



CANAIS DE REFRIGERAÇÃO PARA MOLDES MECÂNICOS VIA MANUFATURA ADITIVA

COOLING CHANNELS FOR MECHANICAL MOULDS VIA ADDITIVE MANUFACTURING

Cleiton Tamanini | cleiton.tamanini@unitau.br

Prof. Dr. Prof. Filipe Wiltgen | profwiltgen@gmail.com.br

RESUMO

A utilização da manufatura aditiva tem se mostrado atrativa para o desenvolvimento de moldes mecânicos industriais possibilitando a construção de moldes mais leves, mais resistentes, mais estanques e muito mais complexos. Devido a sua característica fabril, um molde mecânico necessita de canais de refrigeração. Ter canais de refrigeração que acompanham o formato da cavidade, chamados de conformados, são essenciais para melhorar o desempenho na troca de calor e assim melhorar significativamente o processo de produção, melhorando a qualidade das peças e aumentando a produção em massa. Os canais de refrigeração conformados podem conter diversos circuitos ramificados e até mesmo capilares se assim for necessário. Entretanto, isso só é possível via manufatura aditiva. Com a manufatura aditiva é possível projetar canais de refrigeração ao redor da forma geométrica da peça a ser moldada e distribuir melhor o fluido refrigerante alcançando todas as áreas importantes do molde e produzindo as peças com um ciclo muito menor. A tecnologia de manufatura aditiva, aliada ao uso de simulações computacionais permite observar o comportamento da refrigeração no molde após a injeção de matéria-prima. Resultados analisados das simulações ajudam a finalização do projeto dos canais de refrigeração direcionando e projetando circuitos mais eficientes garantindo maior quantidade de fluido refrigerante as áreas mais exigidas. Em manufatura formativa, a remoção das peças dos moldes mecânicos é um processo crítico, o aprimoramento do sistema de refrigeração impacta diretamente na produção e lucro industrial. Esse artigo de pesquisa em projetos e construção de moldes mecânicos com simulação computacional via manufatura aditiva apresenta os resultados da eficiência na refrigeração de moldes mecânicos industriais.

Palavras-chave: Moldes Mecânicos. Manufatura Aditiva. Simulação Computacional.

ABSTRACT

The use of additive manufacturing has proven to be attractive for development of industrial mechanical moulds, allowing construction of lighter, more resistant, more watertight and much more complex molds. Due to its manufacturing characteristics, a mechanical mould needs conduction channels. Having conduction channels that follow the shape of cavity, called conformal channels, are essential to improve heat exchange performance and thus significantly improve production process, improving quality of parts and increasing mass production. The shaped conduction channels can contain several branched circuits and even capillaries if necessary. However, this is only possible via additive manufacturing. With additive manufacturing it is possible to design cooling channels around shape of part to be molded and better distribute coolant fluid reaching all important areas mould and producing parts with a much smaller cycle. Additive manufacturing technology, combined with the use of computer simulations, makes it possible to observe conduction behavior in mould after the injection of raw material. Results analyzed from simulations help finalize design conduction channels by directing and designing more efficient circuits, guaranteeing a greater amount of refrigerant according to the most demanded areas. In formative manufacturing, removing parts from mechanical moulds is a critical process, improving driving system directly impacts production and industrial profit. This research paper on design and construction of mechanical moulds with computational simulation via additive manufacturing presents results of efficiency in conduction of industrial mechanical moulds.

Keywords: Mechanical Moulds. Additive Manufacturing. Computer Simulation.

INTRODUÇÃO

Os moldes mecânicos aplicados a produção industrial são amplamente utilizados, pois a manufatura formativa permite alcançar volume, prazo e custo na fabricação em massa. Produzir em massa significa produzir uma grande quantidade. Se a produção em massa for por manufatura formativa via moldes mecânicos, estas peças serão idênticas e viabilizaram uma grande redução no tempo de fabricação (pequeno ciclo), com qualidade e custo muito reduzido.

A utilização dessa estratégia diminui consideravelmente o custo unitário do que é produzido com a aceleração da produção, melhorando a eficiência no processo produtivo. A redução do consumo de energia, assim como, a aquisição de grandes quantidades de matéria-prima também impacta na redução do custo. É claro que tudo isso está atrelado a utilização de moldes mecânicos que possibilitam fabricar muitas peças de uma única vez em um mesmo molde, e em um tempo muito reduzido.

A manufatura formativa consiste preencher um molde mecânico que possui uma ou mais cavidades no formato do produto desejado (peça) com matéria-prima, que pode ser metal, resinas, argila, entre muitos outros. Entretanto, a matéria-prima mais comumente utilizada na indústria são os polímeros.

Para processos de injeção de polímeros via manufatura formativa são construídos e utilizados moldes mecânicos, normalmente em metal e com várias cavidades, nos quais é injetada a matéria-prima a temperaturas altas o suficiente para sua fusão. Para extrair o objeto do molde é necessário que a matéria-prima (polímero) esfrie e solidifique. Desta forma, tornando necessário construir um sistema de refrigeração para cada molde, a fim de adiantar o processo de remoção das peças no molde.

Esse sistema de refrigeração deve ser projetado de forma a resfriar a peça o mais rápido possível, mas de forma uniforme, para evitar problemas estruturais como empenamentos ou tensões residuais. Para tanto, a utilização da manufatura aditiva se torna essencial, pois só com sua utilização é possível construir canais de refrigeração que acompanham a cavidade do molde, conhecidos como canais conformados.

A utilização da manufatura aditiva traz a vantagem da utilização de modelos desenhados em três dimensões (3D) de forma digital os quais além de permitir as facilidades de projetos e ajustes, permite também, ser testado em programas computacionais de simulação. As simulações tornam possível analisar detalhadamente o comportamento da matéria-prima no molde e o funcionamento do

sistema de refrigeração. Isso possibilita uma interação para realizar melhorias necessárias no projeto e na construção de um molde mecânico eficiente, e sem a construção do primeiro protótipo físico, o que agiliza consideravelmente o tempo de projeto e fabricação dos moldes mecânicos na indústria.

MOLDES MECÂNICOS NAS MANUFATURAS FORMATIVA E ADITIVA

Os moldes mecânicos são amplamente utilizados na manufatura formativa, os quais tem a função de produzir um ou mais objetos (peças) por ciclo de injeção. Para que possam produzir por mais tempo, prolongar a vida útil, normalmente são construídos em aço ou alumínio, cada qual com suas vantagens como resistência do aço ou a leveza e grande dissipação de calor do alumínio.

O molde mecânico possui cavidades, normalmente muitas, e adequadas a capacidade da máquina injetora. Essas cavidades são espaços vazios cuja característica geométrica é a mesma das peças a serem produzidas. Nesses espaços, chamados de cavidades, é injetada a matéria-prima, que após a sua total solidificação é retirada do molde na forma do objeto (peça) idealizado em projeto.

Um ciclo de injeção se inicia com o fechamento do molde, o acoplamento do molde a máquina injetora, injeção de matéria-prima e circulação de fluido refrigerante. Durante a injeção ocorre o processo de recalque no qual a matéria-prima é pressurizada para o preenchimento completo do molde. Assim que a refrigeração consegue obter a solidificação completa da peça, ocorre a retirada do molde da máquina injetora, e sua abertura para a retirada da peça produzida. Logo após isso, um novo ciclo é novamente iniciado.

Como a refrigeração tem início quando a matéria-prima é injetada no molde e segue durante todo o processo até a abertura do molde, este é o processo que mais consome tempo durante o ciclo de fabricação via manufatura formativa.

Para a produção em massa qualquer tempo poupado significa uma grande redução nos prazos e custos com uma maior produção, o que conseqüentemente permite maior lucro, justificando o investimento em recursos no projeto do molde (simulação e protótipos digitais e reais).

Um sistema de refrigeração eficiente para um molde mecânico visa não só o tempo da troca de calor, mas também a uniformização da temperatura no molde, parâmetros essenciais para se garantir a qualidade dos produtos (LOPES *et al.*, 2022, MARQUES *et al.*, 2015). Levando em conta esses aspectos os canais de refrigeração devem além retirar o calor, direcionar de forma correta o fluxo do fluido

refrigerante para as áreas de temperaturas mais elevadas, como as áreas mais próximas do ponto de injeção da matéria-prima.

Por se tratar de um sistema complexo, que precisa passar próximo da cavidade do molde e seguir o seu formato geométrico, a única forma viável atualmente para a construção destes canais de refrigeração mais eficientes é através da utilização da manufatura aditiva (TAMANINI e WILTGEN, 2021A; TAMANINI e WILTGEN, 2021B).

A manufatura aditiva consiste na fabricação de objetos via modelos digitais em 3D através da adição de matéria-prima. Existem diversos tipos de equipamentos que utilizam as mais variadas matérias-primas para a manufatura aditiva do tipo impressão 3D, mas todos operam adicionando uma camada sobre a outra camada de material até a obtenção do objeto desejado (ALCADE e WILTGEN, 2018, GOMES e WILTGEN, 2020).

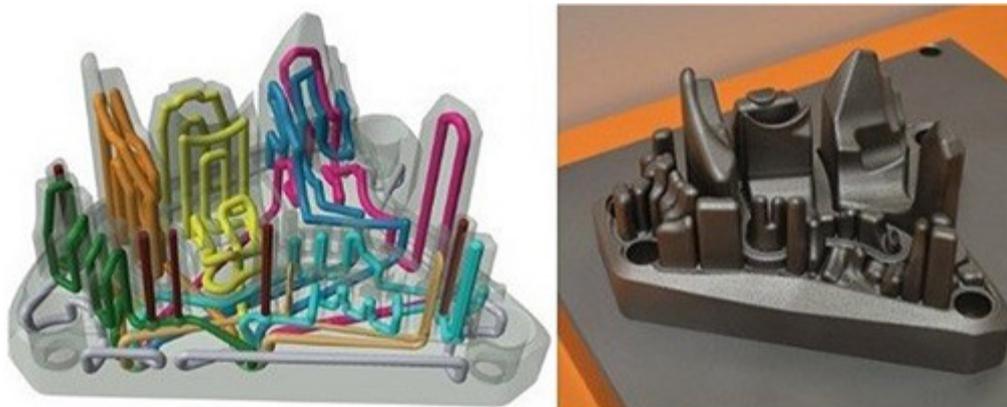
Para o caso de moldes industriais, os equipamentos utilizam metal, podendo ter algumas variações em alguns casos para os chamados moldes híbridos uma fusão de partes de metal com partes em polímeros (LOPES *et al.*, 2022, LOPES, 2020).

Levando em conta suas capacidades construtivas, a manufatura aditiva torna possível a fabricação de moldes mais complexos, melhorando a estrutura do molde, garantindo a resistência e diminuição de peso, eliminando montagens e construindo peças com menos partes o que seria inviável em outras manufaturas.

Da mesma forma, com o uso da manufatura aditiva é possível construir o molde com canais de refrigeração complexos (LOPES *et al.*, TAMANINI e WILTGEN, 2022), sendo os canais do tipo conformado, ramificado e capilar para conseguir distribuir melhor o fluido refrigerante no molde e aumentar a troca de calor, aumentando a efetividade do processo fabril.

A liberdade de fabricação proporcionada pela manufatura aditiva torna possível a construção de sistemas de refrigeração complexos como o que pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 | Aplicação de Manufatura Aditiva em canais de refrigeração de moldes.



Fonte: Adaptado Tamanini, 2021.

Na Figura 1 é possível visualizar a complexidade dos canais conformados, com seus diversos circuitos mostrados em diferentes cores e formatos, os quais seriam inviáveis de serem produzidos com qualquer outro tipo de manufatura diferente da manufatura aditiva. Outro ponto a favor é o uso desses modelos digitais em 3D é na análise via simulação computacional, tornando possível grandes aperfeiçoamentos na fase de projeto dos moldes mecânicos.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE MOLDES MECÂNICOS

As simulações representam uma das mais importantes ferramentas para o desenvolvimento de um molde mecânico. Através delas é possível ajustar e verificar parâmetros relativos ao sistema de injeção e refrigeração. Além de identificar o melhor ponto ou pontos de injeção de matéria-prima para que o molde seja completamente preenchido.

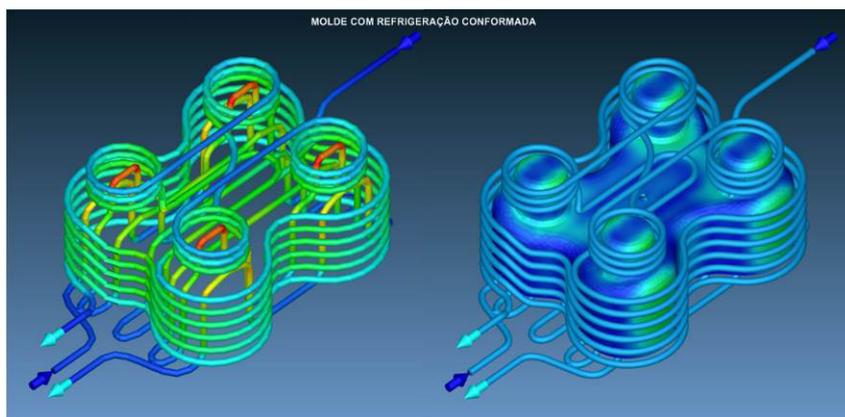
A simulação permite desenvolver diferentes tipos de canais de refrigeração, podendo observar o comportamento térmico do molde quando em operação fabril. Simulações do sistema de refrigeração demonstram como o molde pode ser refrigerado durante o processo, quais as áreas menos refrigeradas e as mais refrigeradas. As diferenças de temperaturas nas diferentes partes de uma peça em um molde podem gerar empenamentos, falhas construtivas, tensões estruturais, defeitos, entre muitos outros (LOPES *et al.*, 2022, TAMANINI e WILTGEN, 2021A).

Através da análise das simulações em refrigeração de moldes mecânicos é possível fazer ajustes no projeto, ramificar circuitos e canais de refrigeração para que atuem de forma mais efetiva nas áreas mais quentes do molde, ou junto com canais ramificados, distribuir de uma forma mais uniforme

o fluido refrigerante no molde de forma a resfriar a peça de uma forma mais homogênea, esse tipo de análise pode ser visto nas Figura 2 e Figura 3.

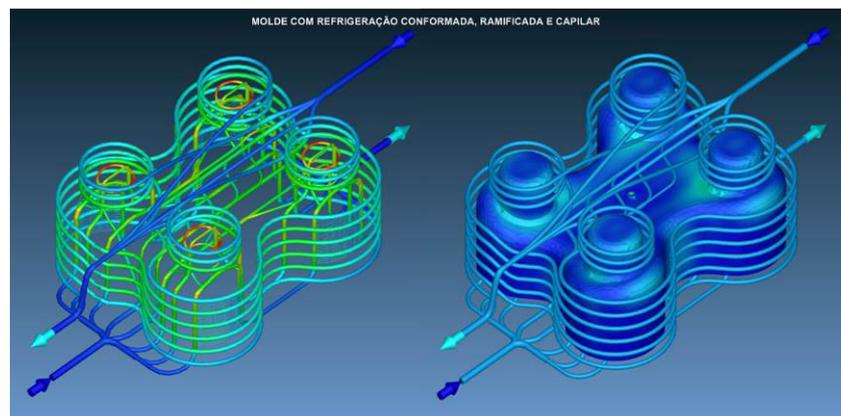
É possível verificar na Figura 2 que quando utilizados canais conformados, algumas áreas tiveram uma diferença grande entre as partes mais quentes em verde para as mais frias em azul, levando a alterações no projeto, com a ramificação e capilarização de algumas áreas como pode ser visto na Figura 3.

Figura 2 | Simulação computacional dos circuitos e canais de refrigeração conformados via manufatura aditiva em moldes mecânicos industriais.



Fonte: Adaptado Tamanini, 2022.

Figura 3 | Adaptações para melhorar a refrigeração via simulação computacional.



Fonte: Adaptado Tamanini, 2022.

Com ajustes no projeto, direcionando o fluxo através de canais ramificados e capilares, foi possível diminuir essa diferença e conseguir uma melhor distribuição do calor para evitar eventuais problemas estruturais.

DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manufatura formativa através de moldes mecânicos é uma das melhores formas de produção em massa para uso industrial. Para que os moldes mecânicos sejam eficientes é necessário que sua construção e de seus circuitos e canais de refrigeração sejam adequados.

Para que seja viável a fabricação de um molde mecânico eficiente em refrigeração, é necessário o uso da manufatura aditiva, pois só assim é possível projetar moldes complexos com múltiplos canais de refrigeração conformados. A utilização de simulações computacionais é importante para acelerar o desenvolvimento, projeto e a construção de um molde mecânico.

Uma análise detalhada das simulações permite o desenvolvimento de canais ramificados e capilares, pois eles são capazes de distribuir de uma forma melhor o fluido refrigerante, melhorando a qualidade dos produtos e diminuindo o tempo de refrigeração e o ciclo produtivo.

Isso leva a crer que a aplicação da manufatura aditiva nos projetos de moldes mecânicos via análise de simulações computacionais deve permitir grandes avanços industriais em um futuro bem próximo.

REFERÊNCIAS

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro. **Revista de Ciências Exatas Universidade de Taubaté**. v.24(02), p.12-20, 2018.

ALCALDE, E. Prototipagem Rápida Aditiva: Aplicação em Dispositivo Funcional de Auxílio Humano para Membros Superiores. **Dissertação (Mestrado)**, Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, 142p., 2019.

GOMES, J.; WILTGEN, F. Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e Máquinas. **Revista Tecnologia**, v.41(01), p.1-16, 2020.

GOMES, J. Estudo, Simulação e Desenvolvimento de Trens de Pouso de Aeronaves Integrados Via Manufatura Aditiva. **Dissertação (Mestrado)**, Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, 129p., 2020.

LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura Aditiva em Moldes Mecânicos. **IX Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2020)**. Taubaté, 21-23 outubro, p.1-14, 2020.

LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura Aditivava na Indústria Automotiva Voltada para Sistemas de Segurança Veicular. **XLI ENEGEP Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, 18-21 outubro, p.1-16, 2021A.

LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva de Segurança Veicular. **X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento (CICTED 2021)**. Taubaté, 05-07 outubro, p.1-19, 2021B.

LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva Voltada para Sistemas de Segurança Veicular. **Coletânea Especial de Engenharia de Produção. Editora Kreatik**, v.2, capítulo 13, p.183-195, 2021C.

- LOPES, M.; WILTGEN, F. Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva Voltada para Sistemas de Segurança Veicular. **Engenharia - Construção de Conhecimentos**. Editora Uniesmero, v.1, capítulo 6, p.75-93, 2022.
- LOPES, M.; TAMANINI C.; WILTGEN, F.; CRUZ F. A Importância das Simulações na Manufatura Aditiva de Moldes Mecânicos. **Revista Mundi**, aguardando publicação, p.1-24, 2022.
- LOPES, M. Manufatura Aditiva Aplicada em Cintos de Segurança para Melhoria na Indústria Automobilística. **Dissertação (Mestrado)**, Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, 195p., 2022.
- MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, J.; YADROITSAU, I. Design of Conformal Cooling for Plastic Injection Moulding by Heat Transfer Simulation. **Polímeros**. v.25(6), p.564-574, 2015.
- TAMANINI, C.; WILTGEN, F. Moldes com Múltiplos Canais de Refrigeração Via Manufatura Aditiva. **Workshop da UFABC em Engenharia Mecânica**. São Bernardo do Campo, 27-29 setembro, p.1-14, 2021A.
- TAMANINI, C.; WILTGEN, F. Fabricação de Moldes Mecânicos Via Manufatura Aditiva. **X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2021)**. Taubaté, 20-22 outubro, p.1-20, 2021B.
- TAMANINI, C.; WILTGEN, F. Manufatura Aditiva e as Mudanças na Indústria Automotiva. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia - RECIT**. v.13, p.104-118, 2022A.
- TAMANINI, C.; WILTGEN, F. Canais de Refrigeração Ramificados e Capilares para Moldes Mecânicos Fabricados Via Manufatura Aditiva. **XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2022)**. Teresina, 07-11 de agosto, p.1-8, 2022B.
- WILTGEN, F.; ALCALDE, E. Prototipagem Rápida Aditiva Aplicada em Dispositivos Funcionais de Auxílio Humano. **10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. São Carlos, 5-7 agosto, p.1-6, 2019.
- WILTGEN, F. Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, UFSCar, São Carlos, 5 a 7 agosto, p.1-4, 2019.
- WILTGEN, F. A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada. **Revista Tecnologia**, v.41(02), p.1-11, 2020A.
- WILTGEN, F. Técnica de Ensaio de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, v.4(01), p.51-60, 2020B.
- WILTGEN, F. Manufatura Aditiva em Metais - Leve, Forte e Inovador. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.13(02), p.1-12, 2021A.
- WILTGEN, F. Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas. **26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)**. Curitiba, 22-26 November, p.1-8, 2021B.
- WILTGEN, F. Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Engenharia - Construção de Conhecimentos**. Editora Uniesmero, v.1, capítulo 3, p.36-47, 2022.