

MINIMIZAÇÃO DA POROSIDADE EM PEÇAS INJETADAS DE ALUMÍNIO SOB PRESSÃO: revisão de literatura***MINIMIZATION OF POROSITY IN INJECTED ALUMINUM PARTS UNDER PRESSURE: literature review***

Fernando Cesar Silva – fernando.cesar.s@hotmail.com
faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) – Taquaritinga – SP – Brasil

Luiz Paulo Cadioli – luiz.cadioli@fatectq.edu.br
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) – Taquaritinga – SP – Brasil

DOI: 10.31510/inf.v20i1.1605

Data de submissão: 20/03/2023

Data do aceite: 29/05/2023

Data da publicação: 30/06/2023

RESUMO

Este artigo tem como tema a formação de porosidade em produtos injetados em alumínio sob pressão. Como é de conhecimento, a fundição do alumínio pode ocorrer por meio de métodos diferentes, conforme o uso e aplicabilidade do produto final. No caso da fundição sob pressão o uso atrela-se a necessidade de se obter peças com qualidade e alta precisão. A porosidade é uma problemática que acomete este tipo de processo. O estudo tem por objetivo principal verificar os processos utilizados para minimizar a formação de porosidade em peças injetadas em alumínio sob pressão e para isso buscou especificar os processos de fundição, especialmente aqueles que envolvem o alumínio. Os resultados deste estudo bibliográfico evidenciaram que algumas etapas devem ser observadas para reduzir a porosidade, tais como a qualidade da liga, o controle da temperatura, controle da pressão e tempo de resfriamento, a fim de minimizar a porosidade nas peças a partir da fundição sob pressão.

Palavras-chave: Porosidade. Fundição sob Pressão. Alumínio.

ABSTRACT

This article is about the formation of porosity in products injected in aluminum under pressure. As is well known, aluminum casting can occur using different methods, depending on the use and applicability of the final product. In the case of pressure casting, the use is linked to the need to obtain parts with quality and high precision. Porosity is a problem that affects this type of process. The main objective of the study is to verify the processes used to minimize the formation of porosity in parts injected in aluminum under pressure and, for that, it sought to specify the foundry processes, especially those involving aluminum. The results of this bibliographical study showed that some steps must be observed to reduce porosity, such as alloy quality, temperature control, pressure control and cooling time, in order to minimize porosity in parts from casting under pressure.

Keywords: Porosity. Pressure Casting. Aluminum.

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como tema a formação de porosidade em produtos injetados em alumínio sob pressão e considera a relevância da minimização deste defeito.

De acordo com Viana e Faria Neto (2013), as porosidades são falhas. Os vazios são provocados pela própria natureza do metal, que ao ser fundido, tende a apresentar porosidades que nada mais são que poros preenchidos com gases num local onde deveria encontrar-se o metal.

A porosidade é um defeito frequente na injeção de alumínio sob pressão e em grande parte ocorre quando há o aprisionamento de gases no decorrer do preenchimento da cavidade. A porosidade, por exemplo, oportuniza o aparecimento de trincas e uma redução da resistência mecânica. Desta forma, é necessário melhorar a qualidade da peça de alumínio fundido sob pressão e para isso a redução da porosidade é elemento significativo (VIANA; FARIA NETO, 2013).

Conforme Concer (2016) a injeção de alumínio sob pressão trata-se de um processo no qual a porosidade pode representar um percentual de 35% das falhas. Determinar a existência destes poros e definir os mecanismos de solução é algo complexo, mas existem alternativas capazes de reduzir a probabilidade da ocorrência de porosidade neste processo.

Este estudo se justifica pela necessidade de produzir ligas fundidas de alumínio com baixos níveis de porosidade, pois valores acima do parâmetro podem resultar em propriedades mecânicas inadequadas. As ligas de alumínio são amplamente utilizadas devido ao baixo custo de produção, no entanto, é necessário observar a formação de porosidade durante o processo de fundição sob pressão. Peças produzidas a partir deste processo são competitivas na contemporaneidade e significam uma inovação na engenharia, reduzindo custos em processos subsequentes, bem como o peso da peça (MARCHIOLI et al., 2023).

O objetivo geral deste estudo foi o de verificar os processos utilizados para minimizar a formação de porosidade em peças injetadas em alumínio sob pressão, enquanto o objetivo secundário foi especificar os processos de fundição, em particular os relacionados ao alumínio.

Este trabalho utilizou como metodologia a pesquisa bibliográfica. De acordo com Marconi e Lakatos (2014) este é o tipo de pesquisa em que se buscam materiais que já versaram sobre o tema, com o intuito de identificar as contribuições que servirão para fundamentar, teoricamente, a pesquisa que se pretende realizar.

Este estudo foi desenvolvido da seguinte forma, conforme pressupõe a metodologia científica: Introdução, Capítulo 1: Alumínio e suas ligas; Capítulo 2: Fundição - a) Processos de Fundição de Liga de Alumínio e b) Estruturas e Propriedades das Peças Fundidas de Alumínio; Capítulo 3: Formação de Porosidade em Produtos Injetados em Alumínio sob pressão e; Considerações Finais.

2 ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

De acordo com Martins (2008) as ligas de alumínio são classificadas conforme o sistema de numeração de quatro dígitos do *Aluminum Association* (AA) Este sistema de numeração é considerado um método de identificação de ligas de alumínio, o qual foi padronizado pela associação de alumínio dos Estados Unidos da América (EUA).

Conforme Coelho (2013) nesse sistema cada liga é identificada por um número de quatro dígitos, em que o primeiro faz indicação a série de ligas (por exemplo, 1xxx para ligas de alumínio puro, 2xxx para ligas de alumínio-lítio, 3xxx para ligas de alumínio-manganês, dentre outros). Os dois seguintes indicam a composição específica da liga dentro da série, e o último mostra a forma como a liga foi processada (por exemplo, 0 para ligas não tratáveis termicamente e 1 para ligas tratáveis termicamente).

Este sistema de numeração é utilizado de forma ampla na indústria do alumínio para identificar e especificar ligas de alumínio para diversos fins. O Quadro 1 mostra, portanto, os principais aspectos de classificação:

Quadro 1 - Principais aspectos de classificação das ligas de alumínio.

| ASPECTOS | SUBDIVISÕES |
|------------------------------|--|
| Composição | Alumínio comercialmente puro ou ligas de alumínio |
| Tratamento | Tratáveis termicamente ou não tratáveis termicamente |
| Modo de processamento | Trabalhadas ou fundidas |

Fonte: Coelho (2013, p. 18).

Conforme observado no Quadro 1, as ligas de alumínio são classificadas a partir da sua composição, do tratamento e do modo de processamento. As ligas de alumínio mais comuns e suas respectivas nomenclaturas são as seguintes:

Quadro 2 - Caracterização das ligas.

| LIGAS | CARACTERIZAÇÃO |
|------------------|---|
| Liga 1100 | Alumínio comercialmente puro, com 99% de pureza mínima. |
| Liga 2014 | Com adição de cobre, é utilizada em peças de aviação, como chapas e fusos de alta resistência. |
| Liga 2024 | Também contém cobre, é conhecida pela sua alta resistência à fadiga e ampla utilização na indústria aeronáutica. |
| Liga 3003 | Utilizada em chapas, tanques e tubos, com boas propriedades de soldabilidade e resistência à corrosão. |
| Liga 5052 | É resistente à corrosão e pode ser facilmente soldada, sendo amplamente utilizada na indústria naval e de construção civil. |
| Liga 6061 | Contém magnésio e silício, sendo utilizada em estruturas de aviação e na fabricação de bicicletas, além de peças de barcos e automóveis. |
| Liga 7075 | Com adição de zinco e magnésio, é uma das ligas mais fortes e resistentes, sendo utilizada em estruturas de aeronaves, bicicletas e equipamentos de escalada. |

Fonte: Adaptado de Martins (2008).

Observa-se, a partir do Quadro 2 que nomenclatura segue o padrão "AA" seguido dos quatro dígitos que indicam a composição química da liga. Observa-se também que cada liga específica possui uma aplicabilidade.

3 FUNDIÇÃO

O processo de fundição é uma técnica de fabricação que consiste em aquecer um material até que atinja seu estado líquido e, em seguida, despejá-lo em um molde para solidificação. Essa técnica é amplamente utilizada para produzir peças com geometrias complexas e precisas em grandes quantidades.

O processo de fundição é dividido em quatro etapas principais: 1) preparação do molde; 2) preparação do metal líquido e; 3) vazamento e por último a solidificação. Na preparação do molde, o modelo da peça é usado para criar um molde que corresponda à forma desejada. O molde pode ser feito de vários materiais, como areia, cerâmica, gesso, metal ou plástico. Na preparação do metal líquido, o metal é aquecido até que atinja a temperatura de

fundição adequada. O metal pode ser derretido por meio de diversos tipos de fornos. No vazamento, o metal líquido é despejado no molde. O processo de vazamento pode ser realizado por gravidade, pressão ou vácuo, dependendo do tipo de peça que está sendo produzida e do tipo de metal sendo utilizado. No caso deste estudo utiliza-se a pressão (MARTINS, 2008).

Durante a etapa de solidificação, o metal é resfriado e solidificado dentro do molde. Uma vez que o metal atinge a temperatura ambiente, o molde é removido e a peça é retirada. Em seguida, a peça pode passar por outras etapas de acabamento, como usinagem, polimento ou revestimento, a fim de atender aos requisitos específicos do seu uso final. Esse processo, conhecido como fundição, é essencial para produzir peças com geometrias complexas e precisas em quantidades significativas, sendo amplamente utilizado em diversas indústrias. Nas etapas a seguir versou-se especificamente da fundição de ligas de alumínio.

3.1 Processos de Fundição de Liga de Alumínio

Conforme Coelho (2013) há uma diversidade de processos de fundição de ligas de alumínio, cada um com suas próprias especificidades, vantagens e desvantagens. Os principais processos, no entanto, são os seguintes:

Quadro 3 - Principais processos de fundição das ligas de alumínio.

| PROCESSO | ESPECIFICIDADES |
|-------------------------------|--|
| Fundição em areia | É feito de areia misturada com um aglomerante para manter sua forma. É um processo econômico e flexível que pode ser usado para peças de pequeno a médio porte. |
| Fundição sob pressão | Utilizado para produzir peças de alta precisão e qualidade. O metal líquido é injetado em um molde fechado sob alta pressão para garantir que a peça tenha a forma correta e detalhes precisos. |
| Fundição por gravidade | Mais comum para a produção de peças de alumínio fundido. O metal líquido é despejado em um molde aberto usando a força da gravidade. É adequado para a produção de peças de grande porte com geometrias complexas. |

Quadro 3 - Principais processos de fundição das ligas de alumínio (cont.).

| PROCESSO | ESPECIFICIDADES |
|-------------------------------------|---|
| Fundição por cera perdida | Conhecido como "investimento", este processo é usado para produzir peças de alta precisão e detalhamento. A peça é inicialmente moldada em cera, que é revestida com um material cerâmico e, em seguida, aquecida para que a cera derreta e seja removida. O molde cerâmico é então preenchido com metal líquido. |
| Fundição em molde permanente | Neste processo o molde é feito de metal que em geral é ferro fundido, e podem ser usadas várias vezes. O metal líquido é despejado no molde e deixado para solidificar antes da remoção da peça. É adequado para produzir grandes volumes de peças idênticas. |

Fonte: Adaptado de Coelho (2013).

Neste artigo, o processo de fundição sob pressão é o objeto de estudo. Esse processo é amplamente utilizado para obter peças com alta precisão e qualidade. No entanto, a presença de porosidade pode comprometer a qualidade das peças produzidas, tornando-se um problema relevante a ser investigado. Por esse motivo, estudos nessa área são relevantes para garantir a eficiência do processo de fundição sob pressão e a qualidade das peças produzidas.

3.2 Estruturas e Propriedades das Peças Fundidas de Alumínio

Segundo Moreira e Fuoco (2005) as peças fundidas de alumínio possuem uma série de estruturas e propriedades que podem variar de acordo com o processo de fundição utilizado e as condições de solidificação. As características e propriedades de peças fundidas de alumínio são as seguintes:

- **Microestrutura:** a microestrutura das peças fundidas de alumínio pode ser afetada pela taxa de resfriamento, a composição da liga e o tamanho do grão, o que pode afetar propriedades como a resistência e ductilidade;
- **Composição química:** as ligas de alumínio podem ser modificadas com adição de elementos como cobre, magnésio, silício e zinco, os quais podem afetar as propriedades mecânicas, térmicas e elétricas das peças fundidas de alumínio;

- **Propriedades mecânicas:** as propriedades mecânicas envolvem a resistência à tração, a dureza, a ductilidade e a tenacidade. Essas propriedades podem ser afetadas pela microestrutura e composição química da liga;
- **Propriedades térmicas:** as peças fundidas de alumínio têm uma alta condutividade térmica, razão pela qual a aplicabilidade requer rápida dissipação de calor. O alumínio tem um ponto de fusão relativamente baixo, o que significa que ele pode ser facilmente fundido e moldado nos mais diferentes formatos;
- **Propriedades elétricas:** Devido à sua alta condutividade elétrica, o alumínio é amplamente utilizado em diversas aplicações elétricas e eletrônicas.

Observa-se, portanto, que de uma forma geral as peças fundidas de alumínio são utilizadas por suas propriedades mecânicas e térmicas, além da durabilidade e resistência à corrosão. Aliado a isso, tem-se na mesma medida a capacidade de ser moldado em formas complexas, razão pela qual o alumínio é um material utilizado em diversas indústrias, como aeroespacial, automotiva, construção civil e de equipamentos. Moreira e Fuoco (2005) ressalta que em sua maioria as ligas de alumínio fundidas são utilizadas na indústria automobilística, tendo como vantagem, por exemplo, a redução da massa de veículos.

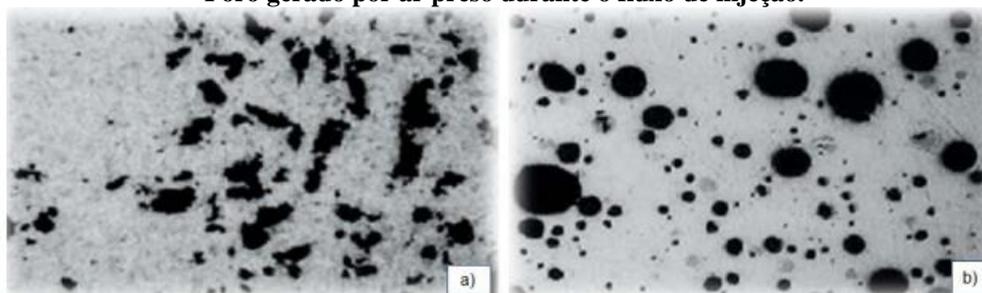
4 FORMAÇÃO DE POROSIDADE EM PRODUTOS INJETADOS EM ALUMÍNIO SOB PRESSÃO

Conforme Moreira e Fuoco (2005), a formação de porosidade em produtos injetados em alumínio sob pressão se trata de uma problemática comum na fabricação de peças fundidas em alumínio. A porosidade pode acontecer por uma diversidade de fatores, o que pode envolver a composição da liga, a temperatura de fusão, a pressão de injeção e até mesmo a geometria do molde.

A porosidade nada mais é que a presença de pequenas cavidades ou bolsas de ar dentro da estrutura da peça fundida. Essas cavidades têm como motivo vários fatores, tais como o encolhimento do metal líquido durante a solidificação, a formação de bolhas de gás na interface do metal líquido/molde, e a presença de partículas de gás ou impurezas na liga. Para que se possa reduzir a formação desta porosidade, deve-se controlar de forma precisa o processo de fundição e a composição da liga (CONCER, 2016).

Conforme Concer (2016) os poros podem apresentar uma geometria irregular, que é uma derivação da solidificação, chamada de porosidade por contração conforme a Figura 1 (a). O poro também pode apresentar uma geometria circular. Quando isso acontece, a existência do poro se deu pelo fluxo de injeção a partir do qual o ar se manteve preso, segundo demonstra a Figura 1 (b).

Figura 1 - Tipos de poros e suas origens. a) Poro gerado na solidificação e b) Poro gerado por ar preso durante o fluxo de injeção.



Fonte: Concer (2016, p. 27).

Para evitar a formação de porosidade em produtos injetados em alumínio sob pressão, é necessário observar cuidadosamente as seguintes etapas (COELHO, 2013):

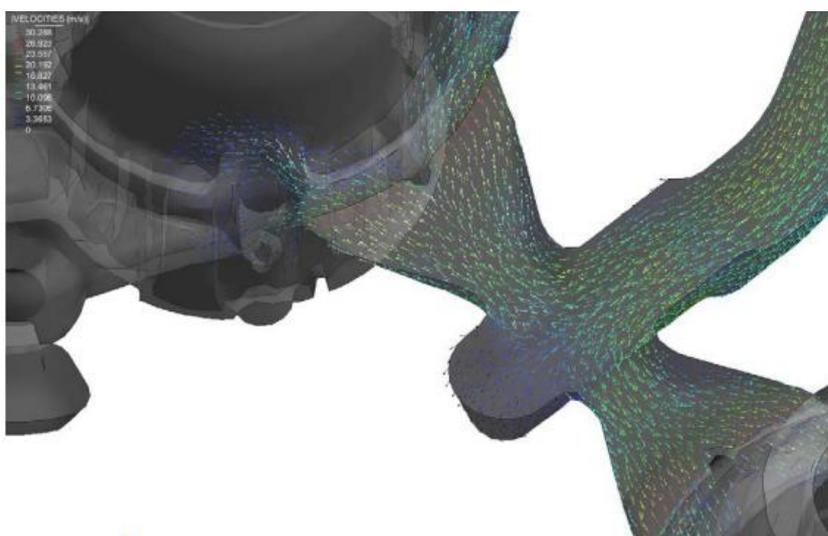
- **Seleção da liga:** A seleção adequada da liga é importante para minimizar a formação de porosidade. A liga deve ser escolhida com base nas propriedades específicas da peça fundida que se deseja produzir e nas condições de fundição. A liga deve possuir baixo teor de impurezas e gases para reduzir a formação de porosidade;
- **Controle da temperatura de fusão:** A temperatura de fusão do alumínio é crítica para a formação de porosidade, razão pela qual é importante manter a temperatura do metal líquido dentro de uma faixa específica para reduzir a formação de bolhas de gás;
- **Controle da pressão de injeção:** A pressão de injeção também é uma variável crítica que pode afetar a formação de porosidade. A pressão deve ser mantida numa faixa específica para a garantia de que o metal seja preenchido uniformemente no molde. A pressão também deve ser controlada para evitar a formação de bolhas de gás ou oclusões de ar;
- **Design do molde:** É elemento relevante para reduzir a formação de porosidade. O molde deve ser projetado para permitir a saída de ar durante o processo de injeção, para evitar a retenção de ar dentro do molde. O uso de canais de alimentação e ventilação adequados são elementos que auxiliam na minimização da formação de porosidade;

- **Controle do tempo de injeção:** O tempo de injeção deve ser controlado para garantir que o metal líquido seja preenchido rapidamente no molde, evitando a formação de bolhas de gás ou oclusões de ar;
- **Controle da velocidade de resfriamento:** A velocidade de resfriamento do metal líquido é outro fator crítico que afeta a formação de porosidade. A velocidade de resfriamento deve ser controlada para garantir que o metal se solidifique uniformemente em todo o molde, evitando o resfriamento desigual e o encolhimento do metal.

Estas etapas são utilizadas para impedir a formação de porosidade em produtos injetados em alumínio sob pressão, apesar de a porosidade ser um problema complexo e que outras variáveis podem afetar a qualidade da peça fundida. O processo consiste em bombear o alumínio fundido para dentro do molde, o qual é constituído de duas partes, uma fixa e a outra móvel e, ainda, podem apresentar estruturas chamadas de gavetas que servem para auxiliar no preenchimento de peças com especificidades mais complexas. Estes moldes apresentam cavidades de moldação que dão forma ao produto na medida em que a parte móvel é impulsionada na direção da parte fixa. A pressão acontece por meio de força externa, geralmente hidráulica, que oportuniza o movimento da parte móvel no interior da máquina injetora. Este processo acontece de forma muito rápida, pois a solidificação se dá em poucos segundos (GURSKI, 2012).

A Figura 2 apresenta o fluxo de injeção do alumínio durante o preenchimento de cavidades.

Figura 2– Distribuição vetorial do fluxo de injeção.

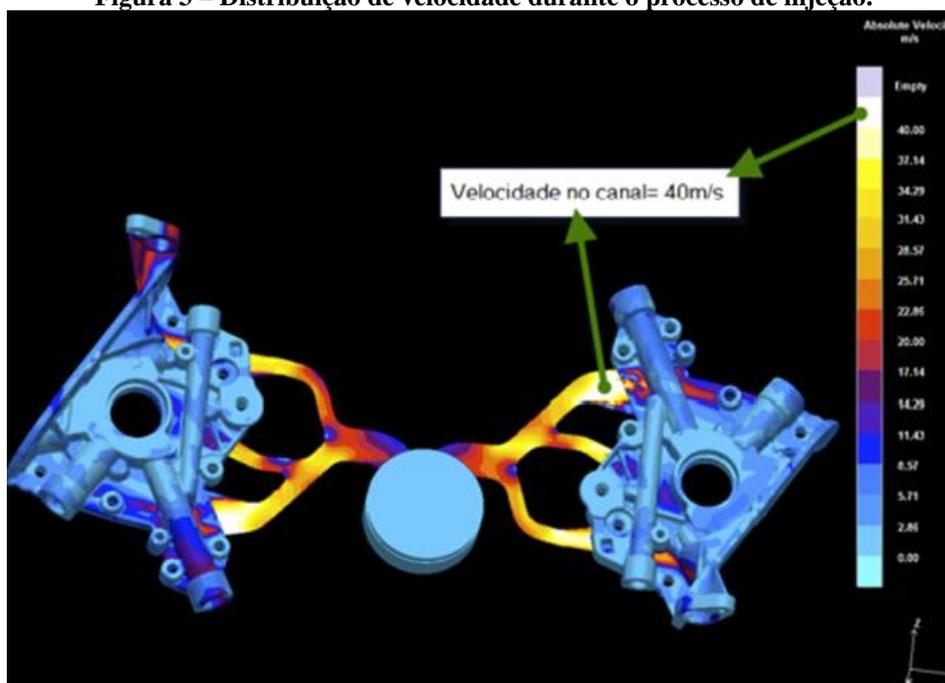


Fonte: Concer (2016, p. 41).

A partir da Figura 2 observa-se que é possível analisar o fluxo de injeção do alumínio de forma analítica, experimental e numérica para identificar os seus resultados antes da produção em larga escala.

A Figura 3 evidencia a distribuição da velocidade, isto é, outro requisito (ou fator crítico) que deve ser considerado para evitar a porosidade.

Figura 3 – Distribuição de velocidade durante o processo de injeção.



Fonte: Concer (2016, p. 42).

A Figura 3 mostra que taxa de transferência de calor por convecção entre o alumínio líquido e a parede do canal de alimentação da cavidade do molde aumenta à medida que a velocidade no canal aumenta. Esse aumento de velocidade é causado pela combinação da velocidade de primeira e segunda fase. Isso faz com que o alumínio se solidifique rapidamente no fluxo de injeção, tornando-o mais viscoso e dificultando o preenchimento da cavidade. Devido à complexidade do fluxo de injeção e variações na espessura do produto, podem ocorrer falhas no processo de injeção de alumínio sob pressão.

Segundo Andrade (2019) a fundição busca de forma constante aprimorar os seus processos. A fundição de alumínio sob pressão é utilizada de forma ampla, especialmente pela indústria automotiva, sendo adequada para as produções em larga escala e para a fabricação de peças com qualidades mecânicas significativas. É também um processo que oportuniza alta precisão e redução de etapas subsequentes de usinagem. No entanto, a formação de porosidade

é algo inevitável, razão pela qual os parâmetros-chave que auxiliam na sua formação não devem ser negligenciados. Vendrametto (2019) reforça que controlar processos críticos pode melhorar a qualidade da peça, como o ajuste de velocidade das fases de enchimento ou o controle da temperatura ideal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A porosidade é um dos defeitos mais comuns em peças metálicas fundidas e também é uma das principais causas de rejeição de componentes obtidos por meio da fundição. Foi observado que a porosidade pode ocorrer por inúmeras razões, pois a presença de gases na liga de alumínio pode se dar pelo uso de pressões inadequadas no processo de injeção, o uso de temperaturas incorretas ou ainda presença de impurezas na liga. A partir dessas observações, metodologias podem ser utilizadas, experimentadas e monitoradas para evitar a formação de porosidade, que é um processo complexo que requer identificação e controle de fatores como a distribuição da velocidade durante a injeção sob pressão. A presença de porosidade impacta negativamente na qualidade da peça, por isso, medidas de controle devem ser tomadas de acordo com o conhecimento das causas específicas em cada caso.

Portanto, é importante que as empresas que trabalham com injeção de alumínio sob pressão adotem ações para minimizar a formação de porosidade. Isso pode incluir o uso de materiais de qualidade, o controle adequado da temperatura e pressão durante o processo de injeção, a utilização de ferramentas e equipamentos de alta precisão, além de uma equipe treinada e qualificada para operar as máquinas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Mayara Caroline Silva de. **Avaliação da influência de parâmetros de injeção sobre porosidade de uma liga de alumínio injetada pelo processo HPDC**. 2019. 56 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2019/MEM19012.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2023.

COELHO, Arthur C. M. A.. **Efeito do tratamento térmico na resistência à corrosão da liga de alumínio AA5086 H116**. 2013. 51 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <https://www.repositoriobib.ufc.br/000021/00002122.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CONCER, Dionei. **Estudo do comportamento da porosidade via simulação numérica para produtos injetados em alumínio sob pressão**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44661/R%20-%20T%20-%20DIONEI%20CONCER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 dez. 2022.

GURSKI, Fabrício. **Padronização das trocas de ferramentas para moldes de injeção de alumínio sob pressão**. 2012. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/23449/2/PG_CEGI-PM_VIII_2012_05.pdf. Acesso em: 02 jun. 2023.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.. **Metodologia do trabalho científico: Procedimentos básicos; pesquisa bibliográfica, projeto e relatório; publicações e trabalhos científicos**. São Paulo: Editora Atlas, 2014.

MARCHIOLI, Carlos Alberto, et al. Influência na microestrutura e propriedades mecânicas da liga de alumínio A380 fundida sob pressão pela variação nas velocidades de injeção. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 20, e2804, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20222804>. Acesso em: 02 jun. 2023.

MARTINS, Margarida Maria Melo. **Estudo do comportamento das ligas de alumínio 6061 e 6082**. 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/2262>. Acesso em: 01 dez. 2022.

MOREIRA, Marcelo F.; FUOCO, Ricardo. Aspectos da fratura por fadiga de componentes fundidos em ligas de alumínio. In: **II Congresso Internacional do Alumínio (ABAL)**, 2005, São Paulo. Anais do II Congresso Internacional do Alumínio (ABAL), 2005. Disponível em <https://abal.org.br/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

VENDRAMETTO, Luís Fernando. **Monitoramento e controle de parâmetros de fundição sob pressão através de equipamento eletrônico**. 2019. 47 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17081>. Acesso em: 02 jun. 2023.

VIANA, Denilson José; FARIA NETO, Antonio. Otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 1435-1465, 2013. DOI: 10.14488/1676-1901.v13i4.1431. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1431>. Acesso em: 02 jun. 2023.