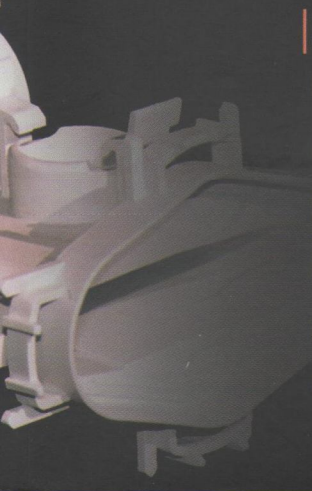
Revista da Cefamol | Associação Nacional da Indústria de Moldes

molde

Ano 18 · n.º 66
Junho 2005
€ 4,00



Molde de Injecção para Pequenas Séries e Flexibilidade Acrescida | Engenharia Inversa: Aquisição de forma 3D por iluminação estruturada codificada | *Reverse Engineering: 3D shape acquisition by coded structured light* | Hibridmolde - Um Projecto para a Nova geração de Moldes | *Hibridmolde - A Project Towards the New Mould Generation* | A adaptação das estruturas empresariais no contexto da globalização económica | *The adaptation of business structures within the context of economic globalization* |

Hibridmolde - Um Projecto para a Nova geração de Moldes

António Pontes*, Paulo Gago**,
Paulo Bártolo***, Rui Soares****
e António Pouzada*

1- INTRODUÇÃO

Sectores importantes da indústria moderna, como os do automóvel ou da electrónica, são um paradigma da necessidade de introdução no mercado de novos produtos com períodos de desenvolvimento cada vez mais curtos. O sector nacional da indústria de moldes está intimamente associado a esta realidade, sendo frequentemente chamado a propor soluções integradas de projecto para a concepção e o desenvolvimento global. A exploração e a endogeneização de metodologias alternativas para a concepção e fabrico de ferramentas de produção de séries-protótipo de componentes em materiais termoplásticos passam pela aplicação das potencialidades oferecidas pelas técnicas de prototipagem rápida e de fabrico rápido de ferramentas (rapid tooling) e pela utilização de novos materiais para os blocos moldantes.

A resposta da indústria nacional ao desafio da integração no Desenvolvimento de Produto das tecnologias de prototipagem e de fabrico rápido de ferramentas (RPT), desenvolvidas na última década, passa pela colaboração com as instituições do sistema nacional de I&DT e da utilização de recursos avançados postos à disposiçao pelo programa RNPR (Rede Nacional de Prototipagem Rápida) no fim da década de 1990.

A empresa Moliporex tem-se especializado no desenvolvimento de produtos técnicos e na concepção de moldes para séries curtas. Na continuação do projecto Protomolde (apoiado pela Agência de Inovação entre 1999 e 2001) foi reconhecida a necessidade do aprofundamento de aspectos tecnológicos e de projecto associados a algumas das cadeias de produção de interesse para a empresa. Assim, surgiu o projecto *Desenvolvimento de Metodologias de Projecto e de Alternativas de Fabrico Rápido de Moldes, para Injecção de Termoplásticos de Engenharia - Hibridmolde*.

O projecto Hibridmolde, iniciado em Janeiro de 2002, incluiu para além da empresa promotora, Moliporex, o Centimfe que integrou a RNPR, o Departamento de Engenharia Mecânica do IPLEI que vem desenvolvendo investigação no domínio de moldes híbridos, e o Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho a quem competiu a coordenação científica do projecto. Os objectivos genéricos do projecto incluíam:

- Optimização do comportamento estrutural e térmico de moldes híbridos;
- Exploração da aplicabilidade de processos tecnológicos convencionais às novas resinas metálicas utilizadas em RPT;
- Desenvolvimento de soluções conceptuais e de metodologias de projecto para moldes híbridos.

Com o desenvolvimento do projecto, exploraram-se três

Hibridmolde - A Project Towards the New Mould Generation

1- INTRODUCTION

Important sectors of the modern industry, such as the automotive or the electronics, are a paradigm of the market demand for introducing new products after a shorter and shorter development period. The Portuguese mouldmaking industry is intimately linked to this new reality, and often it is asked to contribute with integrated solutions for new products. These solutions cover from the initial product concept to the global development of the parts and tools. Exploring and endogeneising alternative methodologies for the new potential being offered by the Rapid Prototyping and Tooling techniques made available during the last decade and using design and manufacture of injection moulds for the production of prototype series plastics products imply the application of alternative materials for the moulding blocks

The Portuguese mouldmaking industry is answering the challenge of integrating in the Product Development the new technologies of rapid prototyping and tooling (RPT), by resorting to the cooperation with the institutions of the Portuguese Scientific and Technological System and to specific resorts made available by the programme RNPR (national Network for Rapid Prototyping) and the end of the 1990 decade.

Moliporex, a company based on the heart of the Portuguese mouldmaking industry at Marinha Grande, has become specialist in the development of technical parts and design of moulds for short series. Following the results of the project Protomolde *(that was supported by the Portuguese Agency for Innovation between 1999 and 2001) it realised the need for further studies on the technological and design aspects associated to several in house production chains. This lent to the project on the Development of* Design Methodologies and Rapid Mouldmaking Alternatives for the Injection of Engineering Thermoplastics - **Hibridmolde.**

The project Hibridmolde, which started in January 2002, involved further to Moliporex, the Project promoter, the technological centre, Centimfe, that was a member of RNPR, the Department of Mechanical Engineering of the Leiria Polytechnic who has been researching in the field of hybrid moulds, and the Department of Polymer Engineering of the University of Minho who was responsible by the scientific coordination of the project. The general objectives of the project include:

- Optimization of the structural and thermal behaviour of hybrid moulds;

- Analysis of the applicability of conventional technological processes to the machining of the new metal based resins currently used in RPT;

- Development of conceptual solutions and design methodologies for hybrid moulds.

The deployment of the project lent to the exploration of three RPT production chains, namely the cast resin moulding, the metal spraying, and the selective sintering of metal powders. A product of complexity that was considered being representative of the products that Moliporex is developing was identified for analysis. The project made resort to the facilities already installed and available at the institutions making part of the project consortium

The hybrid mould that was developed incorporated instrumentation solutions previously developed which allowed for the characterisation of its performance in operation conditions at the processing laboratory of the University of Minho.

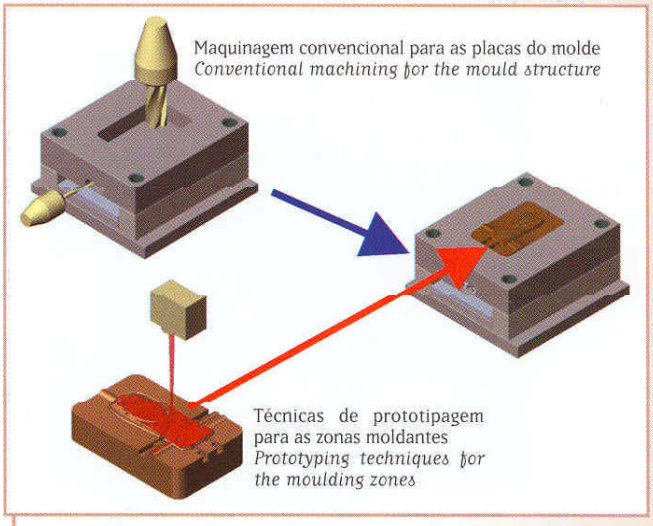


Fig. 1: Conceito de moldes híbridos.
Fig. 1: Hybrid mould concept.

2- *Hybrid Moulds*

The short time development of injection moulds for short series is well established today and is attracting the interest of the scientific community. The solution that addresses the integration of moulding blocks (cores and cavities), obtained using the new RPT techniques, in structures fabricated by conventional processes and using standard materials is extensively studied. The association of very different materials and manufacturing techniques originated the designation of Hybrid Moulds *for the resulting tools. In these moulds, the more relevant feature is the fabrication of the moulding blocks resorting to non conventional material and processes (figure 1).*

The utilisation of processes and technologies under the concept of Rapid Tooling is current in the manufacturing of hybrid moulds. This context includes the manufacturing of tools and of prototype or usable components, using processes, materials and alternative production methodologies in non conventional formats.

Among the more recent developments it is relevant the interest for the new materials that are based on metals for conveying structural capability and enabling an easy and quick shaping (resins with metallic fillers, metal powders, sintered components and light alloys). The development and assimilation of the new alternative chains for the design and manufacturing of production tools for prototype series – that became a real-

cadeias de produção de RPT, designadamente as de resinas vazadas, de deposição por jacto metálico e de sinterização selectiva de pós metálicos. Foi identificada uma peça de complexidade representativa dos produtos que a empresa é solicitada para desenvolver. Foram utilizados recursos instalados em todas as instituições parceiras do projecto.

O molde híbrido utilizado incorporou soluções de instrumentação anteriormente desenvolvidas e que permitiram a caracterização do seu desempenho em condições reais de funcionamento no laboratório de processamento da Universidade do Minho.

2- Moldes Híbridos

No desenvolvimento rápido de moldes para séries curtas está hoje estabelecida e atraindo o interesse da comunidade científica a solução que passa pela integração de blocos moldantes (buchas e cavidades), obtidos pelas novas técnicas de RPT, em estruturas produzidas por técnicas e com materiais convencionais. A associaçao de materiais diferentes e de técnicas de fabrico muito distintas levou à designação de Moldes Híbridos para os moldes resultantes. Nestes moldes, o aspecto mais saliente é a obtenção dos blocos moldantes em materiais e/ou processos não convencionais (figura 1).

Para a execução de moldes híbridos é normal o recurso a processos e a tecnologias englobadas no conceito de *Rapid Tooling* ou Fabrico Rápido de Ferramentas. Este contexto inclui a fabricação de ferramentas e de componentes protótipos ou finais, por recurso a processos, materiais e metodologias alternativas de produção em formatos não convencionais.

De entre os desenvolvimentos mais recentes salienta-se o interesse por novos materiais baseados em metais que conferem alguma resistência estrutural e permitem uma conformação fácil e rápida (resinas com cargas metálicas, pós metálicos, componentes sinterizados e ligas leves). O desenvolvimento e a assimilação de novas cadeias alternativas para a concepção e a fabricação de ferramentas de produção de séries-protótipo – que não tem mais que uma década - implica a consideração das vantagens oferecidas pelas técnicas de RPT e a utilização de novos materiais alternativos para a construção dos blocos moldantes.

3- Fabrico Rápido de Ferramentas Aplicados no Projecto

As estratégias para o projecto e a construção de moldes híbridos foram objecto do projecto Hibridmolde. Dada a vastidao do domínio, apenas foram mais detalhadas três técnicas de fabricação rápida, designadamente as de resinas vazadas

(RM), de sinterização selectiva de pós metálicos (SLSm) e de deposição metálica por jacto.

3.1 - Resinas Vazadas

Desde 1940 que este processo é utilizado, praticamente inalterado, para a obtenção de blocos moldantes de ferramentas. Actualmente são utilizadas resinas epoxídicas carregadas com partículas metálicas (normalmente alumínio) para o fabrico de moldantes de moldes de injecção. Este processo tem vindo a ser estudado e aprofundado pela Universidade do Minho e pelo IPLEI [1].

Na figura 2 mostra-se um dos blocos moldantes desenvolvidos por esta técnica no projecto e instalado na estrutura convencional utilizada.

O relativamente pequeno investimento associado a esta cadeia de produção tem atraído o interesse dos fabricantes de composições baseadas em resinas epoxídicas. As resinas mais recentes no mercado estão optimizadas para as condições de produção dos blocos moldantes e de injecção de peças plásticas. Designadamente apresentam melhor vazabilidade e melhores propriedades mecânicas e térmicas.

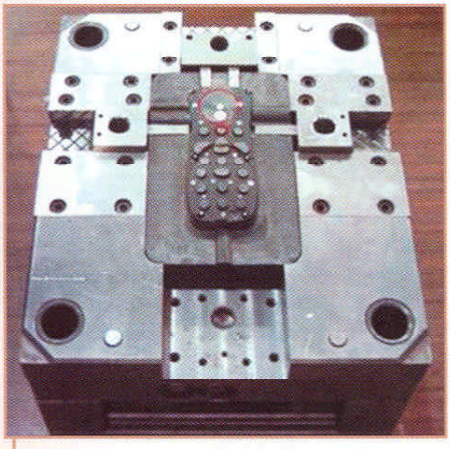


Fig. 2: Postiço EP em molde híbrido.
Fig. 2: Epoxy cast moulding block in a hybrid mould.

Vantagens:
- Técnica muito expedita e simples;
- Relativamente económica;
- Facilidade de reparação das ferramentas.

Desvantagens:
- Limitação ao número de peças produzidas;
- Desempenho térmico do molde limitado;
- Rápida degradação da superfície moldante dos postiços;
- Fragilidade dos postiços e duração imprevisível.

3.2 - Jacto Metálico

O método de deposição por jacto metálico (Metal Spray) consiste na pulverização de metal fundido para deposição de uma casca da impressão. Esta técnica é utilizada com sucesso no fabrico de ferramentas para processos de baixa pressão, como termoformação e moldação-sopro. Neste momento está em fase de desenvolvimento no IPLEI.

A qualidade dimensional e superficial dos blocos moldantes é condicionada pelo material e pelo método de deposição. O processo é de execução requerendo alguma perícia do operador. Há sérias limitações à geometria da peça a injectar. É necessário que o jacto seja aplicado perpendicularmente à superfície do modelo, o que nem sempre é prático ou possível. A aplicação do jacto em rasgos ou canais estreitos e em furos é particularmente difícil, pelo que é prática comum inserir postiços metálicos maciços nestas áreas, que podem provocar concentração de tensões, originando a ruína prematura da ferramenta.

Vantagens:
- Excelente reprodução da superfície, incluindo definição de textura (ligas de baixo ponto de fusão);
- Processo adequado para fabrico de ferramentas de grandes dimensões.

ity in the last decade – implies the consideration of the advantages being offered by the RPT techniques and the utilisation of new alternative materials for the manufacturing of the moulding blocks.

3 - Rapid Tooling Techniques Used in the Project

The strategies for the design and manufacturing of hybrid moulds were an objective of the Hibridmolde project. This domain being so vast, three rapid tooling techniques only were used, namely the resin casting (RM), the metal powder selective sintering (SLSm) and the metal spay deposition.

3.1 - Resin Casting

The Resin Casting process is used since the 1940's, with almost no modifications, for producing moulding blocks. Epoxy resins with metal fillers (typically aluminium) are widely used today for the manufacturing of moulding blocks for injection moulds. The process is being the object of research studies by the University of Minho and the Leiria Polytechnic [1].

Figure 2 shows one of the moulding blocks that were developed in the project using this technique for assembly in the standard mould structure.

The relatively small investment associated to this production chain attracted the interest of epoxy based compounds manufacturers. The more recent resins in the market are optimized for the manufacturing conditions of the moulding blocks and for the injection moulding of plastics parts. In particular they are characterised for improved castability and enhanced mechanical and thermal properties.

Advantages
- *Very simple and quick technique;*
- *Relatively cheap;*
- *Easy tool reparability.*

Disadvantages
- *Limited number of moulding cycles;*
- *Limited thermal performance of the mould;*
- *Fast degradation of the moulding surface of the blocks;*
- *Fragility of the inserts and unpredictable duration.*

3.2 - Metal Spraying

The Metal Spray method consists on the spraying and deposition of a molten metal to form the skin of the moulding zones. This technique is successfully used in the manufacture of tools for low pressure processes, as thermoforming or blow moulding. Currently it is being developed at the Leiria Polytechnic.

The dimensional and surface quality of the moulding blocks is conditioned by the material and the deposition method. The process implies some degree of expertise from the spraying operator. There are important limitations to the geometries of the parts envisaged for

moulding. It is necessary that the jet is applied perpendicularly to the model surface this not being always practical or possible. The application of the jet in deep grooves or in narrow channels and holes is particularly difficult. Therefore, for making these details possible it is common to use metal inserts that conversely may originate stress concentration leading to the premature failure of the tool.

Advantages

- *Excellent replication of the surface, including the texture detail (in the case of low melt temperature alloys);*
- *Process suitable for very large tools.*

Disadvantages

- *Limitations on the direction of the metal jet;*
- *Limited duration of low melt temperature materials;*
- *Relatively complex pulverisation of high melt temperature alloys*

3.3 - LASER Sintering of Metal Powders

The processes under this heading are considered one of the more sticking advances in the field of Rapid Prototyping and Rapid Tooling. Nevertheless there is some difficulties in their commercial and industrial implementation. The first equipment of this type was installed in Portugal at the Centimfe during the programme RNPR.

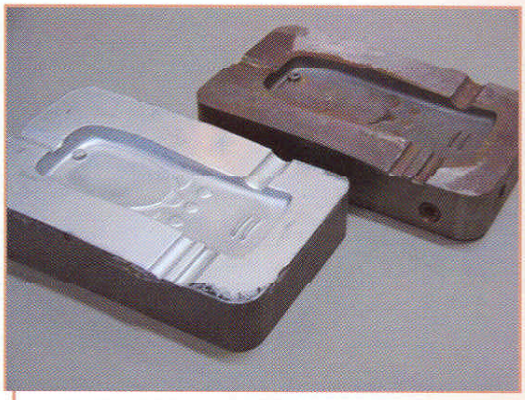


Fig. 3: Postiço obtido por Metal Spray.
Fig. 3: Moulding block produced by Metal Spraying.

There are two important variants in the LASER sintering processes: SLS - Selective LASER Sintering and DMLS - Direct Metal LASER Sintering. The SLS being used in the Hibridmolde project was developed at University of Houston in association with DTM Corporation [2] for the production of prototype parts in PVC, PC, PA and foundry waxes. For the production of metal components stainless steel powders with a polymeric agglomerant are used. This agglomerant is fused by the LASER beam. The so called green component obtained at this stage is subjected to high temperature cycles for removal of the polymeric agglomerant, sintering of the metal powder and, finally, infiltration with a copper alloy.

During the project moulding blocks were obtained (figure 4) as well as experimental data already presented in international conferences [3-5].

Advantages

- *Direct manufacture of the metal moulding blocks*
- *Possibility of including conventional cooling channels*
- *Possibility of post-manufacturing operations in the blocks (welding, machining, polishing).*

Disadvantages

- *Low surface quality;*
- *Poor dimensional quality;*
- *Limitation to the size of the moulding blocks.*

Desvantagens:

- Limitações na direcção de aplicação do jacto metálico;
- Duração limitada dos materiais de baixo ponto de fusão;
- Pulverização de ligas de elevado ponto de fusão é relativamente complexa.

3.3 - Sinterização LASER de Pós Metálicos

Este conjunto de processos é considerado como um dos maiores avanços no campo da Prototipagem Rápida e do Fabrico Rápido de Ferramentas. Apesar deste facto, há dificuldade na sua implementação comercial e industrial. O primeiro equipamento deste tipo foi instalado no Centimfe no âmbito da RNPR.

Existem duas variantes importantes do processo de sinterização LASER: SLS - Selective LASER Sintering e DMLS - Direct Metal LASER Sintering. O processo SLS (usado neste projecto) foi desenvolvido pela Universidade de Houston e pela extinta DTM Corporation [2] para produção de peças protótipo em PVC, PC, PA e ceras de fundição. Para a produção de componentes metálicos são utilizados pós de aço inoxidável revestidos com um ligante polimérico. Este é fundido por acção de um feixe LASER. O componente "verde" assim obtido deve ser submetido a estágios de alta temperatura, para remoção do ligante polimérico, sinterização dos pós metálicos e, finalmente, infiltração com uma liga de cobre.

No âmbito do projecto foram desenvolvidos blocos moldantes (figura 4) e obtidos alguns resultados experimentais já publicados [3-5].

Vantagens:

- Fabrico directo de postiços metálicos;
- Possibilidade de inclusão de circuitos de refrigeração (linhas de água) convencionais;
- Possibilidade de executar pós-operações sobre os postiços (soldadura, maquinagem, polimento).

Desvantagens:

- Baixa qualidade superficial;
- Baixa qualidade dimensional;
- Limites às dimensões dos postiços.

4 - Da Investigação para a Prática

A análise do funcionamento destas ferramentas permitiu a apreciação dos aspectos que condicionam a obtenção de tempos de ciclo compatíveis com a dimensão industrial e as dificuldades práticas de obtenção e de reprodução de características complexas associadas a peças técnicas.

A integração de saberes consolidados na indústria com a capacidade de racionalização estabelecida no sistema nacional de I&DT e a sua transposição para a actividade de projecto e desenvolvimento industrial foram uma preocupação latente no consórcio que desenvolveu este projecto. Idealmente, todos os projectos desta índole deveriam conduzir ao estabelecimento de metodologias e códigos de boas práticas transferíveis para a indústria.

Assim, na fase final deste projecto foi compilada uma colectânea de fichas auxiliares do projecto de moldes híbridos que

cobrem cerca de 50 tópicos específicos de projecto. Estes tópicos variam desde como optar pela cadeia de produção de moldes híbridos mais adequada até à caracterização de soluções de projecto específicas de uma determinada solução de RPT, passando ainda pela análise dos aspectos económicos associados a cada uma das cadeias estudadas.

4- Conclusões

O projecto **Hibridmolde** veio demonstrar que os moldes híbridos são perfeitamente adequados para muitas aplicações industriais em que se pretenda obter uma série limitada de produção com um tempo de preparação da ferramenta muito curto.

Subsistem ainda dificuldades de projecto relevantes para a produção de peças técnicas de qualidade. Estas dificuldades estão associadas ao facto de parâmetros importantes, como o comportamento térmico e mecânico dos materiais utilizados nos blocos moldantes, serem ainda pouco conhecidos e compreendidos. O conhecimento destes parâmetros permitirá optimizar o projecto e fabrico de moldes por técnicas não convencionais integrando, nos procedimentos de projecto, análise térmica e estrutural por técnicas de computorizadas, para o desenvolvimento de ferramenta bem como para previsão e correcção antecipada de eventuais problemas.

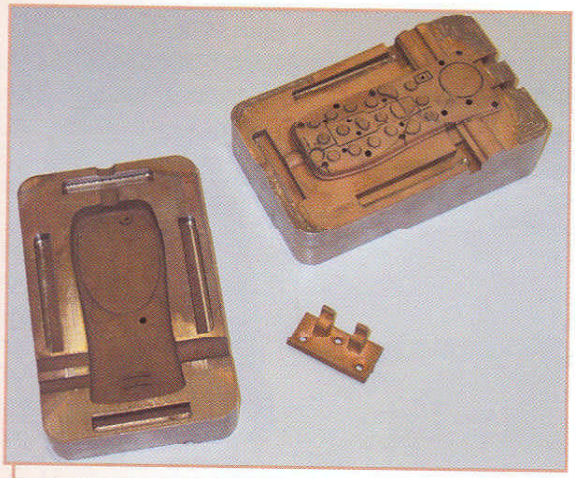


Fig. 4: Cavidades obtida por SLSm.
Fig. 4: Moulding blocks obtained by SLSm.

5- Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pelo POCTI – Projecto Hibridmolde e pela FCT – Fundação para Ciência e Tecnologia, através dos programas POCTI e FEDER.

Referências

[1] LIMA, P.; RAMOS, J.; POUZADA, A.S. – Desempenho térmico de moldes híbridos de injecção com zonas moldantes em epóxido / Thermal performance of hybrid injection moulds with epoxy moulding inserts, O Molde, 56, p.28, (2003).

[2] http://www.3dsystems.com.

[3] QUEIRÓS, M. P.; PONTES, A. J.; POUZADA, A. S. - Performance Assessment of Hybrid Moulds for Injection Moulding, PMI 2005 – Int. Conf. on Polymers & Moulds Innovations. Gent: April, 2005.

[4] PONTES, A.J.; QUEIRÓS, M.; BÁRTOLO, P; POUZADA, A.S. – A Study on Design and Performance of Hybrid moulds for Injection Moulding, ICIT 2005 – 5th Int. Conf. of Industrial Tools. Bled: April, 2005.

[5] QUEIRÓS, M.; PONTES, A.J.; SOARES, R.; POUZADA, A.S. – Hybrid moulds with SLS inserts: Design and performance assessment, PPS Americas Reg. Meeting, Florianópolis: Novembro, 2004.

*Universidade do Minho.
**Moliporex, S.A.
***ESTG - Leiria.
****Centimfe.

4 - From Research to Practice

The analysis of the operation of this type of tooling enabled the consideration of the aspects that condition the achievement of cycle times compatible with the industrial dimension and the practical difficulties for obtaining and reproducing the complex characteristics associated to technical parts.

The integration of the know how being consolidated by the industry with the rationalisation capability established at the Portuguese institutions of R&D and its transposition to the industry design and development offices were a latent concern within the Hibridmolde consortium. Ideally all the projects of this type ought to lead to the establishment of methodologies and Codes of Practice transferable to the industry.

Thus, the final stage of the Hibridmolde project was dedicated to compile a set of technical sheets that could help the hybridmould design. This set covers about 50 specific design tópicos. The topics range from how to choose the more adequate chain production for a hybrid mould to the characterisation of the design solutions specific of each RPT option, passing by others like the analysis of the economic aspects associated to each of the chains studied in the project.

4 - Conclusion

The project Hibridmolde *helped the demonstration of the adequacy of hybrid moulds for many industrial applications were the production of a short production run is envisaged in association with a very short tool development period.*

Nevertheless design difficulties still remain for the production of top quality engineering components. These difficulties are associated to several important design parameters, related to the thermal and mechanical behaviour of the materials used in the moulding blocks, still being relatively little studied and understood. The knowledge of these parameters will enable the improvement of the design and manufacturing of moulds by non conventional techniques, and the integration, in the design process, of the structural and thermal computer assisted analyses that are fundamental for the tool development and prediction of possible operation problems.

5 - Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support granted by the Agência de Inovação at the Project Hibridmolde through the programme POCTI and by the FCT – Foundation for Science and Technology, through the POCTI and FEDER programmes.