

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE VAZAMENTO NA TIXOCONFORMAÇÃO DA LIGA A332 MODIFICADA POR ESTRÔNCIO

Bruno Edu Arendarchuck¹

Hipólito Domingo Carvajal Fals²

Luciano Augusto Lourençato³

William Krainski Gubert⁴

Bruno Flávio Santos Felipe⁵

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa - Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 - Jardim Carvalho - CEP 84017-220 - Ponta Grossa - PR - Brasil

Edu9831@hotmail.com ¹, hipolitofals@utfpr.edu.br ², lalouren@utfpr.edu.br ³, william.krainski@gmail.com⁴, brunofsfelipe@gmail.com⁵

Resumo. O aprimoramento de ligas de alumínio já com uso consolidado, fomenta e favorece o desenvolvimento dos campos de pesquisa. Desta maneira, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da temperatura de vazamento na microestrutura e microdureza da liga de alumínio A332, com a adição de duas diferentes porcentagens de estrôncio, após o processo de tixoconformação. A obtenção das diferentes ligas, com seu vazamento nas temperaturas de 680 °C e 750 °C, foi obtida com adição somente do refinador em conjunto com o estrôncio nas quantidades de 200 e 600 ppm. Na sequência, efetuou-se o processo de tixoconformação com a globularização nos tempos de 0 e 90s. Para avaliação dos resultados foram realizadas análises metalográficas e de microdureza Vickers (na borda no meio e no centro dos corpos de prova). Os resultados revelaram que com aumento da temperatura de vazamento houve também um aumento nos valores médios de microdureza da seção transversal. Por meio da avaliação metalográfica no MEV, constatou-se que o aumento da temperatura incrementou o efeito do refinador dos grãos. Também, nas amostras tixoconformadas ocasionou uma alteração tanto morfológica dos glóbulos como na quantidade de fase líquida presente na temperatura de semissólido.

Palavras chave: 1. Refinamento 2. Morfologia 3. Efeito Esponja 4. Globularização 5. Microdureza

1. INTRODUÇÃO

O alumínio e suas ligas são materiais extremamente versáteis, possuindo aplicações desde utilidades domésticas, setor automotivo, e até setores com grande desenvolvimento como o aeroespacial. As ligas de alumínio se tornaram um dos principais materiais de engenharia, em termos de usinabilidade, conformabilidade e soldabilidade. Em meio a este universo de possibilidades, se destacam para fundição ou forjamento as ligas de Al-Si devido a sua grande fluidez, proporcionada pela adição do Si (Singh *et al.* 2013).

Para a fabricação de peças e componentes de ligas de alumínio vários processos podem ser utilizados. Dentro deste universo, uma das técnicas que segundo Nafisi e Ghomashchi (2016) vem ganhando importância é o processamento de material em estado semissólido (SSM). Esta tecnologia foi desenvolvida no início da década de 70 pela equipe de Merton Flemings (1972), sendo que este processamento de material semissólido reaquecido é conhecido como tixoconformação.

A tixoconformação, de forma simplificada, envolve o aquecimento do material até uma temperatura com fração sólida desejada, seguido de uma manutenção neste patamar (tratamento de globularização), e na sequência a conformação em uma matriz com geometria desejada para formação do produto. Alguns exemplos de aplicações foram publicados por Atkinson (2005), fazendo referência a utilização desta tecnologia pela Vforge nos EUA para produzir cilindros mestres e válvulas de um sistema de freio antibloqueio, assim como cilindros mestre de direção automotiva, entre outros componentes automotivos.

Durante o processamento de um material por tixoconformação, a morfologia, o tamanho e tipo da microestrutura preliminar são de suma importância para a qualidade e propriedades mecânicas dos materiais processados em estado semissólido. Zoqui *et al.* (2014) confirmaram que a estrutura que apresentar menor e mais homogêneo grão globular da fase primária possuirá o melhor comportamento na conformação semissólida, assim como também as melhores propriedades mecânicas.

No caso particular das ligas Al-Si, como a A332, embora muito apreciadas em características e propriedades mecânicas, tem na sua formação microestrutural durante o resfriamento alguns problemas, que podem influenciar o processamento em estado semissólido. Nestas ligas a morfologia da fase eutética se apresenta com plaquetas facetas de Si, o que provoca a diminuição da ductilidade e alongamento do material (Ferreira, 2017).

Segundo Nogita, McDonald e Dalhe (2004), alguns elementos químicos adicionados na produção da liga possuem a capacidade de modificar esta morfologia do Si eutético, formada durante a solidificação tradicional. Os mais utilizados

são o sódio e estrôncio, fazendo com que a estrutura facetada de Si, se transforme em uma morfologia fibrosa, melhorando as propriedades mecânicas. Também, Ferreira *et al.* (2020), mostraram que a adição de Sr diminuem o tamanho das placas de Si e das partículas Fe- β , melhorando também a formação globular da fase de Al primária. Os autores ainda observaram que adição de 150 ppm de Sr, permite uma melhora na viscosidade aparente e na tensão de cisalhamento da liga A380 em estado semissólido.

Por outro lado, como foi observado por Pius (2000), as condições de vazamento afetam de forma direta ou indiretamente o conjunto de propriedades mecânicas nos materiais fundidos. Neste sentido, segundo Ferreira *et al.* (2019), o aumento na temperatura de vazamento na liga Al-4.0%Cu (% em peso) foi responsável pelo efeito de refinamento na morfologia dendrítica. Além disso o autor também comprovou, utilizando de espectroscopia de fluorescência de raios X, a influência da temperatura de vazamento nos perfis de microsegregação.

Neste sentido, Zou *et al.* (2020), também confirmam que o vazamento da liga e suas variáveis envolvidas é uma das etapas mais críticas no processo de fundição, a fim de obter um material com propriedades mecânicas superiores. O autor explica que de modo especial que a temperatura de vazamento deve ser analisada com grande cuidado, para evitar problemas como trincas a quente e favorecer a formação de uma microestrutura que ampare a apresentação de suas propriedades correlatas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é analisar a influência da temperatura de vazamento nas variações da microestrutura e microdureza da liga de alumínio A332, com a adição de duas diferentes porcentagens de estrôncio, após o processo de tixoconformação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada uma liga de alumínio A332 proveniente da reciclagem. O material foi fundido no forno de indução GRION com potência de 35kW. As amostras foram preparadas sob 3 diferentes condições de balanceamento químico e duas temperaturas distintas de vazamento.

Na primeira foi adicionado 0,2% de Ti com o intuito de refinar a fase α do alumínio, sendo que esse refinador foi adicionado na forma da liga Al-5Ti1B e tem uma composição química 94%Al-5%Ti-1%B (% em peso). Na segunda e terceira condições, foi colocado junto ao refinador de grão, 200 e 600 ppm de Sr, adicionado na liga com a composição química de 90%Al-10%Sr (% em peso). As ligas fundidas obtidas nas composições químicas desejadas, foram ainda vazadas com duas temperaturas distintas, como detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de vazamento realizadas (Autoria Própria)

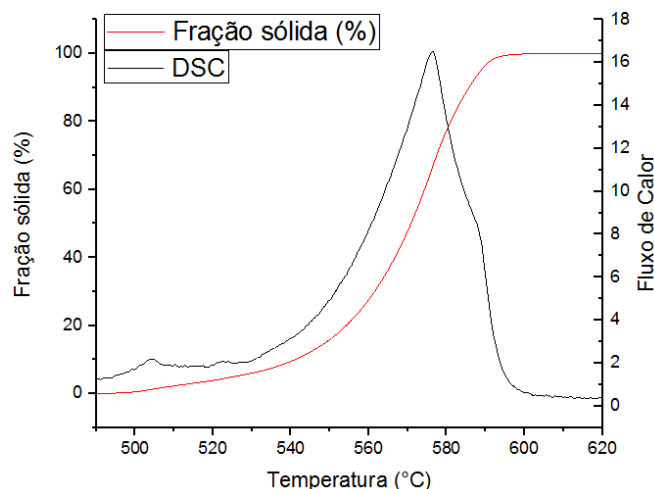
Amostras	A332 [Kg]	Refinador [g]	Modificador [g]	Temperatura [°C]
A	2,525	105	0	680
B	2,503	105	6	680
C	2,528	109	16	680
D	2,484	105	0	750
E	2,511	105	6	750
F	2,545	107	16	750

Para a realização do processo de tixoconformação, determinação da fração sólida e da temperatura de semissólido, foram realizados ensaios DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) no equipamento SETARAM modelo LABSYS EVO com uma taxa de aquecimento e resfriamento de 5°C/min. Com base no experimento, determinou-se a temperatura de 567°C correspondente a fração sólida de 45%, como pode ser comprovado no Gráfico 1. Para a tixoconformação, os lingotes provenientes da fundição foram usinados a fim de padronizar suas dimensões.

Na fase de aquecimento para realização da tixoconformação, os lingotes foram submetidos ao tratamento de globularização. Um aquecimento parcial do material foi realizado numa bobina cilíndrica de indução com uma taxa de 45°C/min, sendo que suas extremidades eram tampadas com manta térmica, ficando apenas um espaço para passagem do termopar tipo K (*Cromel Alumel*), para o controle da temperatura. O aquecimento foi realizado com 20% da potência da bobina até 400 °C, após alcançar este valor a potência foi reduzida para de 15 até 13%. Quando o lingote atingia a temperatura de semissólido (567°C), eram utilizados dois tempos de permanência (0 e 90s), os quais para propiciar o tratamento de globularização. A tixoconformação foi realizada em uma matriz aberta, numa prensa hidráulica de capacidade de 40 t.

As análises metalográficas foram realizadas nas amostras com condições como fundidas e após a tixoconformação. A preparação metalográfica foi realizada conforme os passos de: embutimento a quente, lixamento com lixas na sequência de 300, 600 e 1200 Mesh, polimento com suspensão de diamante de 0,3 e 0,1 μm , sendo que em seguida procedeu-se mais um polimento vibratório em sílica coloidal de 0,04 μm .

Gráfico 1. Relação da fração sólida com temperatura da liga A332 (Autoria Própria)



As análises das amostras foram realizadas em três pontos da seção transversal, conforme pode ser visto na Figura 1, sendo que elas possuíam dimensões de aproximadamente 15mm por 10mm. Os pontos de medições foram realizados à 2 mm das bordas e centralizados. Estas análises foram realizadas a fim de verificar as mudanças macro e microestruturais e de microdureza, provocadas pelo processo de tixotrofia da liga, nas condições experimentais utilizadas. Foram realizadas medições de microdureza, conforme a norma ASTM E384, na seção transversal das amostras em todas as condições experimentais desenvolvidas no trabalho. Foi utilizada na testagem das amostras uma força de 300 gf.

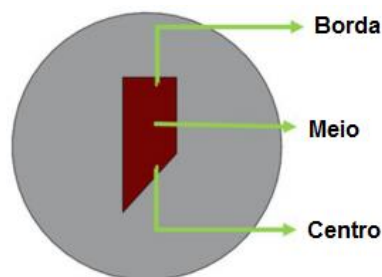


Figura 1. Esquema das amostras embutidas e seus respectivos pontos de testagem (Autoria Própria)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Microestrutura da Liga A332 como fundida

Foram analisadas as características microestruturais após a fundição da liga A332, conforme as duas diferentes temperaturas de vazamento (680°C e 750°C). Os resultados obtidos evidenciaram diferenças significativas em função das condições de processamento, influenciadas ainda pelo efeito do refinamento com Al-5Ti1B e modificações causadas pelo Sr que foi adicionado nas proporções de 200ppm e 600 ppm.

Nas imagens da Fig. 2, (A, B e C), observa-se as amostras vazadas com 680°C, e nas imagens D, E e F, aquelas que foram vazadas com 750°C, incluindo o refinamento e outras modificações usadas neste trabalho.

Na análise microestrutural da Liga A332 em estado fundido e refinada, mostrada na Fig. 2A, se constata uma microestrutura composta da fase α -Al, a fase eutética Al-Si, placas de Si e a presença de Fe- β com estrutura acicular. Conforme análises do diagrama ternário AlFeSi feitas por Sigworth (2014), esta composição microestrutural pode ser embasada a partir da composição química da liga A332, com base nas fases formadas durante a solidificação.

O efeito da modificação com Sr, pode ser constatado nas imagens da Figura 2, (B e C) verificando-se que a fase eutética Fe-Si ficou mais aparente, e ainda refinada na medida que se aumentou a concentração de Sr na liga A332. Ainda a fase acicular de Fe- β , foi mais fina e menor, como também foi verificado no trabalho de Ferreira *et al.* (2020). Os autores, comprovaram este comportamento em ligas A380 modificadas com Sr, e explicam que não existe um mecanismo claramente detalhado na literatura, no entanto alguns argumentos estão relacionados com a fragmentação e dissolução da fase Fe- β com o incremento de Sr.

Nas imagens da Fig. 2, (D, E e F), observa-se as microestruturas das amostras vazadas com maior temperatura (750 °C). Se observa que o aumento da temperatura de vazamento até 750°C incrementou o efeito do refinador dos grãos. Este mesmo efeito é mencionado por Ferreira *et al.* (2019). Também, esta estrutura refinada observa-se nas microestruturas que foram modificadas com 200 ppm e 600 ppm de Sr. A adição de Sr possibilitou identificar com clareza a fase eutética e a fase primária, mesmo liga vazada com menor temperatura. O que foi provocado claramente pela adição de Sr, que modifica o mecanismo de nucleação do Si eutético, o qual se dá na forma de grãos fibrosos. Na Fig. 2.F, é possível notar uma microestrutura, muito semelhante à mostrada na Fig 2.C, em sua morfologia de grão mantendo a chamada forma de “alga”, sem demonstrar uma forma super modificada, porém o que se apresenta é o silício em sua forma fibrosa e ainda em forma de placas.

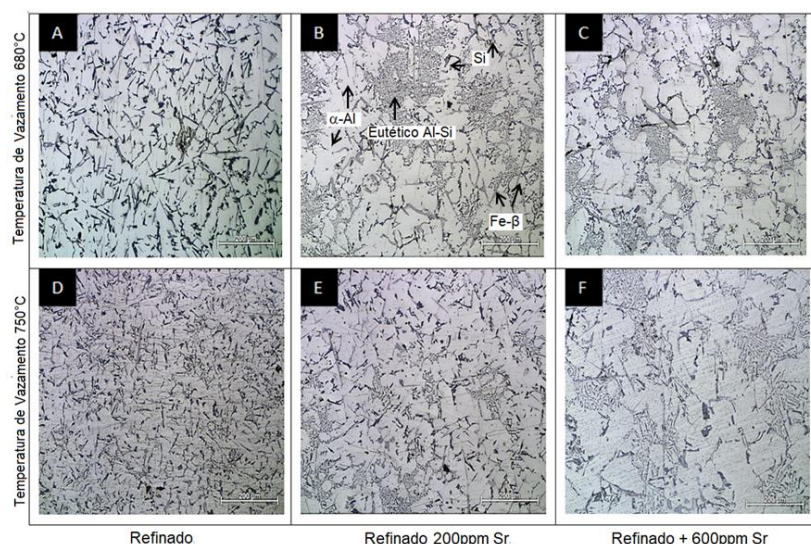


Figura 2. Microestrutura das amostras da liga A332 como fundida (Autoria Própria)

3.2 Amostras Tixoconformadas

O processo de tixoconformação, como esperado, conferiu uma excelente deformação do material em estado semissólido por consequência da alta viscosidade, que neste caso era de 45% de Fs. No entanto, mudanças no comportamento tixotrópico do material podem acontecer devido as diferenças na Fs, como consequência das variações na composição química da liga, quando adicionado 200 ppm e 600 ppm de Sr. Nesse sentido, Ferreira (2017) reconheceu em seu trabalho sobre tixoconformação de uma liga A380 que a adição de 200 ppm de Sr promoveu uma queda de 2°C na temperatura de final da fusão da fase eutética Al-Si. Já para a condição com 600ppm essa queda foi ainda maior, cerca de 3°C.

Também, mudanças no comportamento tixotrópico do material podem ocorrer como consequência da microestrutura prévia ao aquecimento na temperatura de semissólido. Microestruturas dendríticas precisam de mais energia para quebrar os braços dendríticos e transformar a microestrutura para uma morfologia globular, necessária para um melhor comportamento tixotrópico. Neste trabalho, foi comprovada a obtenção de microestruturas com dois tipos diferentes de refinamento da fase α -Al, provocada pela variação da temperatura de vazamento, e ainda a adição de Sr na transformação da fase eutética. Ambos aspetos podem afetar a morfologia dos glóbulos, e a quantidade de fase líquida na temperatura de semissólido selecionada, assim consequentemente mudar o desempenho no processo de tixoconformação.

Na Fig.3, estão representadas as imagens metalográficas das seções transversais de amostras tixoconformadas da liga A332, que foram vazadas a 680°C, e passaram pelo processo de tixoconformação com 0 s e 90s de tempo de retenção na temperatura de semissólido, nas condições de refinada, modificada com 200 ppm e 600 ppm de Sr. As imagens correspondem com a formação microestrutural da seção transversal.

De forma geral percebe-se na Fig.3 que o processo de tixoconformação provocou mudanças na morfologia da microestrutura das amostras, mostrando principalmente uma microestrutura globular da fase α -Al, com claras evidências do silício em forma de placas, complementada pela fase eutética Al-Si e Fe- β de forma acicular. Se constata que o efeito do Sr como refinador da fase eutética manteve-se após o aquecimento na temperatura de semissólido, ficando a fase eutética mais aparente, nas duas concentrações utilizadas no trabalho. Também foi comprovado que o Sr favoreceu a formação globular do α -Al, apesar de 0 segundos de tempo de retenção na temperatura semissólido.

As imagens metalográficas mostram heterogeneidade microestrutural na seção transversal das amostras tixoconformadas, independente da condição refinada ou modificada (Fig. 3). Isto pode significar, que o processo de tixoconformação provocou variações na distribuição de fases na seção transversal, provavelmente devido ao fluxo de material em estado líquido e pastoso durante a deformação em estado semissólido.

Na região central da seção transversal (Fig. 3B), quando adicionado Sr na liga, aparecem nas imagens zonas com alta heterogeneidade microestrutural, caracterizadas por zonas com morfologia globular e a fase eutética interglobular, contornadas por zonas em forma de blocos de placas de silício, que aparentemente foram resultado da deformação plástica na temperatura semissólido. Este aspecto, é importante e pode influenciar nas propriedades mecânicas destes materiais tixoconformados.

A explicação deste efeito segundo Hirt e Kopp (2009), possivelmente pode se dar com a formação do “Efeito Esponja”. O material reaquecido é comprimido plasticamente, de forma que a fase líquida que está embutida nos espaços entre as partículas sólidas é repelida da fase sólida compacta. Este efeito em geral deve ser evitado para não ocorrer problemas nas propriedades mecânicas dos materiais. Contudo em alguns casos pode ser utilizado positivamente como uma opção alternativa para a produção de componentes com gradiente microestrutural.

Nas imagens metalográficas, Figs. 3 (D, E, F), das seções transversais das amostras tixoconformadas, com maior tempo de retenção (90 s) na temperatura de semissólido, e vazadas a 680°C percebe-se alterações morfológicas. Se constata que diferentemente das amostras tixoconformadas com 0 s de tempo de retenção, nas amostras sem modificação com Sr, foram formados os glóbulos da fase primária α -Al, como consequência do maior tempo de retenção.

Com o aumento do tempo de retenção, também é observado na Fig. 3 a influência do Sr na formação da fase eutética Al-Si, é possível constatar o maior aspecto fibroso desta fase, quando adicionado 600 ppm deste elemento. Ao se aumentar o tempo de retenção, ocorre uma diminuição da heterogeneidade microestrutural na seção transversal. No entanto, se observa alguns blocos de placas de silício organizados em bandas, que pode ser consequência do processo de deformação plástica imposta no processo, como foi explicado.

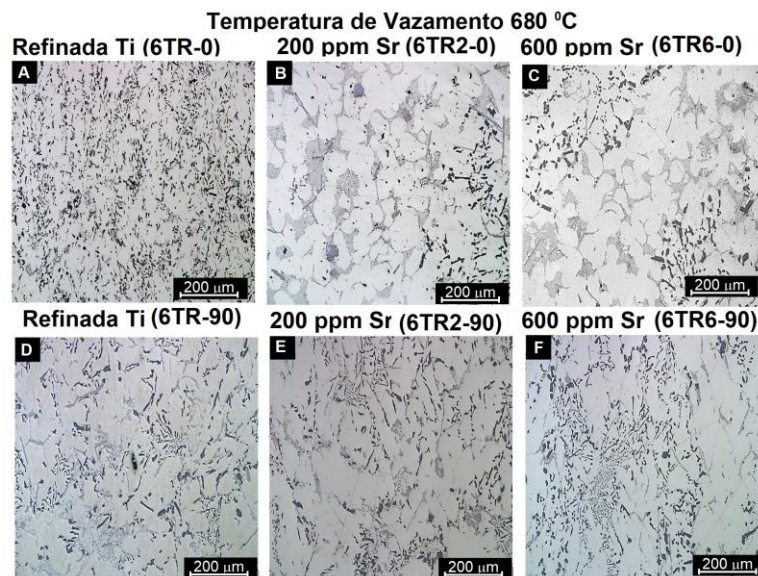


Figura 3. Microestrutura da liga A332 tixoconformada, vazada a 680°C com 0s e 90 s de retenção (Autoria Própria)

Na Fig. 4, se mostram as imagens metalográficas das seções transversais de amostras da liga A332, que foram vazadas com maior temperatura (750 °C) e tixoconformadas com 0 s e 90 s de tempo de retenção. Nesta figura, detalham-se ainda as condições: refinada, modificada com 200 ppm e com 600 ppm de Sr.

A diferença das amostras vazadas com menor temperatura (680 °C), é destacada na Fig. 4, onde amostras vazadas com maior temperatura (750 °C) apresentaram uma morfologia globular mais definida, provavelmente devido ao efeito do refinamento da microestrutura de fusão, como já foi verificado.

Ainda na Fig. 4, é possível comprovar uma modificação da fase eutética com o aumento da temperatura de vazamento nas amostras onde foi adicionado 600 ppm de Sr, demonstrando uma morfologia constante em toda a seção transversal das amostras. No entanto, nas amostras modificadas com 200 ppm de Sr, não foi observada claramente a influência do Sr na fase eutética, mantendo a morfologia da condição sem Sr.

Nas imagens da Fig. 4 (D, E, F), mostram-se as imagens metalográficas das seções transversais de amostras da liga A332 que foram vazadas com 750 °C e tixoconformadas, com 90 s de tempo de retenção. Nesta condição com maior temperatura de vazamento e maior tempo de retenção, a microestrutura após a tixoconformação mostrou-se com glóbulos mais equiaxiais, e alongados em algumas regiões das amostras, principalmente na região do centro.

A distribuição mais homogênea do eutético nos contornos dos grãos da fase α -Al ao longo da amostra pode ser visualizada e possivelmente atribuída ao maior tempo de globularização que proporcionou um melhor rearranjo a estrutura.

Uma situação semelhante foi observada por Nafisi *et al.* (2006), em seu trabalho onde verificou a influência do refinamento e a modificação usando ligas mestre Al5Ti1B e Al10Sr adicionadas ao A356. Os autores mostram que eventualmente a redução da segregação de líquido para o caso pode ser atribuída à melhor distribuição das partículas primárias e α -Al mais esféricas nas amostras.

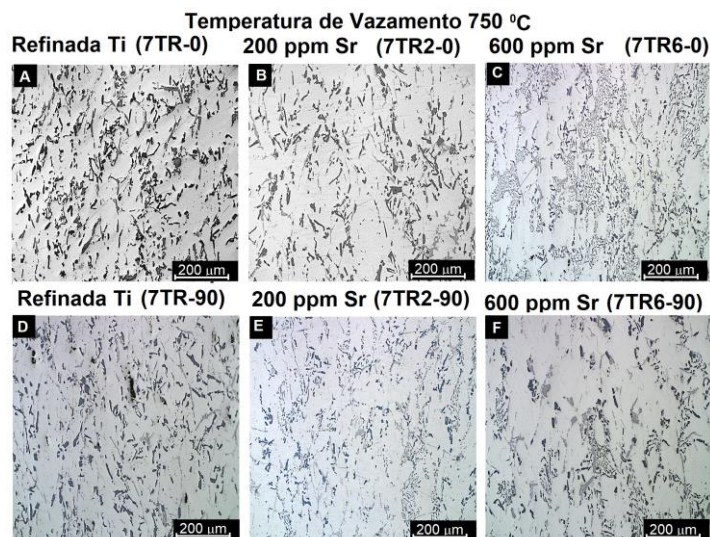


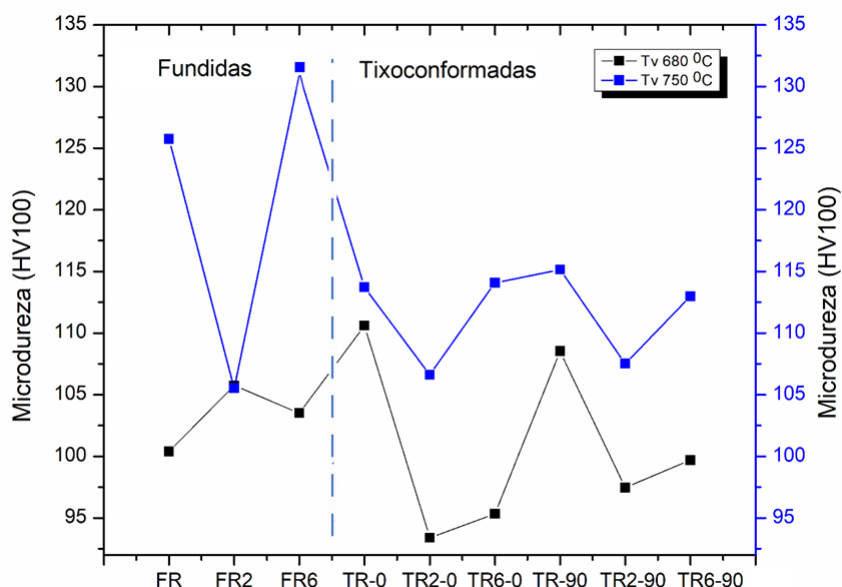
Figura 4. Microestrutura da liga A332 tixoconformada, vazada a 750°C com 0s e 90s de retenção (Autoria Própria)

3.3 Análises de microdureza

No Gráfico 2 são apresentados os valores médios de microdureza da seção transversal das amostras vazadas nas duas temperaturas. São mostrados também os valores para as amostras nas condições como fundidas e tixoconformadas, ambas refinadas e modificadas com 200 ppm e 600 ppm de Sr

Os resultados mostraram que na liga estudada o uso de maior temperatura de vazamento (750 °C) provocou um aumento dos valores médio de microdureza da seção transversal. Isto aconteceu tanto no material em estado fundido, como também após a tixoconformação, como se observa no Gráfico 2 .

Gráfico 2. Efeito da temperatura de vazamento nos valores médios de microdureza da seção transversal (Autoria Própria)



Nas amostras vazadas a 680 °C os maiores valores médios de microdureza foram atingidos nas amostras tixoconformadas sem modificação pelo Sr. Já os menores valores nas amostras tixoconformadas e modificadas com 200 ppm de Sr, independentemente da temperatura de vazamento e do tempo de retenção na temperatura de semissólido.

Com o aumento da temperatura de vazamento (750 °C), os maiores valores médios de microdureza (131 Hv) foram obtidos nas amostras fundidas, nas condições refinadas e modificadas com 600 ppm de Sr (7FR6), demonstrando o efeito do Sr nas mudanças microestruturais como a formação da fase eutética mais fina, fase intermetálica do Fe- β de menor espessura e comprimento, como já analisado.

No entanto, é importante ressaltar que nesta condição com aumento da temperatura de vazamento (750 °C), todas as amostras modificadas com 200 ppm de Sr, apresentaram os menores valores médios de microdureza. Este efeito está de acordo com o relatado na literatura, onde Haro-Rodríguez *et al.* (2011) em seu artigo sobre a influência do Ti e Sr na microestrutura, propriedades mecânicas, da liga eutética fundida de Al-Si-Mg, também verificou que possivelmente este efeito é devido à modificação do silício eutético e mudança da morfologia da fase β .

Também Hekimoğlu, Çaliş e Ayata (2019), em seu estudo sobre o efeito das adições de Sr e Mg na microestrutura e propriedades mecânicas de ligas de Al-12Si, perceberam que a redução da dureza com certo valor de Sr. Este fato pode ser resultado da modificação das estruturas eutéticas de Si e da mudança morfologia de outra fase presente: o aumento na proporção de volume da fase α rica em alumínio relativamente macia com o aumento da proporção de Sr também pode contribuir para a diminuição da dureza.

4. CONCLUSÕES

Com base nas análises referentes a verificação da influência da temperatura de vazamento na microestrutura e microdureza da liga A332 modificada pela adição de Sr e tixotrocoformada chegou-se à algumas conclusões:

- A morfologia da fase eutética de Si foi alterada para uma morfologia fibrosa em razão da adição do Sr, nas quantidades de 200 ppm e 600 ppm nas condições como fundidas e tixotrocoformadas.
- A temperatura de vazamento altera o tamanho de grão da liga A332, independentemente do processo de refino ou modificação da liga com Sr. Mantendo sua função de refinamento de grão mesmo após o processo de tixotrocoformação.
- A tixotrocoformação foi realizada com relativo sucesso, verificando-se o “Efeito Esponja” nas amostras com 0s de tempo de retenção, onde a fase líquida que está embutida nos espaços entre as partículas sólidas é repelida da fase sólida compacta. Além disso, no tempo de globularização de 90s, constata-se uma menor influência do fenômeno na heterogeneidade da microestrutura na seção transversal.
- O uso de maior temperatura de vazamento (750 °C) provocou um aumento da microdureza média da seção transversal. Isto aconteceu, tanto no material em estado fundido, como também após a tixotrocoformação. No entanto, a microdureza foi menor nas amostras tixotrocoformadas. As amostras modificadas com 200 ppm de Sr apresentaram os menores valores médios de microdureza, independentemente do estado como fundida ou tixotrocoformada.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Programa de Pós Graduação DIRPPG.

A Fundação Araucária pelo auxílio em fomento.

A CAPES - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM E384-17. 2017. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- Campbell, J. and Tiryakioğlu, M. 2010. Review of effect of P and Sr on modification and porosity development in Al-Si alloys. *Materials Science and Technology*, Vol. 26, p. 262–268.
- Ferreira, Alexandre Furtado. Chrisóstimo, Wemberson Bitencourt. Sales, Roberto Carlos. Garção, Wyslân Jefferson Lima. e de Paula Sousa, Nathália. 2019. “Effect of pouring temperature on microstructure and microsegregation of as-cast aluminum alloy”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 104, p. 957–965.
- Ferreira, J.P.G. Lourençato, L. A. Roca, A.S. Fals, H.C.D. 2020. “The Influence of Strontium on Microstructural and Rheological Behavior of the Semi-solid A380 Aluminum Alloy”. *Metallurgical and materials transactions A*, Vol. 21, p. 6421-6431.
- Ferreira, João Paulo Gabre, 2017. “Estudo microestrutural e reológico da liga reciclada de alumínio a380 modificada pela adição de estrôncio”. Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Ponta Grossa.
- Haro-Rodríguez, Sergio. Goytia-Reyes, Rafael E. Dwivedi, Dheerendra Kumar. Baltazar-Hernández, Víctor H. Flores-Zdñiga, Horacio. Pérez-López, María J. 2011. On influence of Ti and Sr on microstructure, mechanical properties and quality index of cast eutectic Al-Si-Mg alloy. *Materials and Design*, Vol. 32, p. 1865–1871.
- Hekimoğlu, Ali Paşa. Çaliş, Merve. e Ayata, Gizem. 2019. Effect of Strontium and Magnesium Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of Al-12Si Alloys. *Metals and Materials International*, Vol. 25, p. 1488-1499.

- Hirt, Gerhard. and Kopp, Reiner. 2009. “*Thixoforming: Semi-solid Metal Processing*”. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 1ª edição.
- Li, Ming. Li, Yuandong. and Zhou, Hongwei. 2020 “Effects of Pouring Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of the A356 Aluminum Alloy Diecastings”. *Materials Research*, Vol. 23, e20190676.
- Nafisi, S. Lashkari, O. Ghomashchi, R. Ajersch, F. A Charette. 2006. Microstructure and rheological behavior of grain refined and modified semi-solid A356 Al–Si slurries. *Acta Materialia*, Vol. 54, p. 3503-3511.
- Nafisi, Shahrooz. e Ghomashchi, Reza. 2016. “*Semi-Solid Processing of Aluminum Alloys*”. Springer, Suíça, 1ª edição.
- Nogita, K., McDonald, S. D. and Dahle, A. K. 2004 “Eutectic Modification of Al–Si Alloys with Rare Earth Metals”. *Materials Transactions*, Vol. 45 p. 323-326.
- Pius A. P. 2000. “*Effect of Some Casting Parameters on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy and Medium Carbon Steel*”. Eng Project Submitted to the Dept. of Mechanical Engineering, Federal University of Technology, Minna.
- Sigworth, G.K. 2014 “Fundamentals of Solidification in Aluminum Castings”. *International Journal of Metalcasting*, Vol. 8, p. 7–20.
- Singh, Mahipal. Bajwa, Manjinder. Sharma, Rohit. e Arora, Hitesh. “Behaviour of Aluminium Alloy Casting with the variation of Pouring Temperature and Permeability of Sand”. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 4, p. 1497-1503.
- Warrendale J. L. “Pouring Rate of Some Ferrous and Non- Ferrous Metals, Paper Presented at the Fourth”. In *Fifth Pittsburgh Annual Meeting of American Society of Metallurgical Engineers*, - 1981, p. 37-45, Pittsburgh.
- Zoqui, E. J., Paes, M., and Robert, M. H.. 2004. “Effect of macrostructure and microstructure on the viscosity of the A356 alloy in the semi-solid state”. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 153-154, p. 300–306.
- Zou, GuoTong. Zhang, HengHua. Yang, YiTao. Lu, FuMin. Yu, ZhongTu. and Wang, Chenjun. 2020. “Effects of Pouring and Mold Temperatures on the Fluidity and Hot Tearing Susceptibility of Al–3.5Si–0.5Mg–0.4Cu Alloy”. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Vol. 73, p. 2511–251.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

INFLUENCE OF POURING TEMPERATURE ON THE THIXOFORMING OF A332 ALLOY MODIFIED BY STRONTIUM

Bruno Edu Arendarchuck¹

Hipólito Domingo Carvajal Fals²

Luciano Augusto Lourençato³

William Krainski Gubert⁴

Bruno Flávio Santos Felipe⁵

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa - Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 - Jardim Carvalho - CEP 84017-220 - Ponta Grossa - PR - Brasil

Edu9831@hotmail.com¹, hipolitofals@utfpr.edu.br², lalouren@utfpr.edu.br³, william.krainski@gmail.com⁴, brunofsfelipe@gmail.com⁵

Abstract. The improvement of aluminum alloys already in consolidated use fosters and favors the development of research fields. Thus, the objective of this work is to evaluate the influence of the pouring temperature on the microstructure and microhardness of the A332 aluminum alloy, with the addition of two different strontium percentages, after the thixoconformation process. The process was carried out by melting the A332 alloy with the addition of refiners only or together with the strontium in the quantities of 200 and 600 ppm. making the pouring at temperatures of 680 °C and 750 °C. In the sequence the globularization process was carried out in the times of 0 and 90s and thixoconformation. To evaluate the samples, metallographic and Vickers microhardness analyses were performed on the edge, middle and center of the specimens. Revealing that with increasing pouring temperature, there was also an increase in the average microhardness values of the cross section. Through the metallographic evaluation in the SEM, it was found that the increase in temperature increased the effect of grain refinement. In the thixoconformed samples it also caused a morphological change in the globules, and in the amount of liquid phase present at the semi-solid temperature.

KeyWords: 1. Refinement 2. Morphology 3. Sponge Effect 4. Globularization 5. Microhardness

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.