tamanho médio de grão na fase primária do silício relativamente mais fina e globular, porém esta alteração ocorre apenas em temperaturas de vazamento superiores a 630°C ⁽⁴⁾.

Quando ocorre a variação do módulo de *Chvorinov* em conjunto com a aplicação da vibração na frequência de 100 Hz e tratamento térmico T6, propriedades como resistência a tração, ao escoamento, alongamento e dureza foram consideravelmente melhoradas ⁽⁷⁾. Com condições de frequência de 100 Hz e amplitudes variando de 18- 199 μm , há um refino de grão gradativo até a amplitude limite de 149 μm ⁽³⁾. A partir desta amplitude limite, os grãos se tornam mais grosseiros devido a aglomeração ⁽³⁾.

Outro aspecto relatado na literatura, é que ligas de Al-Si submetidas a vibração com baixa frequência ⁽⁸⁾ ou vibração ultrassônica ⁽⁹⁾ apresentam microestruturas modificadas, similares a modificação realizada quimicamente com sódio ou estrôncio ⁽⁸⁾. A modificação da estrutura gera um aumento das propriedades mecânicas acompanhado de um aumento da ductilidade.

Conforme os resultados relatados na literatura, a utilização de vibração durante a solidificação da liga 356.0 é um recurso de processamento que permite várias opções para melhorar propriedades mecânicas. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da vibração na solidificação da liga de alumínio 356.0.

MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química da liga utilizada neste estudo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da liga utilizada

Elemento	Si	Mg	Cu	Fe	Al
(% wt.)	7,10	0,30	0,15	0,33	91,80

O molde foi fabricado em areia cura frio para prolongar a taxa de resfriamento de modo a permitir maior interferência da vibração no fundido. Uma plataforma vibratória horizontal com frequência e 60 Hz e amplitude de 0,05mm foi utilizada para vibrar o molde. Dois moldes foram utilizados, um para o fundido submetido a vibração e outro para o vazamento estático. Cada molde forneceu dois corpos de prova em formato de tronco de cone, cada um com 50 mm de altura, diâmetros de 15 mm e 35 mm nas partes de baixo e de cima, respectivamente, como pode ser visto na Figura 1.

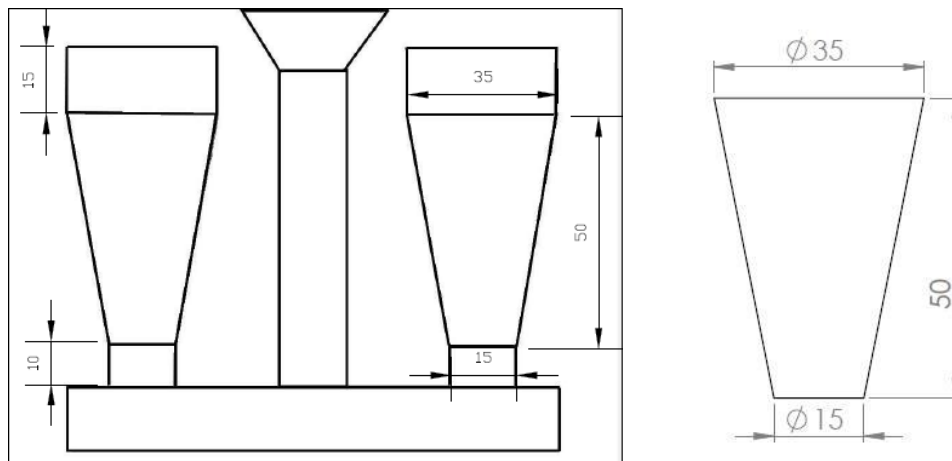


Figura 1 - Dimensões corpo de prova

A fusão da liga ocorreu em um forno tipo cadinho com resistência elétrica, ambos envoltos por manta de fibra de vidro para proteção e isolamento. Termopares tipo “J” foram utilizados para garantir a temperatura do fundido em 750°C para o vazamento. Nos corpos de prova submetidos a vibração, o molde foi posto na plataforma vibratória e então vazados. Nos corpos de prova sem vibração, o molde foi vazado em uma superfície plana.

Após a desmoldagem e limpeza os corpos de prova foram usinados para o diâmetro de 12 mm. Foram preparados cinco corpos de prova correspondentes às alturas de 10 mm, 17 mm, 24 mm, 37 mm e 44 mm em relação ao menor diâmetro do corpo de prova.

Os corpos de prova foram embutidos em baquelite e preparados por lixamento e polimento. O ataque químico foi feito com ácido fluorídrico (HF) com concentração

de 0,5% por aproximadamente 1 minuto. Os corpos de prova foram avaliados por Microscopia Ótica (MO) com o equipamento MEIJI.

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers (HV) carga de 1000 gf (9,8N) em cada um dos corpos de prova. O equipamento utilizado foi microdurômetro marca TIME modelo TH710.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os resultados da microdureza Vickers para as diferentes alturas dos corpos de prova com e sem vibração.

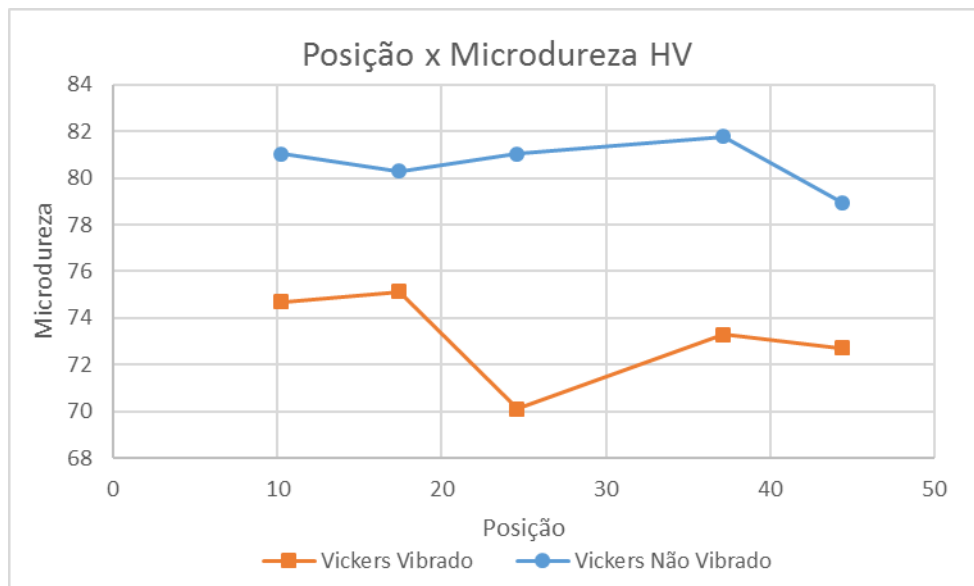


Figura 2 - Microdureza Vickers nas diferentes alturas (módulos de *Chvorinov*) avaliados

Nos corpos de prova com vibração a microdureza Vickers apresentou valor médio que variou de 75 a 73 HV do menor para o maior módulo para as amostras vibradas e de 81 a 79 HV para as amostras não vibradas. Deve-se observar que nas amostras submetidas a vibração, o menor valor de microdureza (70 HV) foi obtido na altura 24 mm (módulo de *Chvorinov* de 0,596 cm) que fica próxima ao centro do corpo de prova. Para as amostras não vibradas o menor valor de microdureza (79 HV) corresponde a maior altura que corresponde a menor taxa de solidificação.

As condições de vibração utilizadas neste estudo (frequência de 60 Hz e amplitude 0,05 mm) resultaram no decréscimo da microdureza Vickers para todas as

alturas avaliadas, diferentes do que foi relatado em outros estudos ^(6, 7, 11). Como a vibração fornece energia para o corpo de prova, as taxas de solidificação das amostras vibradas são de fato menores do que a dos corpos de prova não vibrados, o que poderia ser uma das razões para a menor microdureza obtida nestas amostras.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as microestruturas obtidas para os corpos de prova vibrados e não vibrados para as alturas de 10, 24 e 44 mm respectivamente.

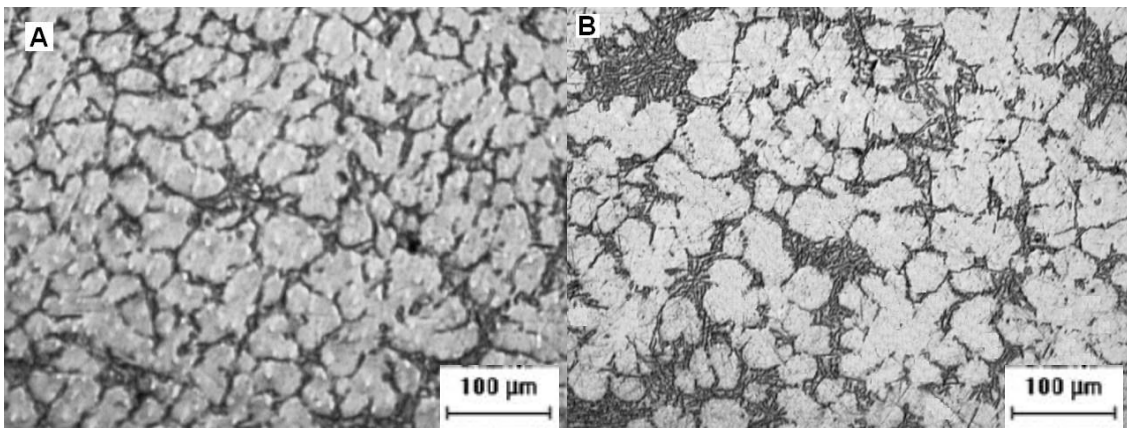


Figura 3 - (A) Corpo de prova Não Vibrado; (B) Corpo de prova Vibrado. Altura de 10 mm.

Na altura de 10 mm a microestrutura dos corpos de prova submetidos a vibração não apresentaram um refinamento microestrutural pronunciado como o observado em outros trabalhos ^(2-4, 6, 7, 11). A amostra não vibrada apresenta-se com uma microestrutura um pouco mais refinada, se pode inferir que o efeito da taxa de solidificação nesta altura foi mais efetivo do que a vibração, o que justifica o maior valor de microdureza apresentado pela amostra não vibrada. Porém podem-se observar na amostra vibrada algumas regiões com formato arredondado. Estruturas com forma globular e aspecto de rosetas foram relatadas em outros trabalhos que utilizaram vibração na liga 356.0 ^(8,13).

Na altura de 24 mm o efeito da vibração se torna mais pronunciado e se pode observar muitas regiões em que a fase eutética (α -Al e Si) apresenta formato globular com aspecto de rosetas como relatado em Jian *et al.* (2006) ⁽⁸⁾. Ainda de acordo com estes autores esta mudança na forma do eutético não esta associada apenas ao refinamento, mas poderia indicar que a nucleação do eutético é independente das dendritas primárias vizinhas ⁽⁸⁾.

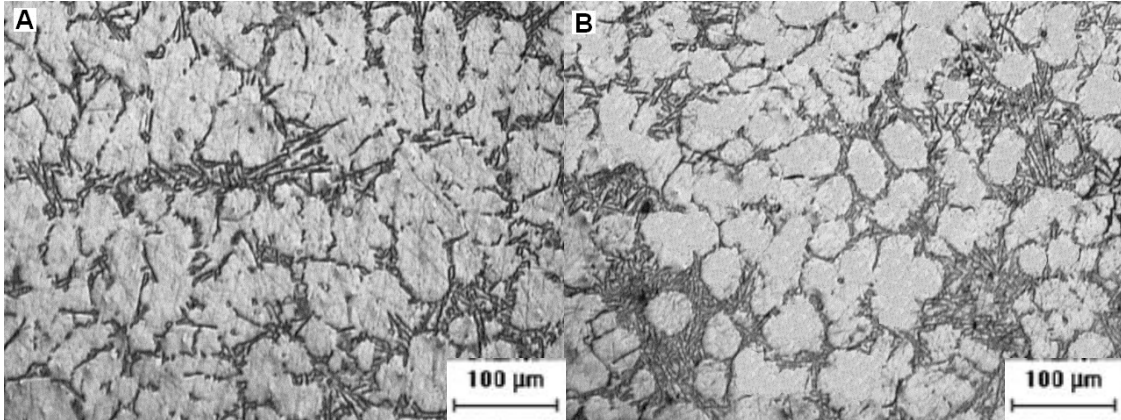


Figura 4 - (A) Corpo de prova Não Vibrado; (B) Corpo de prova Vibrado. Altura de 24 mm.

Na altura de 24 mm se observa no corpo de prova vibrado o menor valor de microdureza, o que é consistente quando se observa a microestrutura, pois ligas que sofrem modificação da fase eutética com aspecto fibroso tem sua ductilidade aumentada, com a consequente redução da dureza.

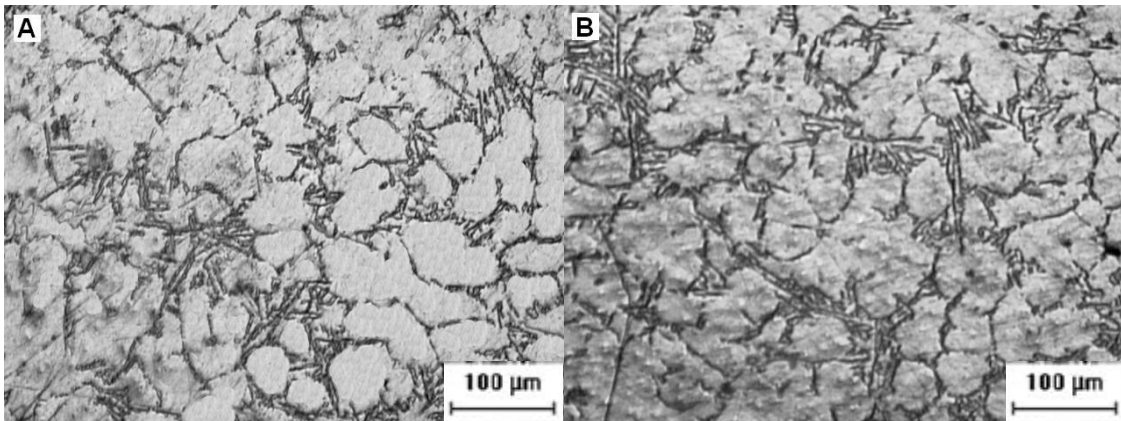


Figura 5 - (A) Corpo de prova Não Vibrado; (B) Corpo de prova Vibrado. Altura de 44 mm.

Na altura de 44 mm não se observa diferença entre a microestrutura do corpo de prova vibrado em relação ao corpo de prova solidificado estaticamente. As microestruturas apresentadas nesta altura se apresentam mais grosseiras em relação as demais seções do corpo de prova avaliadas, resultado de uma menor taxa de solidificação, pois é a região de maior módulo de *Chvorinov* em relação as demais alturas avaliadas.

De acordo Chirita *et al.* (2009) ⁽¹⁴⁾ a vibração pode ser benéfica, bem como prejudicial, dependendo de fatores como nível de aceleração (frequência e amplitude) e características da liga e do molde utilizados, o que justifica a realização de estudos para que os mecanismos envolvidos possam ser esclarecidos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir da caracterização com Microdureza Vickers e Microscopia Ótica utilizados para avaliar o efeito da vibração mecânica na solidificação da liga de alumínio 356.0 permitem ressaltar os seguintes pontos conclusivos:

As condições de vibração mecânica utilizadas neste estudo (frequência de 60 Hz e amplitude 0,05 mm) resultaram no decréscimo da microdureza Vickers para todos os módulos de *Chvorinov* avaliados.

Os parâmetros de vibração utilizados neste experimento foram adequados para promover uma mudança na morfologia do eutético Al-Si, a qual apresenta forma globular e aspecto de rosetas, a altura de 24 mm ou módulo de *Chvorinov* de 0,596 cm, foi a que apresentou este comportamento de forma mais pronunciada.

REFERÊNCIAS

- (1) AMERICAN SOCIETY FOR METALS, **Metals Handbook**, v. 2, p 619, 1990.
- (2) TAGHAVI F., SAGHAFIAN H., KHARRAZI Y.H.K., Study on the effect of prolonged mechanical vibration on the grain refinement and density of A356aluminum alloy. **Materials and Design**, v. 30, p 1604-1611, 2009.
- (3) ABU-DHEIR N., KHRAISHEH M., SAITO K., MALE A., Silicon morphology modification in the eutetic Al-Si alloy using mechanical mold vibration. **Materials Science and Engineering A**, v. 393, p 109-117, 2005.
- (4) LIMMANEEVICHITR C., PONGANANPANYA S., KAJORNCHAIYAKUL J., Metallurgical structure of A356 aluminum alloy solidified under mechanical vibration:

An investigation of alternative semi-solid casting routes. **Materials and Design**, v. 30, p 3925-3930, 2009.

(5) KOCATEPE K., Effect of low frequency vibration on porosity of LM25 and LM6 alloys. **Materials and Design**, v. 28, p 1767-1775, 2007.

(6) PILLAI, R.M., BIJU KUMAR K.S., PAI B.C., A simple inexpensive technique for enhancing density and mechanical properties of Al-Si alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 146, p 338-348, 2004.

(7) JIANG W., FAN Z., CHEN X., WANG B., WU H., Combined effects of mechanical vibration and wall thickness on microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy produced by expendable pattern shell casting. **Materials Science and Engineering A**, v. 619, p 228-237, 2014.

(8) JIAN X., MEEK T.T., HAN Q., Refinement of eutectic silicone phase of aluminum A356 alloy using high-intensity ultrasonic vibration. **Scripta Materialia**, v. 54, p 893-896, 2006.

(9) PILLAI N.R., Effect of low frequency mechanical vibration on structure of modified Aluminum-Silicon Eutectic. **Metallurgical Transactions**, v. 3, p 1313-1316, 1972.

(10) HANNA M.D., SHU-ZU L., HELLAWELL A., Modification in the Aluminum Silicon System. **Metallurgical Transactions A**, v. 15, p 459-469, 1984.

(11) LÜ S., WU S., DAI W., LIN C., AN P., The indirect ultrasonic vibration process for rheo-squeeze casting of A356 aluminum alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 212, p 1281-1287, 2012.

(12) WU S., ZHONG G., AN P., WAN L., NAKAE H., Microstructural characteristics of Al-20Si-2Cu-0.4Mg-1Ni alloy formed by rheo-squeeze casting after ultrasonic vibration treatment. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 22, p 2863-2870, 2012.

(13) JIAN X., XU H., MEEK T.T., HAN Q.; Effect of power ultrasound on solidification of aluminum A356 alloy. **Materials Letters**, v. 59, p 190-193, 2005.

(14) CHIRITA, G.; STEFANESCU, I.; SCARES, D.; SILVA, F. S. Influence of vibration on the solidification behaviour and tensile properties of an Al-18 wt%Si alloy. **Materials and Design**, v. 30, n. 5, p. 1575-1580, 2009.

STUDY OF THE EFFECT OF VIBRATION ON SOLIDIFICATION OF ALUMINUM ALLOY 356.0

ABSTRACT

The vibration in the solidification of aluminum alloys results in grain refinement, more homogeneous microstructure and contributes to degassing. The objective of this study was to evaluate the effect of mechanical vibration on the solidification of aluminum alloy 356.0. In the study, we used a specimen with Chvorinov module ranging 0.375 and 0.837 cm. Molds with two specimens were made in cold-box sand and undergone pouring to 750 °C. Solidification occurred in static and mechanical vibration frequency of 60 Hz and amplitude of 0.05 mm. The characterization was performed by optical microscopy and microhardness. The mechanical vibration conditions used in this study (frequency of 60 Hz and amplitude of 0.05 mm) resulted in decreased Vickers microhardness for all *Chvorinov* modules evaluated. The microstructure of eutectic Al-Si presented changing morphology in samples subjected to vibration, and height of 24 mm (module 0.596 cm) this effect was more pronounced.

Keywords: Casting; Solidification; Vibration; Aluminum alloys.