

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vitor Hugo Vidal Braga

**Desenvolvimento e melhoria de um molde e
acompanhamento do seu processo
produtivo**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de
Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor António Manuel Brito

Engenheiro João Cortez

Julho de 2017

Agradecimentos

Ao Eng^o. João Cortez, pela oportunidade de realizar esta tese de mestrado na empresa Celoplás e por todos os conselhos que me foram transmitidos durante a realização deste trabalho.

À Eng^a. Flora. Eng^o. Bruno, ao Pedro, Bárbara, João e ao Miguel, pelos todos conhecimentos que me transmitiram e pela toda a ajuda que me deram neste projeto.

Aos meus pais e à Patrícia, por todo o apoio fundamental na conclusão deste projeto.

Resumo

A Indústria Portuguesa de Moldes tem vindo a crescer no mercado internacional devido à elevada procura externa e devido ao conjunto de competências e capacidades produtivas que consegue oferecer aos seus clientes. Portugal é um dos principais fabricantes de moldes a nível mundial, principalmente na área de moldes para injeção de plásticos, onde exporta uma muito elevada percentagem da sua produção total.

Este trabalho tem como principal objetivo o projeto de um molde de uma peça plástica para a indústria automóvel e acompanhamento do seu processo produtivo.

Antes de iniciar o projeto do molde procedeu-se a uma análise de um molde semelhante, com o intuito de corrigir os erros que foram cometidos e, que levaram à produção de peças com defeitos. De seguida iniciou-se o projeto do molde com as alterações pensadas anteriormente e procedeu-se a um acompanhamento do processo produtivo do molde.

As peças foram produzidas corretamente e com a aprovação do cliente, o que leva a concluir que o projeto do molde foi efetuado com sucesso.

Abstract

The Portuguese Mould Industry has been growing in the international market due to the high external demand and the set of skills and productive capabilities that can offer to the customers. Portugal is one of the leaders of moulds manufacturers in the world, mainly in plastic injection moulds and exports a very high percentage of its total production.

This work had as main objective to design a mould for a plastic part, intended for the automotive industry and monitoring your production process.

Before starting the mould design, a similar mould was been analyzed in order to correct the errors that were committed and provoke defective parts. After that started the mould design with the alterations previously thought and follow-up of the productive process of the mould was carried out.

The parts were produced correctly and with the approval of the customer, which leads to the conclusion that the mould design was successful.

Índice

Resumo.....	iii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de tabelas.....	xiii
Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	xv
1. Introdução ao trabalho proposto.....	1
1.1. Celoplás – Plásticos para a indústria, S.A.....	1
1.1.1. Missão.....	2
1.1.2. Visão.....	2
1.1.3. Valores.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura do trabalho.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Polímeros.....	5
2.2. Moldação por injeção.....	6
2.2.1. Máquina de injeção.....	8
2.3. Molde.....	9
2.3.1. Aços.....	13
2.3.2. Aços utilizados em moldes na Celoplás.....	15
3. Processos de fabrico de Moldes.....	19
3.1. Fresagem.....	19
3.2. Maquinação por eletroerosão.....	21
3.2.1. Eletroerosão por penetração.....	22
3.2.2. Eletroerosão por fio.....	22
3.3. Torneamento.....	23
3.4. Furação.....	24
3.5. Retificação.....	26
3.5.1. Retificação plana.....	27
3.5.2. Retificação cilíndrica.....	27
3.5.3. Retificação sem centros.....	29
3.5.4. Retificação em massa.....	29
3.5.5. Retificação Honing.....	30
4. Caso de estudo.....	32
4.1. Peça em estudo.....	32

4.1.1.	Material utilizado.....	33
4.1.2.	Análise da geometria da peça em estudo	33
4.1.3.	Contração	36
4.2.	Projeto de Molde.....	36
4.2.1.	Análise do molde referência.....	36
4.2.2.	Estrutura.....	41
4.2.3.	Sistema de alimentação	48
4.2.4.	Análise Económica da utilização de canais mistos.....	50
4.2.5.	Sistema de extração.....	54
4.2.6.	Sistema de controlo de Temperatura	64
4.2.7.	Sistema de centragem e guiamento do Molde	68
4.2.8.	Força de fecho e escolha da máquina de injeção	70
4.2.9.	Balanço térmico.....	73
5.	Maquinação do Molde	78
5.1.	Postiço de injeção e extração.....	78
5.2.	Placas Moldantes.....	79
6.	Conclusões.....	81
	Bibliografia	83
	Anexos.....	85

Índice de Figuras

Figura 1 - Classificação dos polímeros	5
Figura 2 - Classificação dos polímeros sintéticos	6
Figura 3 - Ciclo de Moldação	7
Figura 4 - Máquina Injetora	8
Figura 5 - Estrutura de um molde de duas placas	10
Figura 6 - Molde de duas placas	11
Figura 7 - Molde de três placas	12
Figura 8 – Exemplo de uma fresadora CNC 5 eixos	19
Figura 9 - Principais tipos de operações de fresagem	20
Figura 10 - Esquema do processo de eletroerosão	21
Figura 11 - Representação de um "gap"	22
Figura 12 - Eletroerosão por fio	23
Figura 13 – Torneamento	23
Figura 14 - Exemplo de um torno e os seus componentes	24
Figura 15 - Várias operações de torneamento	24
Figura 16 – Furação (adaptado de (18))	25
Figura 17 - Processos de furação que não envolve remoção de aparas	25
Figura 18 - Tipos de furação	26
Figura 19 - Retificação plana	27
Figura 20 - Retificação cilíndrica	28
Figura 21 - Retificação de roscas	28
Figura 22 - Retificação sem centros	29
Figura 23 - Retificação em massa	29
Figura 24 - Mandril para retificação "Honing"	30
Figura 25 – Peça em estudo	32
Figura 26 – Cotas críticas	33
Figura 27 - Diagrama Tempo de arrefecimento vs Espessura da parede	34
Figura 28 - Eliminação de um degrau	35
Figura 29 - Ângulo de saída do degrau	35
Figura 30 - Alteração do ângulo de saída	36
Figura 31 - Zonas de aparecimento de rebarba	37

Figura 32 - Superfície de partição do molde referência	37
Figura 33 - Posição do extrator no molde referência	38
Figura 34 – Superfície de partição do molde do caso em estudo	38
Figura 35 – Posição do extrator no molde do caso em estudo	39
Figura 36 - Zona de aparecimento de marcas e de gordura	39
Figura 37 - Postiço na zona afetada por marcas na superfície.....	40
Figura 38 - Estrutura do molde em estudo	41
Figura 39 - Chapa de aperto da injeção	42
Figura 40 - Chapa da cavidade.....	43
Figura 41 - Chapa da bucha	44
Figura 42 - Calços	44
Figura 43 - Chapa dos Extratores	45
Figura 44 - Chapa aperto dos extratores	46
Figura 45 - Chapa aperto da extração.....	47
Figura 46 - Postiço injeção.....	48
Figura 47 - Postiço extração	48
Figura 48 - Sistema de alimentação (canais frios)	49
Figura 49 - Ponto de injeção (submarino).....	50
Figura 50 - Haste extratora.....	54
Figura 51 - Extratores cilíndricos e laminares	55
Figura 52 - Zonas de atuação dos extratores laminares	55
Figura 53 - Zonas de atuação dos extratores cilíndricos.....	56
Figura 54 - Encurvadura de um extrator	57
Figura 55 - Dados cálculo encurvadura extrator	58
Figura 56 - Stepped Ejector Pin vs Straight Ejector Pin.....	59
Figura 57 - Zona de atuação do extrator no sistema de alimentação	60
Figura 58 - Posicionamento dos pernos de retorno	61
Figura 59 - Suporte guia	61
Figura 60 - Posição do suporte guia e do casquilho no molde.....	62
Figura 61 – Suporte	63
Figura 62 - Posição do suporte no molde	64
Figura 63 - Esquema de refrigeração lado móvel	65

Figura 64 - Lâmina de refrigeração	66
Figura 65 - Esquema de refrigeração lado fixo	66
Figura 66 - Interlocks.....	68
Figura 67 - Anel de centragem	69
Figura 68 – Guia	70
Figura 69 - Área projetada.....	71
Figura 70 - Balanço térmico num molde	75

Índice de tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos canais quentes em comparação com canais frios	13
Tabela 2 - Aços utilizados na Celoplás	16
Tabela 3 Composição química dos aços.....	18
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens de retirar o punção	40
Tabela 5 - Dados balanceamento económico	51
Tabela 6 - Resultados da análise económica.....	53
Tabela 7 - Tabela de diâmetro do canal.....	67
Tabela 8 - Dimensões utilizadas nas linhas de água	67
Tabela 9 – Dados cálculo área projetada	70
Tabela 10 - Valores recomendados da pressão na cavidade do molde	72
Tabela 11 - Dados máquina injeção.....	73
Tabela 12 - Dados do balanço térmico	74

Lista de Símbolos e Abreviaturas

A_f	Área de contacto do molde (m^2)
A_l	Área lateral do molde (m^2)
A_{proj}	Área projetada (m^2)
A_s	Área da secção (m^2)
C	Calor específico ($J/kg \cdot ^\circ C$)
C_{ext}	Custos extras (€)
C_{mat}	Custo da matéria-prima (€/kg)
C_{rad}	Coefficiente de radiação do corpo negro ($W/m^2 \cdot K^4$)
C_{shot1}	Custo por shot do canal frio (€)
C_{shot2}	Custo por shot do canal misto (€)
C_{tot}	Custo total (€)
D	Diâmetro (mm)
F_{fecho}	Força de fecho (N)
F_{guia}	Força numa guia (N)
F_{total}	Força total (N)
g	Aceleração gravitacional (m^2/s)
h_e	Entalpia do material à temperatura de extração (kJ/kg)
h_i	Entalpia do material à temperatura de injeção (kJ/kg)
I	Momento de inércia (mm^4)
L_e	Comprimento crítico (mm)
n_{shot}	Número de shots do tempo de vida do molde

P_{jito}	Peso jito canal frio (g)
p_w	Pressão na cavidade do molde (N/cm^2)
P_{jito2}	Peso jito canal misto (g)
$P_{peça}$	Peso da peça (g)
Re	Número de Reynolds
T_a	Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
t_c	Tempo de ciclo (s)
T_m	Temperatura do molde ($^{\circ}C$)
v	Velocidade (m/s)
$V_{peça}$	Volume da peça (cm^3)
z	Número de cavidades
$\rho_{\text{água}}$	Peso específico da água (g/cm^3)
ρ_{mat}	Peso específico da matéria-prima (g/cm^3)
β	Fator de proporcionalidade ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)
α	Coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)
ε	Fator de emissividade
θ_a	Temperatura absoluta do ambiente (K)
θ_m	Temperatura absoluta do molde (K)
μ	Viscosidade dinâmica ($Pa \cdot s$)

1. Introdução ao trabalho proposto

No presente trabalho foi proposto pela empresa Celoplás o projeto de um molde com o intuito de solucionar os problemas de um molde antigo e em que as peças são muito semelhantes.

Para a solução do problema é necessário recorrer a todos os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia de Polímeros.

A principal motivação da escolha do tema foi ter a possibilidade de projetar um molde e adquirir todos os conhecimentos sobre o funcionamento de um molde. Outra motivação para a escolha deste tema foi ter a disponibilidade de trabalhar com o Software Creo Parametric 3D CAD e aprofundar os meus conhecimentos sobre esse mesmo Software.

1.1. Celoplás – Plásticos para a indústria, S.A.

A Celoplás, Plásticos para a Indústria S.A. fundada em 1989 conta hoje com uma área de total de 25 000 m² e 11 500 m² de área coberta. Dispõe de uma equipa com mais de 160 trabalhadores, laborando 24 horas por dia, 7 dias por semana e um parque com mais de 70 máquinas de injeção.

A Celoplás projeta, desenvolve e fabrica, através do processo de moldação por injeção e micro injeção, mais de 200 milhões de componentes técnicos de elevada precisão por ano, utilizando mais de 200 tipos diferentes de materiais termoplásticos, termoendurecíveis e silicones, para as indústrias automóvel, eletrónica, elétrica, ótica, construção, médica e outras.

A par desta atividade, a Celoplás também desenvolve e produz componentes à escala micro, utilizando as mais recentes tecnologias de micromaquinação e micro-moldação.

A Celoplás aposta na formação permanente dos seus Recursos Humanos, na qualidade dos seus produtos, na inovação de processos e produtos, reforçando a competitividade, sendo hoje reconhecida como uma referência europeia no desenvolvimento e na produção de componentes e nos clusters de alta tecnologia, utilizando materiais poliméricos(1).

A Celoplás é uma excelente empresa no ramo da moldação por injeção, com muito boas condições de trabalho e de aprendizagem para quem se inicia no mercado de trabalho.

1.1.1. Missão

Maximizar valor e benefício, num posicionamento estratégico de excelência no negócio do desenvolvimento de produtos de alta tecnologia, em parceria com os clientes, utilizando materiais poliméricos(1).

1.1.2. Visão

Crescer, sustentadamente, otimizando o conhecimento e respondendo às solicitações do negócio no mercado global, tendo sempre em conta a perspetiva do cliente, da sociedade, da inovação, da aprendizagem e dos acionistas(1).

1.1.3. Valores

Acionistas: compromisso, consenso, honestidade e crescimento sustentado; Clientes: parceria, comunicação, confidencialidade, compromisso duradouro, satisfação e confiança; Fornecedores: parceria, honestidade, competências, comunicação e desempenho; Organização e Sociedade: dedicação e pro-atividade, competências e versatilidade e compromisso social(1).

1.2. Objetivos

Este trabalho teve como principal objetivo a realização de um projeto de molde para a injeção de uma peça em polipropileno para a indústria automóvel, mais propriamente num *Head Up Display*. Este trabalho tem também como objetivos compreender a origem do aparecimento de defeitos na peça e solucionar-los, e também compreender todos passos que são dados num projeto de um molde e perceber a sua maquinação.

1.3. Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho assenta em duas partes principais, uma revisão bibliográfica, onde se inclui a explicação dos processos de fabrico de moldes, onde se

pretende enquadrar os leitores com o tema desta dissertação e uma outra fase onde se explica o caso em estudo, o projeto do molde e a maquinação do mesmo.

No primeiro capítulo será apresentado uma pequena introdução sobre o trabalho.

No capítulo dois será apresentado uma pequena introdução teórica sobre os fundamentos básicos da moldação por injeção, dos polímeros existentes e sobre os aços e os seus elementos para uma boa compreensão do caso de estudo.

No capítulo três do trabalho serão apresentados os vários processos de fabrico de moldes, onde será explicado todos os diferentes processos de maquinação de aços.

No capítulo seguinte do trabalho será apresentado o caso de estudo, onde se abordará a peça em estudo, as alterações que foram efetuadas à geometria da peça, o projeto de molde e explicação dos seus componentes e de todos os seus sistemas.

No capítulo cinco abordar-se-á a maquinação dos vários componentes do molde, os seus postigos e as suas placas.

Por fim, no último capítulo, serão apresentadas as conclusões retiradas depois da realização desta dissertação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Polímeros

A palavra “polímeros” é originária do grego *poly* que quer dizer “muitas” e *meros* que significa “partes”. Um polímero é um material constituído por moléculas de grandes dimensões, denominadas de macromoléculas, que contêm uma cadeia central de átomos unidos por ligações covalentes. Estas macromoléculas são produzidas através de um processo chamado de polimerização, no qual os monómeros, moléculas simples, reagem quimicamente entre si (2).

Os polímeros podem-se classificar como naturais e sintéticos, como se pode verificar na Figura 1.

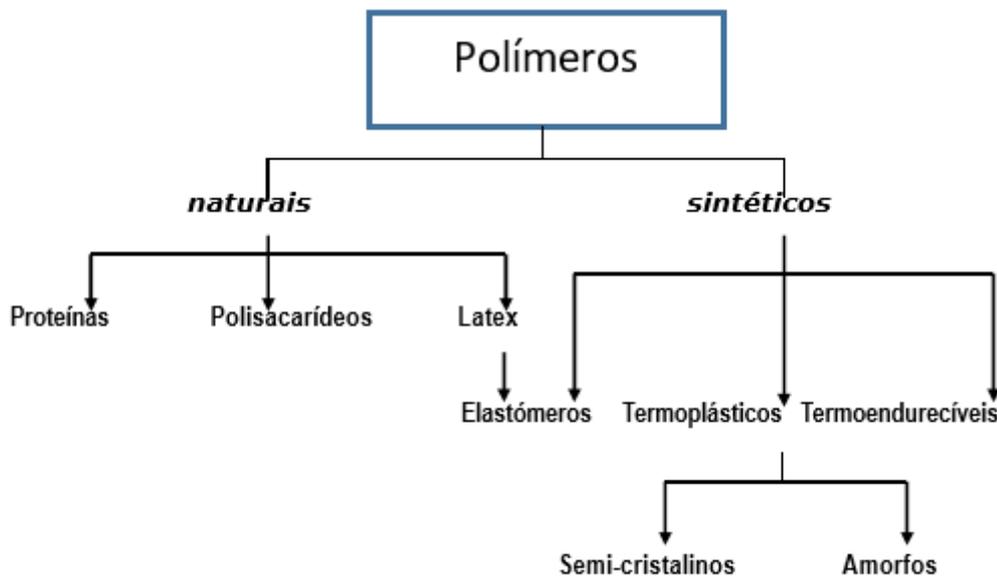


Figura 1 - Classificação dos polímeros (adaptado de (3))

Os polímeros naturais, como o próprio nome indica, provém da natureza como por exemplo, celulose, amido ou o algodão. Os polímeros sintéticos não provêm da natureza, são modificados com a tentativa de substituir os polímeros naturais.

Os polímeros sintéticos podem-se dividir em termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros, como se pode ver na Figura 2.

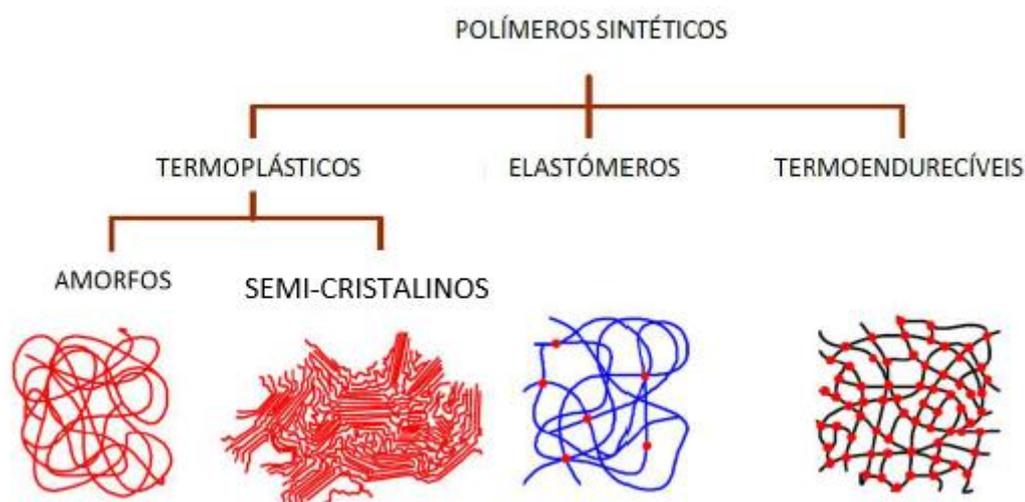


Figura 2 - Classificação dos polímeros sintéticos (adaptado de (4))

Termoplásticos: são plásticos constituídos por macromoléculas de cadeia linear ou ramificada que, quando aquecidos, fundem, podendo sofrer alterações na sua forma e pode, por norma, ser repetido sem perda significativa das suas propriedades. Com esta propriedade torna possível a sua reciclagem, sendo uma característica muito importante nos dias de hoje.

Ao solidificar os termoplásticos podem obter uma estrutura amorfa ou semi-cristalina, consoante as moléculas se arranjam aleatoriamente ou se alinham umas em relação com as outras (2).

Elastómeros (borrachas): podem ser naturais ou sintéticos e são uma classe intermédia entre os termoplásticos e termoendurecíveis. São materiais constituídos por uma rede macromolecular com uma baixa densidade de reticulações e tem como principal característica a deformação elevada quando aplicada uma tensão e a sua recuperação rápida até á sua forma inicial quando a tensão é removida (2).

Termoendurecíveis: são polímeros altamente reticulados, de elevada rigidez e devido á sua elevada reticulação não fundem quando aquecidos, apenas promove a sua decomposição, tornando assim muito complicada a sua reciclagem (2).

2.2. Moldação por injeção

A moldação por injeção pode ser descrita como um processo que, a partir de um material plástico, originalmente no estado sólido e, por norma, em forma de grãos é colocado no interior da tremonha da máquina e alimentado para o interior do cilindro

de plasticização onde é aquecido até amolecer e homogeneizar. De seguida o fundido é forçado, sob a aplicação de pressão, para o interior do molde que irá preencher a devida impressão, arrefecendo e recuperando a rigidez inicial e de seguida a peça é ejetada (5).

➤ Ciclo de moldação

O ciclo de moldação é composto por várias etapas como é possível verificar na Figura 3.

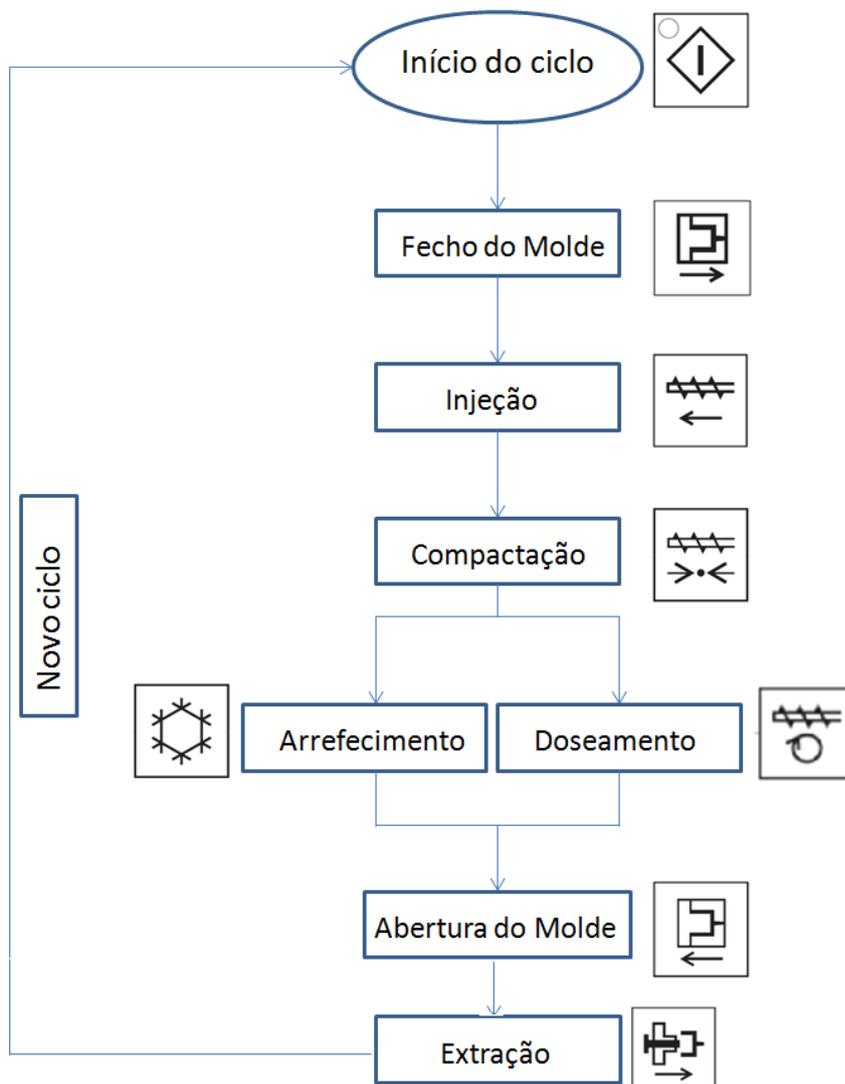


Figura 3 - Ciclo de Moldação

A primeira etapa, que dá início ao ciclo, é o fecho do molde e deve ser tão rápido quanto possível. A etapa seguinte é a fase de injeção, onde o fuso avança, funcionando

como um pistão, forçando o material fundido a entrar no molde e preencher a impressão. De seguida dá-se a etapa de pressurização onde se continua a pressurizar o fundido para dentro do molde para compensar o efeito de contração e evitar o refluxo do fundido. A próxima etapa é a de arrefecimento, onde a peça é arrefecida até que possa ser extraída sem distorção e logo que ocorra a solidificação do ataque o parafuso começa a recuar e a rodar, iniciando assim a plasticização para o ciclo seguinte. A etapa seguinte é a fase de abertura do molde e extração da peça e deve garantir que a peça seja extraída do molde sem defeitos.

2.2.1. Máquina de injeção

A máquina de injeção é tipicamente constituída por quatro unidades, representadas na Figura 4.



Figura 4 - Máquina Injetora

Unidade de Injeção: Promove o transporte, aquecimento, plasticização e homogeneização do material desde a tremonha até ao bico de injeção. Garante também a injeção do material no molde e pressurização (2ª pressão) (6).

Unidade de Fecho: Assegura a fixação e movimentação do molde, mantendo-o fechado durante as fases de injeção, pressurização, plasticização e arrefecimento. Deve conter, também, todos os dispositivos necessários para a extração da peça do molde (6).

Unidade de Comando: Esta unidade tem como função garantir a consistência e a repetibilidade do processo através do controlo das suas variáveis. Assegura, também, uma boa interface entre o operador e a máquina (6).

Unidade de Potência: Fornece a energia necessária aos diversos atuadores da máquina. Esta unidade é baseada num sistema electro-hidráulico, onde a bomba é ativada por um motor elétrico (6).

2.3. Molde

O molde define a geometria do produto final. É uma ferramenta constituída por duas partes, parte móvel e parte fixa, que são mantidas fechadas durante as fases de injeção, pressurização, plasticização e arrefecimento, sendo aberta durante a fase de extração da peça moldada.

O molde deve produzir peças de elevada qualidade num menor tempo de ciclo possível e desempenhar um conjunto de funções. Essas funções são as seguintes:

- Definir o volume e a forma da peça a produzir;
- Permitir o enchimento desse volume;
- Facilitar o arrefecimento da peça;
- Promover a extração da peça (7)

Sendo assim, um molde é constituído por seis unidades funcionais.

- Impressão: espaço definido pela junção da bucha com a cavidade que irá dar forma à peça final.
- Centragem e guiamento: sistema que permite montar o molde e ajustar as várias partes do molde.
- Alimentação: sistema que permite a passagem do polímero fundido desde o cilindro da máquina até ao á impressão.
- Escape de gases: sistema que permite a saída dos gases presentes na impressão, possibilitando assim o seu enchimento pelo polímero fundido.

- Controlo de temperatura: sistema que controla a temperatura do molde, controlando assim o arrefecimento da peça final.
- Extração: sistema que permite a extração da peça final do molde (7).

A estrutura de um molde é um conjunto de placas e calços, o número dos mesmos depende do tipo de molde e da peça, como se pode verificar na Figura 5. Uma estrutura típica de um molde de duas placas é dividida em parte móvel e parte fixa. A parte fixa (lado de injeção) é formada por chapa da(s) cavidade(s) e chapa de aperto da injeção. Já a parte móvel (parte de extração) é formada por chapa(s) da bucha(s), chapa de reforço da bucha, calços e chapa de aperto de extração.

Na placa da(s) cavidade(s) é maquinada a cavidade (parte fêmea do molde), que define a forma exterior da peça. Já na placa da(s) bucha(s) é maquinada a bucha (parte macho do molde), que define a parte interior da peça (7).

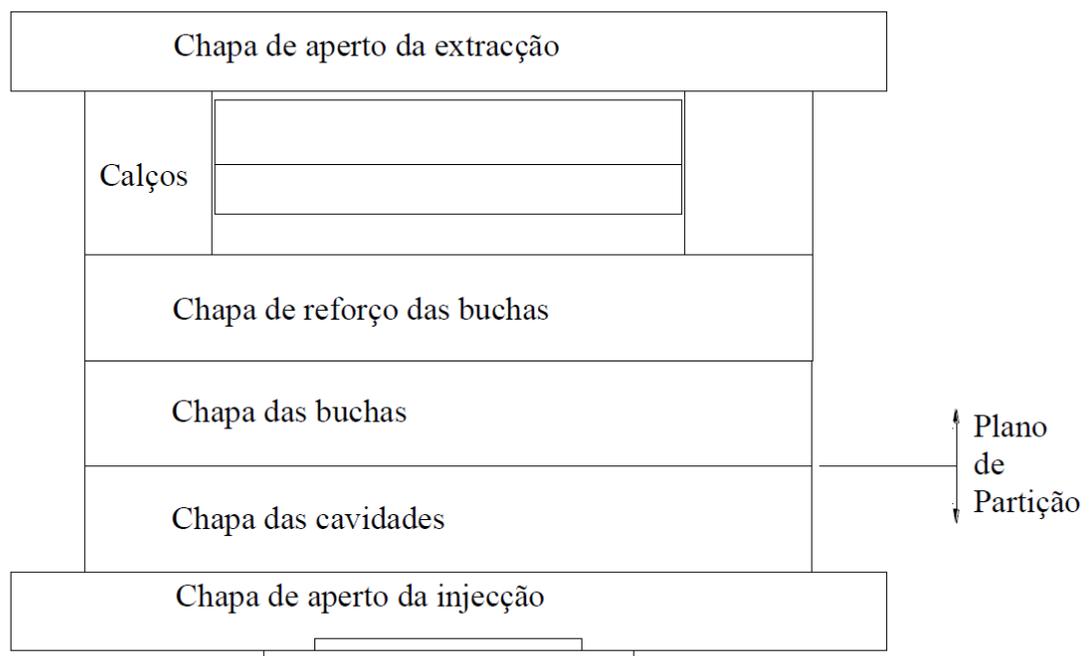


Figura 5 - Estrutura de um molde de duas placas (adaptado de (8))

Dentro dos moldes podemos encontrar três categorias tendo em conta o seu sistema de alimentação, que são os canais frios, canais quentes e canais mistos.

- Molde de canais frio

Nos moldes de canais frios a produção de peças é acompanhado pela extração do sistema de alimentação, o que origina à produção de elevadas quantidades de material desperdiçado. Esse material desperdiçado pode ser reciclado, mas exige operações, equipamentos e custos adicionais.

Os moldes de duas placas, como se pode ver na Figura 6, são caracterizados por terem duas “partes”, parte móvel e fixa, definindo um plano de partição onde a peça e o sistema de alimentação são extraídos. Este tipo de moldes são os mais comuns por serem os mais simples, contudo apresentam uma desvantagem que é, na maioria dos casos, a separação manual do sistema de alimentação. Esta desvantagem é anulada em casos em que o ataque é submarino, em que a separação do sistema de alimentação é feita aquando da extração da peça (9).

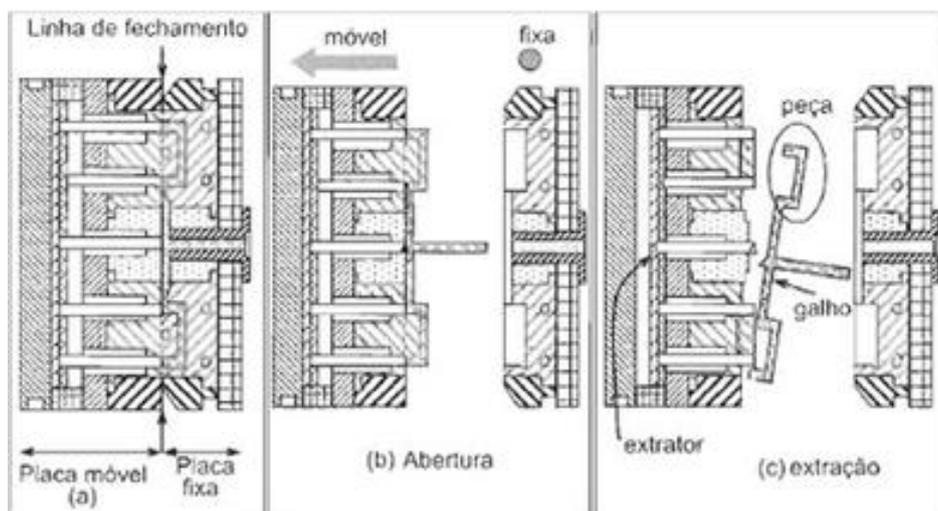


Figura 6 - Molde de duas placas (adaptado de (10))

Os moldes de três placas, como se pode verificar na Figura 7, são caracterizados por terem três “partes”, uma parte fixa, uma móvel e uma placa flutuante entre as duas. Com esta estrutura o molde vai conter dois planos de partição, um onde é extraída a peça e outro é onde é extraído o sistema de alimentação. Este tipo de molde apresenta, em relação ao molde de duas placas, a vantagem de permitir a separação automática do sistema de alimentação da peça. Como desvantagem apresenta a elevada complexidade em relação ao molde de duas placas e, corre o risco de encravamento do sistema de alimentação do molde devido à maior dificuldade em extrai-lo (9).

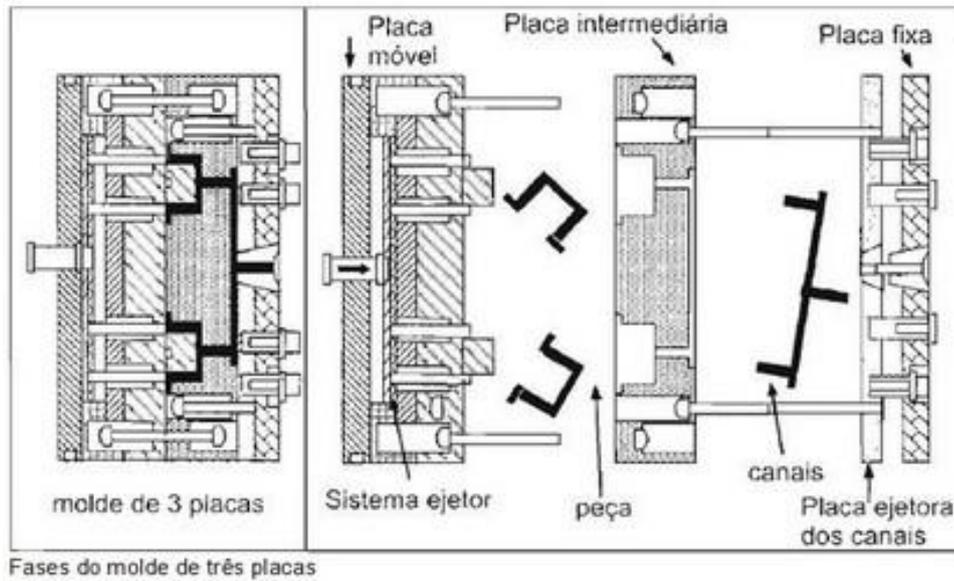


Figura 7 - Molde de três placas (adaptado de (10))

- Molde de canais quentes

Um molde de canais quentes é definido como aquele em que o sistema de alimentação é mantido à temperatura do material do cilindro. O material ao não solidificar no sistema de alimentação permite a produção de peças sem serem acompanhadas do sistema de alimentação. O material que se encontra nos sistemas de alimentação vai servir para produzir novas peças, evitando assim o desperdício de material. Geralmente um sistema de canais quentes é constituído por uma bucha aquecida (centerheater), um distribuidor (manifold) e por bicos quentes (hotrunners) (9).

As vantagens e desvantagem dos canais quentes em relação aos canais frios estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos canais quentes em comparação com canais frios (adaptado de (9))

Vantagens	Desvantagens
Não necessita de sistema de extração do sistema de alimentação	Maior investimento inicial
Menor tempo de ciclo	Maior complexidade do molde e do seu projeto
Aumento da capacidade de injeção	Maior probabilidade de avarias
Menos etapas posteriores	Dificultam a mudança de cor e/ou material

- Molde de canais mistos

Um molde de canais mistos é um molde que tem um sistema de compromisso entre os canais quentes e frios. Usa-se geralmente quando o objetivo é diminuir o tamanho do jito mas, é necessário manter afastado o ponto de injeção do bico da peça. Para isso temos um sistema de canais quentes até uma determinada zona e de seguida temos um jito.

2.3.1. Aços

Um aço é uma liga metálica composta essencialmente por ferro e carbono, podendo depois conter outros elementos que vão conferir outras propriedades ao aço final (11).

- **Elementos num aço**
 - Carbono

É um dos elementos de liga mais importantes nos aços, facilitando a sua maquinabilidade. Este elemento aparece nos aços com percentagens entre os 0.3% e os 0.6 %. O carbono também aumenta a dureza na têmpera e melhora a resistência ao desgaste (12).

➤ Chumbo

O chumbo aparece somente em aços ao carbono e com teores entre 0.2% e 0.5%. Não se dissolve no aço, e permite obter uma apanha curta e superfícies de corte perfeitas, melhorando assim a sua maquinabilidade (12).

➤ Crómio

Apenas uma parte do elemento crómio se dissolve na matriz, enquanto que a outra parte combina-se com o carbono, originando carbonetos que aumentam a resistência ao desgaste. A presença deste elemento diminui a maquinabilidade mas, é muito utilizado para aumentar a dureza e para melhorar a resistência ao desgaste e à corrosão (12).

➤ Molibdénio

O molibdénio é um elemento formador de carbonetos, melhorando a temperabilidade dos aços, a resistência a quente à tração e o limite elástico. É também muito usado para aços inoxidáveis para melhorar a resistência à corrosão (12).

➤ Silício

Quando presente em altos teores diminui a vida da ferramenta por desgaste progressivo, no entanto, pode provocar uma boa formação de apanha (12).

➤ Vanádio

O vanádio ajuda a controlar o crescimento do grão durante o tratamento térmico. Ao inibir o crescimento do grão ajuda a aumentar a resistência e força do aço (13).

➤ Níquel

O níquel é um elemento que aumenta a penetração da têmpera bem como a tenacidade, mas, reduz a maquinabilidade. Normalmente confere uma alta resistência à corrosão e, quando combinado com o crómio é termorresistente (12).

➤ Tungsténio

O tungsténio forma carbonatos muito duros e é muito utilizado como elemento primário de liga de aço para melhorar a dureza (12).

➤ Berílio

O berílio é um elemento tóxico e oxida o metal e as suas ligas são difíceis de maquinar. É muito utilizado para endurecer as ligas (12).

2.3.2. Aços utilizados em moldes na Celoplás

Na indústria dos moldes a escolha dos aços a utilizar é muito importante porque uma escolha errada pode levar à total perda de função do molde. Na empresa Celoplás os aços mais utilizados encontram-se listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Aços utilizados na Celoplás (adaptado de (14))

Elementos do Molde	Tipo de aço	Observações
<ul style="list-style-type: none"> • Placas de aperto • Suportes • Placas dos extractores 	<p>1.1730 ou 1.1191;</p> <p>1.2083</p>	- nos casos em que haja refrigeração nestas placas e a propensão seja alta.
<ul style="list-style-type: none"> • Placas porta postigos moldantes 	<p>1.2312;</p> <p>1.2083;</p> <p>1.2738HH</p>	<p>- 1.2083 no caso de exigência do caderno de encargo específico do molde.</p> <p>-1.2738 HH no caso de zona moldante direta na placa e de grande dimensão.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Postigos moldantes 	<p>1.2344;1.2767</p> <p>1.2083;1.2344</p> <p>1.2344;1.2379</p>	<p>- Uso geral, quando exigida resistência ao choque</p> <p>- Usado com materiais abrasivos, moldes para nitrurar e com alto polimento</p> <p>- Aços de trabalho a quente</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Blocos de encosto e corpos de movimentos 	<p>1.2767</p>	-
<ul style="list-style-type: none"> • Barras e placas de deslize, placas de ajuste 	<p>1.2379</p>	-

➤ Aço 1.1730

O aço 1.1730 ou, C 45 W segundo a norma DIN, é um aço de ferramenta sem liga. De fácil maquinação e soldagem com alta tenacidade. Este aço pode obter uma dureza superficial de 57HRC e uma resistência aproximada de 190HB (640 N/mm²). O aço 1.1730 pode ser utilizado em peças não temperadas para fabricação de moldes,

ferramentas e dispositivos. A sua composição química está apresentada na Tabela 3 (15). No Anexo IV está presente a ficha técnica do aço.

➤ Aço 1.2083

O aço 1.2083 ou, X 40 Cr 13 segundo a norma DIN, é um aço de alta liga e tem como principais características uma baixa corrosão, boa maquinabilidade, alta resistência ao desgaste e alta estabilidade dimensional. Este aço é muito utilizado em placas de moldes e insertos que trabalhem com polímeros quimicamente agressivos. O aço 1.2083 pode obter uma resistência máxima de 200HB ($\approx 720 \text{ N/mm}^2$) e uma dureza superficial de 52 HRC. A sua composição química está apresentada na Tabela 3 (15). No Anexo IV está presente a ficha técnica do aço.

➤ Aço 1.2312

O aço 1.2312 ou, 40 CrMnMoS 86 segundo a norma DIN, é um aço ligado e pré endurecido com excelente maquinabilidade em condições de alto endurecimento devido à presença do aditivo Enxofre (S) e é um aço também com uma alta estabilidade dimensional. Este aço pode ser utilizado para placas de moldes com elevados esforços mecânicos. O aço 1.2312 tem uma dureza de 52HRC. A sua composição está descrita na Tabela 3 (15). No Anexo IV está presente a ficha técnica do aço.

➤ Aço 1.2344

O aço 1.2344 ou, X 40 CrMoV 5-1 segundo a norma DIN, é um aço de alta liga de trabalho sob o efeito de elevadas temperaturas, alta resistência ao desgaste, boa dureza, condutividade térmica e resistência a rachaduras a quente. Este aço pode ser utilizado para ferramentas de trabalho a altas temperaturas e ferramentas para processamento de polímeros. O aço 1.2344 pode obter uma resistência máxima de 230HB ($\approx 780 \text{ N/mm}^2$) e uma dureza de 54HRC. A sua composição química está apresentada na Tabela 3 (15). No Anexo IV está presente a ficha técnica do aço.

Tabela 3 Composição química dos aços (adaptado de (15))

Aço	Composição química (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	V
1.1730		0.45	0.30	0.7	-	-	-	-
1.2083		0.40	0.40	0.30	13	-	-	-
1.2312		0.40	0.40	1.50	1.90	0.20	0.06	-
1.2344		0.40	1.00	-	5.30	1.40	-	1.00

3. Processos de fabrico de Moldes

Os processos de fabrico de um molde são as etapas que, através de uma ferramenta de corte, trabalham os materiais dando forma a todos os componentes.

3.1. Fresagem

Na operação de fresagem a ferramenta de corte, a fresa, gira em torno de um eixo, promovendo assim o retirar de material e a maquinação do mesmo. O movimento rotacional da fresa pode ser complementado com movimentos lineares tanto da peça como da fresa.

Com o decorrer dos anos esta técnica de fabrico tem sofrido avanços significativos quer ao nível de comandos, CNC, dos sistemas de CAM, das fresadoras e dos centros de maquinação. Também a criação de fresadoras de 5 eixos, como se pode verificar na Figura 8, (acrécimo de 2 eixos rotativos) permite a maquinação com vários ângulos. Estas evoluções permitem a execução de diversas tarefas que anteriormente seriam impossíveis de se realizar (12).



Figura 8 – Exemplo de uma fresadora CNC 5 eixos (adaptado de (16))

Os principais tipos de operações de fresagem são os seguintes e podem ser vistas na Figura 9.

1. Facejamento;
2. Fresagem de cantos a 90°;
3. Fresagem de perfiz;
4. Fresagem de cavidades;
5. Fresagem de canais/ranhuras;
6. Tornofresagem;
7. Fresagem de roscas;
8. Cortes;
9. Fresagem com altos avanços;
10. Fresagem de mergulho;
11. Fresagem em rampa;
12. Fresagem por interpolação helicoidal;
13. Fresagem por interpolação circular;
14. Fresagem trocoidal (17).

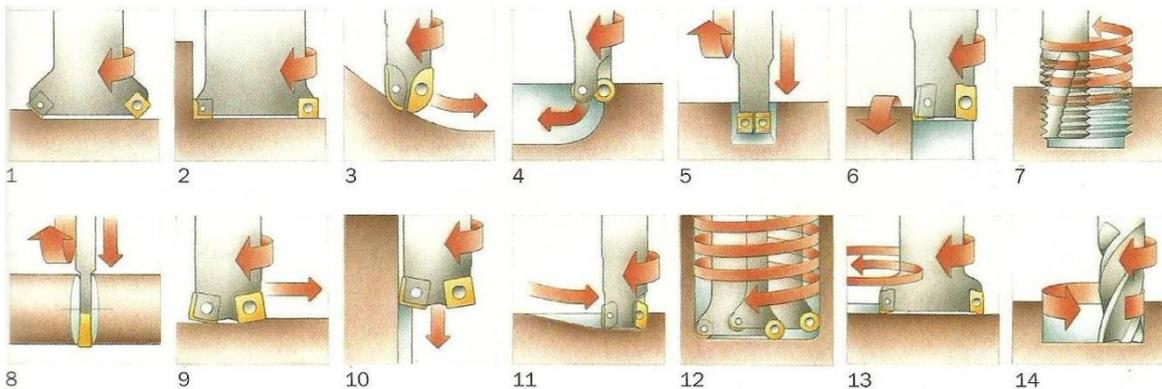


Figura 9 - Principais tipos de operações de fresagem (adaptado de (17))

Para preparar uma operação de fresagem deve-se estabelecer uma série de parâmetros. Esses parâmetros são muito importantes para o tipo de fresagem que desejamos.

Dentro desses parâmetros está a velocidade de corte (V_c) indica a velocidade superficial na qual a aresta de corte trabalha na peça. A velocidade do fuso (n) é o número de rotações da fresa por minuto e, é um valor específico da fresadora, que é calculado em função da velocidade de corte recomendada para uma determinada operação. A velocidade de avanço (V_a) representa o percurso que a fresa realiza num determinado tempo.

Na fresagem de desbaste o objetivo é remover o material no menor tempo possível, não interessa o acabamento da peça. Para isso escolhe-se uma velocidade de avanço elevada e, para obter um tempo de duração da fresa baixo, escolhe-se uma velocidade de corte menor.

Na fresagem de acabamento a peça tem que obter as suas dimensões finais e com a qualidade de acabamento da superfície necessária. Para isso é necessário utilizar uma velocidade de corte maior e uma velocidade de avanço menor.

3.2. Maquinação por eletroerosão

A eletroerosão, conhecida pela sigla EDM (Electrical Discharge Machining), tem um papel muito importante no processo de fabrico de um molde porque permite remover material em zonas onde uma fresadora não consegue, permitindo obter peças com maior complexidade.

A eletroerosão baseia-se na destruição de partículas metálicas por meio de descargas elétricas. Desta forma para remover o material é feita uma descarga elétrica que produz energia e promove a fusão e conseqüente ebulição do material, como se pode verificar na Figura 10 (18).

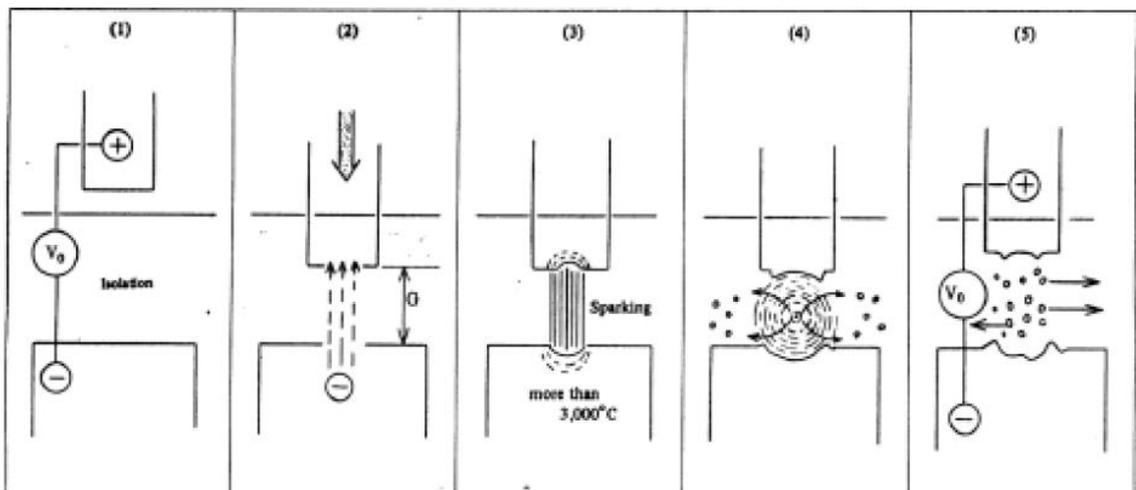


Figura 10 - Esquema do processo de eletroerosão (adaptado de (19))

A eletroerosão pode-se dividir em duas categorias, por penetração e por fio.

3.2.1. Eletroerosão por penetração

Na eletroerosão por penetração existe um eléctrodo, com a forma desejada, que vai penetrando na peça, originando a remoção de material. Essa remoção de material ocorre devido à ação de uma sucessão de descargas elétricas. O eléctrodo geralmente é de cobre ou grafite. O líquido dielétrico, que é um líquido condutor que envolve o eléctrodo e a peça a maquinar e é responsável pela condução da energia.

Este processo ocorre sem que haja contacto entre o eléctrodo e a peça a maquinar, existindo sempre um espaço entre os dois, chamado de “gap”, como está representado na Figura 11 (18).

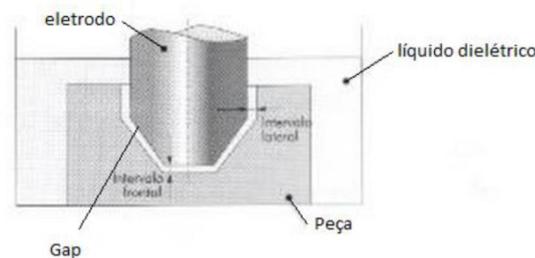


Figura 11 - Representação de um "gap" (adaptado de (18))

O “gap” varia de acordo com o tipo de maquinação que se deseja. Se o pretendido for realizar um desbaste o “gap” será maior devido à maior intensidade das descargas elétricas, logo a distância entre a peça a maquinar e o eléctrodo tem de ser maior para não afetar a peça. Se o desejado for de acabamento o “gap” será menor porque a intensidade das descargas elétricas são menores.

3.2.2. Eletroerosão por fio

A eletroerosão por fio difere da eletroerosão por penetração no eléctrodo que, neste caso é um fio com movimento de translação vertical que vai cortando a peça quando esta se move em relação ao fio, como se pode verificar na Figura 12 (19).

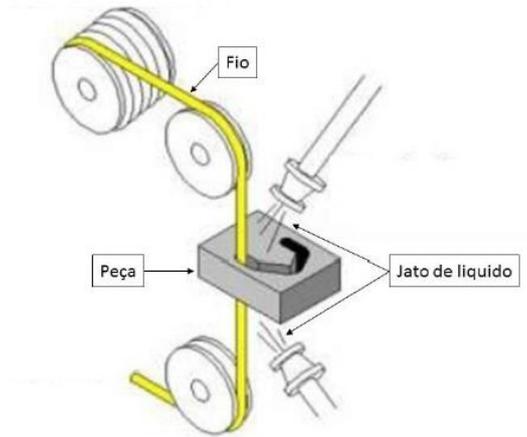


Figura 12 - Eletroerosão por fio (adaptado de (19))

3.3. Torneamento

O torneamento é um processo de fabrico onde a peça a fabricar é feita girar em redor do eixo da máquina que executa a maquinação. Em simultâneo uma ferramenta de corte retira material até obter a peça com a forma desejada, como se pode verificar na Figura 13 (18).

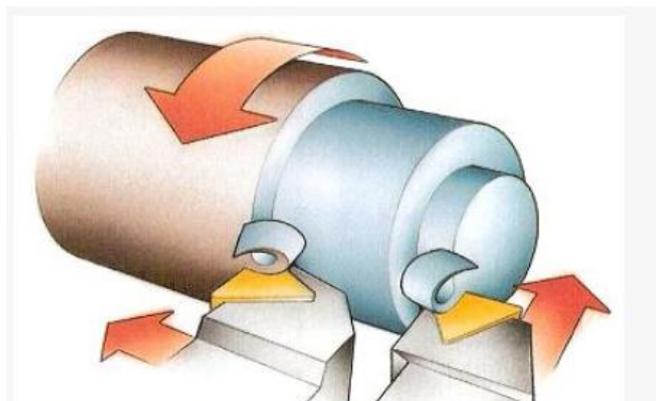


Figura 13 – Torneamento (adaptado de (20))

A máquina que realiza este processo chama-se torno, e pode-se ver um exemplo na Figura 14.

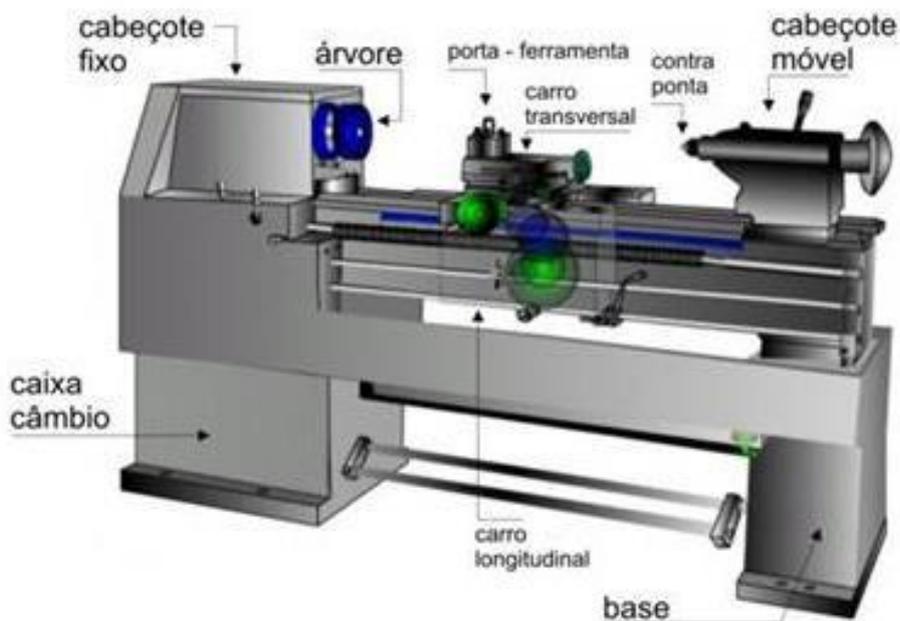


Figura 14 - Exemplo de um torno e os seus componentes (adaptado de (18))

O torneamento permite a realização de várias operações, como se pode ver na Figura 15.

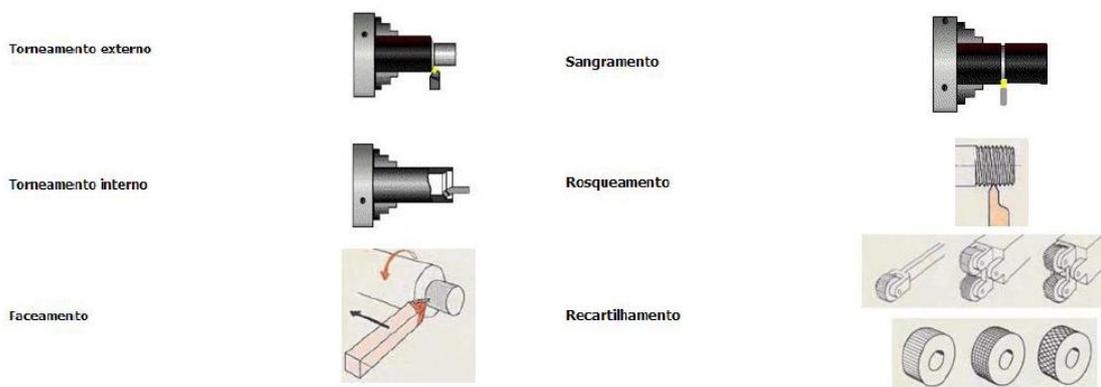


Figura 15 - Várias operações de torneamento (adaptado de (18))

3.4. Furação

A furação pode ser definida como um processo de remoção de aparas onde o movimento de corte é circular e o movimento de avanço é linear e na direção do eixo de rotação da ferramenta (broca), como se pode ver na Figura 16 (18).

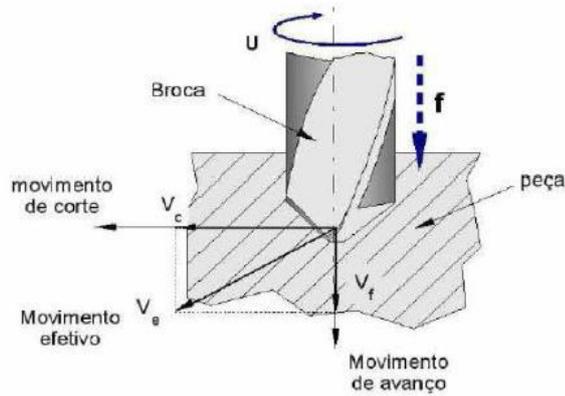


Figura 16 – Furação (adaptado de (18))

Contudo, nem sempre a remoção de aparas é necessária, devido à existência de processos capazes de furar sem envolverem o arranque de aparas, como se pode ver na Figura 17.

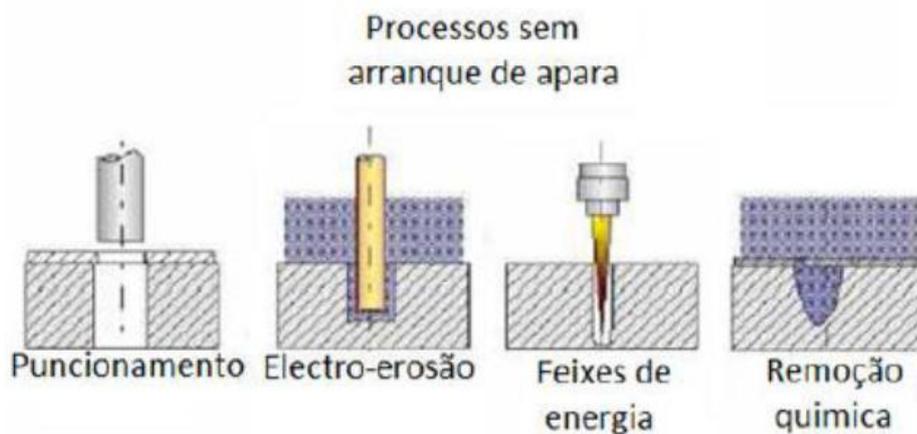


Figura 17 - Processos de furação que não envolve remoção de aparas (adaptado de (18))

Dentro do processo de furação existe vários tipos de furação, como está apresentado na Figura 18.

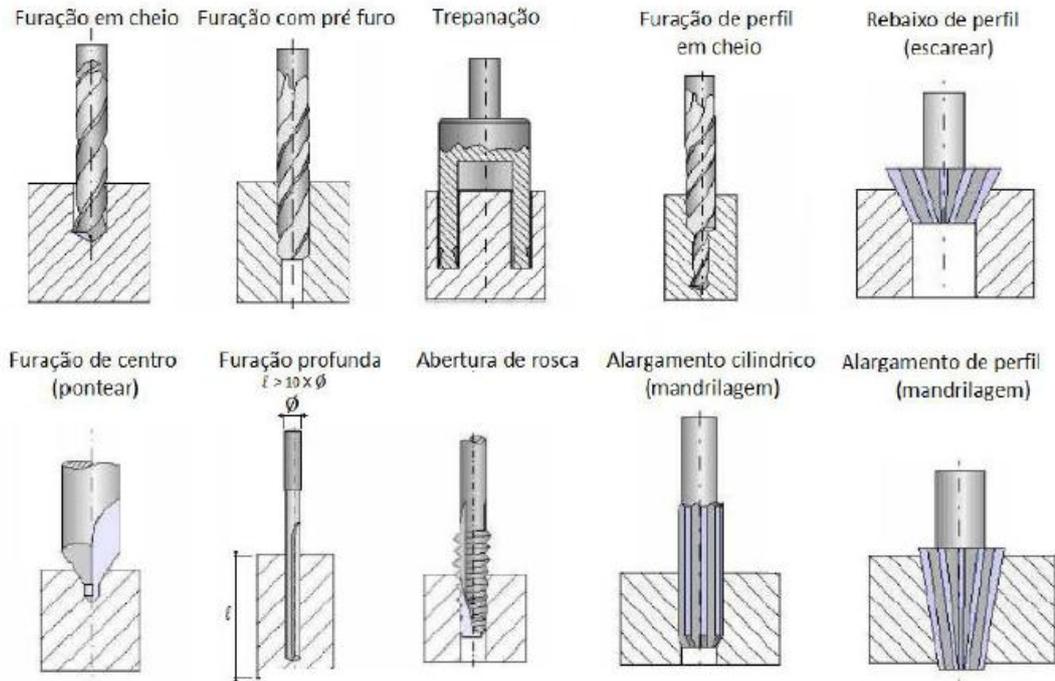


Figura 18 - Tipos de furação (adaptado de (18))

3.5. Retificação

A retificação é um processo em que o material é removido por ação de uma mó abrasiva. Esta mó provoca a remoção de micro aparas e, consegue obter bons acabamentos de superfície com tolerâncias dimensionais pequenas (12).

Os abrasivos mais utilizados são:

- Abrasivos convencionais:
 - Óxido de alumínio
 - Carboneto de silício
- Super abrasivos:
 - Nitreto de boro cúbico
 - Diamante policristalino

A mó é uma ferramenta utilizada para conferir acabamento às peças em que as tolerâncias dimensionais são reduzidas e para exigências de estados de superfície.

Os principais tipos de retificação são a plana, cilíndrica, sem centros, retificação em massa e “honing” (12).

3.5.1. Retificação plana

A retificação plana é o processo de retificação mais comum e utilizado. Este tipo de retificação gera formas planas e as peças são geralmente seguras por um prato magnético. De seguida a mó é montada na árvore da máquina. A Figura 19 é uma ilustração da retificação plana (12).

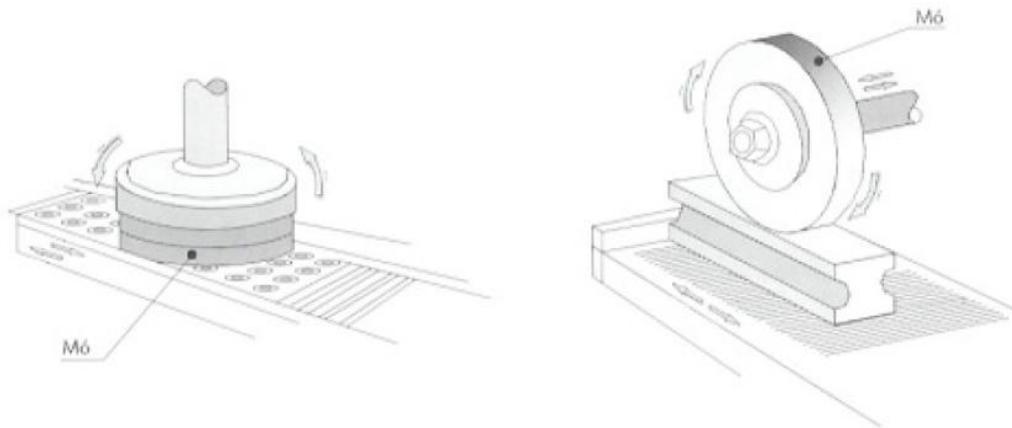


Figura 19 - Retificação plana (adaptado de (12))

3.5.2. Retificação cilíndrica

A retificação cilíndrica é utilizada quando se necessita de gerar formas de revolução ou geometrias como os filetes de uma rosca. A mó e a peça são rodadas com velocidades de rotação opostas. A peça pode ser segura entre pontos, bucha ou porta pinças. Na Figura 20 está explicito a retificação cilíndrica (12).

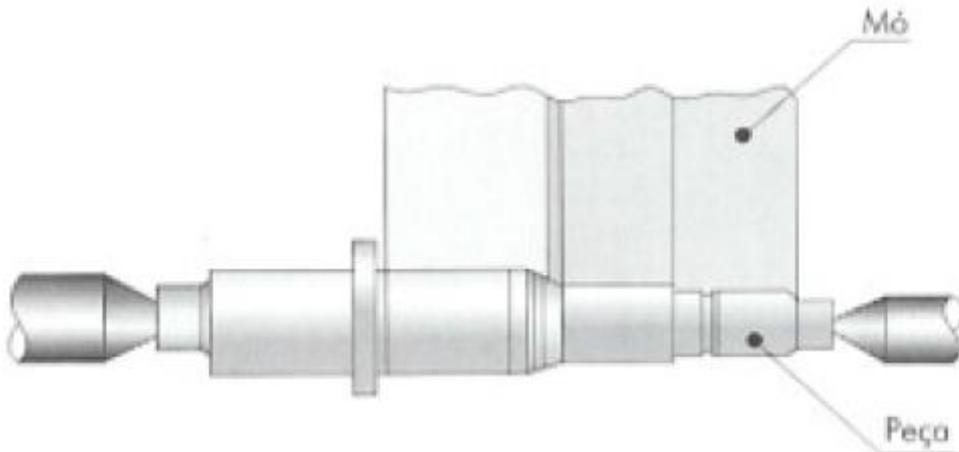


Figura 20 - Retificação cilíndrica (adaptado de (12))

A retificação de roscas faz parte da retificação cilíndrica e é um dos processos com maior precisão e conseguem-se estados de superfície muito finos. Os movimentos da mó e da peça são sincronizados para produzir o passo da rosca, como se pode ver na Figura 21 (12).

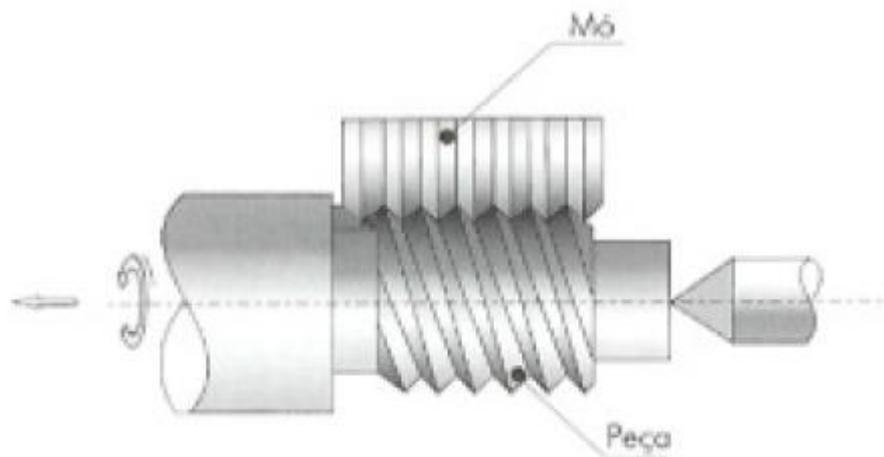


Figura 21 - Retificação de roscas (adaptado de (12))

3.5.3. Retificação sem centros.

A retificação sem centros é um processo de alta produção para superfícies cilíndricas exteriores e interiores em que a peça não é suportada entre centros mas sim entre lâminas ou rolos, como se pode ver na Figura 22 (12).

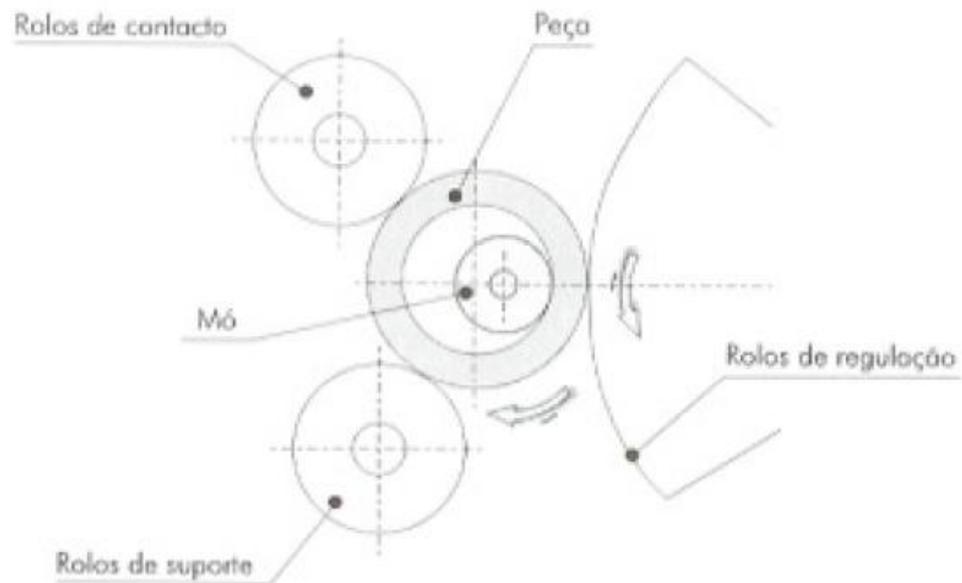


Figura 22 - Retificação sem centros (adaptado de (12))

3.5.4. Retificação em massa

A retificação em massa é um processo de elevadas quantidades de remoção de material com profundidades de corte reduzidas e avanços baixos. Nesta retificação os mós são de um material mais macio e a estrutura é mais aberta. Na Figura 23 está explícito o processo de retificação em massa (12).

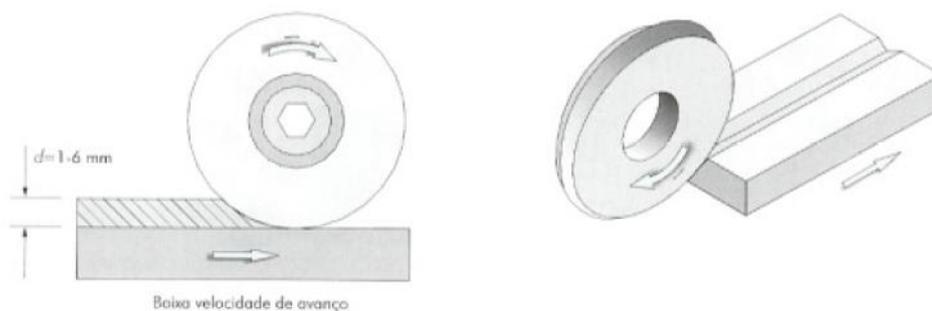


Figura 23 - Retificação em massa (adaptado de (12))

3.5.5. Retificação Honing

A retificação Honing é um processo com uma velocidade inferior em comparação com a retificação tradicional. Neste processo o calor e a pressão são baixos, resultando, assim em excelentes tolerâncias dimensionais e acabamentos de superfície. Para a realização deste processo são utilizadas lâminas abrasivas de óxido de alumínio ou carboneto de silício fixadas num mandril metálico expansível. A utilização de fluido é essencial para facilitar a dissipação das aparas e o controlo de temperatura (12).



Figura 24 - Mandril para retificação "Honing" (adaptado de (12))

4. Caso de estudo

O caso em estudo baseia-se no projeto de molde da peça em estudo. No historial da empresa Celoplás existe um projeto em que a peça é muito semelhante a este caso e foi tido como referência para a realização deste projeto. Contudo essas peças já existentes continham alguns defeitos como rebarba, marcas em zonas críticas, defeitos nas peças devido aos extratores e marcas visuais na peça. Tendo em conta estes defeitos, o grande objetivo deste projeto foi entender as suas origens e evitar os seus aparecimentos.

4.1. Peça em estudo

A peça em estudo é processada por moldação por injeção, como se pode verificar na Figura 25.

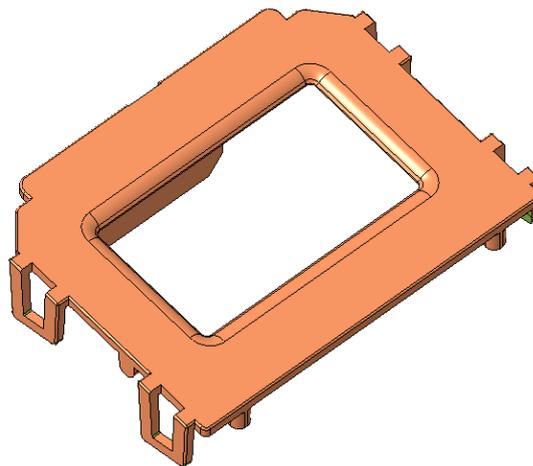


Figura 25 – Peça em estudo

Analisando todas as cotas da peça verificou-se que as cotas da janela central seriam críticas, como se pode verificar na Figura 26.

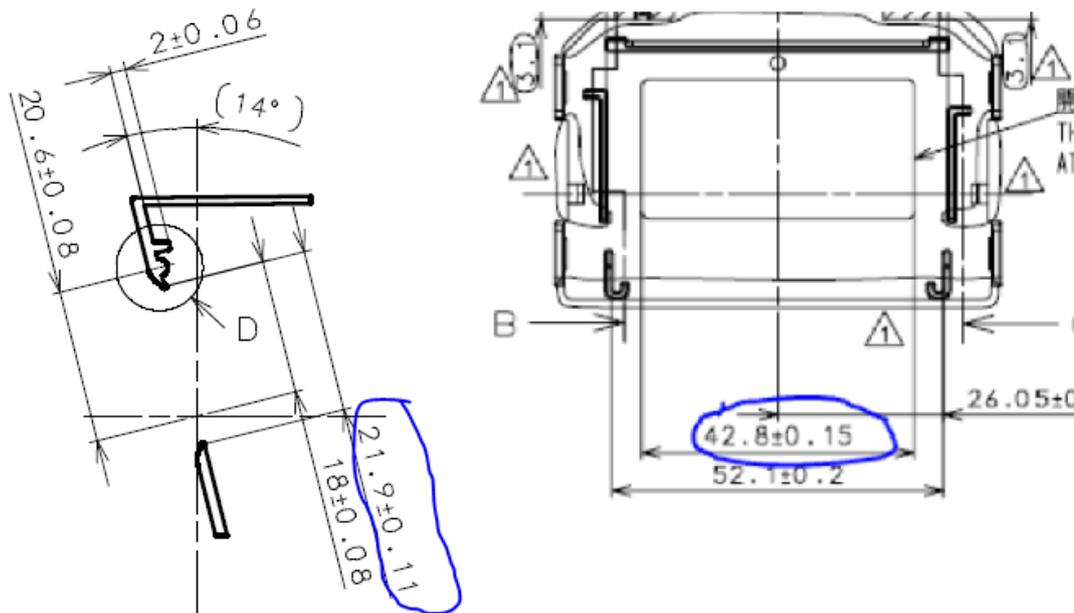


Figura 26 – Cotas críticas

Estas cotas são críticas porque se, por algum motivo, as peças forem produzidas com dimensões abaixo do intervalo de admissão do cliente terá que se soldar o postigo e, em último recurso produzir-se um postigo novo. Para solucionar este problema ao desenhar a peça foram dadas cotas superiores às pedias pelo cliente para caso seja necessário reduzi-las ter aço para maquinar e chegar às cotas necessárias, evitando assim a soldadura do postigo.

4.1.1. Material utilizado

O material utilizado na peça em estudo foi um PP, PP Hyundai HP910L-1 como se pode verificar na ficha técnica no Anexo I.

O PP (Polipropileno) é um termoplástico semi-cristalino, com uma importância muito grande na indústria devido à sua alta resistência a produtos químicos. Possui também valores de resistência mais baixos comparando com outros polímeros.

4.1.2. Análise da geometria da peça em estudo

Antes de iniciar o projeto de molde é aconselhável realizar uma análise cuidada à peça com o objetivo de prever problemas que possam ocorrer futuramente no molde.

A espessura da parede é um dos parâmetros que influenciam as características da peça, como por exemplo o seu desempenho mecânico, aparência estética e economia.

Aumentando a espessura das paredes maior será o seu volume e o seu tempo de arrefecimento, levando a um aumento do tempo de ciclo, dos seus custos e também aumenta a probabilidade de aparecimento de defeitos na peça final. Se a espessura for demasiado fina, a peça possui uma resistência inferior e corre o risco de ocorrer um enchimento incompleto da cavidade. Na Figura 27 está explicito um diagrama onde está evidenciado o aumento do tempo de arrefecimento com o aumento da espessura das paredes.

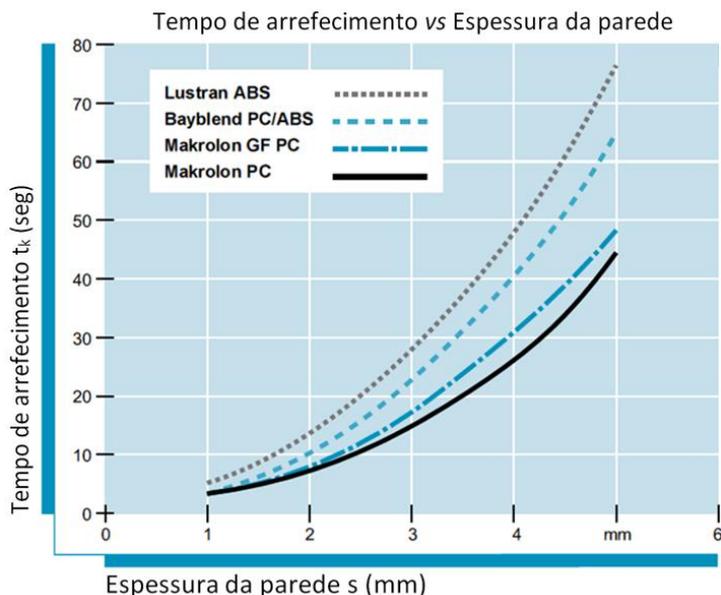


Figura 27 - Diagrama Tempo de arrefecimento vs Espessura da parede (adaptado de (21))

Como se pode verificar no diagrama anterior para um aumento da espessura obtém-se um aumento do tempo de arrefecimento, devido ao aumento da quantidade de material e, conseqüente aumento do tempo para o arrefecer. Analisando a peça verificou-se que não havia diferenças de espessuras consideráveis e a espessura era a ideal para as finalidades da peça e decidiu-se não alterá-la.

Depois de analisada a espessura da peça foi analisada a geometria da peça e os ângulos de saída para prevenir possíveis defeitos na peça.

A primeira proposta de alteração foi a eliminação de um pequeno degrau que iria impossibilitar a extração da peça, como se pode verificar na Figura 28.

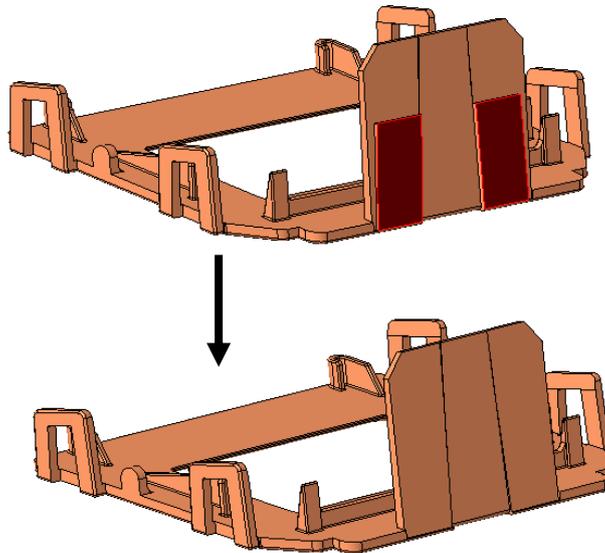


Figura 28 - Eliminação de um degrau

Este degrau iria impossibilitar a extração devido ao seu ângulo ser de 0.5° contrário ao sentido da extração, criando uma contra saída, como se pode ver na Figura 29.

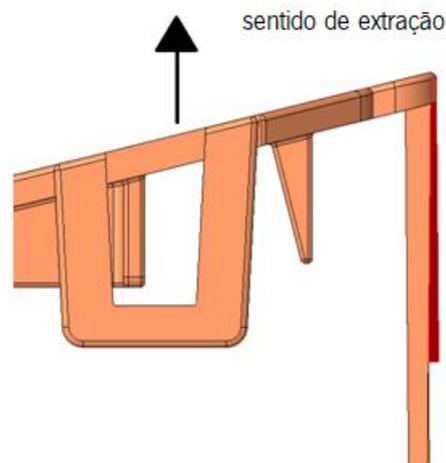


Figura 29 - Ângulo de saída do degrau

De seguida alterou-se o sentido do ângulo de saída de modo a permitir a extração da peça porque, com o ângulo que a peça tinha seria impossível ocorrer a extração. O valor desse ângulo era de 3° no sentido oposto ao da extração, criando uma contra saída. A zona em que foi feita a alteração está visível na Figura 30.

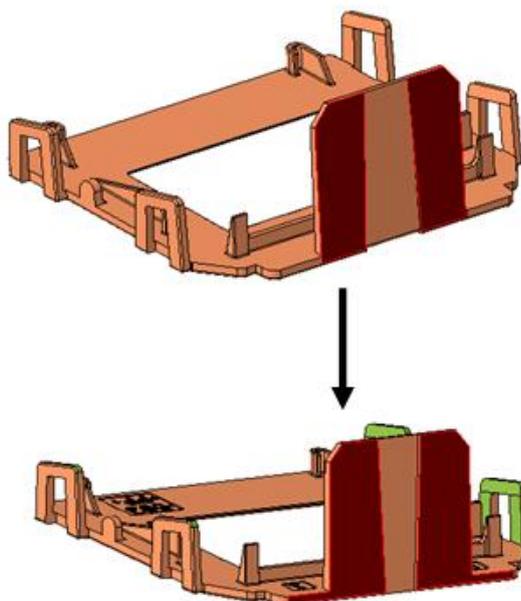


Figura 30 - Alteração do ângulo de saída

Estas alterações foram todas estudadas com a finalidade de evitar futuros problemas com a peça final e sempre com a aprovação do cliente.

4.1.3. Contração

A contração é uma característica dos polímeros que, quando arrefecidos, contraem resultando em peças finais com dimensões inferiores às das cavidades do molde. Por essa razão aplicou-se uma contração à peça. Como se pode verificar no Anexo II o valor da contração do material é 1.5 %.

4.2. Projeto de Molde

4.2.1. Análise do molde referência

Na empresa Celoplás existe uma peça muito semelhante e o projeto deste molde foi baseado nesse molde já existente. Contudo, as peças do molde referência saíam com alguns defeitos, como por exemplo rebarba, marcas em zonas críticas, defeitos nas peças devido aos extratores e marcas visuais na peça.

Inicialmente estudou-se o aparecimento de rebarbas e verificou-se que as zonas mais críticas estão visíveis na Figura 31.

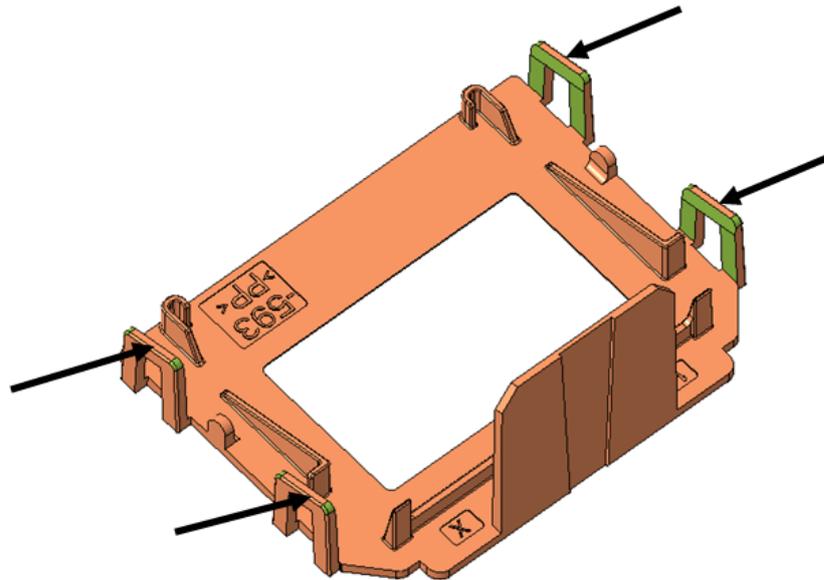


Figura 31 - Zonas de aparecimento de rebarba

O defeito de rebarba pode ter várias origens e, uma delas é devido a um mau ajuste das superfícies de partição. Com o intuito de diminuir a rebarba alteraram-se os planos de partição das zonas mais críticas. No molde referênciã os planos de partição estava a meio das zonas das janelas como se pode verificar na Figura 32.

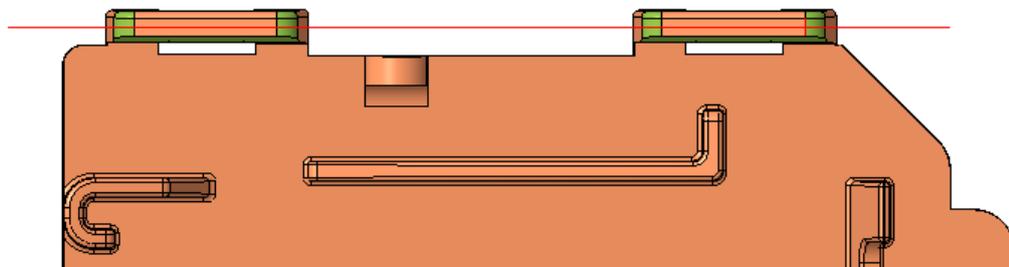


Figura 32 - Superfície de partição do molde referênciã

Como se pode verificar na Figura 32 a superfície de partição está a meio da espessura da janela, e devido á presença de um extrator nessa zona leva a que o material esteja em contacto com dois postigos, como se pode verificar na Figura 33, o que pode levar à criação de rebarba.

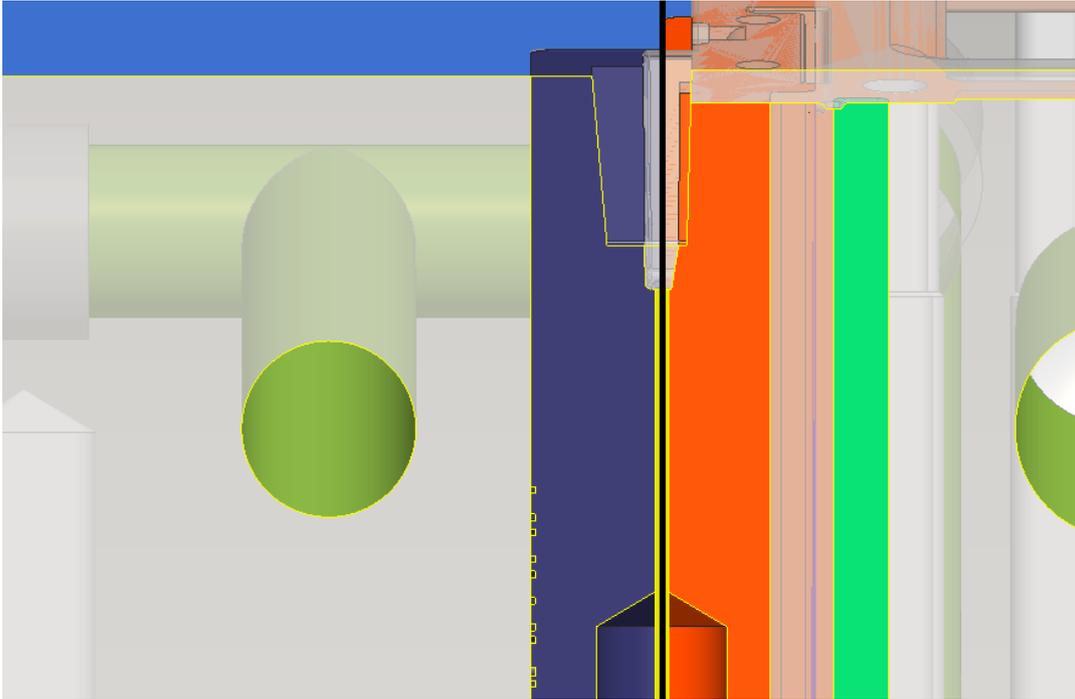


Figura 33 - Posição do extrator no molde referência

Como se pode verificar o extrator (amarelo) está entre dois postigos (superfícies azul e laranja) e a superfície de partição (linha a preto) está a meio do extrator. Para solucionar esse problema alterou-se a superfície de partição para uma das extremidades da espessura da janela como se pode verificar na Figura 34.

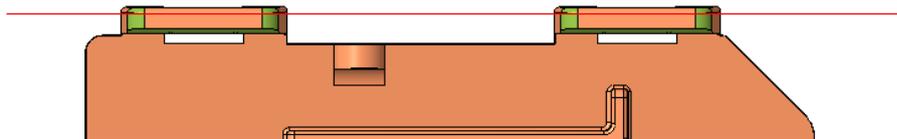


Figura 34 – Superfície de partição do molde do caso em estudo

Como se pode verificar a superfície de partição passou para a extremidade da espessura da janela, o que leva a que o extrator esteja só em contacto com apenas um postigo, como se pode verifica na Figura 35.

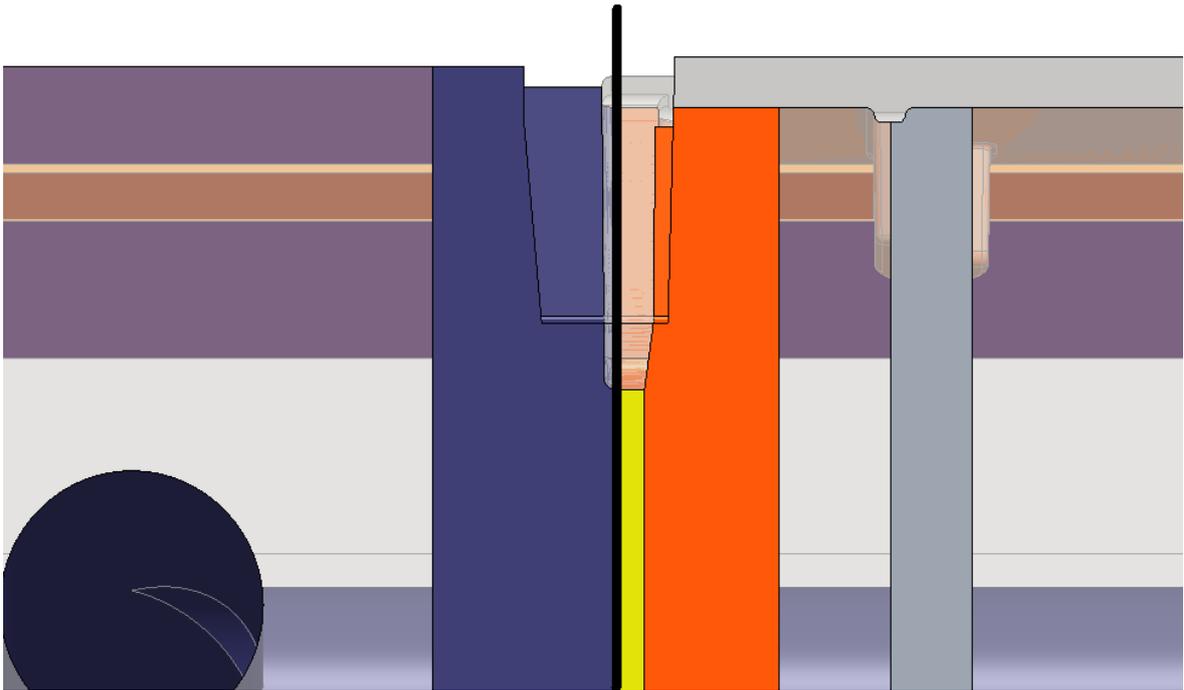


Figura 35 – Posição do extrator no molde do caso em estudo

Como se pode verificar na Figura 35 o extrator (amarelo) está apenas em contacto com um postigo (laranja) e a superfície de partição (linha a preto) está na extremidade do extrator, diminuindo assim a probabilidade de aparecimento de rebarba.

Outro defeito que as peças do molde antigo tinham é o aparecimento de contaminações na peça na zona assinalada na Figura 36.

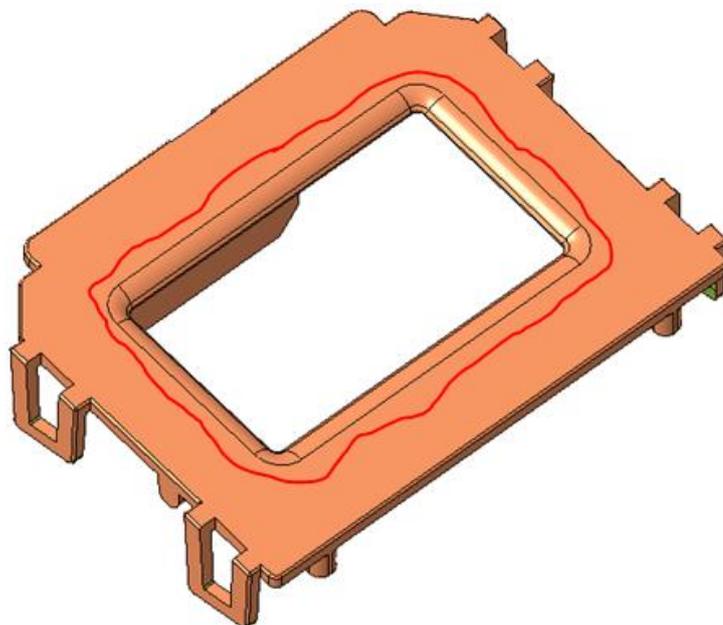


Figura 36 - Zona de aparecimento de marcas e de gordura

Embora a peça não necessite de pintura na zona afetada é uma zona importante da peça porque é uma zona visível e teria efeitos na sua qualidade final. Para resolver este problema foi analisado o molde e verificou-se a presença de um punção (laranja) na zona afetada, como se pode ver na Figura 37. A presença deste punção iria originar uma pequena folga entre este e o postigo de injeção, o que pode provocar uma fuga de óleo para a superfície da peça, e também iria provocar uma marca na peça.

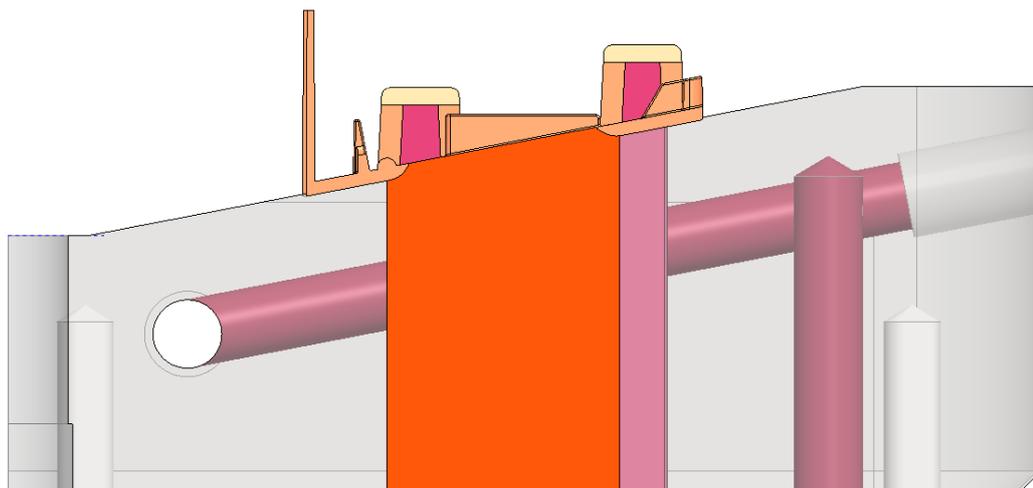


Figura 37 - Postigo na zona afetada por marcas na superfície

Como se pode verificar o punção (laranja) está a dar forma à zona afetada e foi estudado retirar esse punção e foram obtidas as seguintes vantagens e desvantagens.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens de retirar o punção

Vantagens	Desvantagens
Desaparecimento de contaminações na peça	Menor escape de gases
Desaparecimento das marcas causadas pelo punção na peça	Caso danifique a zona é necessário a construção de um postigo de injeção totalmente novo
Menor propensão ao aparecimento de rebarba	Mais dificuldade de manuseamento da zona em questão

Depois de analisado as vantagens e desvantagens procedeu-se à eliminação do postigo da zona afetada pelas contaminações.

4.2.2. Estrutura

Para a obtenção da peça em estudo foi necessário a realização do projeto de molde, obtendo a seguinte estrutura, também presente no Anexo II.

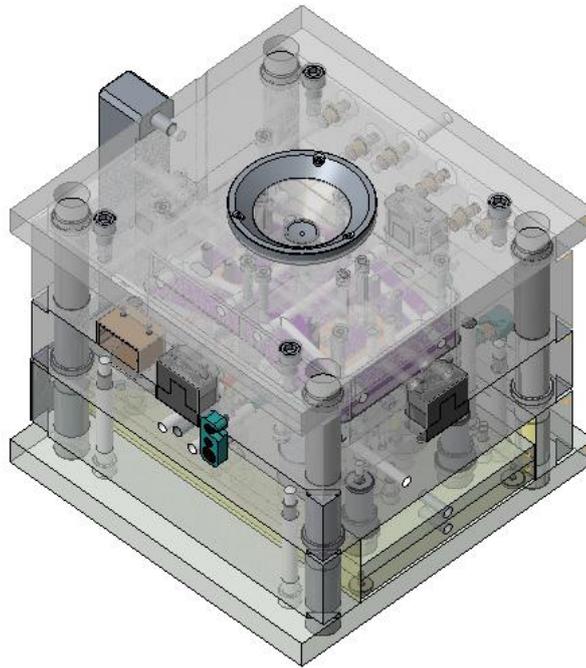


Figura 38 - Estrutura do molde em estudo

O molde é constituído pela chapa de aperto da injeção, chapa da cavidade, chapa da bucha, calços, chapa dos estratores, chapa aperto dos extratores e pela chapa aperto da extração. No Anexo VI encontra-se um desenho conjunto do molde onde se pode analisar melhor a estrutura do molde.

➤ Chapa de aperto da injeção

A chapa de aperto da injeção, como se pode verificar na Figura 39, tem as dimensões de 346x346x27 mm.

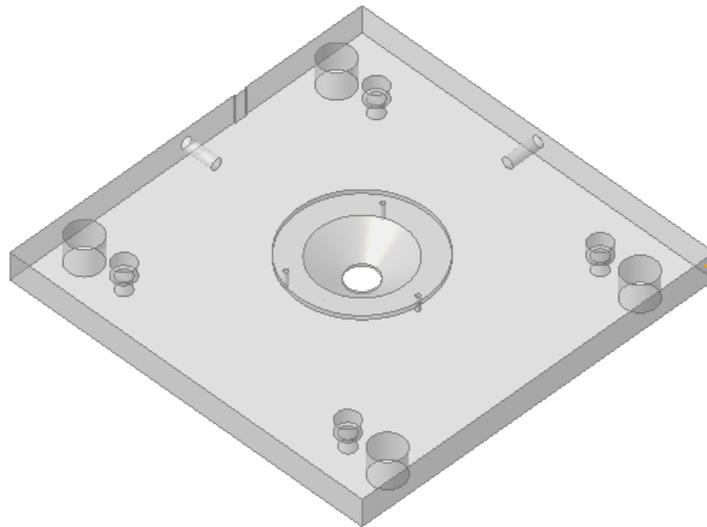


Figura 39 - Chapa de aperto da injeção

Esta placa é fornecida pela Meusburger e é constituído pelo aço utilizado o 1.1730. A espessura desta placa é de 27 mm, porque como não vai ter acessórios nesta placa pode-se escolher a espessura mais pequena. Como esta placa não vai estar em contacto com o material polimérico, não tem furações complexas, não está sujeita a elevados esforços, não necessita de elevadas características tendo-se, por isso, escolhido um aço com um baixo preço, o 1.1730.

➤ Chapa da cavidade

A chapa da cavidade, como se pode verificar na Figura 40, tem as dimensões de 296x346x96 mm.

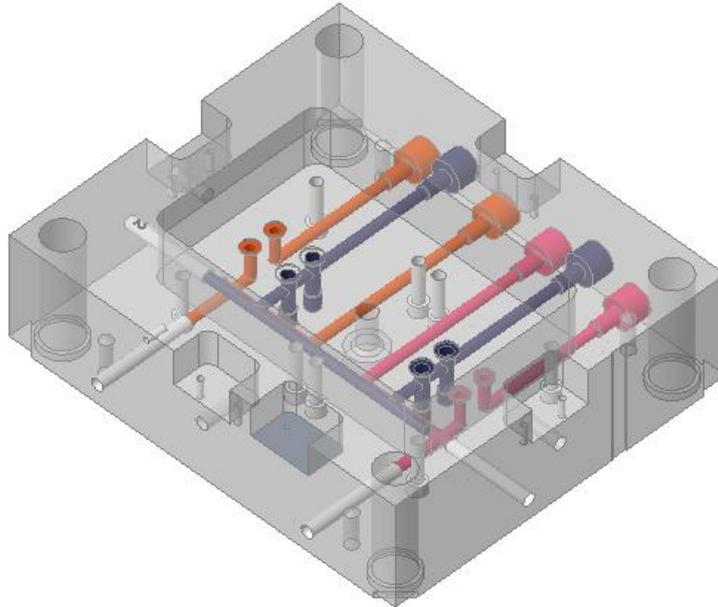


Figura 40 - Chapa da cavidade

A chapa da cavidade é fornecida pela Meusburger e é constituída pelo aço 1.2312. Esta placa necessita de uma maquinabilidade devido à presença de furos de água e de furações complexas, está sujeita a esforços mais elevados, necessita de uma maior dureza e o aço escolhido foi o 1.2312. Este aço é pré-endurecido, com uma percentagem de cromo elevada que promove um aumento da resistência à corrosão e contém enxofre que aumenta a maquinabilidade do aço.

➤ Chapa da bucha

A chapa da bucha, como se pode verificar na Figura 41, tem as dimensões de 296x346x76 mm.

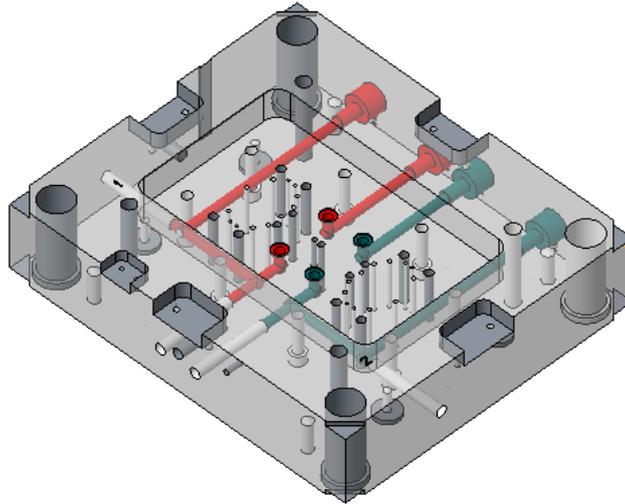


Figura 41 - Chapa da bucha

Esta placa é fornecida pelas Meusburger e é constituída pelo aço 1.2312. Esta placa necessita de uma maquinabilidade devido à presença de furos de água e de furações complexas, está sujeita a esforços mais elevados, necessita de uma maior dureza e o aço escolhido foi o 1.2312.

➤ Calços

Os calços, como se pode verificar na Figura 42, têm as dimensões de 346x44x76 mm.

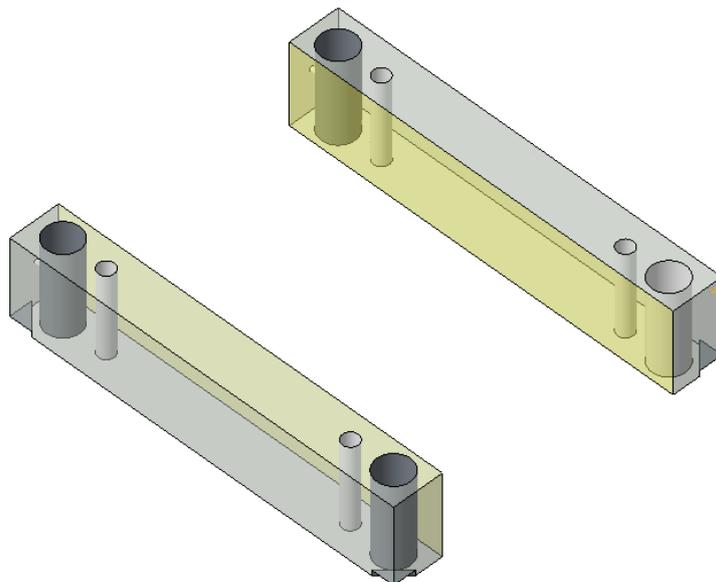


Figura 42 - Calços

Os calços são fornecidos pela Meusburger, têm a referência de F70/296 346/44/76/1730 e são constituídos pelo aço 1.1730. A altura dos calços foi escolhida consoante o curso de extração que o sistema de extração necessita para ocorrer uma boa extração. O curso de extração é de 25 mm, logo como as chapas de extratores e de aperto dos extratores têm uma altura combinada de 36 mm os calços tem de ter uma altura superior a 64 (25+39) mm. Os calços como não tem grandes esforços convêm escolher um aço com preço mais acessível e escolheu-se o 1.1730.

➤ Chapa dos Extratores

A chapa dos extratores, como se pode verificar na Figura 43, tem as dimensões de 346x206x17 mm.

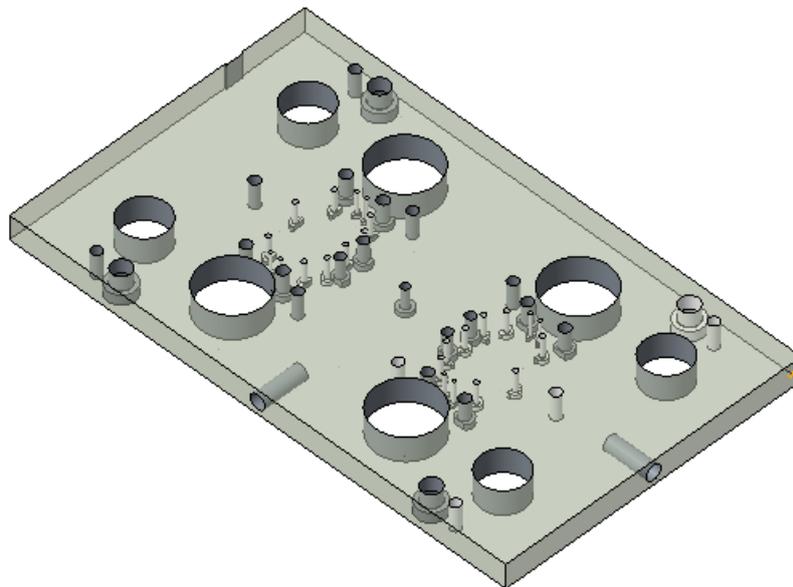


Figura 43 - Chapa dos Extratores

A chapa dos Extratores é fornecida pela Meusburger, e é constituída pelo aço 1.1730. Como esta placa não vai estar em contacto com material polimérico nem vai conter furações de água não precisa de ser um aço com elevada maquinabilidade e resistência ao desgaste e abrasão. A placa dos extratores não têm grandes exigências nem grandes esforços por isso foi escolhido um aço com um preço acessível, o aço 1.1730.

➤ Chapa Aperto dos Extratores

A chapa de aperto dos extratores, como se pode verificar na Figura 44, tem as dimensões de 346x206x22 mm.

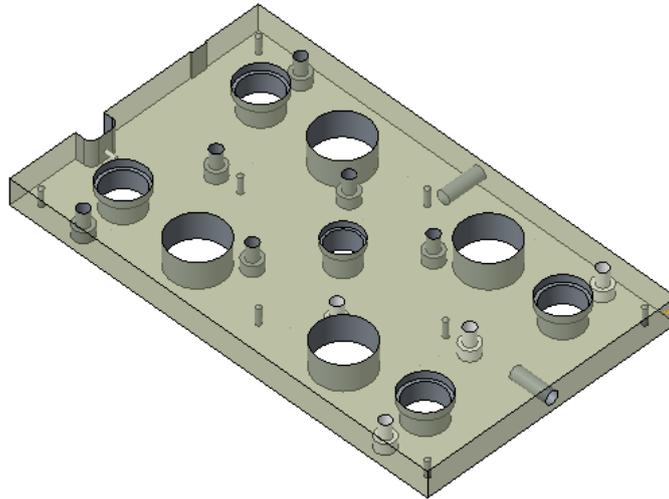


Figura 44 - Chapa aperto dos extratores

A chapa aperto da extratores é fornecida pela Meusburger e é constituído pelo aço 1.1730. A placa de aperto dos extratores como também não tem grandes esforços foi escolhido um aço com um preço acessível, o aço 1.1730.

➤ Chapa Aperto da Extração

A chapa de aperto dos extratores, como se pode verificar na Figura 45, tem as dimensões de 346x346x27 mm.

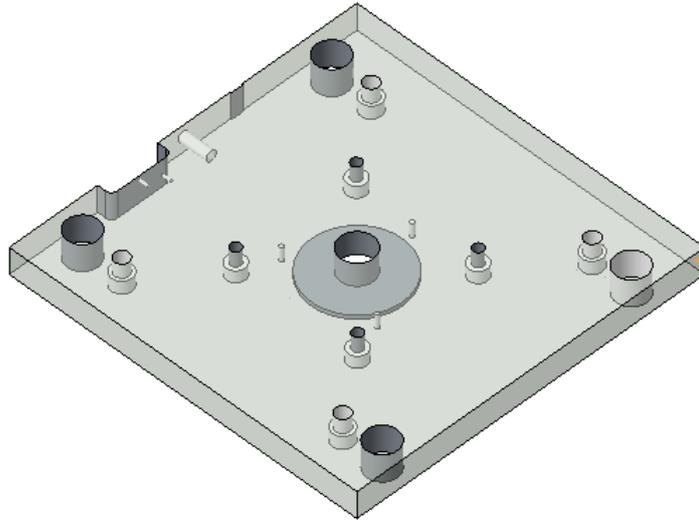


Figura 45 - Chapa aperto da extração

A chapa aperto da extração é fornecida pela Meusburger e é constituído pelo aço 1.1730. Como esta placa não vai estar em contacto com o material polimérico, não tem furações complexas, não está sujeita a elevados esforços, não necessita de elevadas necessidades logo escolheu-se um aço com um baixo preço, o 1.1730.

➤ Postiço injeção e extração

Os postiços de injeção, Figura 46, e de extração, Figura 47, e todos os punções são feitos de um aço diferente dos restantes componentes. Os postiços de injeção e de extração têm grandes necessidades, como uma boa condutividade térmica com o objetivo de obter o melhor arrefecimento possível e, assim evitar o aparecimento de empenos. A temperatura de trabalho do molde também é um critério na escolha do aço a utilizar e, neste caso não é muito necessário, visto que o material utilizado é o PP. Como estes postiços tem furações de água e postiços com alguma complexidade convém que o aço tenha uma boa maquinabilidade. O material polimérico que vai ser utilizado no molde também é um parâmetro muito importante, se contém aditivos, se necessitam de um acabamento superficial. Tendo em conta estes critérios o aço escolhido foi o 1.2344 que resiste a altas temperaturas, tem uma excelente condutividade térmica, com a sua elevada percentagem de crómio vai promover ao aço uma elevada resistência à corrosão que é muito importante para o contacto com materiais poliméricos.

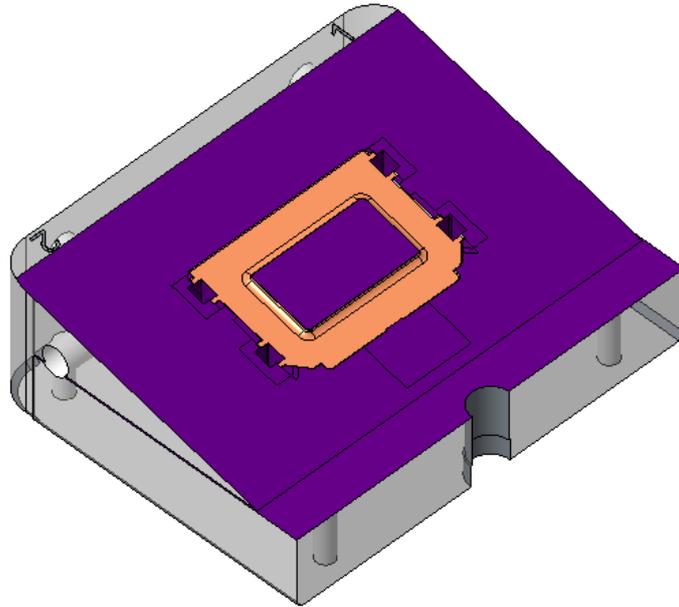


Figura 46 - Postiço injeção

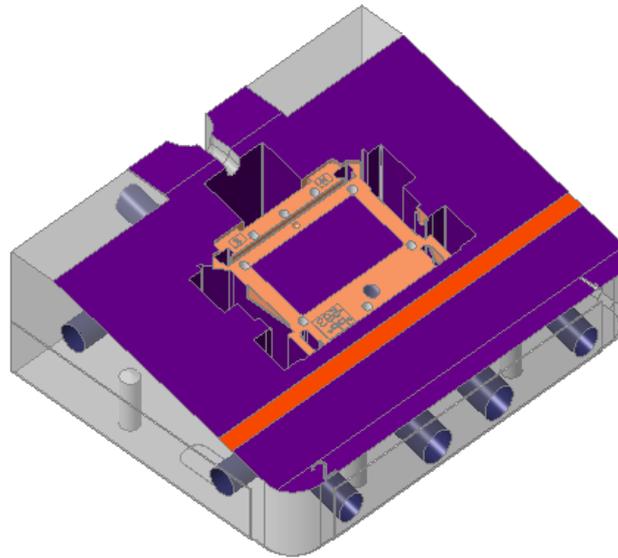


Figura 47 - Postiço extração

4.2.3. Sistema de alimentação

O sistema de alimentação é de muita importância não só para o preenchimento da cavidade mas também para a obtenção de peças sem defeitos. O conceito básico de um canal de alimentação é permitir um fluxo rápido e homogéneo sem perda de pressão e temperatura num percurso o mais curto quanto possível.

Na peça em estudo o sistema de alimentação vai ser através de canais frios como se pode verificar na Figura 48. A alimentação por canais frios implica um menos custo do molde porque não necessita de um canal quente que é relativamente caro, implica um mais gasto em matéria-prima devido ao desperdício no gito e provoca marcas na peça final, que na peça em estudo não tem grande influência.



Figura 48 - Sistema de alimentação (canais frios)

➤ Tipo de ataque

O ponto de injeção deve estar localizado o mais próximo possível do centro da peça para reduzir as distâncias que o material tem de percorrer. No caso em estudo o ponto de injeção é submarino como se pode verificar na Figura 49.

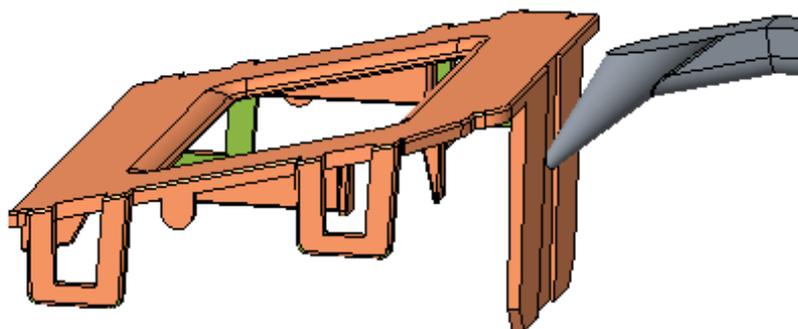


Figura 49 - Ponto de injeção (submarino)

O ataque submarino consiste numa entrada abaixo da linha de junta e é utilizado para peças de pequenas dimensões, moldes multi-cavidades e para materiais flexíveis. Possibilita o corte do gito aquando da extração, não sendo necessário uma etapa extra para o cortar. Este tipo de ataque tem como desvantagem deixar marcar na peça.

Como o material usado foi o Polipropileno o diâmetro usado foi de 5 mm.

4.2.4. Análise Económica da utilização de canais mistos

Na análise económica vai ser feito um cálculo comparativo entre os custos de um sistema de alimentação através de canais frios e um sistema de alimentação através de canais mistos. Nos canais frios teremos um sistema de alimentação comum com jito, alimentadores e ataques enquanto que nos canais mistos teremos um canal quente que depois de divide em dois canais com um ataque. O canal quente utilizado para estes cálculos foi do fabricante Master-Series, como se pode verificar no Anexo XI.

Para a realização do balanceamento económico serão comparados os custos de ambos os sistemas de alimentação ao fim da produção de 100 000 peças, a partir de que momento compensará o canal misto em relação aos canais frios e ao final do tempo de vida estimado quando lucro trará à empresa a aplicação dos canais mistos.

Para a realização dos cálculos será preciso alguns dados que estarão na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados balanceamento económico

Preço do material	3,97 €/kg
Peso específico da matéria-prima	0,92 g/cm ³
Peças por ano	26.000
Vida do molde	1.000.000 shots
Volume da peça	4,6656 cm ³
Volume jito	3,1796 cm ³
Volume alimentação canal misto (jito 2)	2,0659 cm ³
Custo canal quente	≈ 1050 €

- 100.000 Peças
 - Canais frios

Para o cálculo do custo ao fim de 100.000 peças começou-se por calcular o peso de uma peça e de um jito.

$$P_{peça} = V_{peça} \times \rho_{mat} \quad (1)$$

$$(=) P_{peça} = 4,6656 \times 0,92 = 4,2924$$

Para o cálculo do peso do jito utilizou-se a equação (1) e obteve-se o seguinte resultado.

$$(=) P_{jito} = 3,1796 \times 0,92 = 2,9252$$

Depois de obtido os dois valores segue-se o cálculo do custo por shot e, visto que por cada shot são produzidas duas peças esse valor tem de ser dividido por dois.

$$C_{shot1} = (2 \times P_{peça} + P_{jito}) \times C_{mat} \quad (2)$$

$$(=) C_{shot1} = (2 \times 4,2924 + 2,9252) \times 3,97 = 0,046$$

Se duas peças têm um custo de 0,046 €, logo uma peça custará 0,023 €, então 100.000 peças custarão 2300 €.

○ Canais mistos

Como o peso da peça é o mesmo apenas vai ser necessário calcular o peso do sistema de alimentação do canal misto (jito 2). Utilizando a equação (1) obteve-se o seguinte resultado.

$$P_{jito\ 2} = 2.0659 \times 0.92 = 1.9006$$

Depois de calculado o peso da peça e do jito procedeu-se ao cálculo do custo por shot. Utilizando a equação (2) obteve-se o seguinte resultado.

$$(\Rightarrow) C_{shot2} = (2 \times 4,2924 + 1,9006) \times 3,97 = 0,042$$

Se duas peças terão um custo de 0.042 €, logo uma peça tem um custo de 0.021 €, então 100 000 peças terão um custo de 2100 €.

Comparando os valores dos dois sistemas de alimentação observa-se que o canal misto terá um custo inferior de 200 € por cada 100.000 peças, um valor muito baixo comparando com o custo do sistema de canal quente.

➤ Número de ciclos a partir do qual se obterá lucro com a utilização do canal misto

Antes de iniciar os cálculos definiu-se a incógnita “ α ” como o número de ciclos em que o canal misto iria abater o investimento inicial do canal quente. De seguida igualou-se o custo com o canal misto ao custo de canais frios.

$$(C_{shot2} \times \alpha) + C_{c.q.} = C_{shot1} \times \alpha \tag{3}$$

$$(\Rightarrow) 0,042 \times \alpha + 1050 = 0,046 \times \alpha \quad (\Rightarrow) 1050 = (0,046 - 0,042) \times \alpha$$

$$(\Rightarrow) \alpha = 262.500 \text{ ciclos}$$

Com a utilização dos canais misto e do canal quente só se começaria a ter lucro a partir dos 252.500 ciclos, aproximadamente um quarto da vida do molde. Segundo o número de ciclos por ano, fixado em 26.000, a empresa Celoplás só teria lucro depois de 10 anos de produção.

➤ Saldo no final de vida do molde

Para obter o saldo (positivo ou negativo) da comparação entre canais mistos e frios utilizou-se a seguinte equação.

$$C_{tot} = C_{shot} \times n_{shot} + C_{ext} \quad (4)$$

○ Canais frios

Para obter o valor do custo total no final de vida do molde para os canais frios utilizou-se a equação (4) e obteve-se o seguinte resultado.

$$C_{tot} = 0,046 \times 1.000.000 + 0 = 46.000$$

Logo o custo de material dos canais frios para a vida do molde será de 46.000€.

○ Canais mistos

Para obter o valor do custo total no final de vida do molde para os canais mistos utilizou-se a equação (4) e obteve-se o seguinte resultado.

$$C_{tot} = 0,042 \times 1.000.000 + 1050 = 43.050$$

Logo o custo de material dos canais mistos para a vida do molde será de 43.050€.

Comparando os dois valores verifica-se que utilizando os canais mistos iria-se obter um lucro de 2950€ durante ao tempo de vida do molde.

Na Tabela 6 está explicito todos os valores obtidos através dos cálculos acima explicados.

Tabela 6 - Resultados da análise económica

100.000 peças	Canais mistos	2.100 €
	Canais frios	2.300 €
Nº ciclos a partir do qual se obterá lucro		262.500
Saldo no final da vida do molde		2.950€

4.2.5. Sistema de extração

O sistema de extração é ativado pela haste extratora (veio KO), como se pode verificar na Figura 50, que é comandado pela máquina de injeção.



Figura 50 - Haste extratora

Depois de a Haste extratora ser ativada, esta vai movimentar a chapa dos extratores e a chapa de aperto dos extratores. De seguida e, como os extratores estão fixos na entre essas duas placas vão movimentá-los e, por consequência vai originar a extração da peça. Na peça em estudo existe dois tipos de extratores a atuar, os laminares e os cilíndricos, como se pode ver na Figura 51.

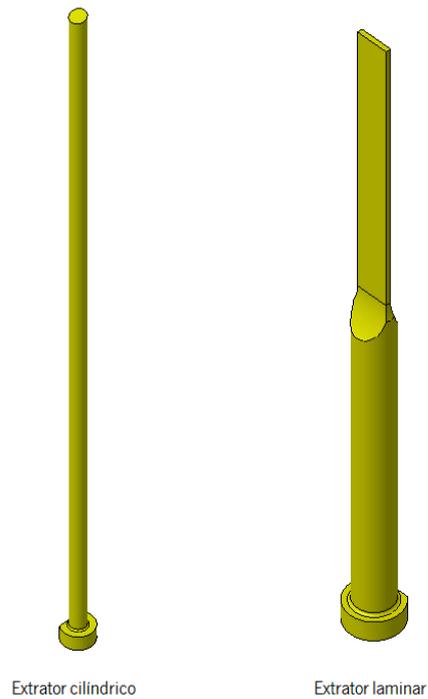


Figura 51 - Extratores cilíndricos e laminares

Os extratores cilíndricos são utilizados em quase todas as situações devido á elevada rigidez comparando com os extratores laminares. Quando a área a atuar o extrator for muito reduzida utiliza-se então um extrator laminar devido à sua forma retangular. Na Figura 52 está apresentada as zonas onde irão atuar os extratores laminares.

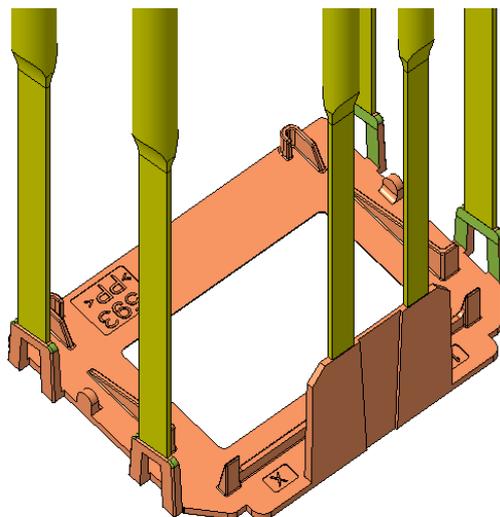


Figura 52 - Zonas de atuação dos extratores laminares

Como se pode verificar as zonas de atuação dos extratores laminares são as zonas onde um extrator cilíndrico iria ter muita dificuldade em atuar e, como o laminar tem uma forma retangular aumenta muito a área de contacto, melhorando assim a extração e a diminuição do aparecimento de defeitos na peça final.

Os extratores cilíndricos são utilizados em zonas onde se tem mais espaço para atuarem, como se pode ver na Figura 53, onde as zonas circulares a amarelo são as zonas onde os extratores atuam.

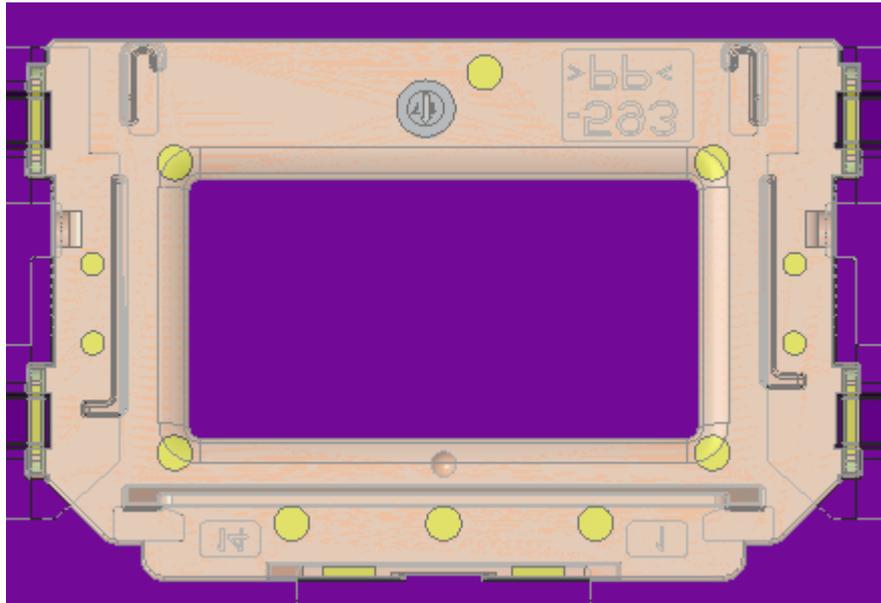


Figura 53 - Zonas de atuação dos extratores cilíndricos

No sistema de alimentação também existe um extrator a atuar como se pode verificar na Figura 57.

➤ Cálculo da encurvadura dos estratores cilíndricos

Os extratores, no momento da injeção, sofrem pressões muito elevadas e, quando o extrator não é dimensionado corretamente pode encurvar, como se pode ver na Figura

54

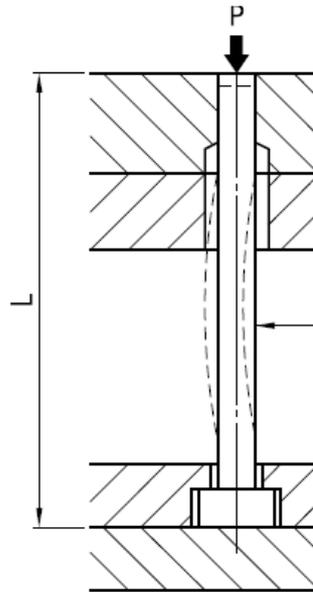


Figura 54 - Encurvadura de um extrator (adaptado de (22))

Para calcular a encurvadura do extrator é necessário saber a pressão dentro da cavidade do molde, neste caso é de 402 bar, para de seguida calcular a força a que cada extrator está sujeito.

$$P_1 = P_{int} \times A_{sec} \quad (5)$$

$$P = 28,955 \text{ kgf}$$

Depois de obtida a pressão a que o extrator está sujeito pode-se calcular a força necessária para encurvar o extrator através da fórmula de Euler.

$$P_2 = n \times \pi^2 \times A \times E \times \left(\frac{K}{L}\right)^2 \quad (6)$$

Onde:

n: terminal condition constant	
For straight	$n=4$
For stepped	$n=2.05$
A: cross section [mm ²]	
For round	$\frac{\pi}{4} d^2$
For cylinder	$\frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$
E: modulus of longitudinal elasticity	21000 [kgf/mm ²]
K: radius of gyration of area	$K = \sqrt{I/A}$ [mm]
For round	$K = d/4$
For cylinder	$K = \sqrt{d^2 + d_1^2}/16$
I : geometrical moment of inertia [mm ⁴]	
For round	$I = \frac{\pi d^4}{64}$
For cylinder	$I = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4)$
p: Internal cavity pressure [kgf/mm ²]	

Figura 55 - Dados cálculo encurvadura extrator (adaptado de (22))

Neste caso o extrator é *straight* porque mantém sempre a sua forma circular, nunca é rebaixado, como se pode ver na Figura 56. A altura do extrator foi de 142,327 mm, visto ser o extrator maior e, logo ser o que pode sofrer mais encurvadura.

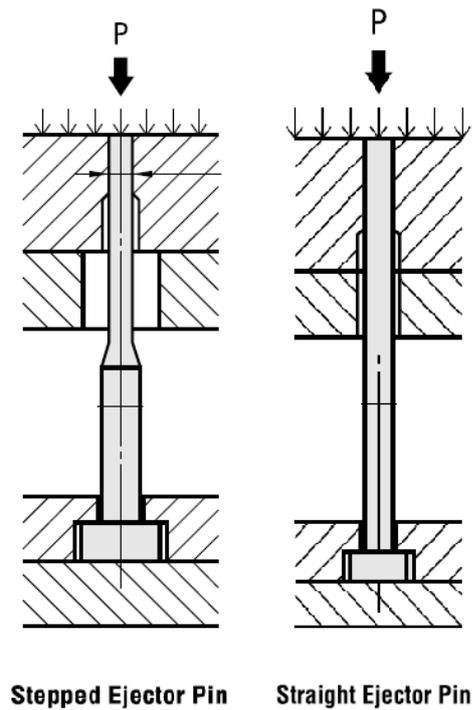


Figura 56 - Stepped Ejector Pin vs Straight Ejector Pin (adaptado de (22))

Logo:

$$P_2 = 162,727 \text{ kgf}$$

O fator de segurança é calculado pela seguinte fórmula:

$$S = \frac{P_2}{P_1} = \frac{162,727}{28,955} = 5,6 \quad (7)$$

Através destes cálculos conclui-se que as dimensões dos extratores estão bem dimensionadas, vão suportar a força exercida e não vão encurvar.



Figura 57 - Zona de atuação do extrator no sistema de alimentação

Este extrator é cilíndrico e tem como função extrair o sistema de alimentação e ao mesmo tempo vai permitir o corte do gito da peça, separando automaticamente as peças, sendo isto uma das grandes vantagens do ataque submarino.

Os pernos de retorno promovem o recuo das chapas dos extratores, assegurando que os extratores estejam na sua posição correta antes do início da injeção do próximo ciclo. Estes extratores são iguais ao extratores cilíndricos mas de maior diâmetro e substituem as molas helicoidais que eram usadas nos moldes mais antigos. Neste molde são usados quatro pernos de retornos e o seu posicionamento pode ser visualizado na Figura 58.

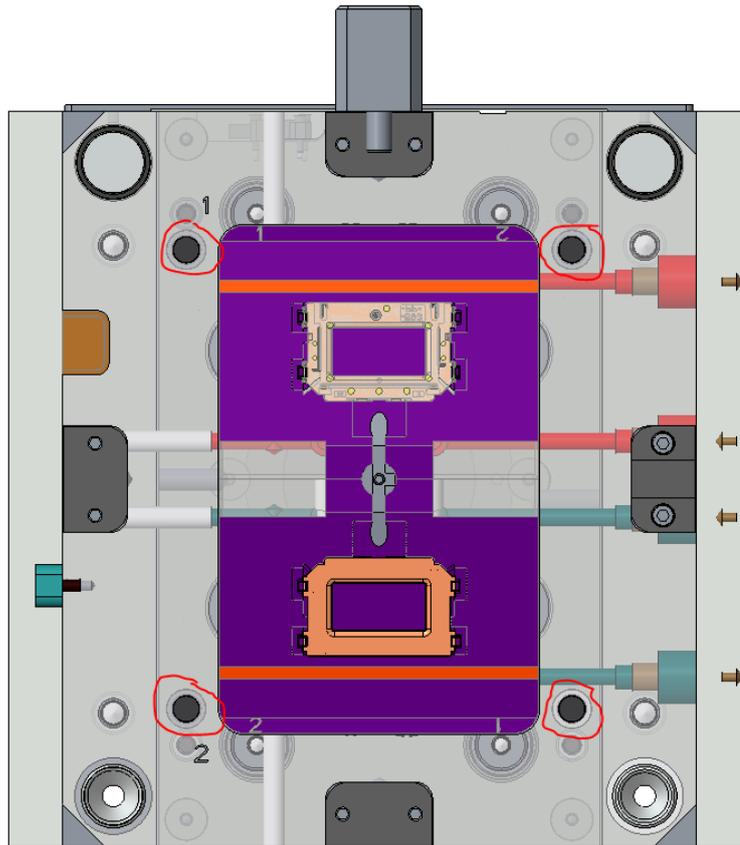


Figura 58 - Posicionamento dos pernos de retorno

Para um bom guiamento do sistema de extração são usados suportes guias fixos à chapa das buchas ou de reforço, como se pode ver na Figura 59. A sua ficha técnica está presente no Anexo III.



Figura 59 - Suporte guia

Para além do suporte guia também terá um casquilho que terá como função ajudar no guiamento e no deslize entre as placas e o suporte guia. Na Figura 60 está visível a posição do suporte guia (azul) e do casquilho (verde). No molde do caso em estudo foram utilizados quatro suportes guias e casquilhos e as furações nas chapas dos extratores e de aperto dos extratores devem ter os diâmetros iguais aos do casquilho para permitir um correto posicionamento e perpendicularidade das guias em relação às placas.

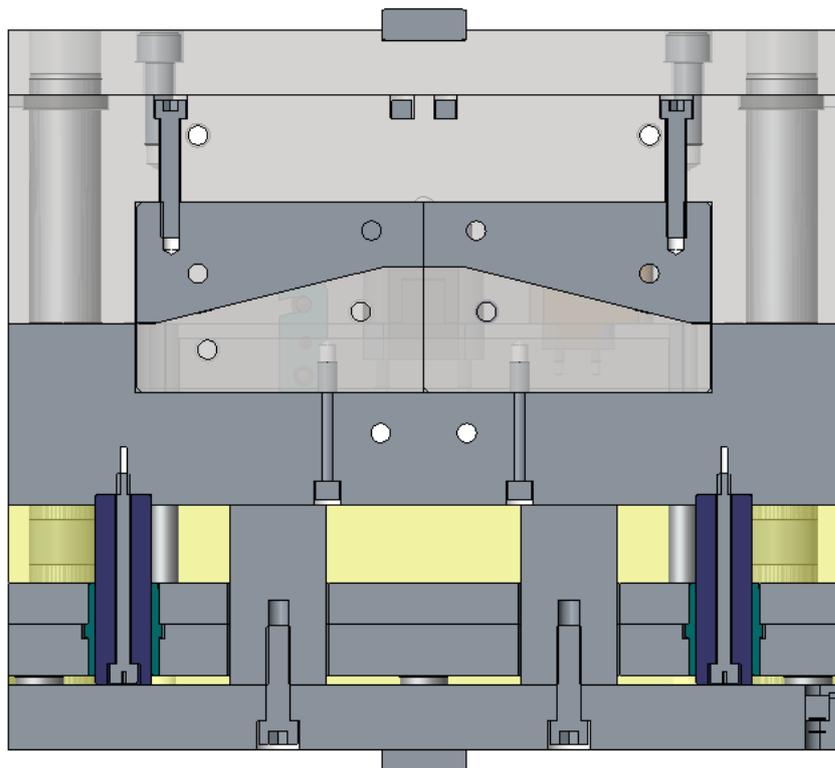


Figura 60 - Posição do suporte guia e do casquilho no molde

Para finalizar o sistema de extração temos os suportes que tem como função ajudar a suportar a pressão de injeção e a força de fecho, como se pode verificar na Figura 61.

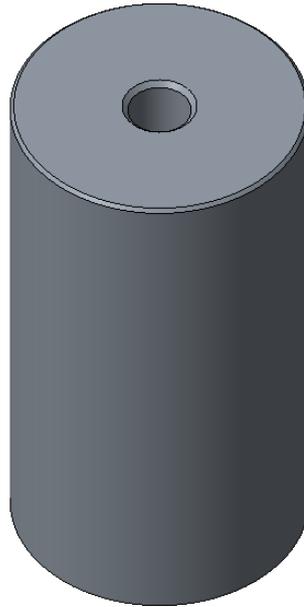


Figura 61 – Suporte

Os suportes devem ser aplicados na chapa de aperto da extração e não requerem caixas de posicionamento. Os furos na chapa de aperto dos extratores e na chapa de extratores têm uma folga entre 1 e 2 mm em relação ao diâmetro do suporte. No molde do caso em estudo foram utilizados quatro suportes (verde) e a sua posição está representada na Figura 62.

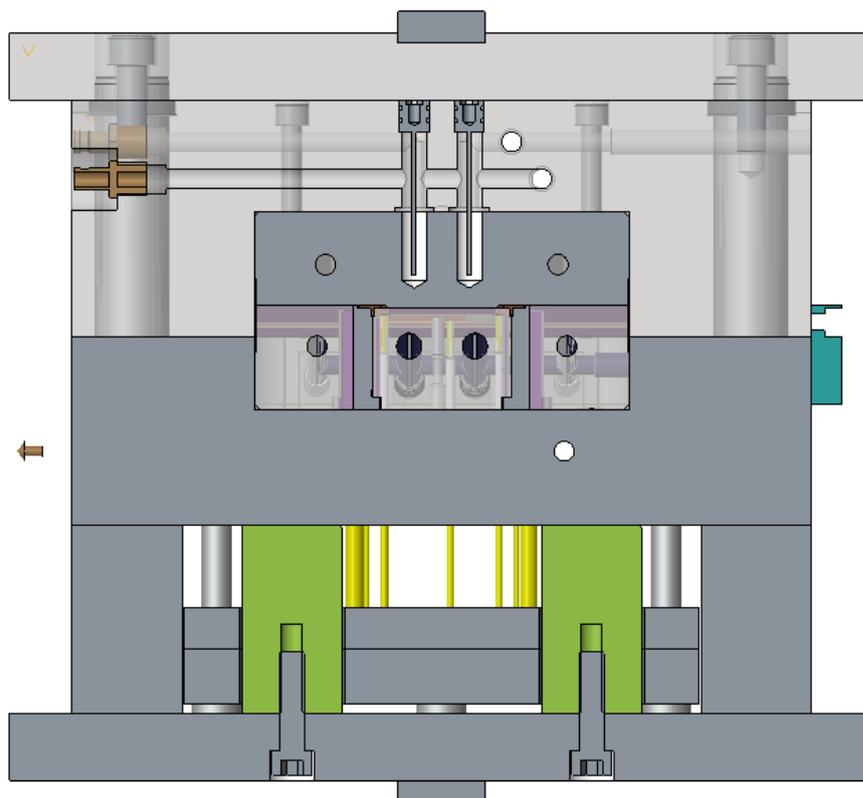


Figura 62 - Posição do suporte no molde

4.2.6. Sistema de controlo de Temperatura

Idealmente, na injeção de materiais poliméricos, o fundido e o molde deviam estar à mesma temperatura durante a injeção e no momento da extração, peças e molde, deveriam estar à temperatura ambiente. Para que isto acontecesse seria necessário uma pressão de injeção muito baixa e as peças seriam isotrópicas devido ao muito lento arrefecimento.

Assim, para a obtenção dos melhores resultados económicos possíveis, deve-se produzir peças á maior cadência possível. Como o tempo de arrefecimento é cerca de 50% ou mais da duração total do ciclo de injeção, deve-se tentar reduzir ao máximo, sem que prejudique a qualidade final da peça, para obter os melhores resultados económicos possíveis.

O arrefecimento do material injetado ocorre através de transferência de calor entre a superfície da peça e a massa do molde. Para que essa transferência de calor seja a mais rápida são maquinados furos perto das zonas moldantes para a passagem de um fluido refrigerante. Esses furos podem ser chamados de “linhas de água” por ser a água

o fluido refrigerante. Na Figura 63 está representado o sistema de controlo de temperatura do lado móvel da peça em estudo.

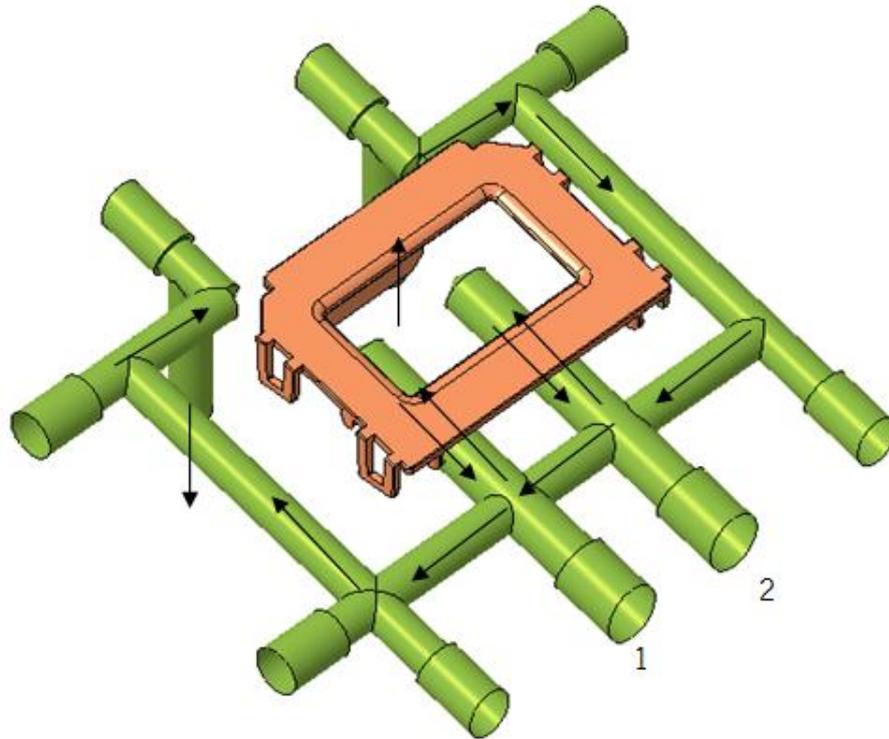


Figura 63 - Esquema de refrigeração lado móvel

Nas zonas 1 e 2 são colocadas umas lâminas de refrigeração, como se pode ver na Figura 64, para promover a circulação do fluido nas direções desejadas. Para a escolha da alheta e das duas dimensões utilizou-se um catálogo que está presente no Anexo III.

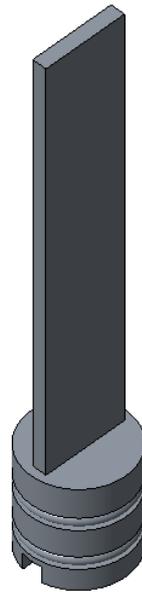


Figura 64 - Lâmina de refrigeração

No que diz respeito ao lado fixo existe dois circuitos de água, um circuito a setas pretas e outro a setas azuis onde contêm duas lâminas de refrigeração, como pode ser visto na Figura 65.

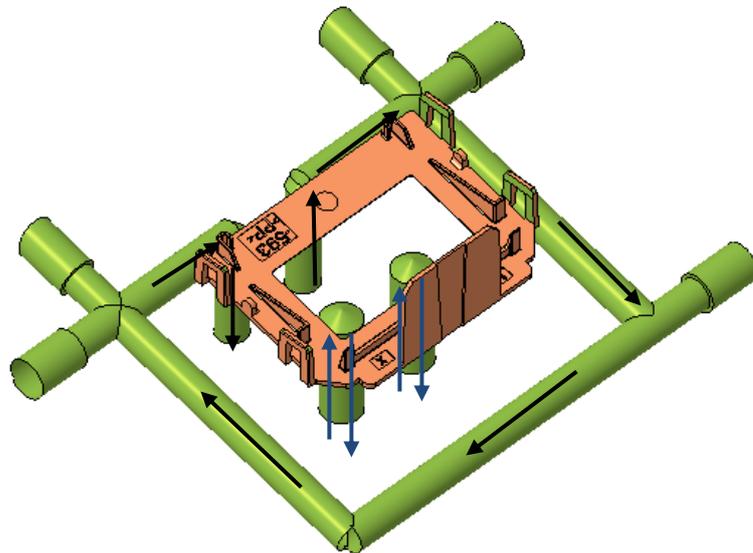


Figura 65 - Esquema de refrigeração lado fixo

Os diâmetros utilizados para os furos de água foram de 8 mm devido à espessura da peça ser inferior a 2 mm e seguindo os valores da Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de diâmetro do canal (adaptado de (14))

Espessura média da peça (mm)	Diâmetro do canal (mm)
≤2	8-10
≤4	10-12
≤5	12-15

Todas as restantes dimensões utilizadas no sistema de refrigeração foram escolhidas tendo em conta o diâmetro das linhas de água e seguindo a Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões utilizadas nas linhas de água (adaptado de (14))

Diâmetro da linha de água (mm)	Dimensão caixa o'ring (mm)	Dimensões tampões (rosca gás)	Dimensões tampões (mm)	Dimensões caixas racords (mm)
6	Ø12x1.6	Ø1/8Gásx12	Ø8x12	Ø25x18
8	Ø14x1.6	Ø1/8Gásx14	Ø10x14	Ø25x18
10	Ø16x1.6	Ø1/4Gásx14	Ø12x14	Ø30x18

Em termos de posicionamento das linhas de água, devem ter uma distância entre elas de pelo menos três vezes o seu diâmetro e devem estar distanciadas de superfícies entre 0.8 e 2 vezes o diâmetro das linhas de água.

- Tempo de arrefecimento previsto para a peça em estudo

Para o cálculo do tempo de arrefecimento utilizou-se a fórmula de Wübken.

$$T_{arr} = \frac{s^2}{\pi^2 \times \alpha} \ln \left[\left(\frac{4}{\pi} \right) \left(\frac{T_i - T_m}{T_e - T_m} \right) \right] \quad (8)$$

onde:

s – espessura média (m)

α – difusividade térmica (m²/s)

T_i – temperatura de injeção (°C)

T_m – temperatura do molde (°C)

T_e – temperatura de extração (°C)

$$T_a = \frac{(1.5 \times 10^{-3})^2}{\pi^2 \times 0.7 \times 10^{-7}} \ln \left[\left(\frac{4}{\pi} \right) \left(\frac{220-40}{60-40} \right) \right] = 7,94 \text{ s}$$

Logo, o tempo previsto para o arrefecimento da peça é de 7.94 s.

4.2.7. Sistema de centragem e guiamento do Molde

O sistema de centramento do molde permite um fecho e encaixe perfeito das duas partes do molde. O encaixe das duas partes do molde evita o aparecimento de defeitos nas faces de ajuste e, posteriormente provocariam defeitos nas peças finais. Para garantir um encaixe perfeito utilizou-se os seguintes métodos.

➤ Interlocks

Através do uso de Interlocks permite um encaixe perfeito entre as superfícies interiores ajudam o guiamento das duas partes do molde, protegendo assim as linhas de junta, como se pode verificar na Figura 66.

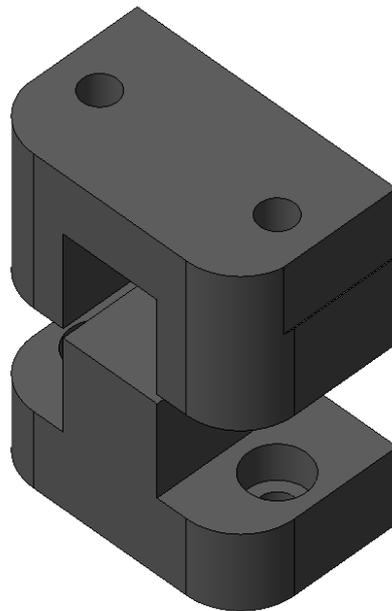


Figura 66 - Interlocks

➤ Anel de centragem

O anel de centragem normalmente encontra-se posicionado na face posterior da placa de aperto de injeção e tem como função centrar o molde com a máquina injetora, como se pode verificar na Figura 67.



Figura 67 - Anel de centragem

➤ Guias

As guias têm como função guiar inicialmente as duas metades do molde e as placas de injeção, como se pode verificar na Figura 68. Foram utilizadas quatro guias em que, uma delas tem um diâmetro diferente, 22mm, das outras, 24mm, para impedir a montagem do molde da forma errada.



Figura 68 – Guia

4.2.8. Força de fecho e escolha da máquina de injeção

Para a escolha da Máquina de injeção a usar é necessário calcular primeiramente a força de fecho para, de seguida, escolher a tonelagem da máquina. Para o cálculo da força utilizou-se a seguinte equação (23).

$$F_{fecho} = z \times A_{proj} \times p \quad (13)$$

Para a obtenção do resultado da força de fecho foram utilizados os seguintes dados

Tabela 9 – Dados cálculo área projetada

z (número de cavidades)	2
A_{proj}	24.44
Pw (pressão na cavidade do molde)	4000

Para a obtenção da área projetada foi necessário calcular a área da peça que vai estar projetada no molde quando ele fecha e, será a área do retângulo "1" menos a área do retângulo "2", como se pode verificar na Figura 69.

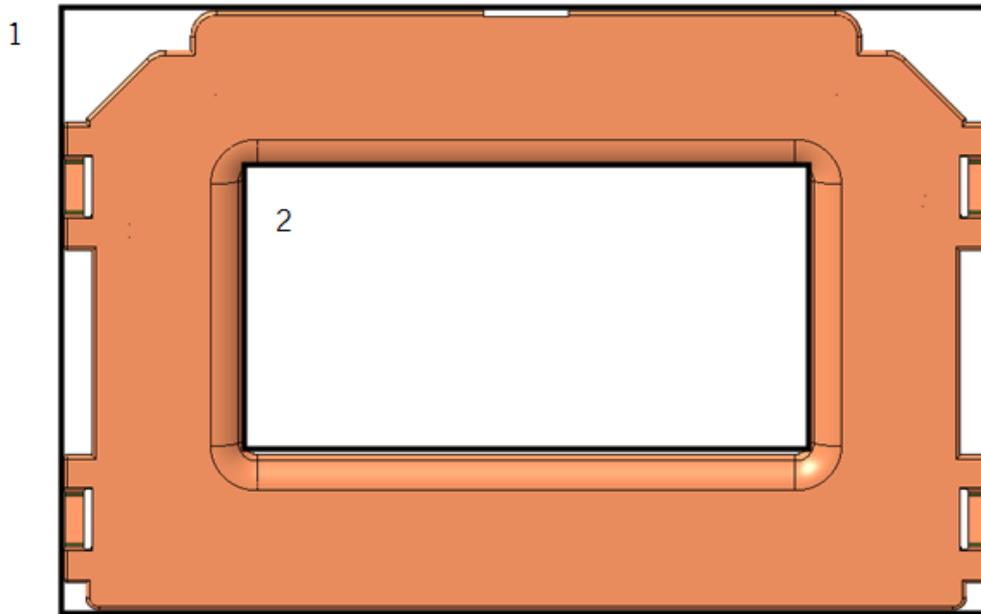


Figura 69 - Área projetada

Para a obtenção da pressão na cavidade do molde (p_w) utilizou-se a Tabela 10.

Tabela 10 - Valores recomendados da pressão na cavidade do molde (adaptado de (23))

Injection material	Recommended values for specific closing force (kN/cm ²)	Practical values for the mould cavity pressure, based on the recommended closing force values (bar)
PS	1.5-3.5	150-350
SB	2.0-4.0	200-400
SAN	2.5-4.5	250-450
ABS	3.0-5.5	300-550
PVC rigid	2.5-5.0	250-500
PVC soft	1.5-3.0	150-300
CA	2.5-4.5	250-450
CP	2.0-3.5	200-350
PMMA	3.5-5.5	350-550
PPE mod. (PPO mod.)	3.5-6.0	350-600
PC	3.5-6.5	350-650
PSU/PES	4.0-6.0	400-600
PEI	3.5-6.5	350-650
PE soft	2.0-6.0	200-600
PP	3.0-6.5	300-650
PA 4.6	4.5-7.5	450-750
PA6	3.5-5.5	350-550
PA6.6	4.5-7.5	450-750
PA6.10	3.0-5.0	300-500
PA11, PA12	3.5-5.5	350-550
PA amorph	3.5-4.5	350-450
POM	5.5-10.5	550-1050
PET	4.5-7.5	450-750
PBT	4.0-7.0	400-700
PPS	3.5-6.5	350-650
FEP	3.0-6.0	300-500
PAA	3.0-7.0	300-700
LCP	3.0-8.0	300-800
Thermosets/Elastomers		
Classic elastomers	2.0-6.0	200-600
PE-U	2.0-4.5	200-450
LSR	0.8-2.5	80-250

Como o material utilizado foi o Polipropileno (PP) logo a pressão na cavidade do molde vai variar entre 3.0 até 6.5 kN/cm^2 e como o material não tem fibras de vidro pode-se aproximar o valor a utilizar perto de 3.0 kN/cm^2 .

Utilizando a equação (5) obteve-se o seguinte resultado.

$$Força\ de\ fecho = 2 \times 24.44 \times 4000 = 195520 \approx 20\ toneladas$$

Como a força de fecho necessária tem de ser superior a 20 toneladas verifica-se que a máquina de menor tonelagem, de 60 toneladas, é suficiente para este molde. De seguida verificou-se se as dimensões do molde eram suportadas na máquina. Conclui-se que as dimensões entre colunas (atravancamento) são superiores às dimensões do molde, logo esta máquina injetora é suficiente para este molde. De seguida verificou-se

se a capacidade máxima de injeção é superior ao volume de material injetado e conclui-se que é superior. Logo, conclui-se que esta máquina cumpre as especificações deste molde.

Tabela 11 - Dados máquina injeção (adaptado de (24))

Designação	Arburg A37C60	
Posição de trabalho	Horizontal	
Força de fecho	60 ton's	
Anel de centragem	125 mm	
Atravancamentos	Largura	370 mm
	Altura	370 mm
Altura mínima do molde	250 mm	
Abertura máxima	750 mm	
Capacidade máxima injeção	106 cm^2	
Velocidade máxima injeção	133 mm/s	
Pressão máxima injeção	2470 bar	

4.2.9. Balanço térmico

Para a realização destes cálculos utilizou-se os dados da Tabela 12.

Tabela 12 - Dados do balanço térmico

Massa injetada	0.0115 kg
Entalpia específica do material à temperatura de injeção	500 kJ/kg
Entalpia específica do material à temperatura de extração	100 kJ/kg
Tempo de arrefecimento	7,9 s
Área de contacto do molde	0.239 m ²
Fator de proporcionalidade (aço de alta liga)	80 W/m ² .°C
Temperatura ambiente	20 °C
Temperatura do molde	60 °C
Área lateral do molde	0.418 m ²
Coefficiente de transferência de calor por convecção (ar)	15 W/m ² .°C
Fator de emissividade (aço)	0.25
Coefficiente de radiação do corpo negro	5.77 W/m ² .k ⁴
Temperatura absoluta do ambiente	293.18 K
Temperatura absoluta do molde	333.18 K
Calor específico do fluido (água)	4186 J/kg.°C

Para efeitos do balanço térmico considera-se o calor recebido pelo molde como positivo e o calor cedido como negativo.

$$\sum \dot{Q}_i = \dot{Q}_{TM} + \dot{Q}_{AMB} + \dot{Q}_{PL} = 0 \quad (14)$$

onde:

$$\sum \dot{Q}_{AMB} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{rad} \quad (15)$$

sendo:

\dot{Q}_{TM} = calor transferido pelo fluido de arrefecimento (W)

\dot{Q}_{AMB} = calor transferido para o ambiente (W)

\dot{Q}_{conv} = calor trocado por convecção (W)

\dot{Q}_{cond} = calor trocado por condução (W)

\dot{Q}_{rad} = calor trocado por radiação (W)

\dot{Q}_{PL} = calor produzido pelo polímero (W)

Para a obtenção de uma melhor compreensão do balanço térmico num molde apresenta-se a Figura 70.

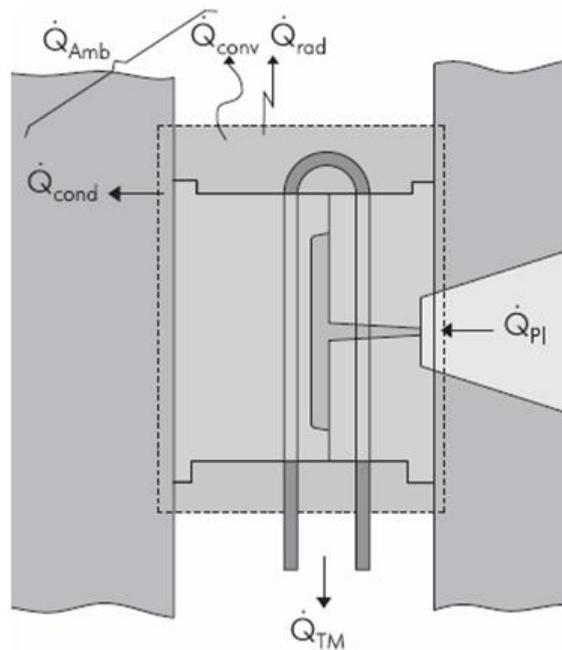


Figura 70 - Balanço térmico num molde

- Calor produzido pelo polímero

Começando pelo cálculo do calor produzido pelo polímero utilizou-se a seguinte equação:

$$\dot{Q}_{PL} = \frac{m(h_i - h_e)}{t_c} \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{PL} = 582,835$$

- Calor transferido para o ambiente

A transmissão de calor para o ambiente pode ocorrer de três formas diferentes, convecção, radiação e condução.

- Condução

$$\dot{Q}_{cond} = A_f \times \beta \times (T_a - T_m) \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{cond} = -764,8$$

- Convecção

$$\dot{Q}_{conv} = A_l \times \alpha \times (T_a - T_m) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{conv} = -250,74$$

- Radiação

$$\dot{Q}_{rad} = A_l \times \varepsilon \times C_{rad} \times \left(\left(\frac{\theta_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_m}{100} \right)^4 \right) \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{rad} = -24,747$$

Logo:

$$\dot{Q}_{AMB} = (-764,8) + (-250,74) + (-24,747) = -1040,287$$

- Calor transferido pelo fluido de arrefecimento

$$\dot{Q}_{TM} = -\dot{Q}_{PL} - \dot{Q}_{AMB} \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{TM} = (-582,835) - (-1040,287) = 457,452$$

Depois de obtido o calor necessário para manter o molde em equilíbrio será calculado o valor do caudal do fluido de arrefecimento suficiente para manter o molde em equilíbrio.

- Cálculo do caudal do fluido de arrefecimento

Para a realização deste cálculo atribui-se uma variação de temperatura (ΔT) entre a entrada do molde e a saída do molde de 3°C

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{TM}}{C \times \Delta T} \quad (21)$$

$$\dot{m} = 0,036 = 0,036 \times 10^{-3} m^3/s$$

Depois de obtido o caudal passa-se para o cálculo do diâmetro do canal de arrefecimento necessário para manter o molde em equilíbrio. Para isso utilizou-se as seguintes fórmulas:

$$\dot{Q} = v \times A \quad (22)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (23)$$

Nestas duas equações temos duas incógnitas, a velocidade (v) e o raio da secção que está presente na área (A) e no diâmetro (D=2r).

$$v = \frac{Re \times \mu}{\rho \times 2r} \quad (24)$$

$$\dot{Q} = \frac{Re \times \mu}{\rho \times 2r} \times \pi \times r^2 \quad (25)$$

Depois substituir a velocidade obtida através no número de Reynolds obteve uma equação só com uma incógnita, o raio (r). Para a obtenção de um arrefecimento mais eficiente utilizou-se um número de Reynolds num regime completamente turbulento e, bastante acima do regime de transição mas, sem ser demasiado elevado porque assim haveria muito atrito entre as paredes dos canais e o fluído de arrefecimento e seria necessário uma bomba muito potente e ficaria mais caro. Para isso utilizou-se um número de Reynolds de 10.00.

$$0.036 \times 10^{-3} = \frac{10000 \times 1.003 \times 10^{-3}}{1000 \times 2 \times \pi} \times \pi \times r^2$$

$$r = 2,3 \text{ mm}$$

Logo para um bom arrefecimento seria necessário, no mínimo, 4.6 mm de diâmetro.

5. Maquinação do Molde

5.1. Postiço de injeção e extração

Para a maquinação dos postiços de injeção e extração foram seguidas as seguintes etapas:

1. Pré maquinação
2. Tratamento térmico de têmpera
3. Maquinação final
4. Montagem e ajuste

Na primeira etapa de pré maquinação vamos ter três fases, corte, fresagem e banca. Após a receção do bloco de aço a primeira fase de maquinação é a de corte onde é cortado com a forma do postiço mas, com cotas superiores às finais. A fase seguinte é de fresagem onde deixam uma sub-espessura das cotas finais, de 0.3 mm. A terceira fase é a da banca onde são feitas todas as furações dos canais de arrefecimento e as furações roscadas para parafusos.

A etapa dois é a do Tratamento térmico de têmpera e este tratamento permite um aumento significativo das propriedades mecânicas do aço e consiste em duas etapas. A primeira etapa é a têmpera sob o efeito de temperaturas elevadas e com um posterior arrefecimento rápido e a segunda etapa é a de revenido, na qual se procede ao ajustamento da dureza pretendida. Neste caso em específico foram utilizados dois revenidos para obter a dureza pretendida. O posicionamento desta etapa na ordem de etapas é muito importante porque a realização da têmpera antes da fase de banca impossibilita a realização da mesma porque o bloco vai ficar com uma dureza elevada e dificulta muito a furação do bloco. O processo de tratamento térmico de têmpera não será realizado na Celoplás, será realizado noutra empresa.

Logo após a realização da etapa de Têmpera é realizada a etapa de Maquinação final que vai ser dividida em várias fases. A primeira fase é a de retificação onde cotas de atravancamento dos postiços e todos os perfis lineares são colocados com as dimensões finais. De seguida passa-se para a fase de fresagem onde se coloca todas as cotas possíveis dentro da tolerância. Nesta fase também se maquina os batentes dos punções. Inicialmente irá maquinar-se uma face que posteriormente vai servir de apoio para a

maquinação das restantes faces. A fase seguinte é a de erosão fio onde serão maquinados todas as caixas para a montagem dos punções e, são colocados todas as cotas dentro das tolerâncias. Na fase seguinte irá realizar-se a erosão por penetração com o auxílio dos elétrodos previamente projetados para as zonas mais complicadas de maquinar nas fases anteriores. Neste molde todos os elétrodos irão “queimar” com os punções todos montados nos postigos e, as cotas nesta fase ficarão todas dentro das tolerâncias.

Por fim, a última etapa é a Montagem e ajuste onde são montados todos os componentes e procede-se ao polimento das superfícies necessárias. No caso em estudo será polida a superfície do postigo de injeção com uma lixa 320 para posteriormente ser aplicado uma textura nessa mesma superfície. Mas essa textura apenas será realizada depois de o molde ser ensaiado e as peças serem aprovadas pelo cliente para não desgastar e danificar a textura sem as peças estarem conforme os requisitos do cliente.

5.2. Placas Moldantes

1. Fresagem desbaste
2. Banca
3. Retificação
4. Fresagem acabamentoo

Após a receção das placas a primeira etapa de maquinação será a fresagem de desbaste onde todas as cotas com tolerâncias mais baixas ficam já com as cotas finais, enquanto que, as restantes cotas ficarão com uma sub-espessura de 0.5 mm.

De seguida será a etapa da banca onde serão realizadas as furações de águas e furações roscadas, nas placas em que isso se aplicar.

Na etapa de retificação será colocada as alturas das placas com as cotas finais e, será retirada à altura das placas de injeção e de extração 0.05 mm nas superfícies de ajuste. Isto será feito para melhorar o escape de gases e para melhorar o ajuste entre os postigos de injeção e extração, porque, ao fechar o molde, poderia haver contacto primeiro entre as placas e não entre os postigos, originando o aparecimento de rebarba na peça.

Por fim a etapa de fresagem de acabamento, onde todas as cotas com tolerância mais elevadas serão colocadas com as cotas finais.

6. Conclusões

Através da realização deste trabalho foi possível concluir que a moldação por injeção permite obter cadências de produção de peças plásticas a um baixo custo mas, depende da complexidade da peça a injetar, das suas dimensões, da qualidade exigida na peça final e do material a injetar. O projeto do molde e as suas dimensões vão depender muito da complexidade e da geometria da peça. Ou seja, necessidade de movimentos, sistema de alimentação, refrigeração, extração, entre outros.

O projeto de um molde de uma determinada peça não tem uma só solução. Isto é, dependendo da empresa em que se trabalha, do projetista e do fornecedor dos componentes podemos ter dois moldes diferentes para obter a mesma peça, sendo o mais viável aquele que for economicamente mais vantajoso sem afetar a qualidade final da peça.

Após a realização deste trabalho conclui-se que o dimensionamento dos extratores foi correto porque se verificou que a força a que cada extrator estava sujeito não era suficiente para o encurvar.

Através dos cálculos do balanço térmico conclui-se também que o dimensionamento dos canais de refrigeração foram corretos, tendo na realidade um diâmetro duas vezes superior ao mínimo necessário para manter o molde em equilíbrio com as entradas de calor.

Através da realização dos cálculos da comparação económica da utilização dos canais mistos conclui-se que não seria vantajoso utilizar canais mistos devido ao elevado custo do canal quente e às pequenas dimensões do sistema de alimentação. Verificou-se que se obteria um lucro pouco significativo no final de vida do molde e não compensaria devido à sua complexidade, ao risco de problemas com o canal quente, ao maior gasto de energia.

Após o acompanhamento da maquinação dos elementos do molde concluiu-se que a escolha da ordem das etapas é muito importante porque uma escolha errada pode levar a uma complicação da maquinação. Por exemplo, se as furações roscadas e os furos de refrigeração forem feitas depois da têmpera vai ser muito difícil realizar essas furações porque o aço vem com uma dureza mais elevada. Logo conclui-se que a

escolha das etapas de maquinação dos elementos é muito importante para uma boa funcionalidade do molde e para a diminuição do tempo de maquinação total do molde.

Analisando os resultados dos primeiros ensaios do molde conclui-se que haveria melhorias que poderiam ser realizadas. Uma dessas melhorias seria a da ventilação do molde, onde seria necessário melhorar o escape de gases, evitando assim o aparecimento de brilho na textura da peça.

Após a realização dos primeiros ensaios e da observação das peças conclui-se também que as alterações que foram feitas no molde foram eficientes, reduziu-se o aparecimento dos defeitos anteriormente presentes e as peças foram aceites pelo cliente.

Por fim, conclui-se que todos os objetivos foram cumpridos com sucesso e o projeto de molde foi bem sucedido.

Bibliografia

1. **CELOPLÁS.** CELOPLÁS. [Online] [Citação: 14 de 06 de 2017.] <http://celoplas.pt/>.
2. **Paiva, M.C.** DEP UMINHO. [Online] [Citação: 14 de 07 de 2017.] http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/IP_UCI_I/0809F01.pdf.
3. **Cunha, A.M. e Pouzada, A.S.** Processo de Moldação por injeção. Departamento de Engenharia de Polímeros - Universidade do Minho : s.n.
4. **Nóbrega Rodrigues, Fábio Duarte.** Estudo Teórico-Experimental do Fabrico de Peças Poliméricas por Injeção. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico : s.n., 2010.
5. **Cunha, António M., et al.** Manual do Projectista para moldes de injeção de plásticos. 2003, p. capítulo 3.
6. **Marreiros Calado, Lénia.** Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos: Estudo da sua Reologia e Extrusão. Universidade de Lisboa : s.n., 2015.
7. **AEEMB.** [Online] [Citação: 13 de 07 de 2017.] http://www.neemb.alunos.ipb.pt/relatorio_proj.pdf.
8. **Cruz Saraiva, Paula Alexandra.** Projeto de um molde de injeção. Instituto Politécnico de Leiria : s.n., 2016.
9. **Brito, António M.** Moldes de Injeção para Termoplásticos. Guimarães : Departamento de Engenharia de Polímeros , 2000.
10. **Termoplásticos, Injeção de.** Injeção de Termoplásticos. [Online] [Citação: 14 de 07 de 2017.] <http://injecaodeterminoplastico.blogspot.pt/>.
11. **Chiaverini, V.** *Tecnologia Mecânica II Edição.* São Paulo : McGraw-Hill, 1986.
12. **Granja, Domingos, et al.** Manual do Projectista Para Moldes de Injecção de Plástico. 2003, p. Capítulo 4.
13. **Metals, Global.** Global Metals Eggects of alloying elements. [Online] [Citação: 28 de 06 de 2017.] http://www.globalmetals.com.au/_pdf/Metallurgical_Overview/section_4.pdf.
14. **Celoplás.** Caderno de encargos de moldes.
15. **Meusburger.** Material Grades.
16. **DMG MORI.** [Online] [Citação: 20 de 06 de 2017.] <http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-monoblock/dmu-125-monoblock>.

17. **Batista, Ricardo.** Tendências do Corte por Arranque de Apara - Maquinagem. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto : s.n., 2010.
18. **Martins Gonçalves, Carlos Miguel.** Novas técnicas e Ferramentas para operações de Montagem e Afinação de componentes na indústria de moldes para injeção Termoplástica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto : s.n., 2014.
19. **da Silva Freitas, Sérgio Rafael.** Estudo Comparativo entre eletroerosão com fio de latão e fio de molibdénio. Faculdade de Engenharia do Porto : s.n., 2016.
20. Usinagem Brasil. [Online] [Citação: 14 de 06 de 2017.] <http://www.usinagem-brasil.com.br/44-o-que-e-torneamento-/>.
21. **Miranda Moreira, Marco Manuel.** Projeto de molde para injeção de peça plástica complexa para a indústria automóvel. Instituto Superior de Engenharia do Porto : s.n., 2015.
22. **MISUMI.** *MISUMI Standard Components for Plastic Mold.* 2015.
23. **Goodship, Vanessa.** Practical Guide to Injection Moulding. s.l. : ARBURG.
24. Biblioteca Celoplás.

Anexos

Anexo I – Certificados da matéria-prima.

HDC HYUNDAI ENGINEERING PLASTICS

Address : 1233, Tongjeong-Ri, Seokmun-Myun, Dangin-kun, Chungnam, Korea TEL : #82 41 350 0512 FAX: #82 41 350 0504

: 690, KwangHyeWon-Ri, KwangHyeWon-Myun, JinCheon-kun, ChungBuk, Korea TEL : #82 43 530 0596 FAX: #82 43 530 0504

CERTIFICATE OF ANALYSIS

GRADE / COLOR HT910L-1/8005 LOT NO.
MATERIAL PP ISSUED DATE 2015.07.10
CUSTOMER / WEIGHT(Kg) SPECIFICATION

TEST ITEM	TEST METHOD	UNIT	SPECIFICATION	RESULT
Coefficient of Contraction	HEP METHOD	1/1000	15±0.5	15

We certify the above statement of quality to be true and correct.

Hyundai Engineering Plastics Co.,Ltd.

Hyundai E.P Quality Assurance Manager



HDC HYUNDAI ENGINEERING PLASTICS

Address : #1221-32,Daejeon-Ro,Saekmun-Myeun,Dangjin-Si, Chungcheongnam-Do, Korea TEL : 041-350-0500 FAX: 041-350-0505

CERTIFICATE OF ANALYSIS

CERTIFICATE NO. : DN1610070528
 GRADE/COLOR : HP910L-1/B005
 MATERIAL : -
 CUSTOMER : TOYOTA TSUSHO (EURPOE)
 Toyota Europe (Barcelona)

ISSUED DATE : 2016.10.07
 LOT NO. : G741501
 SPECIFICATION :
 WEIGHT(Kg) : 50

TEST ITEM	TEST METHOD	UNIT	SPECIFICATION	RESULT
Melt Flow Index (230°C/2.16kg)	ISO 1133	g/10min	40±4	40.5
Tensile Strength at Yield	ISO 527-1	MPa	25±10	19.8
Elongation at Break	ISO 527-1	%	37±10	42.6
Specific gravity	ISO 1183	g/cm ³	0.9±0.04	0.92
Charpy Impact Strength at 23°C	ISO 179-1	kJ/m ²	5±1	5.1
Rockwell Hardness	ISO 2039-2	R Scale	87±15	88.4
Fluxural Strength	ISO 178	MPa	30±10	32
Fluxural Modulus	ISO 178	MPa	1200±800	1,280
HDT at 0.45MPa	ISO 75	°C	90±10	91.8

*We certify the above statement of quality to be true and correct.

Hyundai Engineering Plastics Co.,Ltd.

Hyundai E.P Quality Assurance Manager

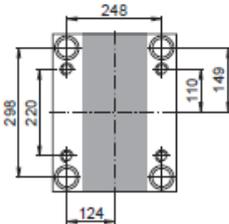


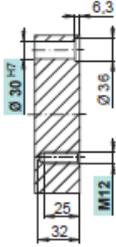
Anexo II – Estrutura do Molde.

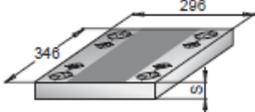


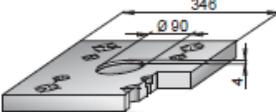
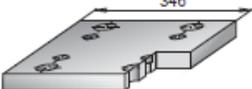
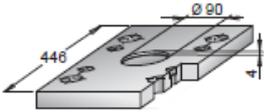
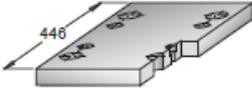
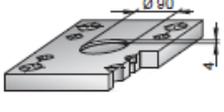
296 346

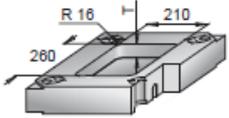
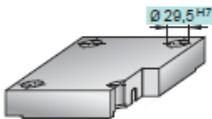
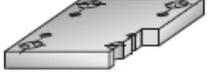
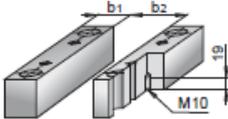
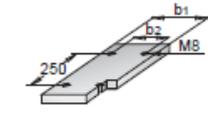
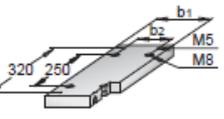
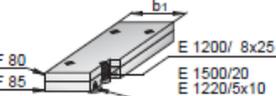








F 10 		F 10 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 15 		F 15 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 20 		F 20 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 25 		F 25 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 40 		F 40 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 45 		F 45 / 296 346	/ S /	1730	2085	2312						
		27	•	•	•							
		36	•	•	•							
		46	•	•	•							
F 50 		F 50 / 296 346	/ S /	1730	2085	2311	2312	2343	2714HH	2738	2767	3.4365
		17	•	•	•	•						
		22	•	•	•	•						
		27	•	•	•	•						
		36	•	•	•	•						
		46	•	•	•	•						
		56	•	•	•	•	•	•				
		66	•	•	•	•	•	•	•			
		76	•	•	•	•	•	•	•	•		
		86	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		96	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
116	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
136	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
156	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		

		F 53 / 296 346		S	T	1730	2085	2312					
		56	20	•	•	•	•	•					
		66	25	•	•	•	•	•					
			32	•	•	•	•	•					
		76	25	•	•	•	•	•					
			32	•	•	•	•	•					
			40	•	•	•	•	•					
		86	32	•	•	•	•	•					
			40	•	•	•	•	•					
			50	•	•	•	•	•					
			60	•	•	•	•	•					
				Einsätze ⇒ S. 644 Inserts ⇒ P. 644									
		F 55 / 296 346		S	T	1730	2085	2311	2312	2343	2343ESU	2767	
		22						•	•	•	•	•	
		27											
		36							•	•	•	•	•
		46							•	•	•	•	•
		56							•	•	•	•	•
		66							•	•	•	•	•
		76							•	•	•	•	•
		86							•	•	•	•	•
		96											
		116											
136													
		F 60 / 296 346		S	T	1730	2085	2312					
		27						•	•	•			
		36							•	•	•		
		46							•	•	•		
		56							•	•	•		
		66							•	•	•		
		76							•	•	•		
		86							•	•	•		
		F 70 / 296 346		b1	S	1730	2085						
		44						•	•				
		66							•	•			
		76							•	•			
		86							•	•			
		96							•	•			
		116							•	•			
		60							•	•			
									•	•			
									•	•			
									•	•			
							•	•					
		F 80 / 296 346		b1	S	1730	2085						
		206						•	•				
		172							•	•			
		F 85 / 296 346		b1	S	1730	2085	2312					
		206	22					•	•	•			
		172							•	•	•		
		F 90 / 296 346		b1	S	1730	2085	2312					
		206						•	•	•			
		172							•	•	•		

Anexo III – Acessórios.

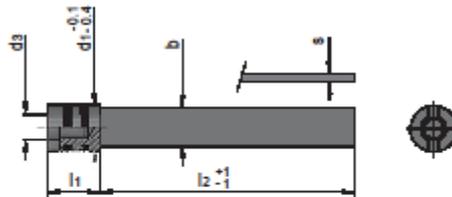
meusbarger.com

E 2109



Umlenkblech aus Kunststoff mit O-Ringen

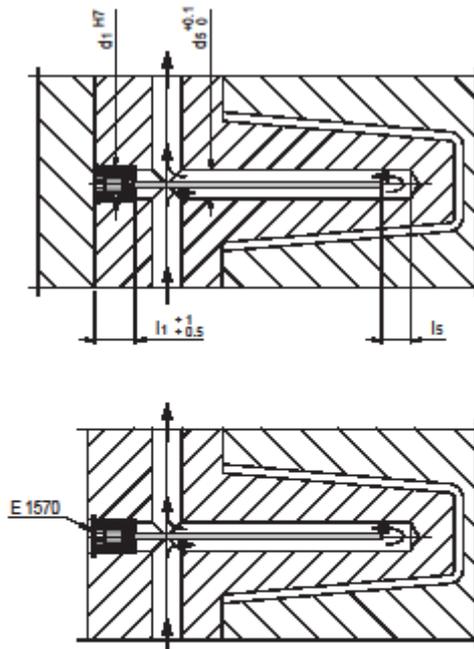
Deflection baffle from plastic with O-ring seals



Mat.: PA 6.6 GF 30 / FPM (Viton)

t max = 140 °C

s	l1	d1	d3	ds	ls	b	l2	Nr./No.
1.7	13	12	M 6	8	8	8	180	E 2109/ 8/180
				10	10	10	180	E 2109/10/180
2	16	16	M 8	12	12	12	250	E 2109/12/250
				15	15	15	250	E 2109/15/250
				20	20	20	300	E 2109/20/300
2.2	22	26	M16	20	20	20	300	E 2109/20/300
				25	25	25	380	E 2109/25/380

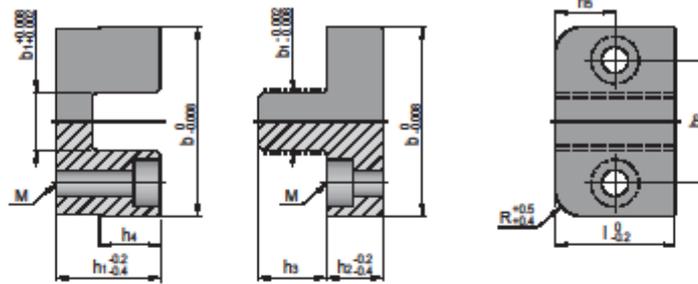


E 1304



Endzentrierung
flach

Top lock

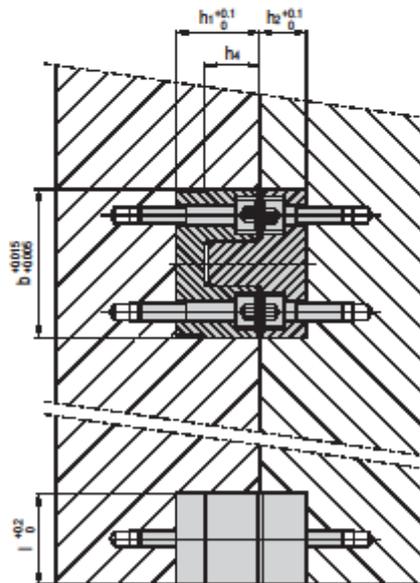
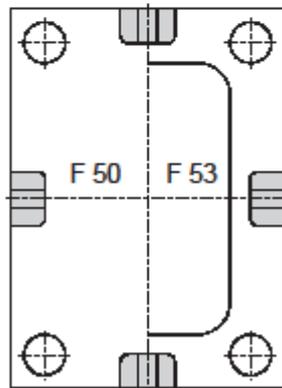


Mat: 1.2162 \approx 56 HRC

W-C-H beschichtet
coated



R	M	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	l	b	Nr./No.
8	M 4	10	22	18	10	12	11	9	18	34	E 1304/34
10	M 5	12	26	22	12	14	13	11	22	40	E 1304/40
	M 6	18	34	30	15	18	17	15	30	50	E 1304/50
	M 8	22	42	40	18	24	23	20	40	64	E 1304/64
	M 8	26	48	46	20	28	27	26	52	72	E 1304/72

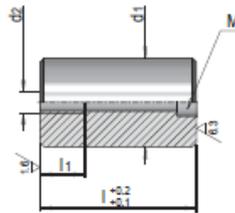


E 1510



Stützbolzen

Support pillar



Mat.: 1.1730 $\approx 680 \text{ N/mm}^2$

l_1	d_2	M	d_1	l	Nr./No.				
20	M10	M 8	32	46	E 1510/ 32 x 46				
				56	E 1510/ 32 x 56				
				66	E 1510/ 32 x 66				
				76	E 1510/ 32 x 76				
				86	E 1510/ 32 x 86				
				96	E 1510/ 32 x 96				
				116	E 1510/ 32 x 116				
				136	E 1510/ 32 x 136				
				156	E 1510/ 32 x 156				
				176	E 1510/ 32 x 176				
				20	M10	M 8	40	46	E 1510/ 40 x 46
								56	E 1510/ 40 x 56
66	E 1510/ 40 x 66								
76	E 1510/ 40 x 76								
86	E 1510/ 40 x 86								
96	E 1510/ 40 x 96								
116	E 1510/ 40 x 116								
136	E 1510/ 40 x 136								
156	E 1510/ 40 x 156								
176	E 1510/ 40 x 176								
20	M10	M 8	50					46	E 1510/ 50 x 46
								56	E 1510/ 50 x 56
				66	E 1510/ 50 x 66				
				76	E 1510/ 50 x 76				
				86	E 1510/ 50 x 86				
				96	E 1510/ 50 x 96				
				116	E 1510/ 50 x 116				
				136	E 1510/ 50 x 136				
				156	E 1510/ 50 x 156				
				176	E 1510/ 50 x 176				
				20	M10	M 8	60	56	E 1510/ 60 x 56
								66	E 1510/ 60 x 66
76	E 1510/ 60 x 76								
86	E 1510/ 60 x 86								
96	E 1510/ 60 x 96								
116	E 1510/ 60 x 116								
136	E 1510/ 60 x 136								
156	E 1510/ 60 x 156								
176	E 1510/ 60 x 176								
196	E 1510/ 60 x 196								
25	M12	M10	70					66	E 1510/ 70 x 66
								76	E 1510/ 70 x 76
				86	E 1510/ 70 x 86				
				96	E 1510/ 70 x 96				
				116	E 1510/ 70 x 116				
				136	E 1510/ 70 x 136				
				156	E 1510/ 70 x 156				
				176	E 1510/ 70 x 176				
				196	E 1510/ 70 x 196				
				236	E 1510/ 70 x 236				
				276	E 1510/ 70 x 276				
				25	M12	M10	80	76	E 1510/ 80 x 76
86	E 1510/ 80 x 86								
96	E 1510/ 80 x 96								
116	E 1510/ 80 x 116								
136	E 1510/ 80 x 136								
156	E 1510/ 80 x 156								
176	E 1510/ 80 x 176								
196	E 1510/ 80 x 196								

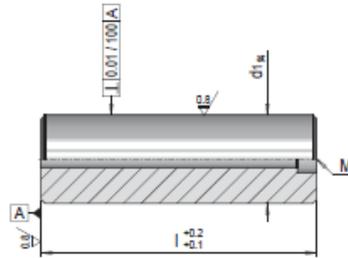
l_1	d_2	M	d_1	l	Nr./No.
25	M12	M10	80	236	E 1510/ 80 x 236
				276	E 1510/ 80 x 276
25	M12	M10	100	116	E 1510/100 x 116
				136	E 1510/100 x 136
				156	E 1510/100 x 156
				176	E 1510/100 x 176
				196	E 1510/100 x 196
				236	E 1510/100 x 236
				276	E 1510/100 x 276

E 1513



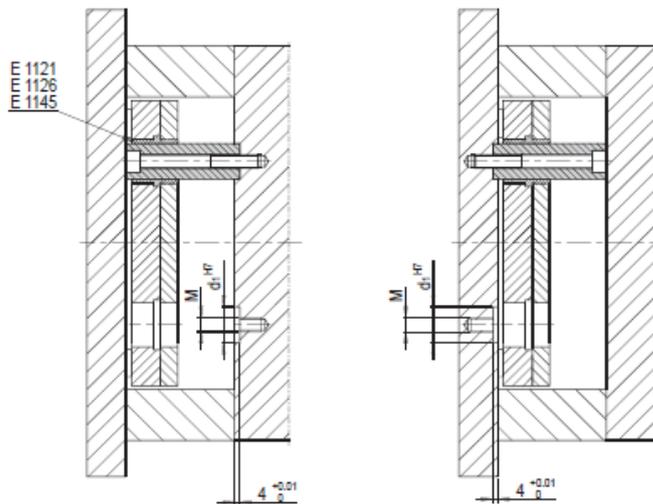
Stützbolzen mit Führungsdurchmesser

Support pillar with guiding diameter



Mat.: 1.7131 ≈ 60 HRC

M	d1	l	Nr./No.
M 8	24	50	1513/24 x 50
		60	1513/24 x 60
		70	1513/24 x 70
		80	1513/24 x 80
		90	1513/24 x 90
		100	1513/24 x 100
		120	1513/24 x 120
		140	1513/24 x 140
		160	1513/24 x 160
		180	1513/24 x 180
M10	36	50	1513/36 x 50
		60	1513/36 x 60
		70	1513/36 x 70
		80	1513/36 x 80
		90	1513/36 x 90
		100	1513/36 x 100
		120	1513/36 x 120
		140	1513/36 x 140
		160	1513/36 x 160
		180	1513/36 x 180
M12	48	60	1513/48 x 60
		70	1513/48 x 70
		80	1513/48 x 80
		90	1513/48 x 90
		100	1513/48 x 100
		120	1513/48 x 120
		140	1513/48 x 140
		160	1513/48 x 160
180	1513/48 x 180		



Anexo IV – Fichas técnicas dos aços.



Material No.: 1.1730

Designation
 DIN: C 45 U
 AFNOR: XC 48
 UNI: -
 AISI: 1045

Indicatory analysis: C 0.45
 Si 0.30
 Mn 0.70

Strength: $\approx 640 \text{ N/mm}^2$

Thermal conductivity at 20 °C: $50 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

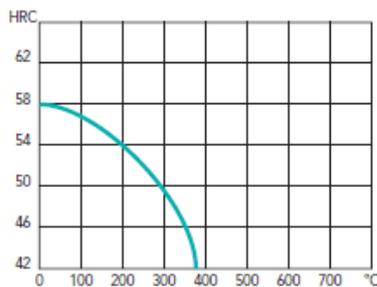
Character: unalloyed **tool steel** with excellent machinability; chilled cast steel, suitable for flame and inductive hardening

Application: unhardened parts for mould and jig construction or plates and frames for tools and dies

Treatment by
 Polishing: }
 Etching: } not usual
 EDM: }
 Nitriding: }
 Hard chroming: }

Heat treatment:
 Soft annealing:
 680 to 710 °C for about 2 to 5 hours
 slow controlled cooling of 10 to 20 °C per hour to about 600 °C;
 further cooling in air, **max. 190 HB**
 Hardening:
 800 to 830 °C
 quenching in water
 obtainable hardness: **58 HRC**
 hardening depth: 3–5 mm
 max. 15 mm through hardening thickness
 Tempering:
 slow heating to tempering temperature immediately after hardening, to 180 to 300 °C depending on desired hardness
 1 hour per 20 mm: min. 2 hours

Tempering chart:



Material No.:	1.2083 / 1.2083 ESR*	TechnicalTip - cold-work steel - must be tempered several times after hardening (max. 52HRC). The demand for "max. hardness" often ends up in material breakage. - mould temperature max. 200°C - corrosion-resistant after hardening - The ESR quality guarantees an extremely pure and homogeneous microstructure.
Designation	DIN: X 40 Cr 13 AFNOR: Z 40 C 14 UNI: - AISI: 420 / 420 ESR	
Indicatory analysis:	C 0.40 Si 0.40 Mn 0.30 Cr 13.00	
Strength:	≈ 720 N/mm ²	
Thermal conductivity at 100°C:	18 $\frac{W}{m K}$	

Character: low corrosion, high-alloy, low warpage steel for through hardening with excellent properties for mirror polishing as well as good photoetching, good machinability, high wear resistance and high dimensional stability

Application: mould plates and inserts for working with chemically aggressive plastics; because of excellent polishing, suitable for optical and medical products

Treatment by

Polishing: can be polished in the annealed and hardened state; good preliminary surface preparation work is decisive for a good polish

Etching: good photoetching (graining)

Spark eroding: in the hardened and tempered condition, treat again for stress relief about 20°C below the last temperature

Nitriding: } not recommended

Hard chroming: }

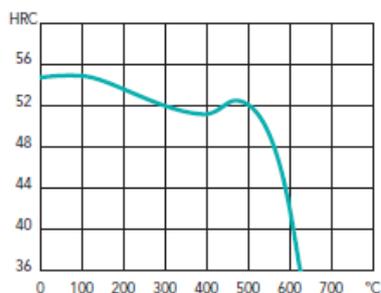
Heat treatment:

Annealing: 750 to 800°C for about 2 to 5 hours
slow controlled cooling of 10 to 20°C per hour to about 650°C;
further cooling in air, **max. 200 HB**

Hardening: 1000 to 1050°C
15 to 30 minutes keeping curing temperature
quenching in oil/compressed gas/hot bath
obtainable hardness: **53 - 56 HRC**

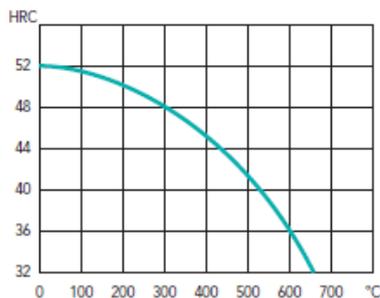
Tempering: slow heating to tempering temperature immediately after hardening;
minimum time in furnace: 2 hours per 20 mm part thickness;
twice tempering is recommended

Tempering chart:



Material No.:	1.2312	TechnicalTip
Designation	DIN: 40 CrMnMoS 86 AFNOR: 40 CMD 8.S UNI: - AISI: P20 + S	- for increased surface quality requirements use material grade 1.2311.
Indicatory analysis:	C 0.40 Si 0.40 Mn 1.50 Cr 1.90 Mo 0.20 S 0.06	
Strength:	≈ 1080 N/mm ²	
Thermal conductivity at 100 °C:	35 $\frac{W}{m K}$	
Character:	alloyed and pre-toughened tool steel , with excellent machinability in the hardened condition because of the Sulphur additive; high dimensional stability	
Application:	plates for mould tools and dies with increased requirements on strength; high-tensile machine parts	
Treatment by	Polishing: technical polishing possible; for higher surface requirements we recommend 1.2311 or 1.2738 Etching: } not recommended EDM: } Nitriding: increases the steel's wear resistance	
Heat treatment:	already pre-toughened, usually no heat treatment required Nitriding: before nitriding, stress-relief annealing at 580 °C (Meusb ^{er} standard) is recommended Hardening: 840 to 860 °C Cooling: to 180 °C/220 °C in oil/hot bath obtainable hardness: 52 HRC Tempering: slow heating to tempering temperature immediately after hardening; minimum time in furnace: 1 hour per 25 mm part thickness.	

Tempering chart:

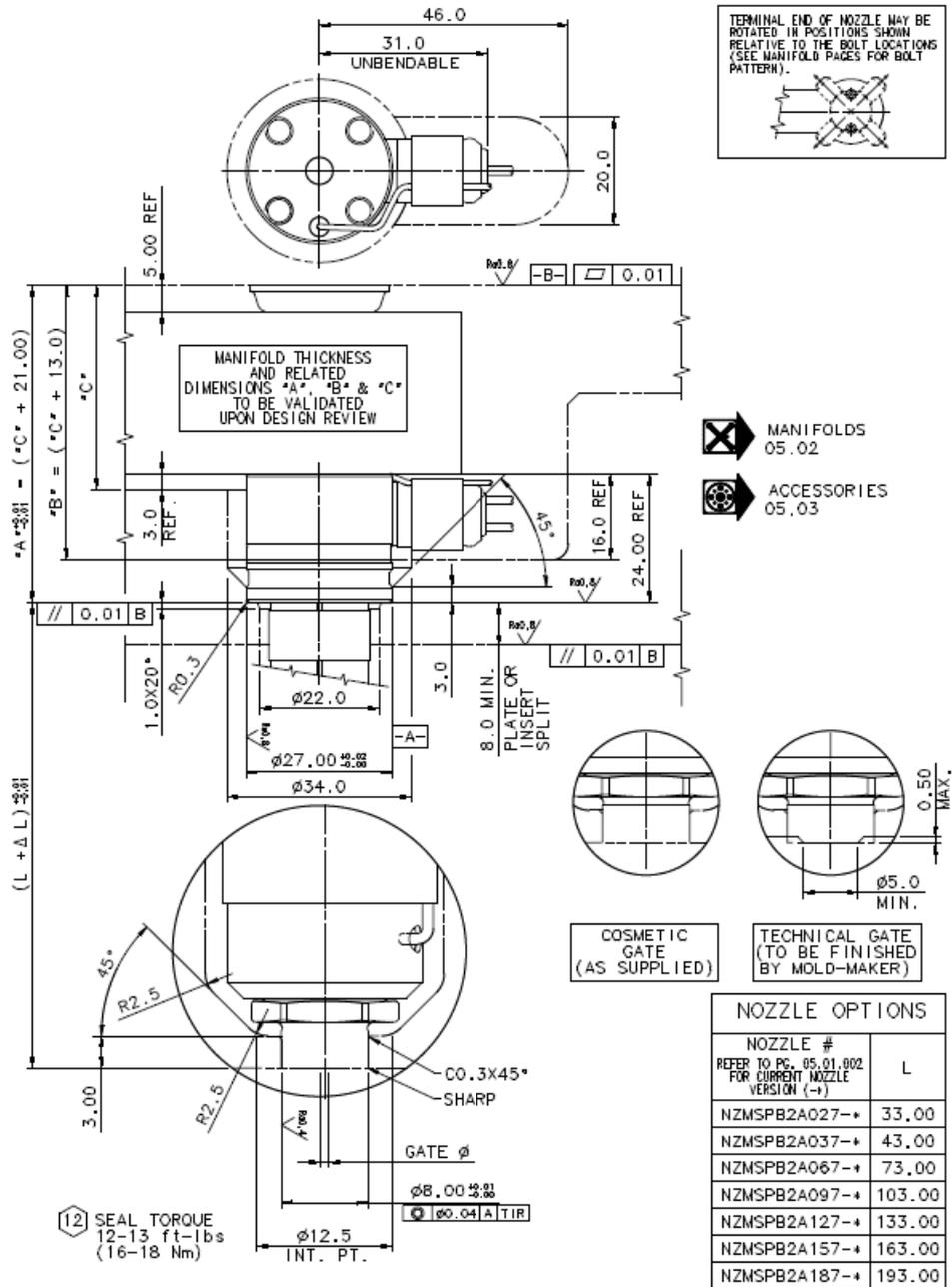


Material No.:	1.2344 / 1.2344 ESR*	TechnicalTip
Designation	DIN: X 40 CrMoV 5-1 AFNOR: Z 40 CDV 5 UNI: X 40 CrMoV 5-1 KU AISI: H13 / H13 ESR	- susceptible to corrosion; during machining, continuous corrosion protection has to be ensured (especially during wire EDM)
Indicatory analysis:	C 0.40 Si 1.00 Cr 5.30 Mo 1.40 V 1.00	- 1.2344 ESR is highly suitable for mirror polishing
Strength:	≈ 780 N/mm ²	
Thermal conductivity at 100 °C:	26 $\frac{W}{m K}$	
Character:	high-alloy hot-work steel , high heat resistance, high wear resistance, good toughness, thermal conductivity and hot cracks resistance, limited use for water cooling; for very high requirements available in grade *ESR (Electro-Slag Remelted)	
Application:	standard material for hot-work tools, extrusion moulds, dies, tools for plastic processing	
Treatment by	Polishing: Etching: EDM: Nitriding: Hard chroming:	} possible } in special cases
Heat treatment:	<p>Annealing: 750 to 800 °C for about 4 to 5 hours slow controlled cooling of 10 to 20 °C per hour to about 600 °C further cooling in air, max. 230 HB</p> <p>Hardening: 1020 to 1060 °C 15 to 30 minutes keeping curing temperature quenching in water/oil obtainable hardness: 54 HRC</p> <p>Tempering: slow heating to tempering temperature immediately after hardening; minimum time in furnace: 1 hour per 20 mm part thickness</p> <p>Tempering chart:</p>	

Anexo V – Canal quente.

MASTER-SERIES™ PICO

F-TYPE TORPEDO



Mold-Masters®

MASTER-SERIES™ 05.01.030

© Mar 2017

Anexo VI – Desenho conjunto do molde

