

CONTEÚDO PARA A INDÚSTRIA DE FERRAMENTAIS

FERRAMENTAL

EDIÇÃO 76 MARÇO/ABRIL 2018 

Desgaste de broca
helicoïdal de
METAL DURO
NA FURAÇÃO
do VF800 AT

TECNOLOGIA

JORNADA DA
INDÚSTRIA 4.0:
PRIMEIRO PASSO

JURÍDICA

O FIM DA
OBRIGATORIEDADE DA
CONTRIBUIÇÃO SOCIAL

GESTÃO

ESTRUTURAÇÃO
DE COMPLIANCE
NAS EMPRESAS

REVISTAFERRAMENTAL.COM.BR

DESENVOLVIMENTO DE MOLDE DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA METÁLICA

por ADRIANO F. DE SOUZA, FELIPE MARIN, LUIS FONTANELLA, RODRIGO B. KÄSEMODEL, JACKSON MIRANDA

O termo Manufatura Aditiva – MA (*Additive Manufacturing*) surgiu no final dos anos 80, quando começaram a ser desenvolvidos componentes ou produtos definitivos como resultado da evolução das técnicas de prototipagem rápida. Diferente da Prototipagem Rápida que fabrica somente protótipos, a Manufatura Aditiva refere-se às técnicas que produzem componentes ou produtos definitivos, empregando o método de fabricação por deposição de matéria-prima em camadas, conforme a geometria da peça. Popularmente, esta técnica é conhecida como impressão 3D, em geral para a fabricação de peças em polímeros. Os sistemas de MA mais avançados atualmente são capazes de produzir peças metálicas para aplicações reais.

Os principais sistemas de fabricação de MA metálica podem ser divididos em: i) processos em que o

pó é apenas sinterizado e ii) processos em que o pó é totalmente fundido. Neste projeto foi empregada a técnica de Fusão Seletiva a Laser (SLM – *Selective Laser Melting*). Ressalta-se que existem outras diferentes técnicas de Manufatura Aditiva, como apresentado mais detalhadamente por Souza e Ulbrich (2013).

A tecnologia de Fusão Seletiva a Laser (SLM) foi desenvolvida através da necessidade em fabricar peças com elevada densidade, propriedades mecânicas comparáveis às dos materiais a granel, evitar longos ciclos de fabricação e permitir a fabricação de formas geométricas complexas.

> CANAIS COMPLEXOS DE REFRIGERAÇÃO (CONFORMAL COOLING)

O surgimento das técnicas de MA torna possível a criação de peças complexas totalmente funcionais, as quais não

poderiam ser fabricadas por processos tradicionais.

Na fabricação de moldes para injeção de plástico, os canais de refrigeração são fabricados pelos métodos tradicionais de furação, e, portanto, são canais retilíneos. Isto, na maior parte dos casos, não propicia uma refrigeração homogênea do molde e do produto após o processo de injeção, resultando em processos não otimizados e detrimento da qualidade do produto plástico.

A fabricação de canais complexos de refrigeração está sendo possível pela aplicação das técnicas de MA na fabricação das cavidades de moldes. Estes canais complexos são conhecidos pelo termo inglês *Conformal Cooling* (figura 1). No estudo realizado por Marques, et al. (2013), dois projetos de *Conformal Cooling* foram estudados: em série e em paralelo (fig. 1b e fig. 1c).

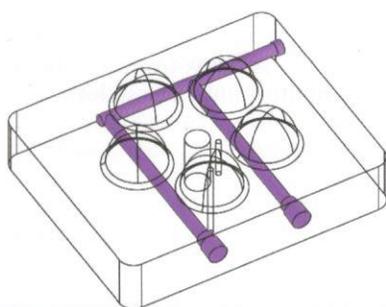


Figura a: Canais convencionais

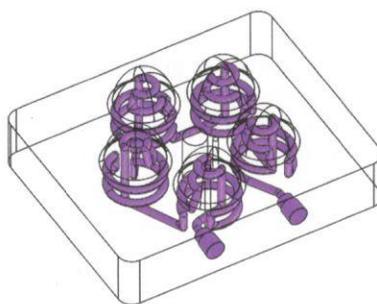


Figura b: Cooling em série

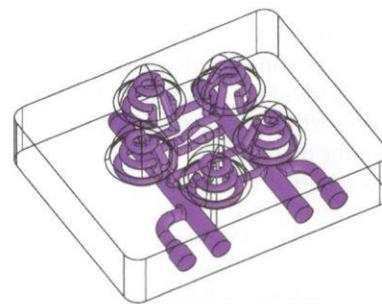


Figura c: Cooling em paralelo

Figura 1 – Projeto de refrigeração: a) projeto convencional, b) projeto conformal cooling em série, c) projeto conformal cooling em paralelo

Este estudo foi realizado empregando a técnica de simulação por elementos finitos (CAE). Os autores concluíram que a utilização de *conformal cooling* em série apresentou uma redução significativa do empenamento das peças injetadas, se comparado aos outros dois sistemas de refrigeração. Também, apresentou número de Reynolds próximo a 10.000, que é o recomendado, propiciando maior homogeneidade na temperatura do molde. Contudo, a redução do tempo de ciclo de injeção foi de 6%. Os autores atribuem esta baixa redução devido as características geométricas da peça avaliada.

Marin et al (2017) propõe um projeto de *conformal cooling* que integra o sistema em paralelo e em série, no mesmo sistema. O projeto também foi avaliado por simulação CAE. Segundo os autores, esta proposta de projeto aproveita os benefícios de ambos os sistemas. Adicionalmente, este projeto permite a fabricação do sistema de refrigeração, inicialmente empregando o processo de furação, para fabricar regiões simples, e posteriormente SLM, para fabricar as regiões complexas. Assim, tende-se a reduzir significativamente o custo do molde.

Ambos os estudos apresentam os benefícios, limitações e projetos de *conformal cooling* fabricados por SLM. Contudo, os resultados foram obtidos apenas com simulações do processo por sistemas CAE. Não foram fabricados os ferramentais.

Dentro deste escopo, o presente artigo apresenta os resultados gerais de um projeto de pesquisa que estudou toda a cadeia de manufatura de um molde para injeção de plástico, fabricado por manufatura aditiva (SLM), contendo canais complexos de refrigeração. Além do projeto e fabricação, foram estudados os reais benefícios deste molde no ciclo de produção de peças plásticas e a qualidade do produto injetado.

► METODOLOGIA

Neste projeto foi utilizada uma peça de plástico de um automóvel como corpo de prova para estudo, gentilmente cedida pela BMW-Brasil. A figura 2 apresen-

ta a geometria estudada. Esta geometria foi escolhida pois, além de representar um estudo real, ela possui torres lineares, possíveis de utilizar sistema de refrigeração por palhetas (Baffles), fabricado pelo método convencional, furação. Assim, desejou-se comparar também a eficiência de um molde contendo canais complexos de refrigeração fabricados por SLM (maior custo) com um molde com palhetas (menor custo). Lembrando que em muitos casos a refrigeração por paletas não é possível; restando a fabricação de um molde por SLM ou arcar com as limitações da refrigeração convencional.

Tendo esta geometria como base, foram executadas as seguintes etapas: a) projeto de molde e projeto de diferentes opções de sistemas de refrigeração *conformal cooling*; b) análises de simulação CAE; c) planejamento da fabricação; d) fabricação do molde, por usinagem e por SLM; e) teste de injeção; f) avaliação das peças plásticas fabricadas. O desenvolvimento destas etapas está apresentado a seguir.



Figura 2 – Geometria utilizada no estudo (cortesia BMW-Brasil).

► RESULTADOS

Os resultados gerais de cada etapa deste projeto estão apresentados a seguir.

a) Projeto de molde e dos canais de refrigeração

A estrutura e dispositivos gerais do molde foram projetados conforme as técnicas convencionais de projeto. O foco principal foram os canais de refrigeração. A fim de estudar diferentes tipos de refrigeração, o molde foi projetado com insertos intercambiáveis, desta forma, insertos com diferentes canais de refrigeração podem ser avaliados (figura 3).

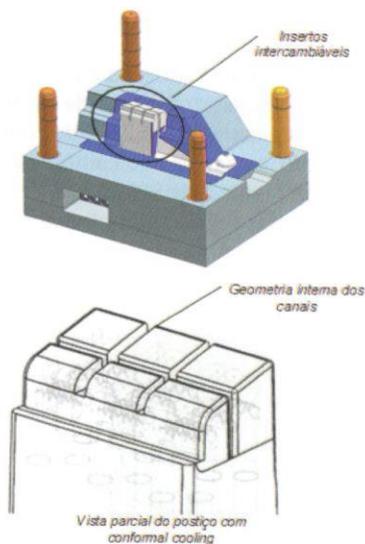


Figura 3 – Projeto do molde e *conformal cooling*.

b) Análises de simulação CAE

Foram realizadas diversas simulações CAE para identificar a eficiência de diferentes projetos de *conformal cooling*. O mais eficiente demonstrou ser a utilização combinada de circuito em série e paralelo, como mostra a figura 4. Observa-se significativa diferença de temperatura entre os moldes assim como a homogeneidade do gradiente de temperatura.

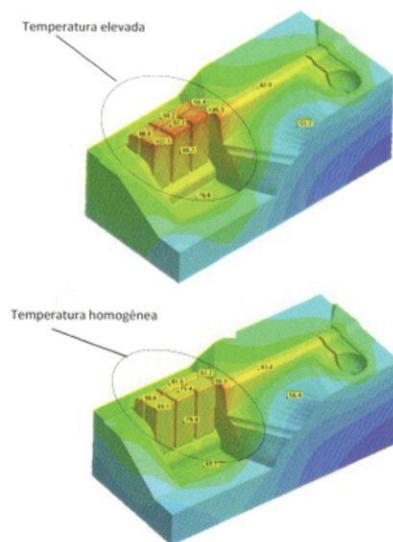


Figura 4 – Simulação CAE para auxiliar o projeto do *conformal cooling*.

e) Fabricação do molde, usinagem e SLM

Com o objetivo de reduzir o custo de fabricação os insertos do molde foram projetados para serem fabricados por fresamento, as partes não complexas, e posteriormente, por SLM, para a fabricação das regiões complexas, como mostra a figura 5.

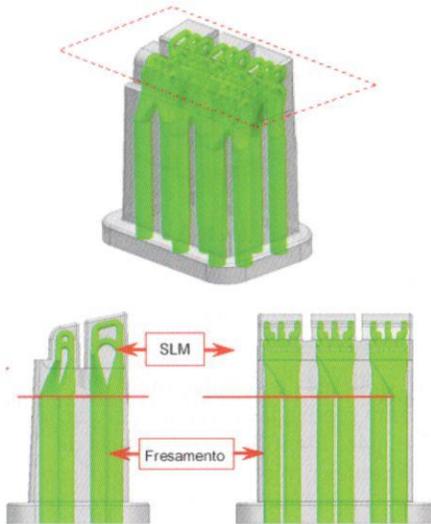


Figura 5: Manufatura dos insertos por fresamento e SLM

A combinação destes dois processos de fabricação resultou em uma economia significativa de custo e tempo. Se o inserto todo fosse fabricado por SLM, o custo seria de R\$ 27.000,00 e levaria 38 horas de processo SLM. Empregando o fresamento para fabricar de parte do inserto, o custo de SLM foi de R\$ 11.500,00 e 15 horas de trabalho. Contudo, é importante salientar que a fusão que deve ocorrer entre a parte fabricada por fresamento e posteriormente por SLM não é um processo simples. Deve haver um estudo preliminar para verificar a compatibilidade entre os materiais assim como os parâmetros de SLM. Um estudo sobre a influência dos parâmetros de processo SLM na qualidade das peças fabricadas pode ser encontrado em Marques (2014). Neste projeto, os parâmetros e materiais empregados mostraram total compatibilidade, conforme comprovado por Fontanella (2017). A figura 6 apresenta as etapas de fabricação dos insertos.



Figura 6: Etapas da fabricação dos insertos

f) Testes de injeção e avaliação das peças plásticas fabricadas

Testes de injeção foram realizados alterando os insertos com conformal cooling e os com refrigeração convencional. A Figura 7 mostra exemplos de três peças injetadas. As peças 1 e 2 foram fabricadas utilizando os insertos com refrigeração convencional e a peça 3 utilizando os insertos fabricados com SLM.

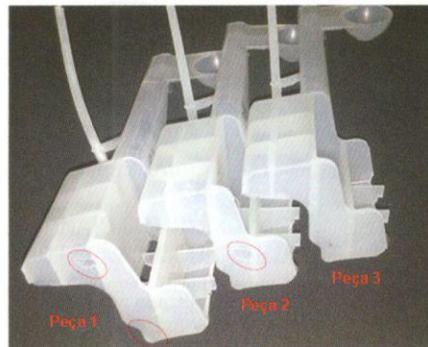


Figura 7: Peças fabricadas com refrigeração convencional (peça 1 e 2) e com conformal cooling (peça 3)

Pode-se notar que as peças 1 e 2, fabricadas com sistemas convencionais de refrigeração, apresentam maiores deformações (contração e empenamento) e presença de bolhas. Defeitos minimizados na peça 3, injetada no molde com conformal cooling.

Durante os testes de injeção, a temperatura interna do molde com conformal cooling ficou em torno de 40°C, estabilizada, permitindo a injeção de um grande lote de peças. No molde

com refrigeração convencional a temperatura, para o mesmo tempo de ciclo, atingiu 55°C em apenas 4 ciclos. A partir do quinto ciclo não foi mais possível extrair peças com qualidade.

► PRINCIPAIS CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho podem ser apresentadas a seguir:

- Ao empregar um molde com *conformal cooling* fabricado por SLM, para se ter um processo viável economicamente e/ou de qualidade, deve-se considerar a geometria da peça, o material a ser injetado, as propriedades mecânicas necessárias no produto;
- Ao utilizar canais *conformal cooling* em projetos de moldes, estes devem ser cuidadosamente avaliados por simulação, além de considerar as condições de processo de SLM e fresamento. Existem inúmeras opções de projeto e, se não for identificada a melhor opção, os benefícios esperados podem não ser alcançados;
- Devido ao elevado custo de fabricação por SLM, uma opção que se demonstrou vantajosa é a utilização conjunta dos processos convencionais de usinagem (furação e fresamento) associado ao processo SLM. Esta associação de processos de fabricação propiciou uma redução significativa do custo e % do tempo de fabricação, no caso estudado;
- Na utilização conjunta destes dois processos de fabricação deve-se tomar cuidado com a seleção dos materiais, visando compatibilidade

do material depositado pelo processo SLM e o material de base, garantindo assim melhor qualidade da fusão. Além disso, o correto ajuste de zeramento deve ser avaliado para coincidir os furos da peça base com os furos fabricados por SLM;

- ▶ A homogeneidade da temperatura, observada nas cavidades com refrigeração *conformal cooling* foi significativamente melhor do que com refrigeração convencional, apresentando menores valores.

AGRADECIMENTOS

A Villares Metals pelo fornecimento de aço P20 e N4534QA, a Polimold pelo fornecimento do porta-moldes, a Sandvik Coromant pelo

fornecimento de ferramentas de usinagem. As empresas BMW-Brasil, Sigmasoft-Magma, Tecnodrill, Comac, Tecnomotriz, Sokit plásticos e Techcontrol, pelo apoio técnico e serviços. As instituições de fomento CAPES e CNPQ e ao Edital UFSC CJ 01/2015.

REFERÊNCIAS

- Souza, A. F.; Ulbrich, C. B. L.; Engenharia integrada por computador e sistemas CAD/CAM/CNC. Princípios e aplicações. 2ª Ed. São Paulo: Artliber, 2013. 358p.
- Marques, S.; Souza, A. F.; Miranda, J. R.; Yadroitsev, I.; Design of conformal cooling for plastic injection moulding by heat transfer simulation. Polímeros, v. 25, p. 564-574, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2047>.
- Marques, S.; Estudo da influência da espessura

da camada e velocidade do laser na microestrutura e propriedades de peças fabricadas por fusão seletiva a laser no aço Maraging 300. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Tupy, Joinville, 2014.

- Marin, F.; Miranda, J. R.; Souza, A. F.; Study of the design of cooling channels for polymers injection molds. Polymer Engineering and Science, v. 1, p. 1-8, 2017. DOI: 10.1002/pen.10827.
- Fontanella, L. H. G.; Análise da ligação metalúrgica entre peça fabricada por fusão seletiva a laser e metal base. 2017. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/181623>>.



Autor principal Adriano Fagali de Souza - Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo EESC/USP em 2004; Mestre em Engenharia de Produção e Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Metodista de Piracicaba. Professor da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/Joinville. Atua e coordena projetos de pesquisa, em temas relativos à fabricação produtos contendo formas complexas, empregando a cadeia CAD/CAM/CNC - CAX - fabricação de moldes e matrizes. Estuda também a Tecnologia de Usinagem em Altas Velocidades (High Speed Cutting - HSC). É líder do Grupo de Pesquisa em Manufatura Auxiliada por Computador - GPCAM. Autor do livro Manufacturing Complex Geometries using High Speed Cutting Technology, editora VDM Verlag, 2010, do livro Engenharia Integrada por Computador e sistemas CAD/CAM/CNC, editora Artliber, 2013. Possui diversas publicações científicas em congressos e revistas nacionais e internacionais.

Co-autor Felipe Marin - Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, área de desenvolvimento de sistemas de engenharia. Graduado em Engenharia Automotiva na UFSC (2014). Durante a graduação teve experiência de: monitoria de Álgebra Linear (2010), Programa de Educação Tutorial (PET) e Iniciação Científica (IC) - pesquisa na área de materiais piezoelétricos na forma de filmes finos e simulação de injeção de polímeros (2010 - 2014).

Co-autor Luís Henrique Guarnieri Fontanella - Engenheiro naval formado pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC. Mestrando do curso de Desenvolvimento de sistemas de engenharia na UFSC. Membro do Grupo de Pesquisa em Manufatura Auxiliada por Computador (GPCAM) durante três anos, com pesquisas na área de manufatura aditiva (MA). Estágio realizado no Instituto SENAI de Inovação em Laser durante 2 anos e 6 meses, realizando pesquisa na área de Manufatura Aditiva, com foco em Fusão Seletiva a Laser (SLM). Atualmente bolsista no Instituto SENAI de Inovação em Laser.

Co-autor Rodrigo Berretta Käsemödel - Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, com linha de pesquisa em desenvolvimento de rotinas computacionais para identificar o contato ferramenta-peça no fresamento de formas complexas empregando fresas de ponta esférica. Possui graduação em engenharia mecânica pela Universidade do Estado de Santa Catarina UDESC. É pesquisador do Grupo de Pesquisa em Manufatura Auxiliada por Computador (GPCAM). Trabalhou como projetista de sistemas de câmara quente para injeção de termoplásticos e possui experiência com projeto de moldes e vasto conhecimento em sistemas CAD e MS Excel, incluindo uso de API e VBA.

Co-autor Jackson Roberto de Miranda - Graduação em Tecnologia de Materiais e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Sociedade Educacional de Santa Catarina. Atualmente é empresário atuando em prestação de serviço de tryout de moldes, injeção de termoplásticos e consultoria/treinamento em simulação de injeção.

racsaneamento.com.br

PRESERVAR
O MEIO AMBIENTE
É PRESERVAR A VIDA.



Empresa licenciada pela FATMA 2856/2016

ATERRO SANITÁRIO E INDUSTRIAL
CLASSES IIA E IIB

Rod. BR 101, Km 389 - Poço Oito - Içara - SC - 48 3437 7240

