

OPTIMOULD - Desenvolvimento de Metodologias de Projecto e Fabrico de Moldes

António Selada*, António Brito**,
Dimitre Tchalamov***, Carlos Silva****

OPTIMOULD - Development of Innovative Design and Manufacturing Techniques for Aluminium Moulds

Síntese

Este projecto surge da pressão crescente sobre a indústria automóvel Europeia no sentido de reduzir os custos de produção e otimizar os processos envolvidos na produção dos diversos componentes obtidos por moldação por injeção, por forma a manter-se competitiva em relação às economias da Ásia e dos USA.

Neste enquadramento a optimização passa cada vez mais pela introdução de novas metodologias de projecto e concepção dum molde, processos e/ou materiais alternativos e inovadores de produção, que sejam indutores do crescimento da produtividade e da qualidade.

A utilização de materiais com desempenho elevado em termos de transferência de calor, que sejam facilmente maquináveis, políveis e reparáveis, permitirá uma redução do tempo de ciclo de injeção, porém, e na opinião dos diferentes actores na cadeia de produção, os problemas associados ao desgaste e ao tempo de vida dos moldes para injeção de termoplásticos têm constituído fortes barreiras à utilização deste tipo de materiais. No entanto, é conhecida a evolução permanente nas características mecânicas e metalúrgicas destes materiais exigíveis para este tipo de aplicações, e a inovação ao nível da engenharia que manipula as superfícies tem permitido melhorar o comportamento em serviço e aumentar a durabilidade dos mesmos.

O redesenho contínuo como consequência directa da mudança organizacional radical operada na indústria automóvel com a adopção da "produção magra" teve um reflexo progressivo nos sectores de fabricação, concepção e desenho. O facto das séries passarem a ser mais pequenas possibilitou a execução de moldes em materiais menos resistentes do ponto de vista mecânico mas com maior eficiência térmica.

As exigências ao nível do desempenho das novas ferramentas (moldes) necessitam duma aproximação complementar sobre as novas soluções metalúrgicas que abram novas vias de concepção e fabricação de moldes para diferentes aplicações.

A resposta a este conjunto de perguntas não deve resultar de pequenas modificações ao material. Um novo conceito sobre a metalurgia do molde é absolutamente necessário.

A tendência para a utilização crescente das "ligas de alumínio de nova geração", desenvolvidas para aplicações aeronáuticas, permite dar uma resposta a estas preocupações.

Abstract

This project arises from the growing pressure over Automotive Industry in order to reduce the production costs and to optimise the processes implicated that components obtained by Injection Moulding entail, aiming to stay competitive regarding Asian and American economies.

Within this context, optimisation includes more and more the introduction of new mould design and development methodologies, alternative and innovative production processes and materials, enabling to increase both productivity and quality. The use of high performance materials regarding heat transfer,

machining, grinding and repairing allow reducing injection cycle time. Although, according the actors involved in the production chain, the problems associated to thermoplastic injection moulds wearing and life-cycle are two of the barriers to the use of these materials. However, the permanent evolution regarding mechanical and metallurgical properties of these materials and innovation in what concerns engineering operating on these surfaces have been enabling to improve both behaviour and lifetime.

Continuous redesigning as a direct consequence of the strong organizational change on automotive industry, as it adopted "thin production" had had a progressive influence in design, development and manufacturing sectors. Because the series began to be inferior it became possible to develop moulds in materials with low hardness levels from mechanics point of view but greater thermal efficiency.

Demands regarding the performance of new tools (moulds) require a complementary approach on the new metallurgical solutions able to create new methods to design and develop moulds for different purposes.

The answer to this set of questions shall not be a consequence of small changes to the material. A new metallurgic concept of the mould is demanded.

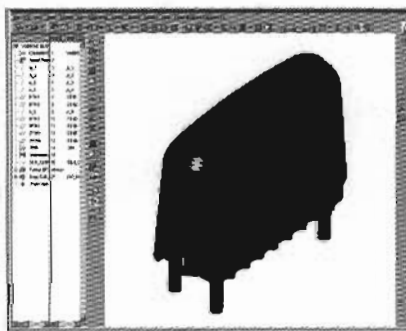


Fig. 1 - Modelo 3D da peça "Knob".
Fig. 1: 3D File of the "knob" part.

The tendency to increasingly use "up-to-date aluminium alloys", developed for aeronautics enables to respond to these concerns.

Introduction

This project had as main goal to create a methodology in order to optimise design and development of injection moulds for automotive components made in 7xxx aluminium, integrating flow (filling) simulation data involving structure modelling software, i.e., to combine different engineering tools.

Thus, a mould for the production of technical parts was developed in real and industrial environment, based on a case study. This tool intends to be an strategic instrument and it will enable to substitute the production of steel moulds by the production of aluminium alloy moulds, what carries visible competitive advantages (significantly lower mould production cost as a consequence of superior machining ability of these alloys as well as a reduction on injection process cycle time during as effect of the superior thermal performance of these materials). Notwithstanding the fact that research and use of aluminium moulds is not recent, its utilisation on injection moulding within the automotive industrial sector is still in the beginning.

The use of specific mechanisms for mould modelling without resorting to solutions allowing integrating engineering instruments will, invariably, result on over-dimensioned sheet metal plates and mould components, with consequences in material waste and processing times. The negative consequences of this designing method (based in practical rules) also include the moulds produced in ferrous metals.

It is important to assess the parameters that establish the mould's lifetime and, regarding surface texture it is important to measure wearing due to mechanical friction and/or etching caused by injection on coated or exposed printings.

Integration among all systems is not always easy and sometimes information can be lost what leads to inaccurate results.

Designing aluminium moulds for large series implies to adapt inherent knowledge gathered by industry throughout the years, to improve thin coating application techniques and know how resulting from the proper use of CAD/CAE tools (injection pressure and temperatures and their consequences regarding the mould's mechanic resistance), aiming to validate it experimentally in industrial or laboratorial environment.

Study Target

The chosen part should fulfil the following demands: to be integrated in an automotive vehicle; to be an

Introdução

Este projecto tinha como objectivo fundamental a criação duma metodologia de optimização do projecto e concepção dum molde de injeção para componentes automóvel, em alumínio da série 7xxx, por recurso à integração de dados de simulações de fluxo (enchimento) com software de modelação estrutural, isto é, integrar diferentes ferramentas de engenharia.

Neste enquadramento foi desenvolvido um molde para fabrico de peças técnicas, com base num caso de estudo em contexto real e industrial. Esta ferramenta pretende ser um instrumento fundamental, proporcionando para estes casos a substituição do fabrico de moldes em aço por moldes em ligas de alumínio, permitindo o usufruto da vantagem competitiva que daí decorre (custo de fabricação do molde significativamente mais baixo como resultado da melhor maquinabilidade destas ligas e menor tempo de ciclo durante o processo de injeção como resultado do melhor desempenho térmico destes materiais). Embora, o estudo e a utilização de moldes de alumínio não seja recente, a sua aplicação na moldação por injeção no sector automóvel ainda é incipiente.

por injeção no sector automóvel ainda é incipiente.

A utilização corrente de aplicações específicas para a modelação do molde sem recurso a soluções que permitam a integração de ferramentas de engenharia, determina, invariavelmente, o sobre dimensionamento das chapas e componentes do molde com consequências ao nível do consumo de material e tempos de processamento. As consequências negativas deste modo de projectar, baseado em regras práticas, também diz respeito aos moldes fabricados com materiais ferrosos.

É importante avaliar os parâmetros que mais determinam a duração de vida do molde e, ao nível da textura superficial,

medir o desgaste por abrasão e/ou por ataque químico causado pela injeção em impressões nuas ou revestidas.

A integração entre os vários sistemas nem sempre é fácil, conduzindo, por vezes, à perda de informação e, conseqüentemente, à falta de precisão dos resultados.

A concepção de moldes em alumínio para grandes séries implica a adaptação do conhecimento tácito adquirido pela indústria ao longo dos anos, o aperfeiçoamento das técnicas de aplicação de revestimentos finos e o conhecimento possibilitado pela utilização adequada de ferramentas CAE (pressões de injeção e temperaturas e as suas consequências ao nível resistência mecânica do molde), com o objectivo da sua validação experimental em ambiente laboratorial e industrial.

Objecto de estudo

A peça escolhida deveria cumprir os seguintes requisitos: estar incorporada num automóvel; ser um componente de aparência, isto é, a peça deveria ser um componente visível para o cliente final e o seu aspecto superficial seria um dos atributos a abordar na análise qualitativa; ser de pequena dimensão com o intuito de baixar os custos de produção do

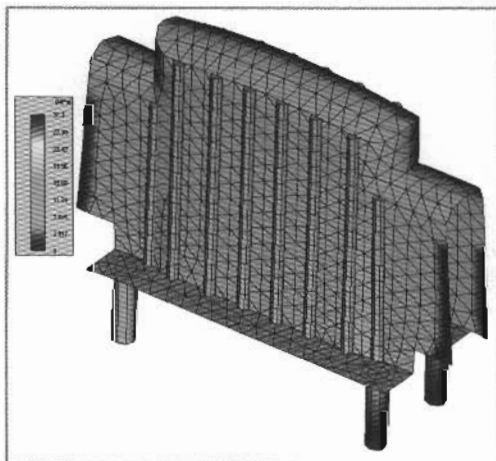


Fig. 2: Distribuição dos valores da pressão de injeção na peça

Fig. 2: Distribution of the injection pressure values in the part

molde protótipo; ter uma linha de junta não planar para avaliação da facilidade de execução do molde; e permitir ter um molde sem sistemas de extracção complexos (movimentos, balancés, etc.)

A peça escolhida foi o "Knob" dos ventiladores dum modelo de automóvel. Este componente faz parte de um mecanismo produzido na Iber-Oleff e que permite controlar o caudal e definir a direcção do fluxo de ar dentro do habitáculo.

O material utilizado foi um (PBT) - Ultradur B 4520 fabricado pela BASF. O PBT é um polímero semi-cristalino com uma temperatura de transição vítrea de cerca de 52°C e uma temperatura de fusão de 220°C. É caracterizado por ter boa resistência mecânica, química e térmica. Devido às suas propriedades eléctricas, é bastante utilizado na indústria eléctrica/electrónica, enquanto que a elevada resistência ao impacto e a boa resistência à tracção justificam a sua utilização na indústria automóvel.

A Fig. 1 apresenta o modelo 3D da peça que foi produzida pelo molde e que serviu de base à construção das superfícies moldantes.

O molde que produz actualmente o "Knob" tem 8 cavidades em aço 1.2767. Trabalha normalmente em máquinas com 50 e 80 toneladas de força de fecho e o tempo de ciclo é de aproximadamente 21 segundos.

Material da zona moldante

Para produções de grandes séries o material para as zonas moldantes sugerida pela ALCAN (nosso parceiro no projecto) é a que se descreve:

EN AW-7022 / AlZnMgCu0.5 (CERTAL)

Composição química (% do peso):

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti-Zr
máx	máx	0.5	0.1	2.6	0.1	4.3	máx
0.5	0.5	1.0	0.40	3.7	0.3	5.2	0.2

Propriedades mecânicas e físicas seguintes:

- Tensão de rotura: 555 MPa;
- Tensão de cedência: 495 MPa;
- Alongamento A50: 8%;
- Dureza: 170HB;
- Condutibilidade térmica: 150 W/m °K;
- Coef. de expansão térmica: 23.6x10⁻⁶/ °K;
- Calor específico: 870 J/kg °C;
- Peso específico: 2.76 Kg/m³;
- Módulo de elasticidade: 72 GPa;
- Módulo de compressão: 74 GPa;
- Dureza Brinell (500Kg/10mm): 165/180 HB.

Desenvolvimento do projecto

Como a zona moldante irá ser maquinada em alumínio torna-se relevante avaliar a sua resistência mecânica através de simulações com ferramentas de engenharia.

Neste caso específico, considera-se que o componente menos resistente e, portanto, sujeito à análise estrutural, é a bucha. Posteriormente foram analisadas os outros componentes

appearance component. i.e. the part had to be a visible component to the final customer and its external aspect would be one of the aspects to approach on the quantitative analysis: it should be a small-sized part as the goal is to reduce the cost of the prototype mould; it should have a non-flat mould match line in order to evaluate the development of the mould; and allow to have a mould free of complex ejection systems.

The part selected was the ventilation knob of an automotive model. This component is part of a mechanism produced by Iber-Oleff and enables to control the flow and to direct airflow inside the passenger compartment.

The material used was (PBT) - Ultradur B 4520 produced by BASF. PBT is a semi-crystal polymer, with a 52°C glass transition temperature 220°C in terms of melting temperature. It has great mechanic, chemical and thermal temperature. Due to its electric properties it is widely used by electric/electronic industry. The high impact resistance and traction resistance validate its utilization by automotive industry.

Fig. 1 presents the 3D model of the part produced by the mould. The creation of the moulding surfaces was based on this model.

The mould that currently produces the "knob" has 8 (eight) 1.2767 steel cavities. It operates normally in machines with 50 and 80 tons of clamping force and has a cycle time of about 21 seconds.

Core & Cavity material

To produce large series, ALCAN (our partner in the project) suggested the following material for core & cavity.

EN AW-7022 / AlZnMgCu0.5 (CERTAL)

Chemical composition (weight %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti-Zr
max	max	0.5	0.1	2.6	0.1	4.3	max
0.5	0.5	1.0	0.40	3.7	0.3	5.2	0.2

The following mechanic and physical properties:

- Tensil Strength: 555 MPa;
- Yield Strength: 495 Mpa;
- A50 Strain: 8%;
- Hardness: 170HB;
- Thermal Conductivity: 150 W/m °K;
- Coefficient of Heat Expansion: 23.6x10⁻⁶/ °K;
- Specific Heat: 870 J/kg °C;
- Specific Weight: 2.76 Kg/m³;
- Coefficient of Elasticity: 72 GPa;
- Compression Modulus: 74 GPa;
- Brinell Hardness (500Kg/10mm): 165/180 HB.

Project Development

Since that the core & cavity will be machined in aluminium, it is important to assess its mechanical resistance by a simulation process using engineering tools.

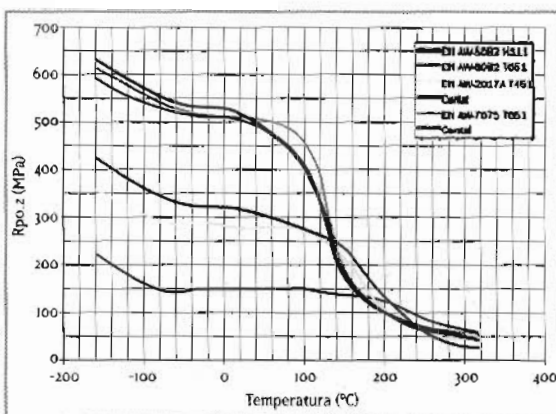


Fig. 3: Tensão de cedência em função da temperatura.
Fig. 3: Yield strength according the temperature.

In this particular case, the core is considered to be the less resistant component and thus, it is subjected to structural analysis. Afterwards, other components were analysed starting from the inside to the outside, i.e. from core & cavity to the structure.

Adding cooling channels and cavities for the ejectors could raise the number of areas to be analysed. The core & cavity itself as it is being analysed (including core) may alter due to the results obtained or to design modification (displace the injection point, gases escape, ejectors, cooling channels, adjusting components).

According to Iber-Oleff, it is possible to mould 8 parts in each moulding process. Displaying the parts in the mould in two symmetric groups with 4 parts forced the development of 2 symmetric inserts. They were also developed inserts to place next to the mould's cavity.

Temperature's influence on the mechanic properties

Analysing Fig. 3 is it possible to notice that CERTAL's mechanic resistance is significantly influenced by temperature variation. This means that the mechanic properties are not intrinsic to the material. Notwithstanding the fact that the cooling channels will be under 90°C temperature, the surface temperature in core & cavity will be 5 to 20°C above this value. To a temperature close to 100°C, the yield strength is about 400 Mpa. This value represents a reduction of about 20% when compared to the room temperature yield strength of 23°C. If this same influence of temperature is considered in fatigue yield strength, we obtain 80 Mpa as maximum strength value.

Aluminium Coating: new HARDTIL-AL

The ability of the mould to successfully perform its mission depends on the performance associated to its surface properties, and this way, the elements of the mould must have surfaces especially designed to resist to the effects inherent to high temperatures and to wearing and corrosion situations deriving from the injection process. This way, the production processes are being modified and, more and more, these processes start to employ specific engineering knowledge and techniques when dealing with functional surfaces.

In mouldmaking industry, the sphere of situations where manipulating functional surfaces is required, is very high.

The use and knowledge on the technologies associated to surface engineering have been enabling mouldmaking industry to respond to the demands regarding improvements in its products performance in different aspects, mainly as it allows:

- To control wearing caused by the cyclic movements of the metallic pieces that have direct contact;

começando de dentro para fora, ou seja, da zona moldante para a estrutura.

A adição de canais de refrigeração e furos para extractores poderá aumentar, o número de zonas a analisar. A própria zona moldante em análise (incluindo a bucha) poderá sofrer alterações devido aos resultados obtidos ou à alteração do projecto (deslocação do ponto de injeção, fugas de gases, extractores, canais de refrigeração, componentes de ajuste, etc.).

De acordo com o definido pela Iber-Oleff, o número de peças a moldar em cada moldação é de 8. A disposição das peças no molde em dois grupos simétricos de 4 peças obrigou ao desenvolvimento de 2 inserts simétricos entre si. Foram previstos igualmente inserts para o lado da cavidade do molde.

Influência da temperatura nas características mecânicas

Como se pode verificar na Fig. 3, a resistência mecânica do CERTAL é também significativamente influenciada pela variação de temperatura, isto quer significar que as propriedades mecânicas não são intrínsecas ao próprio material. Apesar dos canais de refrigeração estarem a uma temperatura de 90°C, a temperatura da superfície da zona moldante poderá estar cerca de 5 a 20°C acima deste valor. Para uma temperatura de 100°C, a tensão de cedência é de aproximadamente 400 MPa. Isto é uma redução de cerca de 20% comparado com a tensão de cedência à temperatura ambiente de 23°C. Se se considerar a mesma influência da temperatura na tensão de cedência à fadiga tem-se uma tensão limite de 88 MPa.

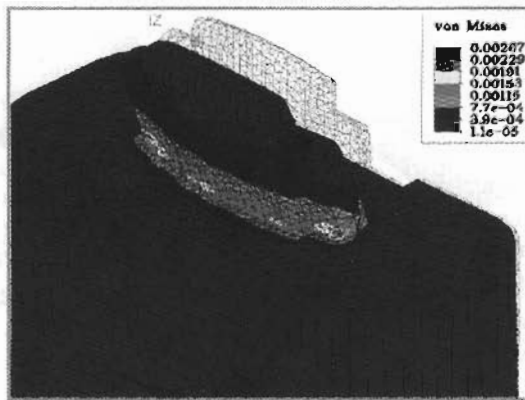


Fig. 4: Deformação da zona moldante devido à pressão de injeção
Fig. 4: Deformation on core & cavity due to injection pressure

Revestimento de alumínio: novo HARDTIL -Al

A capacidade de um molde desempenhar eficazmente a sua função depende em larga medida do desempenho associado ao conjunto das suas superfícies funcionais, sendo necessário que os elementos de um molde possuam superfícies particularmente concebidas para resistir aos efeitos das temperaturas elevadas, do desgaste e da corrosão originados pelo processo de injeção. Assim, assiste-se à modificação dos processos de produção que culminam, cada vez mais, na aplicação do conhecimento e das técnicas específicas de engenharia na manipulação das superfícies funcionais.

O domínio de aplicação da manipulação das superfícies funcionais é, na indústria de moldes, consideravelmente alargado.

A utilização e domínio das tecnologias associadas à engenharia de superfícies tem permitido à indústria de moldes responder às solicitações de melhoria de desempenho dos seus produtos em diferentes vertentes, nomeadamente através do:

- controlo do desgaste provocado pelos movimentos cíclicos de partes metálicas directamente em contacto;
- controlo do desgaste provocado por abrasão, devido à agressividade de alguns materiais plásticos, particularmente dos materiais reforçados com fibras;
- controlo do desgaste provocado por corrosão química das

superfícies moldantes, devido à acumulação de gases libertados pelos polímeros fundidos;

- redução das forças de extracção que, se forem muito elevadas, podem introduzir elevados níveis de tensão nas peças, podendo mesmo provocar a sua distorção ou quebra;
- facilidade de reparação dos moldes com problemas de desgaste, uma vez que, se os revestimentos forem reversíveis, as superfícies são potencialmente reparáveis.

Contudo, a selecção do tipo de tratamento ou revestimento da superfície não é fácil como resultado da grande evolução tecnológica em curso neste domínio, mas também pelo facto do melhor revestimento ser dependente da aplicação (funcionalidade da superfície, condições de serviço, material base,...), da disponibilidade das tecnologias e de critérios económicos.

As primeiras superfícies do molde foram revestidas pelo novo processo PAPVD com temperaturas de 180 para não degradarem as características mecânicas do substrato de alumínio. A deposição por PVD implicava temperaturas de 400° a 500°.

A espessura da película obtida pelo PAPVD de material cerâmico é de cerca de 2 micrómetros. Seria interessante conseguirem-se espessuras na ordem dos 10 micrómetros sobre o alumínio.

A evolução tecnológica então verificada permite a obtenção de revestimentos da família TiAlN, mas com uma composição intermetálica e com espessuras semelhantes às referidas. Trata-se dum material com 2200 Vickers de dureza que permite espessuras acima dos normalmente utilizados em revestimentos em PVD, é um revestimento amorfo com grande resistência à corrosão e com coeficientes de atrito mais baixos que o clássico HardTiN, o que também é uma vantagem.

O tratamento térmico que actualmente é efectuado "de fábrica" nos blocos de liga de alumínio utilizados no fabrico de moldes compreende duas etapas. A primeira é a solubilização (seguida de têmpera) e a segunda o envelhecimento artificial. No caso das ligas de alumínio tratadas termicamente, o revestimento na gama de temperaturas de cerca de 450° dá geralmente origem a um amaciamento da liga, devido a sobre envelhecimento, podendo a dureza, após revestimento, atingir valores da ordem de 50% do valor inicial.

Os requisitos necessários ao material a ser utilizado na construção das partes activas de um molde, dependem da produção esperada do molde, grau de acabamento e precisão das peças a serem obtidas, das condições de processamento e materiais a injectar.

As ligas de alumínio têm uma condutibilidade térmica cinco vezes superior ao 1.2344 vulgarmente utilizado na indústria de moldes no estado tratado. No entanto, a dureza máxima das melhores ligas de alumínio é apenas 1/3 da do aço 1.2344. Daqui se infere do grande interesse dum revestimento de elevada dureza aplicado num molde de liga de alumínio, preservando simultaneamente a dureza máxima da liga que constitui o substrato.

A ideia é obter um substrato com dureza máxima como resul-

- To control wearing caused by mechanical friction, due to the aggressiveness of some polymeric materials, particularly materials that have been strengthened with fibers;
- To control wearing due to the chemical corrosion of the moulding surfaces, caused by the accumulation of gases released by the melted polymers;
- To reduce ejection forces since that if they are very high may cause high tension levels on the parts, originating deformation or rupture;
- Repairing the mould with wearing problems will be easier since that the surface is potentially repairable (if the coating material is has reversing properties).

However, to select the type of surface coating or treatment it is not an easy task, not only due to the great technologic evolution in this area but also to the fact that the best coating depends on the function it will perform (surface functionality, service conditions, material...) on the technologies available and on the economic criteria.

The first mould surfaces were coated using the new PAPVD process with temperature of about 180°C in order to not to deteriorate the mechanic properties of the aluminium substrate. Deposition by PVD implied temperatures nearby 400°C to 500°C.

Thickness of the coating obtained by PAPVD process on ceramic material is of about 2 micrometers. It would be interesting to obtain thickness values of about 10 micrometers in the aluminium. The technological evolution enables to obtain TiAlN-type coatings

but with an inter-metallic composition and thickness values similar to those already mentioned.

Beyond having 2200 Vickers in terms of hardness, which allows getting thickness values above those usually used in PVD coating, this material is an amorphous coating highly resistant to corrosion and with a lower friction coefficient than the classic HardTiN, what is also an advantage.

The "origin" thermal treatment that aluminium alloy blocks used on mouldmaking industry experience comprises two stages. The first is solubilization (followed by hardening) and the second is artificial ageing.

Regarding thermally treated aluminium alloys, coating in temperatures of about 450°C usually originates alloy smoothing due to over-ageing, and hardness after coating may attain values of about 50 per cent of the initial value.

The necessary demands of the material to be used on the development of the "active parts" of the mould depend on the production expected from the mould, on the finishing and accuracy level of the parts to be obtained, on the processing conditions and on materials to inject.

The aluminium alloys have thermal conductivity levels five times superior to 1.2344 steel, usually used on

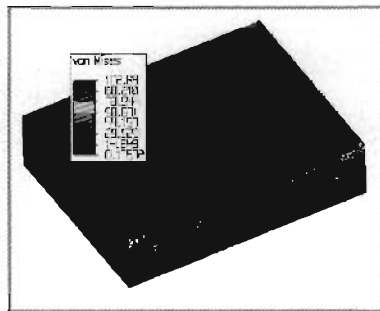


Fig. 5. Estado de tensão da chapa 2.
Fig. 5: Tension on Plate 02.

mouldmaking industry. However, the maximum hardness of aluminium alloys is 1/3 lower than 1.2344 steel. That is why it is given so much importance to high hardness levels coating in aluminium alloy moulds, as it maintains the maximum hardness rate from the alloy that constitutes the substrate.

The goal is to obtain a maximum hardness substrate as result of the optimum ageing and good adhesion conditions from coating to the substrate.

Analysis on the mechanic behaviour of the core & cavity

The influence of the injection pressure on the deformation of the core & cavity was analysed by means of two CAE files, one to simulate filling and the other to structural analysis. It is visible a certain deflection of the core during injection stage, due to the fact that it is subject to bend (Fig. 4).

On its first version, the mould had 346x396x 307 mm³ as exterior dimensional values and weighed 95 Kg. One of the goals was to reduce as maximum as possible these values. When compared to the preliminary version the mould reduced its maximum dimensional values and, consequently, its total weight. The final dimensions of the mould are 270x250x274 mm³ and weighs 40Kg.

The mechanic resistance of plate 2 and 3 was analysed. As it is possible to infer from the following images, the pocket to be machined to protect the water circuit connections, significantly reduce the mechanic resistance of the plates subjected to a clamping force of about 80 tons.

By means of this optimising process, mechanically less resistant areas that could compromise the mould's performance were detected. This analysis enabled reducing the mould's weight on about 58 per cent.

Conclusions

- One of the goals we intended to accomplish was to adapt the processing conditions in order to assure an optimised production. Two sub-objectives assist in the task: to improve the parts' appearance and to reduce cycle time.

- After the first testing series at Iber-Oleff facilities, in a Krauss Maffei 80T machine like the one used to process the same parts but with a 1.2767 steel mould hardened with Ultradur (PBT) B4520 – Black, and in normal processing conditions, differences in texture and outside brightness were found among the parts produced in coated cavities and non-coated cavities. This derives from the roughness modifications due to the use of a slight coating (thickness = 2 micrometers) in 4 of the 8 cavities and also to the fact that this coating material (TiAlN ceramic) acts as a thermal barrier

tado do envelhecimento óptimo e boas condições de adesão do revestimento ao substrato.

Análise do desempenho mecânico das zonas moldantes

Foi analisada a influência da pressão de injeção na deformação da zona moldante recorrendo a duas aplicações de CAE, uma para a simulação do enchimento e outra para a análise estrutural. Verifica-se alguma deflexão da bucha durante a fase de injeção, devido ao facto de a mesma estar em balanço (Fig. 4).

O molde de acordo com o desenho preliminar possuía as dimensões exteriores de 346x396x 307 mm³ e um peso de 95 kg. Um dos objectivos foi a diminuição máxima possível das dimensões exteriores e a redução do peso do molde.

Face ao desenho preliminar, o molde sofreu uma redução nas suas dimensões máximas, e, por consequência, no seu peso total. As dimensões finais do molde são 270x250x274 mm³, sendo o peso do molde de 40 Kg.

Foi analisada a resistência mecânica das chapas 2 e 3. Como ilustrado nas figura seguintes, a caixa a ser maquinada para a protecção das ligações do circuito de água, reduzia significativamente a resistência mecânica das chapas sujeitas a uma força de fecho de 80 toneladas.

Através deste processo de optimização foram detectadas zonas pouco resistentes mecanicamente que poderiam comprometer o desempenho do molde. Esta análise permitiu a redução do peso do molde em cerca de 58%.

Através deste processo de optimização foram detectadas zonas pouco resistentes mecanicamente que poderiam comprometer o desempenho do molde. Esta análise permitiu a redução do peso do molde em cerca de 58%.

Conclusões

- Um dos objectivos dos ensaios foi ajustar as condições de processamento por forma a garantir uma produção optimizada. Os esforços foram direccionados a dois sub-objectivos – melhorar a aparências das peças e reduzir o tempo do ciclo.

- Após a primeira série de ensaios nas instalações da Iber Oleff numa máquina Krauss Maffei 80T igual à que é utilizada no processamento das mesmas peças mas com o molde em aço 1.2767 temperado, com o material Ultradur (PBT) B4520 – Preto, e em condições normais de processamento, foram detectadas diferenças de textura e brilho exterior entre as peças produzidas nas cavidades revestidas e nas não revestidas como resultado da alteração da rugosidade por aplicação dum revestimento fino com dois micrómetros de espessura em 4 das 8 cavidades e pelo facto do material de revestimento (cerâmico TiAlN) funcionar como barreira térmica entre o plástico e o substrato em alumínio. A alteração da condutibilidade térmica, mesmo com rugosidades iguais nas superfícies dos moldes, determina rugosidades superficiais diferentes nas peças plásticas o que determina dificuldades na "intermutabilidade" com as fabricadas no molde em aço. Após alguns ensaios as peças foram aprovadas atendendo aos atributos dimensão, textura superficial e brilho.

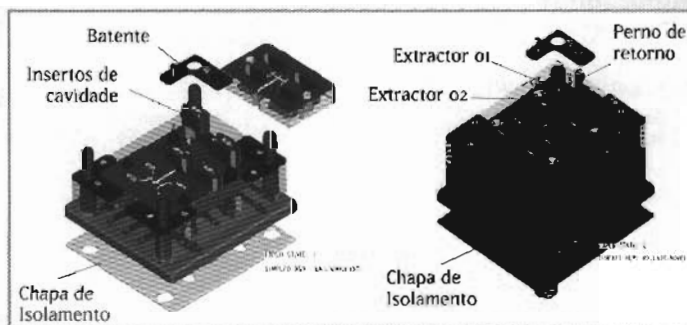


Fig. 6: Desenho do molde com algumas características adicionais.
Fig. 6: The mould with some additional properties

- Os knobs produzidos com o molde de alumínio demonstraram um maior nível de brilho e uma acrescentada saturação do preto, comparados com os seus homólogos feitos com a ferramenta de aço. Para compensar esse efeito indesejável foi necessário modificar a textura das cavidades revestidas com TiAlN. Essa acção deu resultados positivos. As peças ficaram mais baças e mais cinzentas, atingindo, assim, as especificações do cliente.

- Os ensaios de injeção feitos com o molde de alumínio provaram de facto que o tempo de produção pode ser reduzido. Utilizando condições de processamento que cumprem todos os critérios relacionados com os problemas descritos acima, o ciclo do molde de alumínio foi de 16.4 s versus 21.1 s do molde de aço. Essa diferença pode ser representada como uma melhoria de cerca de 20% que deve ser um impacto económico muito profundo.

- Outro objectivo destes ensaios foi provar a durabilidade e a fiabilidade do alumínio como um material para construção de moldes de injeção após a validação dos ensaios em ambiente laboratorial. A análise comparativa do desempenho do molde em aço com o molde em alumínio (revestido e não revestido) obriga a um controlo sistemático do desgaste provocado

por abrasão ou corrosão e das deformações nos domínios plástico e elástico como resultado das solicitações mecânicas a que os moldes estão sujeitos. As modificações adaptativas do material ao nível da engenharia de superfícies e das novas condições de adesão do revestimento ao substrato, fazem prever um incremento significativo da resistência ao desgaste das impressões do molde em alumínio.

- Várias tecnologias de transformação como a extrusão sopro, a injeção sopro, a termoformação e a injeção com reacção RIM, o emprego de moldes de alumínio é uma prática corrente.

- Para várias tecnologias de transformação, como a SMC (Sheet Moulding Compound), a combinação de temperatura e pressão elevadas é relativamente desfavorável ao alumínio, o fabrico destes moldes deve ficar reservado ao aço, contudo, a utilização do alumínio no fabrico de moldes de injeção é ainda bastante marginal porque os diferentes actores do processo conservam reflexos proteccionistas em relação ao aço.

- Importa validar não só do ponto de vista tecnológico a utilização dos moldes de injeção em alumínio, mas também o interesse económico que ele representa, desde a produção do molde à moldação por injeção, com efeito, a motivação principal comum aos desejos de progresso podem resumir-se em três pontos:

between the plastic material and the substrate. Changing the thermal conductivity, even with the same roughness levels in the mould surface origins different surface roughness values in the plastic parts, what makes more difficult the "inter-mutability" process with parts produced in a steel mould. After several tests, the parts were approved considering some properties: dimension, superficial texture and brightness.

- The parts produced with an aluminium mould demonstrated to have high brightness levels and added black saturation, when compared to those processed by the steel tool. To compensate that undesirable effect it was necessary to modify the texture of the cavities coated with TiAlN. This action had positive results. The

parts resulted matter and greyer, meeting the client demands.

- In fact, the injection tests using the aluminium mould proved that manufacturing time could be reduced. By means of processing conditions fulfilling all the criteria related to the problems above mentioned, the aluminium mould cycle time was of 16.4 s and the steel mould was of 21.1 s. This difference can be understood as an improvement of 20 per cent what represents a deep economic impact.

represents a deep economic impact.

- Another goal of these tests was to demonstrate aluminium reliability and long-lasting capability as material used in injection moulds after being validated in tests carried out on laboratorial environment. The comparative analysis between the aluminium mould and the steel mould (coated and non-coated) performance implies a systematic control of wearing due to abrasion/corrosion situations and deformation regarding plastic and flexibility features, all situations that may occur because of the mechanic circumstances to which they are subjected. The adjustment modifications made to the material concerning surface engineering and new adhesion conditions of coating to the substrate lead to a notorious improvement on the resistance to wearing of the aluminium mould.

- Several processing technologies such as extrusion blow moulding technology, injection blow moulding technology, thermoforming and RIM injection already use aluminium moulds.

- To several processing technologies, as SMC (Sheet Moulding Compound), combining high temperature and pressure is relatively unfavourable to aluminium.

Fase Stage	Mole em aço Steel mould	Molde em alumínio / Aluminium mould		
		Evolução média Change in time	Motivo evolução Reason to change	Parte relativa restante / % time
Ante projecto Initial design study	5	Não muda None		5
Produção protótipo Built prototype	10	Redução 20% 20% reduction	Maquinabilidade Machinability	8
Validação protótipo Test prototype	15	Não muda None		15
Proj. molde série Develop production model	10	Não muda None		10
Produção molde série Built production model	20	Redução 20% 20% reduction	Maquinabilidade Machinability	16
Moldação injeção Produce injection mouldings	40	Redução 10 a 50% (média 30%) Reduction 10-50% (ave 30%)	Condutibilidade térmica Thermal conductivity	28
	100			82
Evolução média esperada Expected change in overall cycle time				-18%

Tabela 1: Comparação de custos [1]
Table 2: Costs comparison de custos [1]

Steel must be used to manufacture these moulds; however the use of aluminium to produce injection moulds is still rejected because the different actors of this process maintain protectionist reactions regarding this material.

- It is important to validate the use of aluminium injection moulds not only from technological point of view but also due to the economic aspect it represents, starting in the production of the mould and ending in injection moulding. Thus, the main reason, common to progress ambitions can be summarised in three points:
 - Faster production process deriving from an improved machinability of the materials and compatibility with the subsequent surface engineering;
 - Reduction on the injection machine cycle time caused by a faster heat distribution;
 - Improved quality of the components produced.

The answer to these issues may not derive from adjustment modifications of the material. New metallurgic solutions are required.

Using new aluminium alloys from series 7xxx allow responding to these demands. The fol-

lowing table demonstrates how costs may differ when using tools produced with the new aluminium alloys.

Thus, we may refer that the performance of the new aluminium alloys responds to the market demands.

Since that cooling time represents the most significant stage of the injection cycle, the trend is to use a material with thermal conductivity enabling to highly improve heat transfer process.

- What companies (end users of moulds) and particularly injection moulding professionals fear regarding the use of aluminium moulds is "lower hardness and resistance levels". However, if that is a fact, the truth is that the difference on the mechanic characteristics between steel and new aluminium have been, progressively, decreasing.

The following table intends to compare the mechanical properties of the materials typically used in mould-making industry.

The first conclusions we may refer are:

- The mechanical properties (hardness and traction resistance) of aluminium alloys and steel to carbon may be considered as being at the same level;
- The mechanical properties and mainly the maximum flexibility strength (certainly the most representative property when we want to speak about the several possibility of using a material in structure applications) of the latest 7xxx alloys have been improving and are, more and more, near to the properties of pre-treated steels.

- A aceleração da fabricação como resultado duma melhor maquinabilidade dos materiais e compatibilidade com a engenharia de superfícies posterior;
- Redução do tempo de ciclo na máquina de injeção como resultado duma dissipação mais rápida do calor;
- Melhoria da qualidade dos componentes produzidos.

A resposta para estas questões não pode resultar duma modificação adaptativa do material. Novas soluções metalúrgicas surgem como necessárias.

A utilização das novas ligas de alumínio da série 7xxx permitem responder a esta solicitação. A tabela seguinte dá uma ideia da evolução dos custos que se podem obter com a utilização de ferramentas produzidas com as novas ligas de alumínio.

Sendo assim, podemos dizer que o desempenho das novas ligas de alumínio responde às exigências do mercado.

Como o tempo de arrefecimento representa a parte mais significativa do ciclo de injeção, torna-se evidente a tendência para a adopção de um material com condutibilidade térmica que permita um fortíssimo incremento da taxa de transferência de calor.

	Aço ao carbono Carbon steel	Aço pré tratado Prehardened steel	Aço ferramenta Tool steel	Tradicional 7xxx	7xxx nova geração 7xxx New generation
Rm (MPa)	620	1000	1200 a 1900	430	580
Rp _{0.2} (MPa)	325	890	>1000	330	530
HB	174	300	400 a 580	160	185

Rm - Tensão de rotura / Tensile strength. Rp_{0.2} - Tensão de cedência / Yield strength.
HB - Dureza Brinell / Hardness Brinell.

Tabela 2: Comparação de propriedades mecânicas I/1
Table 2: Mechanical properties comparison I/1

- O maior receio que as empresas clientes dos moldes e, em particular, os profissionais que fazem moldação por injeção, possuem em relação à utilização dos moldes em alumínio, resulta da "falta de dureza e de resistência". Contudo, se tal é na realidade um facto, a verdade é que a diferença de características mecânicas entre os aços e os novos aluminios tem vindo a ser progressivamente reduzida.

O quadro seguinte procura fazer alguma análise comparativa entre propriedades mecânicas de materiais tipicamente utilizados na indústria de moldes.

As primeiras constatações que são possíveis tirar do quadro são as seguintes:

- As propriedades mecânicas (dureza e resistência à tracção) das ligas de alumínio e do aço ao carbono podem assumir-se como do mesmo nível;
- A propriedades mecânicas, e principalmente a tensão limite de elasticidade (certamente a característica mais representativa das possibilidades de emprego dum material em aplicações estruturais), das ligas da série 7xxx da nova geração têm progredido duma geração para outra e aproximam-se das dos aços pré tratados.

Referência

[1] - "Aluminium Moulds for plastic processing". Christophe Jaquerod - Alcan Aluminium Valais S.A.

* Centímetre

** Universidade do Minho - IPC

*** Iber-Oleff, S.A.

**** SET, S.A.