

PROCESSO DE PROJETO E FABRICAÇÃO DE MOLDES DE INJEÇÃO PARA PEÇAS EM ALUMÍNIO: UM ESTUDO SOB A PERSPECTIVA DAS FERRAMENTARIAS

Carlos Alberto Costa

Universidade de Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130. Caxias do Sul- RS. 95050-470
e-mails cacosta@ucs.br

Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Dona Francisca, 8300. Joinville-SC. 89219-600
e-mail carlos.sacchelli@ufsc.br

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo conduzido sobre as informações e processos consideradas no projeto de moldes de injeção sob pressão de peças de alumínio. Sabe-se que a produção de peças de alumínio tem crescido dentro da indústria automobilística visando à redução de peso e melhoria das características de resistência. Dentro do trabalho foram considerados alguns aspectos de análise como: as etapas seguidas para o desenvolvimento do projeto do molde e seus sistemas, materiais utilizados para as cavidades e estrutura dos moldes, tipos e tratamentos térmicos e de superfícies aplicadas, limitações de recursos de fabricação considerados no projeto do molde, e as ferramentas computacionais utilizadas no projeto e fabricação dos moldes. O levantamento foi realizado por meio de um questionário aplicado em quatro empresas fabricantes de moldes (ferramentarias) referências no mercado nacional. Observa-se como resultado do trabalho que, apesar das empresas serem concorrentes entre si, uma grande parte das respostas fornecidas são comuns, haja vista que parte das exigências relacionadas aos moldes vem cadeia automotiva em que essas empresas estão incluídas. A proposta resultante desse trabalho servirá de base para a elaboração de uma pesquisa do tipo survey dentro do mercado nacional, visando um melhor entendimento da maturidade, demandas e carências dessa cadeia produtiva. O trabalho desenvolvido nesse artigo está no contexto do Projeto ROTA2030, Linha IV.

Palavras-chave: Moldes de Injeção sob Pressão, Alumínio, Projeto e Fabricação de Moldes, Ferramentarias.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por peças de alta resistência mecânica, alta precisão geométrica e baixo peso na indústria automotiva coloca a injeção de alumínio sob pressão (HPDC – *High Pressure Die Casting*) como uma opção para a produção desses tipos de peças. O HPDC pode ser considerado como um processo de precisão, já que é possível produzir peças com espessuras finas e geometrias complexas (Graf, 2021). O mercado de fundição sob pressão movimentou cerca de US\$ 13.787,1 milhões em 2021 e deve atingir US\$ 19.500 milhões em 2027. Estima-se, em uma média global, que cerca de 60% das peças de alumínio produzidas no HPDC são destinadas à indústria automotiva (Grand View Research, 2019). No Brasil em 2022 a produção foi de cerca de 170 mil ton. de peças fundidas em alumínio. (FMP, 2022)

Na China em 2019 para cada veículo de passeio eram empregados 129,1 Kg de alumínio e a previsão que até 2030 esse número aumente para 242,2 Kg, estes divididos pelo método de processamento como: injetado, laminado, extrudado e outros. (IAL, 2019)

Além da utilização crescente do alumínio em carros a combustão, tem-se que com a comercialização cada vez maior de carros elétricos a utilização de peças de alumínio será cada vez maior. Somente no Brasil, estima-se que em 2022 a frota de carros elétricos ultrapasse 100 mil. (RAL, 2022)

A produção de peças de alumínio pelo processo HPDC é realizada por meio de moldes de injeção que, quando comparados com os moldes para peças poliméricas, possui um desafio maior quanto aos materiais e decisões de projeto devido a severidade do processo. Isso se dá em especial devido aos efeitos causados pela fadiga térmica (variação de temperatura), erosão e adesão nas superfícies das cavidades. Durante o processo, o alumínio é injetado na cavidade com velocidades que variam de 20 à 60 m/s, tendo temperaturas de uso na faixa de 700 °C e pressão superior a 100 MPa. A escolha dos materiais que formam os componentes do molde (cavidades e estrutura) deve priorizar materiais que possuam resistência adequada para essas condições de processo (Nunes *et al.*, 2017). Atualmente, os materiais mais utilizados nas cavidades de injeção de alumínio sob pressão são os aços conhecidos comercialmente como H11 e H13, e têm sua composição e tratamentos de acordo com a norma NADCA #229 (NADCA, 2018). Assim, o molde de injeção deve ser capaz de suportar o metal fundido no formato desejado dentro das cavidades, prover formas de levar o metal fundido até as cavidades, remover calor do metal fundido permitindo sua solidificação e permitir a extração da peça solidificada (Fonseca, 2001; Vendramin, 2020).

O processo de desenvolvimento e fabricação dos moldes de injeção de alumínio possui alguns desafios que iniciam na etapa de distribuição das peças no molde e o balanceamento térmico do mesmo. Normalmente isso é realizado com a ajuda de softwares de simulação reológica, como por exemplo, Procast, QuickCast, MagmaSoft e Flow-3D. Um aspecto importante nessa etapa é a seleção de materiais para as cavidades e estrutura do molde, onde são preferencialmente utilizados aços mais nobre e consequentemente de maior custo. Por essa razão, a etapa de fabricação das cavidades (partes que transferem a forma final à peça), envolve uma série de processos de usinagem complexos e de extrema precisão. Um outro desafio na fabricação das cavidades dos moldes está associado à fabricação dos canais que farão parte do sistema de refrigeração. Esse sistema é responsável pela extração do calor do molde e balanceamento térmico o que, por consequência, implica diretamente no tempo de ciclo de produção das peças e vida útil do molde. No caso dos moldes para injeção de peças em alumínio, o projeto desses canais passa a ser um elemento chave devido às altas temperaturas que envolvem o processo e, portanto, a refrigeração deve ser adequada, a fim de minimizar as diferenças de temperatura, reduzindo consequentemente a fadiga térmica nas cavidades do molde.

De uma forma macro o molde de injeção de alumínio pode ser separado em duas partes: fixa e móvel. A parte fixa é por onde o material é injetado, por meio da bucha de injeção, sendo fixado a placa fixa da injetora. A parte móvel, realiza os movimentos fechamento e abertura do molde. A força de fechamento da injetora deve ser suficiente para impedir que haja abertura e vazamento de material entre as duas partes do molde, garantindo a estanqueidade da cavidade durante todas as etapas da injeção. A injeção do alumínio fundido no molde é então realizada pelo pistão em três etapas:

- Fase lenta: O pistão se move com velocidades de 0,1 a 0,5 m/s, evitando a formação de ondas na bucha de injeção e permitindo a expulsão do ar da cavidade antes da entrada do metal líquido na mesma. Normalmente permite o preenchimento do material até o mesmo atingir a região dos *gates*, ou seja, o limite entre o canal de injeção e a cavidade.
- Fase rápida: O pistão atinge velocidades na faixa de 1 e 6 m/s. Essa faixa de velocidade permite um preenchimento rápido e completo da cavidade antes que o metal inicie sua solidificação, evitando assim juntas frias e falhas de preenchimento. Nessa fase a cavidade é completamente preenchida.
- Compactação: Nesta fase, há a aplicação de uma pressão maior para compensar a contração do metal durante a solidificação, evitando a formação de porosidades e rechupes. A pressão aplicada varia entre 400 e 1200 bar. Essa é a etapa onde o molde sofre as maiores solicitações durante o ciclo, oriundas da força de fechamento aplicada pela injetora, associada a pressão de compactação (recalque) e às tensões causadas pelo gradiente térmico gerado pela condução e dissipação de calor heterogênea em diferentes partes do molde.

Uma vez removida a peça, é aplicado às superfícies da cavidade um desmoldante que ajuda na refrigeração, proteção e lubrificação da cavidade. Quanto ao aspecto construtivo o molde de injeção de alumínio pode ser separado em seis partes principais: bucha de injeção, suporte inferior, suporte superior, cavidade fixa, cavidade móvel e a placa extratora (Fig. 1). Contudo, outros elementos construtivos, como as gavetas, são comuns em moldes onde necessita-se de mecanismos mais elaborados de extração das peças.

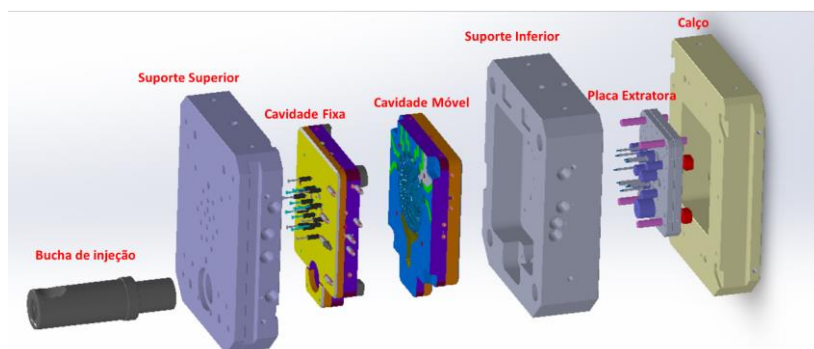


Figura 1. Visão macro dos elementos construtivos de um molde para injeção de alumínio (Autor)

A visão macro sobre o processo e dos aspectos construtivos dos moldes de injeção para peças em alumínio sob pressão foram utilizados nesse trabalho como referência para a realização de um levantamento de informações técnicas, junto a empresas desenvolvedoras destes tipos de moldes, visando analisar e registrar quais os pontos importantes e quais os desafios considerados por essas empresas na etapa de projeto do molde de injeção.

2. MÉTODO DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA ESTUDADA

Esse trabalho foi motivado dentro do escopo do projeto ROTA2030 Linha IV de Ferramentaria Brasileira Mais Competitivas. Uma macro entrega do projeto é a compreensão de quais práticas as empresas desenvolvedoras dos moldes fazem uso no seu dia-a-dia.

Com base nisso, um instrumento de pesquisa foi criado, com 16 questões em formato aberto abordando temas associados à sequência do processo de projeto do molde, pontos críticos de projeto, ferramentas computacionais e materiais utilizados, desafios de fabricação, entre outras. O questionário foi aplicado de forma presencialmente no ano de 2022, com projetistas sêniores dessas empresas, com a anuência de seus gestores.

Foram avaliadas 4 empresas, que são caracterizadas a seguir:

- a) 2 ferramentarias desenvolvedoras dos moldes de injeção com ênfase na injeção de alumínio (Empresa A e Empresa B);
- b) 1 empresa sistemista do ramo de injeção de alumínio (fundição) que possui ferramentaria própria e que também contrata moldes externos (Empresa C);
- c) 1 empresa que possui produto próprio, com um setor de injeção de alumínio interno (fundição), uma ferramentaria e que eventualmente contrata moldes externos (Empresa D).

Para apresentação e análise dos resultados, as 16 questões apresentadas no instrumento de pesquisa serão demonstradas a seguir de forma compiladas visando um melhor entendimento dos resultados, sendo os seguintes tópicos:

- a) Avaliação inicial para o projeto do molde;
- b) Avaliação dos sistemas de alimentação, refrigeração e extração;
- c) Avaliação dos critérios para o projeto de gavetas e mecanismos de acionamento;
- d) Avaliação dos tratamentos térmicos e revestimentos superficiais;
- e) Ferramentas de software (CAD/CAE/CAM) e as restrições de fabricação;
- f) Realização de memorial de cálculos para dimensionamento do projeto do molde de injeção;
- g) Decisões internas e externas sobre o molde;
- h) Nomenclatura dos componentes.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1. Avaliação inicial para o projeto do molde

Como forma de avaliação inicial os projetistas foram questionados sobre quais as primeiras análises que são feitas para iniciar o projeto do molde, bem como quais as geometrias críticas consideradas. De uma forma geral existem dois momentos de análise. No primeiro momento são realizadas análises do modelo 3D quanto a sua integridade (cotas, tolerâncias, ângulos, etc). Num segundo momento são realizadas análises quanto a moldabilidade da peça, ou seja, ângulos de extração negativos e gavetas, linhas de partição, posição das peças sobre o molde (layout) e sistema de alimentação. Apesar do número de cavidades ser normalmente um parâmetro estipulado pelo cliente (sistemista), há uma discussão inicial entre a ferramentaria e o cliente considerando as opções de capacidade de máquinas de injeção, avaliando-se o melhor custo/produtividade.

Com relação as geometrias críticas inicialmente observadas nas peças, alguns pontos se destacam, como cantos de acúmulos de tensões (cantos vivos), geometrias finas com arestas sem raios ou raios pequenos, grandes variações volumétricas no interior da peça, como variações de espessuras, geometrias pequenas e complexas, paredes muito finas (entre furos, por exemplo) ou espessuras muito grossas (excesso de massa) e torres muito altas sem refrigeração. Nesses casos, normalmente há uma discussão inicial com o cliente apontando os riscos dessas geometrias e discutindo possibilidade de mudanças no projeto da peça, o que nem sempre é possível. Um aspecto interessante é que quando não há uma solução conciliadora, uma das ferramentarias salientou que executa conforme o projeto, mas não garante o tempo de vida útil daquela característica em particular.

Uma vez definidos e esclarecidos os pontos iniciais, foi solicitado aos projetistas qual seria a sequência de etapas a ser considerada para o projeto do molde. Assim, num primeiro momento a maior parte informou que inicialmente avaliam e decidem a região/ponto de injeção, a forma de extração e a disposição das áreas projetadas da peça na injetora. Nessa etapa as empresas já fazem a avaliação por software CAE (principalmente o Magmasoft®) para o melhor ponto de injeção, confirmando-se o número e layout das cavidades.

Após essa etapa, são consideradas as localizações das bolsas de frente frias (por meio do software CAE) e com base nisso são realizados os estudos e decisões sobre a forma de refrigeração do molde, também apoiadas pela simulação CAE. Ou seja, o foco dessa etapa está no estudo da refrigeração do molde. Por último são avaliados os aspectos construtivos do molde como, cavidades, machos, porta-moldes, gavetas e pinos. Nessa etapa é fundamental a certeza sobre a máquina injetora a ser utilizada, pois as dimensões do porta-molde e suas placas são dimensionados em relação as placas das máquinas, que dependem da capacidade de injeção da mesma.

3.2. Avaliação dos sistemas de alimentação, refrigeração e extração

Sobre a forma de como é projetada e pensada a alimentação e preenchimento do molde de injeção, percebe-se respostas uniformes, sendo realizado com base em um caderno de projeto e na simulação computacional, validando as dimensões e geometrias dos canais de injeção no molde. Isso está fortemente associado com o cálculo de área de ataque. Particularmente em uma das ferramentarias, o responsável pela análise e simulação computacional possui um forte conhecimento em projetos de moldes e desta forma, nesse momento o mesmo já inicia a estruturação (layout) de todo o molde para posterior detalhamento.

Já com relação ao projeto do sistema de refrigeração, as respostas apontaram que após a simulação e validação do preenchimento é priorizada a refrigeração em regiões de maior concentração de massa. Existe uma regra comum de considerar a distância dos canais da superfície da cavidade do molde entre 20 mm a 25 mm e com diâmetros normalmente de 10 mm. Os canais são posicionados em pontos críticos, como concentração de massa, e o objetivo é não se ter uma diferença de temperatura próxima ou maior que 200 °C, o que seria crítico para o caso de fadiga térmica do molde. Assim objetiva-se homogeneizar a temperatura da cavidade, intensificando, quando necessário os pontos quentes na cavidade. Após esse processo, em todos os casos, o sistema de refrigeração é verificado no software de simulação computacional, validando assim o sistema proposto. Alguns dos respondentes alertam que para essa fase já são consideradas as configurações das caixas porta moldes, haja vista que os canais de alguma forma necessitam de pontos de passagens.

Para o projeto do posicionamento dos elementos de extração das peças, são observadas as regiões com maior aderência e onde é possível posicionar os elementos extratores, sempre prevendo um equilíbrio de forças. Segundo um projetista, considera-se a maior uniformidade possível e priorizando maiores diâmetros de pinos possíveis (normalmente maiores que 6 mm). Foi observado por outro, que se trata de um sistema mais robusto comparado aos de moldes de polímeros, raramente utilizando lâminas ou buchas extratoras. Deve-se considerar que essa etapa, é realizada em paralelo com os sistemas de refrigeração e alimentação, mas eventualmente considerando a restrição das definições desses dois sistemas. No caso especificamente da empresa que possui a parte de projeto e fabricação de moldes e injeção em sua estrutura verticalizada, foi dito que normalmente os dados sobre pontos de extração já vem definidos pelo setor de produto.

3.3. Avaliação dos critérios para o projeto de gavetas e mecanismos de acionamento

Para o projeto dos sistemas de gavetas dos moldes, onde não há como fazer uma extração direta da peça, as respostas são comuns, mas com critérios de projetos diferentes. Deve-se ressaltar que o uso de gavetas na injeção de peças de alumínio é comum, pois, normalmente as máquinas possuem sistemas de extração das peças automatizadas (braços robóticos).

Para um grupo de projetistas, em um curso de até 80 mm, normalmente é feito o acionamento por meio de sistema mecânico e para cursos maiores são usados mecanismos hidráulicos, podendo no caso de peças de grandes dimensões ser feito uso de uma solução híbrida (mecânica e hidráulica). Para outro grupo o limite para definição do sistema mecânico ou hidráulico é o curso de 40 a 50 mm. Contudo é consenso que sempre é preferível os sistemas mecânicos para o acionamento das gavetas. Em uma das ferramentarias foi citado que é realizado um cálculo da força de “agarre” para a definição e dimensionamento dos cilindros hidráulicos.

Para os cálculos com relação a cunhagem das gavetas, o sistema de travamento, não há um cálculo mais definido de forma clara. Assim, entre algumas das regras de boas práticas pode-se perceber citações como “ângulo de cunhagem sempre maior que a inclinação da coluna da gaveta”, “cunha sempre a 100 mm da parede do porta molde para garantir rigidez (onde não é feito cálculo). Uma das empresas que trabalha com injeção citou que possui como regra para gavetas o ângulo de 8 graus e espessura de porta molde (travamento), maior ou igual 50mm.

3.4. Avaliação dos tratamentos térmicos e revestimentos superficiais

Em relação aos tratamentos térmicos aplicados nas cavidades e componentes dos moldes, a unanimidade dos respondentes leva em consideração as especificações dos fabricantes dos materiais. Desta forma, considerando os tratamentos aplicados nas superfícies moldantes (cavidades, machos, réguas), a maior parte das empresas aplica um tratamento que obtenha dureza entre 44-50 HRC, sendo temperadas e revenidas. Duas empresas, que injetam peças, citaram que possuem um Caderno de Encargos com as especificações padrão para os diferentes componentes do molde. Esse caderno foi também citado pelas ferramentarias, como uma referência, conforme o cliente solicitante e na ausência essas ferramentarias possuem suas próprias regras. Uma atenção é dada para os casos onde a geometria do molde possui paredes muito finas o que aumenta o risco de trincas no processo de tratamento térmico.

Com relação a ponderações ou regras sobre a questão de revestimentos considerando as peças do molde, de forma geral as respostas citaram que usam as coberturas nas cavidades do molde, pinos, machos e insertos. Contudo, normalmente tal especificação já vem definida dos próprios clientes do molde. Os revestimentos mais citados foram a nitretação (mais comum) e o uso de PDV nos machos e áreas com velocidade de ataques altas. Para a cavidade do

molde a nitretação é a mais utilizada, mas uma das ferramentarias citou também o uso regular da oxidação, normalmente atribuído como uma exigência do cliente e em casos em que a geometria é complexa e existe o risco de trincas. O PVD apareceu citado mais nos casos de pinos e postigos de tamanhos pequenos.

Um dos aspectos mais citados para decisões relacionadas com as coberturas superficiais aplicadas aos componentes dos moldes está relacionado aos pontos críticos de desgaste. Nesse sentido, foram relatados que são considerados os pontos críticos de desgaste, sendo entre elas as partes móveis do molde, as regiões de ataque do fluxo de material (mudança de fluxo com ângulos acentuados, geometrias pequenas e delgadas e/ou de alta velocidade de fluxo), pinos muito altos, cantos vivos, os pontos próximos a entrada do canal de injeção, pontos de temperaturas pontualmente elevadas onde é difícil a remoção de calor. Com relação a questão dos fluxos uma solução citada é o uso de canais em forma de “unha” facilitando esse fluxo de material. Na empresa que desenvolve os moldes e injeta as peças há um momento chamado de “kick-off meeting” onde são realizadas análises dos pontos críticos, principalmente a observando a questão de ângulos.

Também foi questionado sobre testes e verificações quanto a certificação do material utilizado no molde, certificação dos tratamentos térmicos e revestimentos realizados nas peças dos moldes. Observou-se três situações gerais:

- a) Quem fornece o material, tratamento térmico ou revestimento envia a certificação;
- b) Quando o cliente contratante do molde exige o certificado;
- c) Quando ocorrem problemas, haja vista que normalmente usam fornecedores certificados.

3.5. Ferramentas de software (CAD/CAE/CAM) e as restrições de fabricação

Todas as empresas analisadas, sem exceção fazem uso da ferramenta MagmaSoft® para as simulações e as análises reológicas do fluxo de material e distribuição de temperaturas no molde de injeção, possuindo um especialista para sua utilização. Uma das empresas, que possui produto próprio injetado, faz uso também do ANSYS® como ferramenta de apoio ao projeto dos moldes.

Como ferramenta de CAD, entre as ferramentarias, foram citadas as ferramentas Siemens NX® e SolidWorks®. Para a empresa que usa a parte de injeção como parte de seu processo produtivo a ferramenta utilizada é o CREO®. Observou-se que as empresas fazem uso de “macros de programação” e bibliotecas no sentido de apoiar o processo de desenho mais rápido e padronizado dos moldes de injeção. Com relação a ferramenta de CAM foram citados os softwares WorkNC®, PowerMill® e HyperMILL®. Nesse último são utilizadas automação de rotinas de operações de desbaste, chaparia e pré-desbaste. Finalmente, como ferramentas de acompanhamento da produção as empresas fazem uso de softwares mais específicos com interface para o apontamento de operações de chão de fábrica. Apenas a empresa que possui todo o sistema de produção de seu produto é que declarou utilizar o sistema SAP. Contudo, apesar disso, foi relatado a falta de especificidade para atender a dinâmica das operações no setor de ferramentaria.

Com relação ao nível de limitação que os recursos de fabricação disponíveis na empresa impõem ao projeto do molde, não houveram maiores restrições percebidas. Entre os pontos abordados estão limitações para profundidades de furação em 450 mm, a falta de máquinas 5 eixos (em apenas uma empresa), máquinas para micro usinagem (ferramentas menores que 0,3mm) e retíficas de perfil para pinos postigos.

3.6. Realização de memorial de cálculos para dimensionamento do projeto do molde de injeção

A maioria dos entrevistados afirma que boa parte das regras e cálculos para apoio ao dimensionamento dos moldes de injeção vem da prática adquirida pela empresa, o que são resumidos em caderno de projeto (caderno de boas práticas). São realizados cálculos, com a ajuda do software de simulação para o dimensionamento dos canais de alimentação e canais de refrigeração. Contudo, para a parte estrutural dos moldes, ou seja, dimensionamento de cavidades, placas de suporte e porta-moldes as empresas fazem uso do conhecimento adquirido. Entre algumas das regras apresentadas nas entrevistas pode-se citar:

- a) Área de fechamento com um perímetro mínimo de 70 mm;
- b) Porta-molde com 80 a 100 mm de espessura;
- c) Profundidade na cavidade (fundo) de aproximadamente de 70 mm;
- d) Profundidade do porta-molde de aproximadamente de 100mm;

Contudo, deve-se salientar que uma das restrições na questão do dimensionamento da estrutura do molde está fortemente relacionada com a máquina em que o molde será utilizado. Isso ocorre devido as grandes forças de fechamento que exigem uma área mínima do porta-molde junto a placa de fixação da injetora. Portanto, mesmo que um molde seja de menor tamanho, dependendo da capacidade da máquina utilizada, a área de porta-molde deverá possuir um tamanho mínimo.

3.7. Decisões internas e externas sobre o molde

Foi questionado para as empresas, sobre alguns dos itens do molde, quem toma as decisões e nesse caso se as decisões são baseadas em cálculos matemáticos formais ou estimativas baseadas em experiências. Foram realizadas perguntas relativas as decisões sobre o número de cavidades, máquina utilizada, vida útil do molde, e sobre os sistemas funcionais do molde.

Em relação à definição do número das cavidades todas as empresas informaram que essa informação é fornecida pelos clientes, baseada em cálculos realizados. Da mesma forma, geralmente os clientes informam a máquina (dimensões e capacidade) que irá realizar a produção com o molde contratado. Por outro lado, a vida útil do molde é estimada pela ferramentaria, muitas vezes colocada como item de garantia no contrato de venda do molde.

Com relação aos elementos de projeto do molde, o balanceamento das cavidades é calculado pela ferramentaria em todas as respostas apresentadas. Já a posição e dimensionamento dos extratores é estimado pela maioria das ferramentarias, sendo o sistema de refrigeração e força de extração estimados em um primeiro momento e depois ajustados por meio de cálculos pelas ferramentarias. Finalmente, o tipo e dimensionamento do sistema de alimentação bem como bucha de injeção são calculadas pelas ferramentarias.

3.7. Nomenclatura dos componentes

Foi questionado para as empresas sobre algumas das nomenclaturas aplicadas para os componentes do molde de injeção de alumínio, bem como quais seriam os materiais normalmente que são utilizados nos elementos dos moldes. Na Fig. 2 tem-se um exemplo do molde com a identificação dos componentes e na Tab. 1 a denominação dos mesmos, bem como os materiais utilizados.

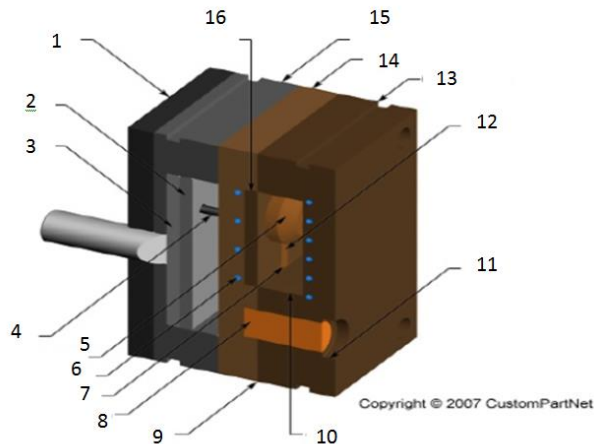


Figura 1. Visão geral dos elementos do molde de injeção (CustomPartNet, 2022)

Componente	Nomenclatura	Material
1	Placa suporte	1045
2	Contra placa extratora	1045
3	Placa extratora	1045
4	Pino extrator	H13
5	Peça fundida	Al
6	Canal de refrigeração	-
7	Canal de alimentação primário	-
8	Canal de injeção	-
9	Linha de partição	-
10	Insertos	Variados. Sendo os mais citados Dac-Magic, Dievar, W350, E40, E2367, Tenax300IM e H13IM
11	Bucha de injeção	H13
12	Canal de ataque	-
13	Suporte superior	1045/4145/Fundido
14	Porta cavidade	1045/4145/Fundido
15	Espaçador	1045

Tabela 1. Descrição dos termos utilizados nos moldes de injeção de alumínio (Autor)

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou um levantamento sobre alguns dos parâmetros-chave que são considerados durante o desenvolvimento de moldes para injeção de alumínio sob pressão. Para isso um instrumento de pesquisa, composto por 16 perguntas abertas foi construído com base em discussões preliminares com alguns especialistas na área de moldes de injeção de alumínio. Foram selecionadas para o estudo, realizado por meio de entrevista direta, quatro empresas referências no Brasil no projeto e fabricação desses tipos de moldes. Todas essas empresas trabalham com montadoras automotivas, conhecem umas às outras, trabalhando inclusive de forma cooperativa na troca de ideias dentro do ramo de negócio. Por possuírem uma maturidade considerada alta dentro do mercado brasileiro de moldes para a injeção de alumínio, observou-se que as empresas entrevistadas possuem um alto padrão de qualidade em termos de processos internos, conhecimento adquirido e tecnologias utilizadas, resultando em práticas semelhantes umas das outras com relação às técnicas de projetos, gestão e fabricação dos moldes. Destaca-se aqui o uso de softwares de CAE para simulação de fluxo de preenchimento e balanceamento térmico do molde, utilização de materiais, i.e. aços, de padrão internacional para as cavidades dos moldes, além de tecnologias de metrologia (digitalização 3D) e fabricação (máquinas *high speed* e 5 eixos).

Nas entrevistas foram observados os perfis técnicos dos profissionais que atuam nesse ramo, sendo em grande parte profissionais com muitos anos de experiência, havendo também pessoas novas, em sua maior parte com formação nas áreas das engenharias ou correlatas. Outro aspecto observado é com relação aos gestores, principalmente das ferramentarias, que possuem uma clara visão do ramo que atuam e da forma de fazer negócios. Todas as empresas entrevistadas possuem uma estrutura tecnológica atualizada, seja em softwares seja em equipamentos, relatando que seus maiores desafios estão normalmente relacionados a solicitação de mudanças, para seus clientes, em pontos de geometria das peças a serem injetadas. Também, são citados casos de sucesso onde o desenvolvimento da geometria das peças, conjuntamente com o desenvolvimento dos moldes, resulta em soluções mais simples e otimizadas, sendo esse um tema que merece atenção por parte de futuros estudos nessa área. Outro ponto abordado como desafiador é a relação com as empresas usuárias dos moldes de injeção (fundições), onde por eventual falha de comunicação, os dados previstos para o uso do molde são alterados resultando no comprometimento da vida útil do molde.

Uma das próximas etapas desse trabalho é, com base no entendimento propiciado até o momento, a criação de um questionário do tipo survey para ser aplicado em nível nacional num maior número de empresas, abordando além de questões técnicas, questões associadas a aspectos de gestão e de custos nas ferramentarias desse setor de injeção de peças de alumínio.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Rota 2030 - Linha IV “Ferramentarias Brasileiras Mais Competitivas” e a Fundep pelo apoio financeiro ao projeto 27194*10 - Melhoria no projeto de ferramentas de injeção de alumínio e as empresas que participaram desse processo de coleta de informações.

6. REFERÊNCIAS

- Custompartnet, 2022. Set 2022 < <https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding#tooling>>.
- Graf, A., 2021. Aluminum alloys for lightweight automotive structures. Editor: P.K. Mallick. *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*. Woodhead Publishing, Cambridge, 2ª edição.
- Grand View Research Inc. 2019. *Aluminum die casting market analysis: 2016 - 2027*.
- FMP, 2022. Revista Fundação & Matérias-Primas. Set 2022 <<https://www.abifa.org.br/revista53/#p=22>>.
- FONSECA, M.T., 2001. Teoria Fundamental do Processo de Fundição Sob Pressão. SENAI-DR, Itaúna, Minas Gerais.
- IAL, 2019. International Aluminium org, “Assessment of Aluminium Usage in China’s Automobile Industry 2016~2030”. Jun 2022 <<https://international-aluminium.org/wp-content/uploads/2019/02/Report.pdf>>
- NADCA, 2018. Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies. NADCA Publication #229.
- Nunes, V.; Silva, F. J. G.; Andrade, M. F.; Alexandre, R.; Baptista, A. P. M., 2017. Increasing the lifespan of high-pressure die cast molds subjected to severe wear. *Surface and Coatings Technology*, v. 332, p. 319–331.
- RAL, 2022. Revista Alumínio. Set 2022 < <https://revistaaluminio.com.br/brasil-supera-marca-de-100-mil-veiculos-eletrificados/>>.
- VENDRAMIN, J.C., 2020. Molde para fundição de alumínio sob pressão. Revista Ferramental. Mai. 2022 <<https://www.revistaferramental.com.br/artigo/molde-para-fundicao-de-aluminio-sob-pressao/>>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

DESIGN AND MANUFACTURING PROCESS IN HIGH PRESSURE INJECTION MOLDING OF ALUMINUM PARTS: A STUDY FROM MOLD MAKERS PERSPECTIVE

Carlos Alberto Costa

Universidade de Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130. Caxias do Sul. RS 95050-470
e-mails cacosta@ucs.br

Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Dona Francisca, 8300. Joinville-SC. 89219-600
e-mail carlos.sacchelli@ufsc.br

Abstract: *This work presents a study conducted on the information and processes considered in the design and development of high-pressure aluminum injection molding. It is known that the production of aluminum parts has grown within the automotive industry to reduce parts weight and improve its resistance. Among some points investigated in this work are the steps followed for the design and development of the mold systems, structure and materials selection, types of material surface coatings and heat treatments applied, possible limitations of manufacturing resources, and the computational tools used in the design and manufacture of the molds. The survey was carried out through a questionnaire that was applied to four companies that manufacture molds and that are references in the national market. It is observed that, despite the companies being competitors with each other, a large part of the answers provided are common, showing that part of the requirements related to the molds comes from the automotive chain in which these companies are included. The proposal resulting from this work will serve as a basis for the elaboration of a survey-type research within the national market, aiming at a better understanding of the maturity, demands and needs of this sector of mould makers. The work developed in this article is in the context of the ROTA2030 Project, Line IV, and was developed in 2022.*

Keywords: *High pressure injection molding, Aluminum, Mould design and manufacturing, Mould makers.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.