

Manufatura aditiva aplicada na fabricação de insertos para moldes de injeção termoplásticos

Gastão Boccardi Marques Junior e Carlos Alberto Costa

Resumo

No processo produtivo, com moldes de injeção para peças termoplásticas, o tempo de resfriamento representa parcela significativa do ciclo. Sendo assim, torna-se necessário, na etapa de projeto do molde, uma atenção em conseguir projetar o sistema de refrigeração, buscando-se a máxima eficiência e homogeneidade com o resfriamento do produto. Para isto, os canais de refrigeração devem estar posicionados, o mais próximo possível, da superfície que molda a geometria da peça, buscando o resfriamento ideal. No projeto e fabricação convencional de moldes, estes canais possuem um posicionamento limitado, em razão de sua fabricação, que ocorre através de furações. Este artigo explora a aplicação do processo de manufatura aditiva na indústria de moldes e matrizes, bem como um estudo da viabilidade técnica e econômica, para a fabricação de insertos metálicos, como alternativa aos processos convencionais de manufatura desta área. Neste estudo foi realizada a simulação da eficiência da refrigeração, comparando o sistema de refrigeração tradicional de um inserto de aço AISI P20 de um molde exemplo, com um inserto otimizado quanto aos canais de refrigeração, fabricado em impressão 3D. Também foi realizada uma comparação do inserto original apresentado, fabricado em cobre berílio, como material alternativo, buscando melhorias no tempo do ciclo de resfriamento. A comparação dos tempos do ciclo de refrigeração, simulados com auxílio do software Solid Plastics, bem como os custos de fabricação, para cada um dos modelos de insertos propostos, permitiu enumerar as vantagens e desvantagens de cada configuração.

Palavras-chave

Manufatura aditiva de metal, insertos para moldes de injeção, canais de refrigeração.

Additive manufacturing applied for produces plastic molds inserts

Abstract

During the production process, with plastic parts injection molds, the cooling time represents a significant part of the cycle. Therefore, it becomes necessary, in the mold design stage, an attention on designing the refrigeration system, seeking maximum efficiency and homogeneity with the product cooling. For this, the cooling lines should be positioned, as close as possible, to the part geometry surface, seeking the ideal cooling. In the conventional molds design and manufacture, these lines have a limited positioning, due to their manufacture, which occurs through drilling. This article explores the application of the additive manufacturing process in the molds and dies industry, as well as a technical and economic availability study, for the manufacture of metal inserts as an alternative to the conventional manufacturing processes in this area. In this study was performed the cooling efficiency simulation, comparing the traditional cooling of an AISI P20 steel insert of an example mold, with an optimized insert, for the cooling channels, manufactured in 3D printing. A comparison was also made, of the original insert presented, manufactured in beryllium copper, as an alternative material, seeking improvements in the cooling cycle time. The comparison of the cooling cycle times, simulated with the aid of the Solid Plastics software, as well as the manufacturing costs, for each of the proposed insert models, allowed to enumerate the advantages and disadvantages of each configuration.

Keywords

3D metal printing, injection mold inserts, conformal cooling.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade mundial crescente, no segmento

de processamento de polímeros, faz com que constantemente se procure alternativas e tecnologias, para a melhoria na

Pós-Graduação em Engenharia Industrial - Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Emails: gbmarquj@ucs.br, cacosta@ucs.br

Data de envio: 07/03/2019

Data de aceite: 24/03/2019

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p76>

fabricação de moldes, que são fundamentais na equação para obter custos reduzidos no processo, uma vez que seu projeto influencia diretamente nos tempos de ciclo e qualidade do produto.

Dentro deste contexto, a velocidade de refrigeração do molde é um fator decisivo no desempenho econômico do processo de injeção, pois define as propriedades e qualidade da peça e influencia diretamente no tempo do ciclo de injeção [1].

A manufatura aditiva de materiais metálicos vem na atualidade, apresentando avanços tecnológicos constantes, em seu desenvolvimento e sua aplicação, ampliando a viabilidade de sua utilização, a cada dia, de forma econômica, em diversos mercados, incluindo este segmento industrial de manufatura de moldes e matrizes [2].

O processo de manufatura aditiva permite, modelar e criar geometrias no projeto do molde ou partes do molde, que não são possíveis, ou são extremamente difíceis, de serem fabricadas, através dos processos convencionais de subtração de material. Desta forma, insertos metálicos com detalhes complexos, que são utilizados amplamente em moldes, podem ser projetados com canais de refrigeração otimizados, tendo liberdade de formas na busca por uma maior eficiência e redução de tempos de ciclos de injeção.

Neste contexto, o presente trabalho faz uma análise da viabilidade técnico financeira, na aplicação da manufatura aditiva de metais, para a fabricação de insertos de matrizes de injeção de polímeros, dentro de uma realidade de inovação constante, proporcionada pela quarta revolução industrial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Refrigeração em moldes de injeção.

Para obtenção de peças de boa qualidade, com ciclos produtivos eficientes, são envolvidos, além da máquina injetora propriamente, o projeto do molde contemplando os sistemas que o compõem, alimentação, extração e refrigeração. Neste contexto a etapa de refrigeração normalmente representa cerca de 60 a 70% do tempo do ciclo de injeção [3].

Usualmente os canais de refrigeração de moldes para injeção, são fabricados por métodos tradicionais de furação sendo, portanto canais retilíneos, e esta característica na maior parte dos casos não permite posicioná-los idealmente próximos a superfície da cavidade de forma a fornecerem uma remoção de calor ideal [4].

A tecnologia da manufatura aditiva vem como uma opção a permitir elevar as taxas de resfriamento do molde e reduzir a deformação do produto moldado, através da liberdade em criar geometrias complexas para os canais de resfriamento. Assim é possível adaptá-los aos contornos da superfície da peça fornecendo um resfriamento mais uniforme, [5].

Como exemplo, as figuras 1 e 2 ilustram estes dois cenários, onde na figura 1, é visto um molde tradicional com sua refrigeração fabricada através de furações lineares e a figura 2, apresenta a fabricação através da manufatura aditiva, onde possibilita fazer estas furações da refrigeração, acompanhando a geometria da cavidade do produto.

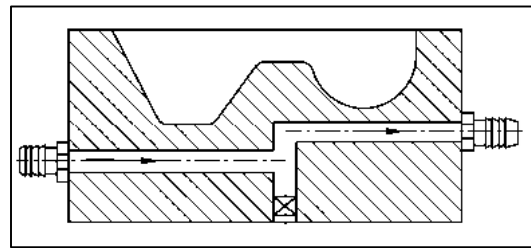


Figura 1 – Canais retilíneos convencionais

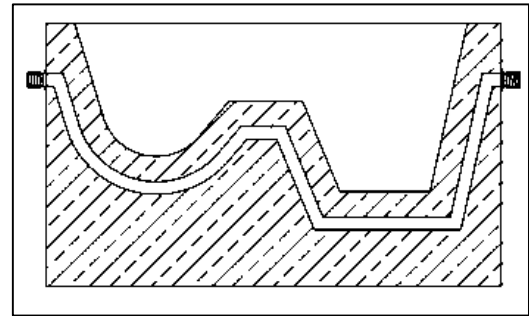


Figura 2 – Canais fabricados por manufatura aditiva

Fonte: [6].

2.2 Manufatura aditiva e moldes.

O processo de manufatura aditiva, também conhecido popularmente como processo de impressão 3D, pode ser descrito, como um processo de fabricação baseado na adição e adesão de materiais em forma de camadas, orientadas através de informações de uma representação geométrica computacional 3D do componente, normalmente gerado em um sistema CAD [7].

Mundialmente, existem diferentes tecnologias envolvendo a manufatura aditiva. Estas tecnologias se diferenciam em função do material e do processo utilizado no equipamento. Assim em 2010, a ASTM normatizou e classificou os processos de manufatura aditiva em 7 categorias, e estão divididos conforme tabela 1 [8].

Método	Processo	Material típico
VAT Photopolymerisation	Cura de camada líquida através de laser	Resina líquida fotosensível
FDM (Fused Deposition Model)	Extrusão de filamento termoplástico	Filamento termoplástico
Material Jetting	Material pressurizado e depositado em gotas endurecido por luz UV	Polímeros
Binder Jetting	Material em pó é endurecido por meio de jatos de aglutinantes	Polímeros e cerâmicas
Powder Bed Fusion	Fusão do leito de pó com feixe de laser ou elétrons	Polímeros, metais, cerâmicas
Sheet Lamination	Laminação de	Papel,

	material em folhas	Polímeros, metais em laminas
Directed Energy Deposition	Um bocal para depósito de pó ou fio metálico sendo fundido por uma fonte de laser, elétrons ou arco de plasma	Pó de metais, níquel, cobalto, titânio, etc.

Tabela 1 – Tecnologias de manufatura aditiva Fonte: [8]

O método Powder Bed Fusion, ou fusão em leito de pó, é o processo de manufatura aditiva, mais utilizado para fabricação de peças de metal na atualidade [9]. Diversas tecnologias semelhantes são baseadas nesta técnica, Sinterização seletiva a laser (SLS), Sinterização Direta a laser de metal (DMLS), Seletive Laser Melting (SLM), todas estas utilizam um laser como fonte de energia para a fusão do pó [10].

Como principais vantagens deste processo temos, uma ampla variedade de materiais disponíveis para escolha e as propriedades dos materiais impressos próximas as características técnicas das matérias primas originais equivalentes. Porém o custo de aquisição dos equipamentos e o processo relativamente lento para impressão de peças de qualidade, ainda tornam o preço final da peça impressa elevado [11] [2].

Na manufatura aditiva utilizando-se desta técnica, a construção física do produto, se inicia com o material em pó sendo espalhado e nivelado por um rolo na câmara de fusão do equipamento. Um feixe laser se projeta e se desloca na superfície do material fornecendo energia suficiente para sinterizar as partículas no formato da peça. A mesa desce e outra camada é então espalhada sobre a primeira e novamente sinterizada, este processo é repetido camada por camada, até que a peça esteja completa e possa ser retirada deste leito de pó em que está submersa [12], conforme exemplo ilustrado na figura 3.

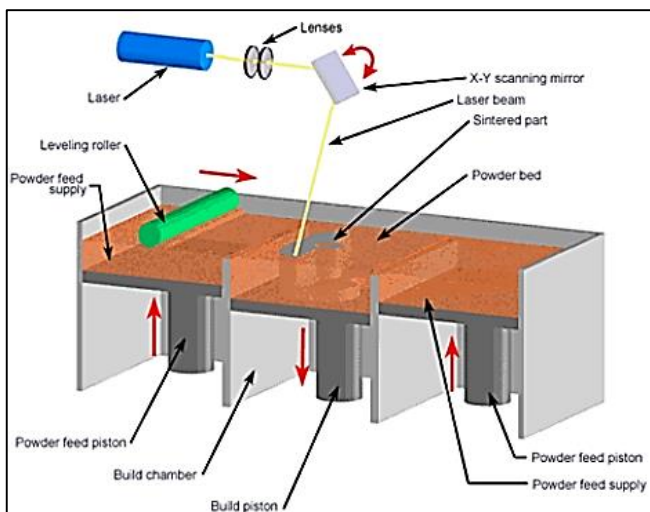


Figura 3 – Ilustração processo Power Bed Fusion
Fonte: www.3dprinting.com

2.3 Considerações do estudo

Na atualidade, as ferramentarias estão cada vez mais pressionadas a buscar alternativas para produzir moldes eficientes de forma mais rápida e precisa e com um menor custo [13]. Um dos motores para a tecnologia da manufatura aditiva evoluir neste segmento é o desenvolvimento de diversos materiais com características de aços ferramenta, utilizados principalmente na concepção de insertos para moldes de injeção de polímeros [2].

Este estudo avalia os possíveis benefícios na aplicação da tecnologia da impressão 3d com metal, no universo das ferramentarias de moldes de injeção termoplástica, onde a tecnologia da manufatura tradicional de subtração de materiais está culturalmente estabelecida. Possibilita-se assim, com esta tecnologia, a fabricação de partes ou moldes com conceitos diferentes dos sistemas convencionais amplamente utilizados.

3. MÉTODO DO ESTUDO

O objetivo desta pesquisa é comparar o desempenho do sistema de refrigeração de insertos de metal, de um molde de injeção, avaliando no estudo a fabricação pelo processo convencional subtrativo, com dois materiais diferentes aço AISI P20 e Cobre Berílio e pelo processo de manufatura aditiva tendo como material o aço Maraging [14].

A análise vai levar em conta, a comparação dos diferentes tempos de resfriamento proporcionados por estes insertos, através da simulação no software Solid Plastics 2018 [15], bem como mensurar os custos de fabricação em cada configuração proposta.

3.1 Produto experimental

A peça de trabalho, estabelecida como referência para o estudo, é uma sapata plástica, visualizada na figura 4, utilizada amplamente pelo setor moveleiro, para sustentação de móveis em geral. Possui como matéria prima o Polipropileno, com índice de fluidez 6.0 g/10min (ASTM), densidade de 0,895 g/cm³ e peso aproximado deste produto de 62 gramas.

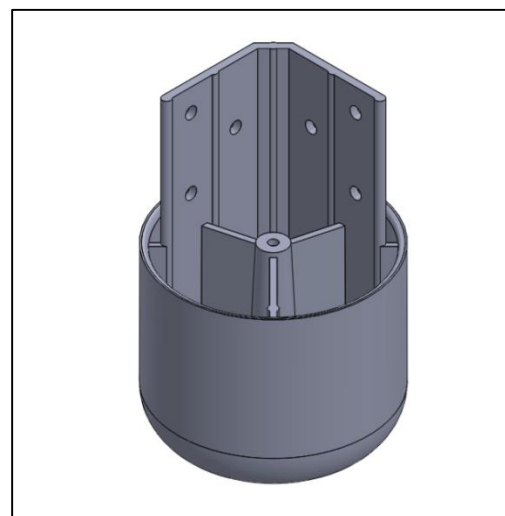


Figura 4 – Sapata plástica

As características da geometria deste produto se

devem a estética necessária, em formato cilíndrico no visual da peça e a facilidade e agilidade de aplicação, proporcionada pela cantoneira com furações guia para parafusos, parte integrante da sapata.

3.2 Molde de injeção

No estudo do projeto do molde de injeção atual, o tempo de resfriamento do processo, é limitado pela troca térmica do inserto macho do molde, que define a geometria interna da peça, visualizado na figura 5. Nesta figura, pode ser vista a linha de passagem da refrigeração atual da base do molde, ilustrada como um orifício linear na cor azul. E no inserto especificamente, temos esta linha passando diretamente em sua base, permitindo entrada no núcleo, para a refrigeração direta do mesmo.

O desenvolvimento e o estudo deste trabalho estão em buscar alternativas para melhorar o desempenho de refrigeração deste inserto. Sendo assim foram analisados três cenários: um inserto fabricado por processos subtrativos e em material AISI P20, um inserto fabricado por processos subtrativos e em material Cobre Berílio, e um inserto fabricado por meio de manufatura aditiva com material aço Maraging M300, escolhido por possuir propriedades mecânicas similares ao AISI P20.

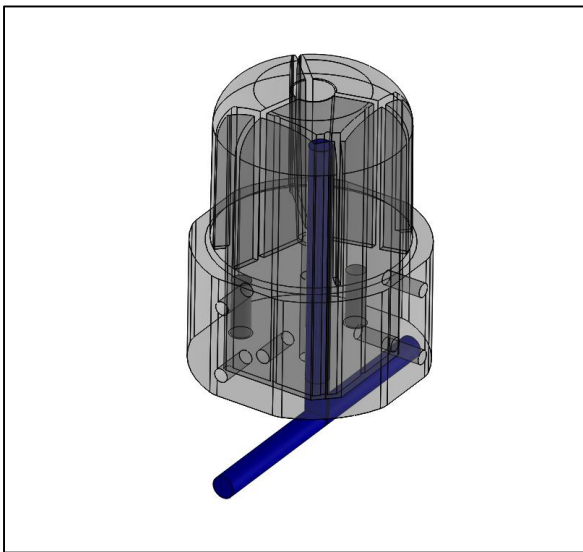


Figura 5 – Posicionamento do canal de refrigeração atual

3.3 Inseto de Aço P20

O aço AISI P20, é amplamente utilizado na construção de moldes e insertos de injeção, tem como características técnicas do material, atingir durezas médias de 55 HRC pós têmpera e possuir condutividade térmica em torno de 36,8 W/m.K a 300°C.

O inserto de aço AISI P20, é fabricado atualmente através de processos convencionais de usinagem e eletroerosão, tendo como característica, para o resfriamento, seu canal de refrigeração com furações lineares na base, posicionado mais a lateral do inserto, permitindo o espaço para as rosca de fixação da peça no molde, como pode ser visto na figura 6.

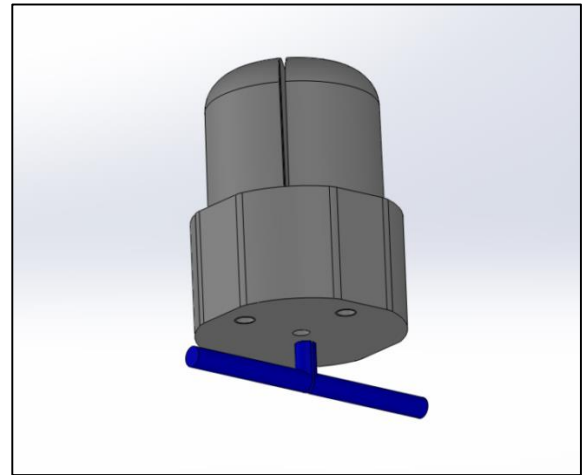


Figura 6 – Vista perspectiva do inserto de P20

Esta configuração do inserto, é a utilizada atualmente no molde de injeção da sapata, que possui quatro cavidades. O processo de injeção atual, medido na injetora, permite realizar a extração do produto, com a qualidade desejada, quando o inserto e material atingem uma temperatura em torno de 90°C. O fluido de refrigeração que circula no molde para a troca térmica é água, e esta chega a uma temperatura em torno de 20°C no molde.

Com base nestas características, temos um processo de injeção atual, com a parcela do tempo de resfriamento em torno de 42 segundos e estes serão os dados de referência para o comparativo com os outros insertos do estudo.

3.4 Inseto de Cobre Berílio

Este inserto, como pode ser visto na figura 7, possui as mesmas características geométricas de projeto do inserto fabricado em aço AISI P20, tendo somente como alteração a matéria prima base, utilizando-se o Cobre Berílio.

O cobre berílio utilizado, possui a excelente condutividade térmica de 145 W/m.K a 300°C e é possível adquiri-lo com durezas de 42 HRC, este material apresenta os processos de fabricação de usinagem e eletroerosão, semelhantes ao do inserto de aço AISI P20.

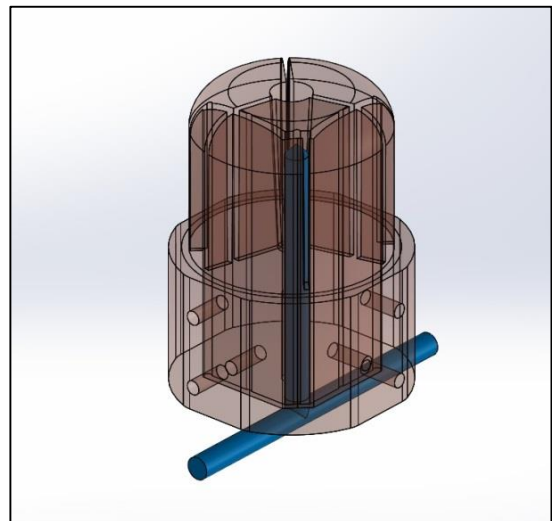


Figura 7 – Inseto de Cobre berílio
3.5 Inseto impresso em metal

Por fim, para o inserto produzido pelo processo de manufatura aditiva, existe a possibilidade de formas livres para a parte de posicionamento dos canais de refrigeração na parte interna, assim foi estudado uma geometria para estes canais, buscando uma otimização em sua configuração, a fim de realizar a maior e mais eficiente troca térmica possível para o projeto.

Para a fabricação deste inserto, a matéria prima utilizada foi o aço Maraging, escolhido por possuir características mecânicas compatíveis com o aço AISI P20, sendo possível obter durezas de até 53 HRC pós tratamento térmico, este material possui condutividade térmica de 21 W/m.K a 300°C.

Ilustrado na figura 8, podemos observar o desenho proposto do inserto impresso em 3D, onde foram projetados os canais de refrigeração, passando por todo o contorno interno e o mais próximo possível da peça. A restrição para o projeto deste inserto, foi manter a entrada e saída dos canais, alinhados na mesma posição do inserto atual, a fim de preservar a mesma fixação da peça no molde.

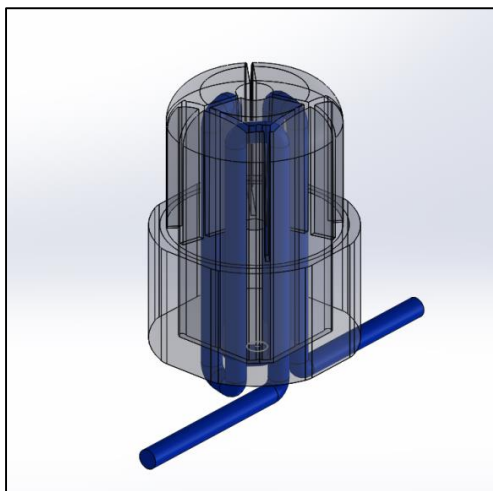


Figura 8 – Desenho inserto Conformal Cooling

Na figura 9, visualizamos o posicionamento dos canais de refrigeração, propostos no projeto de manufatura com impressão 3D, em relação a peça de referência do molde da sapata.

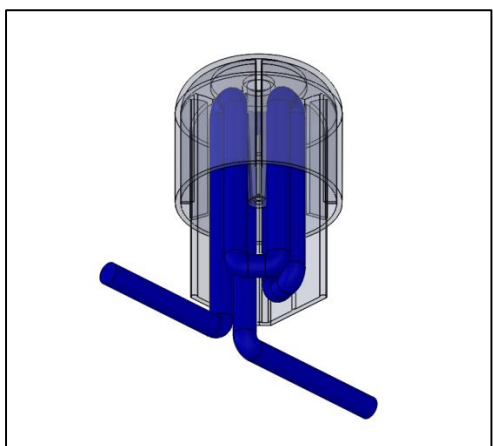


Figura 9 – Layout da refrigeração com o produto.

4. CUSTOS DE FABRICAÇÃO

Para uma análise dos custos de fabricação de cada modelo de inserto proposto, temos a tabela 2, apresentando os resultados que podem ser comparados. Os insertos de AISI P20 e Cobre Berílio, possuem matérias primas distintas, o que na prática é o que diferencia seu custo, pois os processos de fabricação são semelhantes com pequenas diferenças de tempo, tais como serra, usinagem CNC e eletroerosão.

Para o inserto impresso com a tecnologia da manufatura aditiva, temos diretamente o valor da média, do somatório da matéria prima e processo de fabricação, orçados pelo Instituto SENAI de Inovação em Soluções Integradas em Metalmeccânica (ISI SIM) e pelo Núcleo de Tecnologias Tridimensionais, do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer.

Material Inserto	Custos Matéria Prima	Custos Processo	Custos Totais
AISI P20	R\$ 61,60	R\$ 2.351,24	R\$ 2.412,84
Cobre Berílio	R\$ 1.376,21	R\$ 2.551,49	R\$ 3.927,70
Maraging M300	R\$ 19.360,00		R\$19.360,00

Tabela 2 – Custos de fabricação dos insertos.

5. TEMPOS DE RESFRIAMENTO

A análise dos tempos de resfriamento do processo de injeção da sapata de Polipropileno, foi realizada a partir da modelagem geométrica tridimensional em sistema CAD dos insertos propostos no estudo, no software SolidWorks 2018. Tais modelos geométricos foram enviados para o módulo de simulação de injeção Solid Plastics 2018. Para a simulação, foram utilizados como dados de entrada no sistema:

- Água como fluido refrigerante, e 20°C a temperatura de entrada no molde;
- Temperatura para extração do produto 90°C;
- Temperatura de processamento do PP em 220°C;

A partir destas premissas, é apresentado o resultado comparativo dos tempos de resfriamento do processo produtivo, para cada inserto proposto, que pode ser visualizado na tabela 3.

Material Inserto	AISI P20	Cobre Berílio	Aço Maraging
Tempo de resfriamento	42,00 s	28,00 s	32,00 s

Tabela 3 – Tempos de resfriamento

6. DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

Tomando como base os custos e o processo de fabricação, para cada tipo de inserto proposto, observa-se que o processo de manufatura aditiva de metal, apresenta uma agilidade em proporcionar a fabricação, em um único setup de máquina. Neste processo, não é necessário a aquisição de ferramentais ou elementos de fixação, que usualmente fazem parte de processos, como usinagem ou eletroerosão.

Por outro lado, isoladamente, os custos de fabricação deste processo se apresentam altos ainda, principalmente em função dos preços dos equipamentos e das matérias primas de impressão 3D de metal. Como ocorreu nas impressoras 3d de peças plásticas, imagina-se também que a evolução da tecnologia, permitirá a redução dos custos envolvidos neste processo no futuro.

Analisando os tempos de resfriamento entre os materiais utilizados nos insertos, permite avaliar que a maior condutividade térmica do cobre berílio, proporcionou a maior redução do tempo de ciclo. Porém em razão da menor dureza deste material, sua utilização é pontual no projeto de um molde de alta produção, como no caso de insertos e onde não se tenha um fechamento direto no molde, que ocasionaria desgastes prematuros.

A adoção da manufatura aditiva permite, como no caso utilizando o aço Maraging, que tem a menor condutividade térmica do estudo, buscar alternativas através de um projeto elaborado de refrigeração, obtendo resultados em tempos de ciclos de resfriamento, bem melhores que o processo convencional de fabricação de canais de resfriamento em insertos.

Com relação ao retorno do investimento na tecnologia da manufatura aditiva, podemos analisar que, o inserto impresso em aço Maraging, apresenta uma diferença em custo de fabricação de R\$16.947,16 em relação ao aço AISI P20, mas resulta em uma redução no ciclo de injeção de 10 segundos. Dado um custo médio de R\$56,00, como taxa hora de uma injetora padrão, é possível estimar o ganho por ciclo, no valor de R\$0,156.

Para a produção da sapata plástica do estudo, onde temos um molde com quatro cavidades e uma venda mensal em torno de 85.000 peças, teremos um investimento no inserto multiplicado por 4, ou seja R\$67.788,64, que diluindo sobre o ganho do ciclo, nos apresentará um retorno após fabricação de 434.543 ciclos do produto, ou 1.738.172 peças, que pela venda mensal representa retorno ao investimento após aproximadamente 20,45 meses de fabricação.

A limitação desta tecnologia está ainda no seu custo elevado, o que a torna viável somente em moldes de alta produção, uma vez que as características técnicas das matérias prima, disponível para impressão, são completamente compatíveis aos materiais utilizados amplamente para a fabricação de insertos e moldes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do processo de manufatura aditiva em insertos, já é uma realidade estabelecida, e deve ser considerada no projeto e fabricação de moldes ou partes de moldes plásticos, pois é possível proporcionar eficiência e otimização do ciclo de resfriamento, em razão das facilidades de modelamento, para fabricação dos canais de refrigeração.

Isso pode ser visto no estudo, onde a diferença da fabricação do inserto do molde exemplo, em manufatura aditiva, apresentou uma redução de aproximadamente 24% no ciclo de refrigeração, na comparação com o inserto inicial de aço AISI P20.

O sucesso da tecnologia da manufatura aditiva, para insertos de moldes de injeção, está ligado também a experiência e conhecimento prático do projetista, em buscar alternativas ao projeto do molde ou alterações de produto, que permitam realizar um aproveitamento otimizado dos canais de refrigeração, com a máxima área de troca térmica possível e com menores restrições para a velocidade de passagem do fluido.

Por fim as pesquisas contínuas de materiais, para ampliar a utilização da manufatura aditiva, devem fazer surgir novas matérias primas, específicas para moldes e insertos, tendo melhores características de condutividade térmica e resistência mecânica, permitindo assim, obter tempos mais otimizados no ciclo de resfriamento e viabilizar de forma mais rápida o retorno do investimento nesta tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Júlio Harada, “*Moldes para injeção de termoplásticos – Projetos e princípios básicos*”, Artliber, São Paulo, 2004.
- [2] Ian Gibson, David Rosen and Brent Stucker, “*Additive Manufacturing Technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*”, Springer Verlag, 2 Edition, 2010.
- [3] Silvio Manrich, “*Processamento de termoplásticos*”, Artliber, São Paulo, 2005.
- [4] Laurence Hadley Brooks, “*Design of conformal cooling layers with self-supporting lattices for additively manufactured tooling*” Additive Manufacturing, 11 . pp. 1622. ISSN 22147810, 2016.
- [5] Emanuel Sachs, Samuel Allen, Michael Cima, Edward Wylonis and Honglin Guo, “*Production of Injection Molding Tooling with Conformal Cooling Channels using The Three Dimensional Printing Process*”, Polymer Engineering and Science, Vol. 40, No. 5, 1232-1247. 2004
- [6] Yingming Zhang, Binkui Hou, Qiang Wang, Yang Li and Zhigao Huang, “*Automatic design of conformal cooling channels in injection molding tooling*”, IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering, vol.307, 2018.
- [7] Neri Volpato, “*Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*”, Blucher, São Paulo, 2017.
- [8] The ASTM International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. <http://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>.
- [9] Anatol Locker, “*2018 Metal 3D Printer Guide – All About 3D Printing*”, All3DP, 2018.
- [10] Valmik Bhavar, Prakash Kattire, Vinaykumar Patil, Shreyans Khot, Kiran Gujar and Rajkumar Singh “*A Review on Powder Bed Fusion Technology of Metal Additive Manufacturing*” 4th International Conference and exhibition on Additive Manufacturing Technologies, 2014.
- [10] Chee Kai Chua, Kah Fai Leong and Chu Sing Lim, “*Rapid Prototyping: Principles and Applications*”, World Scientific Publishing Co. 2 Edition, 2003.
- [12] Avetik Chalabyan, Elena Jansch, Tom Niemann, Tobias Otto, Benedikt Zeumer and Ksenia Zhuravleva “*How 3-D printing will transform the metals industry*”, Metals & Mining, August 2017.
- [13] Richard Bibb, “Rapid manufacture of custom-fitting surgical guides”, Rapid Prototyping Journal, Vol.15, 2009.
- [14] Renishaw Plc. <https://www.renishaw.com/en/data-sheets-additive-manufacturing--17862>
- [15] Dassault Systemes. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-plastics>