

Introdução a Processos Especiais de Injeção

Apesar de a moldagem por injeção poder ser considerada uma tecnologia de manufatura relativamente nova, foram desenvolvidas muitas variantes do processo básico. Exemplos incluem processos tais como injeção-compressão, assistida a gás, assistida a água, co-injeção e sobre-moldagem. Cada um desses processos é adequado a mercados específicos. Uma visão panorâmica destas tecnologias é mostrada na figura 1.

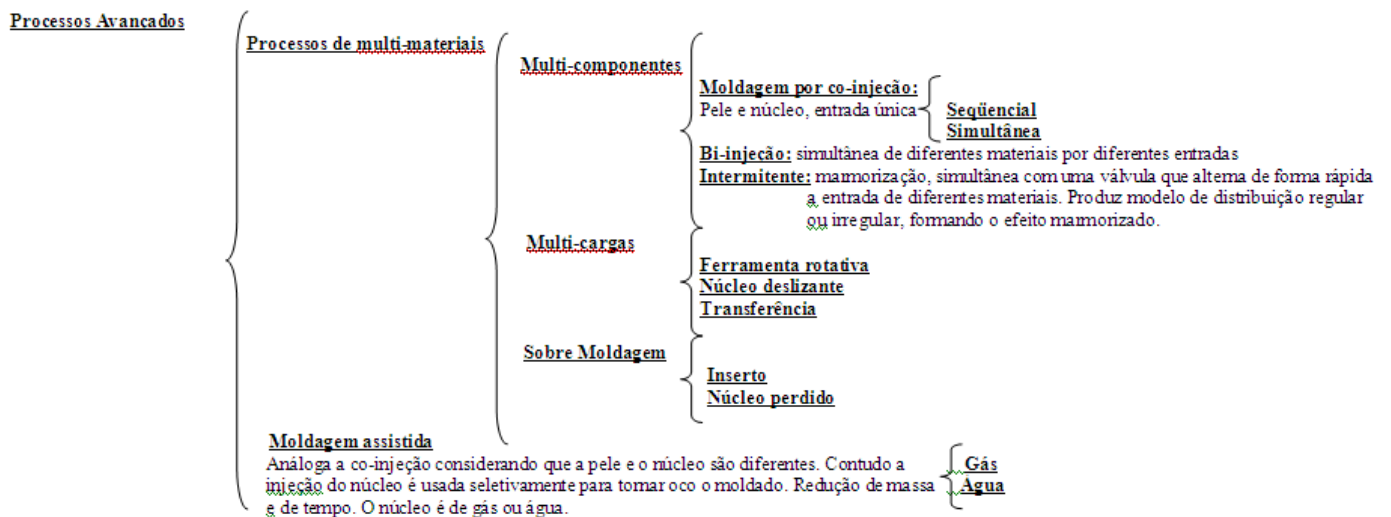
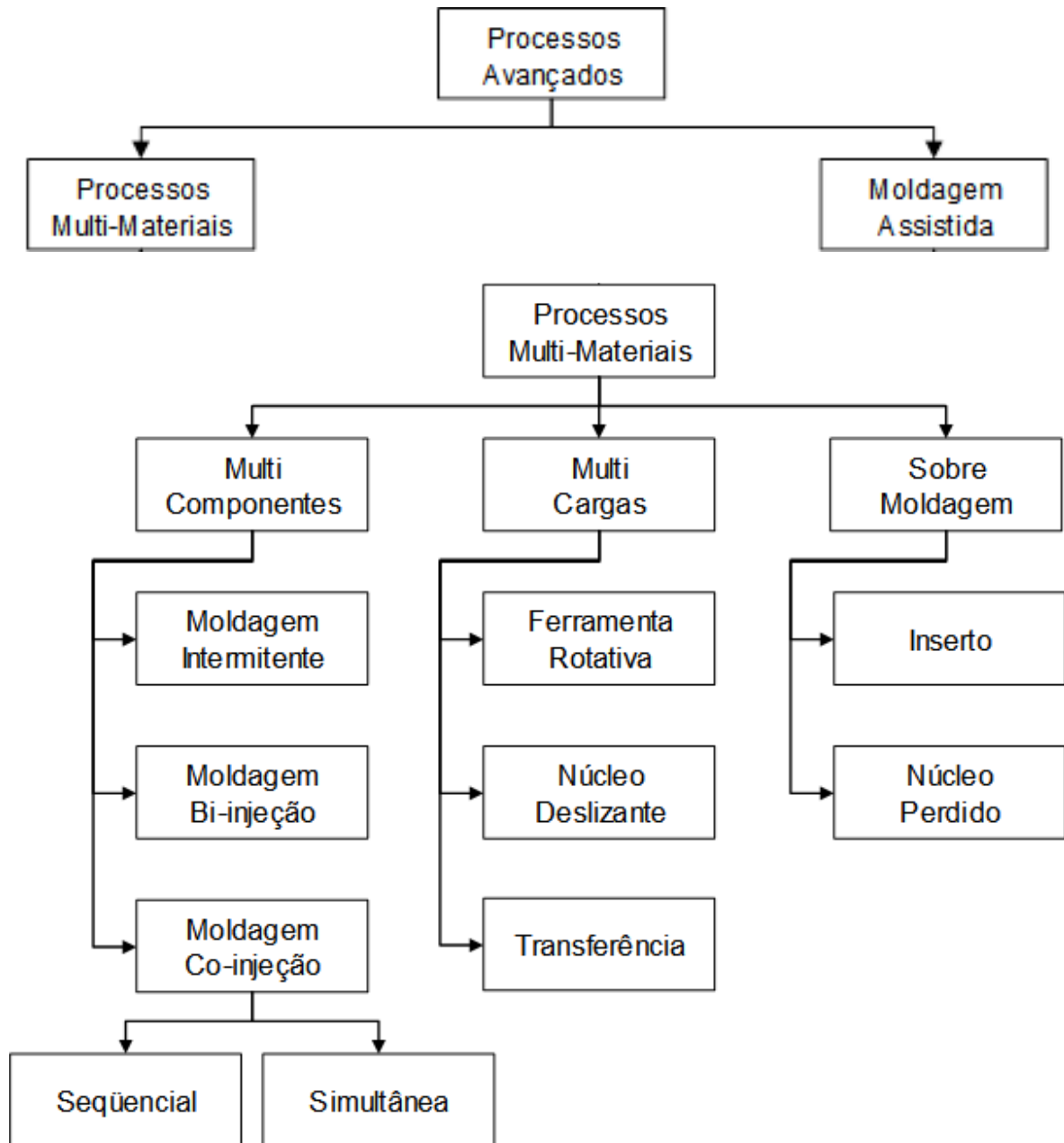


Figura 1: Principais Processos Especiais de Injeção

Estes processos são divididos em duas categorias, moldagem multi-material e moldagem assistida.

Resumo dos processos



1 Moldagem Multi-Materiais

1.1 Multi-Componentes

1.1.1 Co-Injeção

Também conhecida como injeção dual, moldagem sanduíche, 2K (ou 3K). Podem ser reconhecidas pela formação de duas estruturas denominadas de pele e núcleo. O núcleo é encapsulado completamente para produzir uma moldagem do tipo sanduíche.

1.1.2 Bi-injeção

Esta é a injeção simultânea de diferentes materiais através de diferentes entradas, distintamente da co-injeção que apresenta somente uma entrada.

1.1.3 Injeção Intermitente (com intervalo)

Também conhecida como marmorização. Esta é a injeção simultânea de materiais (com utilização de uma válvula, que alterna de forma rápida a entrada dos diferentes materiais) no mesmo canal de forma a produzir uma mistura limitada. Este processo produz um modelo de distribuição regular ou irregular, formando o efeito marmorizado.

1.2 Moldagem Multi-Cargas (*Multi-Shot*)

A moldagem multi-cargas pode ser usada para descrever qualquer processo por meio do qual diversos materiais injetados são aplicados para produzir um único componente final. Isto inclui processos por meio dos quais pré-formas são moldadas e então transferidas para diferentes cavidades na mesma máquina. Pode ser usada para descrever processos nos quais múltiplas injetadas são feitas na mesma ferramenta, sem a ferramenta abrir entre as injetadas.

1.3 Sobre-Moldagem

Esta é uma técnica na qual os componentes são colocados em um molde de injeção e são então moldados sobre outros materiais. O termo sobre-moldagem é válido para a moldagem com inserto e a moldagem com núcleo perdido. Esta técnica não está confinada a plásticos e a sobre-moldagem de insertos metálicos, tais como para produzir cabos de tesouras e plásticos sobre cerâmicas é bastante comum.

2. Moldagem Assistida (material em outro polígrafo)

É de muitas maneiras análoga a co-injeção considerando que o moldado resultante tem uma pele e o núcleo diferentes. Contudo, neste caso o processo de injeção do núcleo é usado para seletivamente tornar oco o moldado. Este processo é usado primeiramente para redução de massa e redução do tempo de ciclo. O gás ou a água toma o lugar do polímero de modo a tornar o moldado oco com a redução da espessura da seção.

1.1 Multi-Componentes

1.1.1 Co-Injeção

É uma variante do processo de injeção padrão e é utilizada desde o início da década de 70. Diversas terminologias são utilizadas na denominação deste processo, tais como: moldagem sanduíche, 2K (2 componentes), 3K (3 componentes), injeção dual ou multi-componente. Para o propósito deste capítulo, moldagem por co-injeção é a terminologia preferida. Esta técnica oferece a vantagem de combinar dois ou mais materiais para produzir uma estrutura de “sanduíche”. Ver na tabela 1 a compatibilidade entre os materiais. Esta estrutura é atingida através de injeções seqüenciais em um mesmo molde com um material como o núcleo e o outro como a pele. Isto é ilustrado na figura 2.

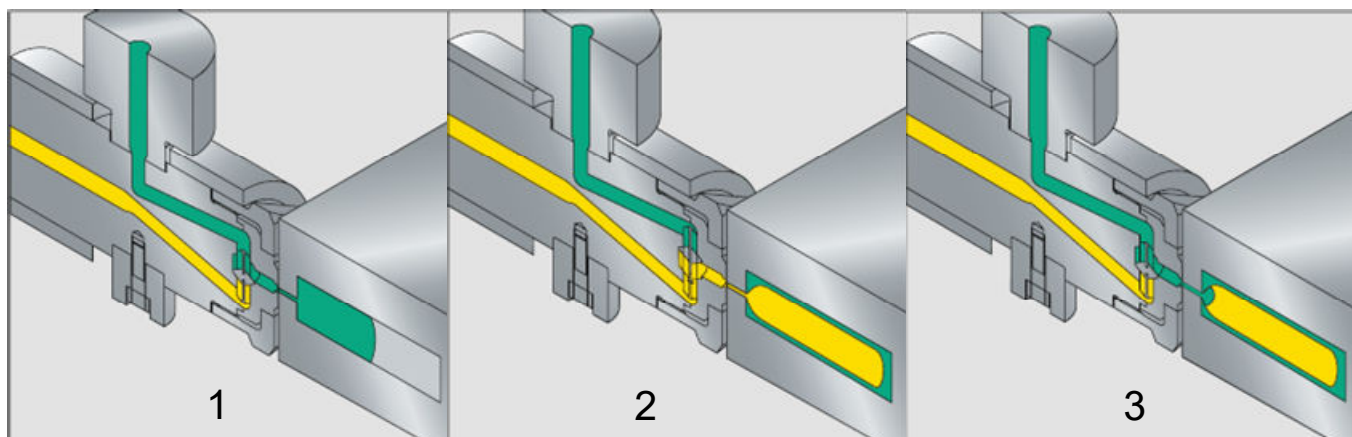


Fig.2: Etapas do processo de co-injeção:

1. Injeção do material da pele somente
2. Injeção do material do núcleo o qual começa a empurrar o material da pele contra a superfície da cavidade
3. Injeção do material da pele somente para cobrir o ponto de injeção e preparar o canal da bucha para o próximo ciclo (retirar o material do núcleo)

O resultado é a estrutura “sanduíche” formada pela pele e pelo núcleo como mostrado na figura 3.



Fig.3: Seção reta da estrutura do tipo sanduíche apresentada na moldagem por co-injeção

A moldagem por co-injeção oferece inúmeras possibilidades em termos de combinação de materiais, alguns dos quais são mostrados na tabela 2.

	ABS	ASA	EVA	PA 6	PA 66	PBT	PC	HDPE	LDPE	PET	PMMA	POM	PP	PPO mod	PS-GP	PS-HI	SAN	TPU
ABS	+	+	+			+	-	-	-	+	+	-	-	-	*	*	+	+
ASA	+	+	+			+	+	-	-	+	+	-	-	-	*	-	+	+
EVA	+	+	+					+	+				+		+	+	+	
PA 6				+	+	*	*	*	*			-	*		-	-	+	-
PA 66				+	+	*	*	*	*			-	-	-	-	-	+	+
PBT	+	+		*	*	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+
PC	+	+		*	*	+	+	-	-	+		-	-	-	-	-	+	+
HDPE	-	-	+	*	*	-	-	+	+	-	*	*	-	-	-	-	-	-
LDPE	-	-	+	*	*	-	-	+	+	-	*	*	+	-	*	-	-	-
PET	+	+				+	+	-	-	+	-	-		-	-	-		+
PMMA	+	+				-		*	*	-	+		*	-	-	-	+	
POM	-	-		-		-	-	*	*	-		+	-	-	-	-	-	-
PP	-	-	+	*		-	-	-	+		*	-	+	-	-	-	-	-
PPO mod	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	*	-
PS-GP	*	*	+	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	+	+	+	-	-
PS-HI	*	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
SAN	+	+	+	-	+	+	+	-	-		+	-	-	*	-	-	-	+
TPU	+	+		+	+	+	+	-	-	+			-	-	-	-	+	+

Key (-) : No adhesion, (*) : Poor adhesion, (+) : Good adhesion
 PS-GP = general purpose polystyrene
 PS-HI = high impact polystyrene

Tabela 2: Aplicações comuns para moldagem por co-injeção

Combinação de materiais	Propriedades	Aplicações
Pela macia/núcleo duro	Alta resistência do núcleo com pele macia	Maçaneta de portas, alavancas
Pele sem carga/núcleo com carga condutiva	Proteção a interferências eletromagnéticas	Carcaça de computadores
Pele com material virgem/núcleo reciclado	Produtos ecologicamente corretos, economia de custos	Móveis de jardim, para-choques de automóveis e painéis de controle
Pele sem carga/núcleo reforçado	Alto acabamento superficial. Desempenho estrutural	Maçanetas de portas de automóveis
Pele sem carga/núcleo com espuma	Bom acabamento superficial, baixa densidade, alta rigidez	Painéis de automóveis
Pele pigmentada/núcleo incolor (ou o inverso)	Redução no custo com pigmentos, estético	Pote de iogurte

Seleção do material para moldagem por co-injeção

Um dos mais difíceis problemas técnicos com a moldagem por co-injeção é que o material do núcleo não deve se misturar em grande escala com o material da pele, com o objetivo de reter uma espessura de camada constante e propriedades resultantes uniformes. Deve também ser prevenida a penetração da pele no moldado. Há também características de variação de fluxo entre os dois materiais que são admissíveis. A reologia tem um papel importante na distribuição relativa

entre a pele e o núcleo. Portanto, a viscosidade dos materiais é o fator mais importante que afeta a dinâmica do processo e a resultante distribuição do núcleo. Como orientação geral, com o objetivo de manter a configuração “sanduíche” e a espessura das camadas constantes, a pele deveria ter a mesma ou preferivelmente uma viscosidade levemente menor que o núcleo. Se a viscosidade da pele for tão alta, o núcleo plastificado fluirá através da pele e formará a camada superficial. A distribuição do núcleo pode ser controlada também por ajustes na velocidade e tempo de injeção, temperatura de plastificação do polímero e temperatura do molde. Contudo, o uso de temperaturas de moldagem similares para ambos os materiais é recomendado, desde que sejam processados simultaneamente.

O processo tem limitações. É necessário que o material da pele e do núcleo sejam compatíveis um com o outro em termos de adesão e contração. A adesão das camadas é necessária para prevenir que o material do núcleo se torne destacado da pele especialmente se o moldado for exposto à carga mecânica. Portanto, os materiais devem ser compatíveis ou ser utilizado um compatibilizante adequado no componente do núcleo. O uso de compatibilizantes no componente do núcleo em co-injeção foi desenvolvido e patenteado pelo Rover Group em colaboração com a Universidade de Warwick. Pesquisadores de Warwick também desenvolveram métodos para entrelaçar materiais imiscíveis para co-injeção, mas estes estão em um estágio inicial de desenvolvimento.

Seqüência do Processo

Na moldagem por co-injeção dois materiais plastificados e compatíveis são injetados seqüencialmente em um molde assim formando uma estrutura em camada. O material plastificado, injetado por primeiro, forma a pele, enquanto o material injetado depois forma o núcleo.

Usando-se dois polímeros com diferentes propriedades, após processamento é possível obter uma combinação de propriedades únicas que não seria possível na moldagem por injeção comum. Um número destas propriedades inclui aplicações comerciais como mostrado na tabela 2.

O processo de co-injeção foi primeiramente descrito e desenvolvido pela ICI em 1970 e foi projetado para superar as limitações inerentes do acabamento superficial em processos com espuma estrutural. Moldados com espuma tem um acabamento superficial irregular, grosseiro, o qual irá variar em qualidade de moldado em moldado. Com a utilização de uma pele sólida com um núcleo de espuma celular, é possível obter um acabamento superficial tão bom quanto para uma peça sólida, mas com a rigidez adicional do núcleo de espuma. Há também a redução no custo do material devido à espuma. Isto requer menos matéria prima e é, portanto, mais barata de se produzir. Em produtos com espuma acima de 4 mm, por exemplo, painéis de automóveis, este método é freqüentemente usado.

Moldagem por co-injeção: diferentes técnicas

Há variações no processo de co-injeção que foram desenvolvidas. Eles podem ser divididos em dois tipos, injeção seqüencial e injeção simultânea. Estes métodos serão agora apresentados e as vantagens e desvantagens de ambos discutidos.

Injeção Seqüencial

Técnica do canal único

O método do canal único (figura 4) foi patenteado pela ICI em 1970 e foi a primeira técnica comercial de co-injeção. Uma máquina de moldagem por injeção com dois cilindros é usada, um para o material da pele e o outro para o material do núcleo. Os polímeros plastificados são injetados seqüencialmente em um molde. Primeiro a pele e então o núcleo. Uma válvula especial

é usada, a qual permite uma primeira injeção de material da pele somente. Em um ponto pré-ajustado o fluxo para e o material do núcleo é injetado. No ponto de comutação, quando ocorre a troca dos cilindros, há uma queda de pressão no molde. Esta é a maior limitação deste método. Esta comutação do fluxo dos polímeros pode causar a parada do fluxo, dando defeitos superficiais tais como marcas de fluxo e baixo brilho sobre o moldado.

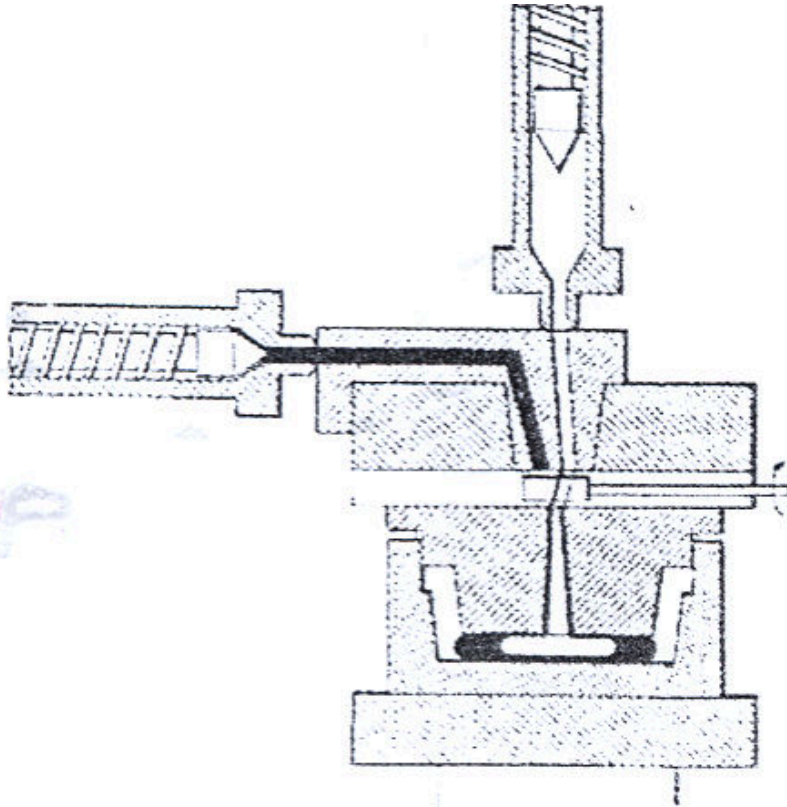


Fig. 4: Representação da técnica de moldagem por canal único.

Técnica Mono-Sanduiche

Esta técnica foi desenvolvida pela Ferromatik Milakron. A figura 5 apresenta esquematicamente esta técnica. O material da pele é plastificado em uma extrusora lateral. Um sistema especial de canal quente direciona o material plastificado diretamente para frente da rosca no cilindro principal. O material plastificado produz pressão na frente da rosca empurrando-a para trás. Quando uma quantidade especificada de material plastificado acumulou na frente da rosca, esta começa a girar e dosa o material do núcleo. A injeção é então feita da mesma forma que a injeção comum através do avanço da rosca.

Há pouca ou nenhuma mistura do material plastificado da pele e do núcleo à frente da rosca, quando então a rosca empurra o material para frente em vez de misturá-los na interface entre eles. A máxima quantidade de material do núcleo que pode ser encapsulada é inteiramente dependente da geometria do molde. Para peças simples e simétricas este valor está entre 65 a 75% em volume. A principal vantagem com este método é que a máquina de injeção convencional pode ser adaptada para uma máquina sanduíche simplesmente pela conexão de uma extrusora lateral à unidade de injeção principal. Este método é também particularmente adequado onde a produção de peças com paredes muito finas são requeridas.

Desde que a injeção é feita da mesma maneira que em uma moldagem por injeção convencional, o controle do processo é favoravelmente simples e similar àqueles da injeção convencional. A desvantagem deste método é que por ser a injeção realizada somente por uma rosca, ocorre a falta de um controle detalhado, o qual é requerido para formatos complexos de moldados a fim de controlar a configuração pele/núcleo.

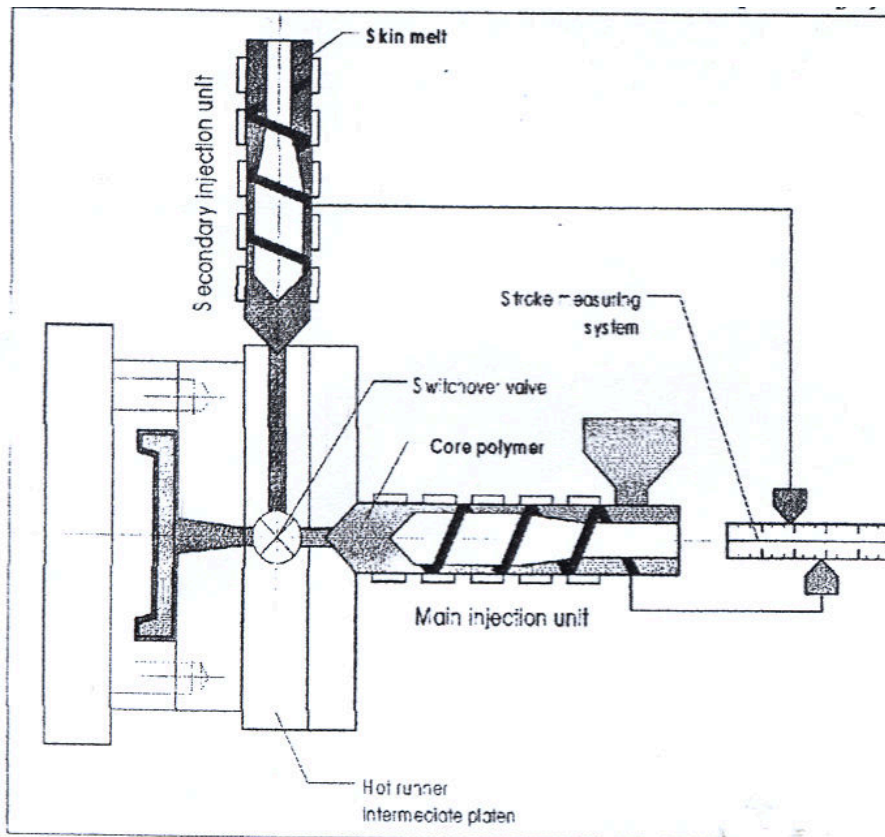


Fig. 5: Esquema apresentando a técnica Mono-Sanduiche da Ferromatik.

Resumindo, as técnicas de injeção seqüencial propiciam um método barato e útil para a produção da moldagem sanduíche. É uma técnica mais adequada a geometria simples, pois o principal problema com a injeção seqüencial é a falta de controle na distribuição pele/núcleo. Com a injeção controlada do material da pele e do núcleo (estão juntos, mas não misturados) e com somente um perfil de velocidade, a espessura da pele não pode ser ajustada em varias partes do moldado. Para superar estes problemas, o método simultâneo foi desenvolvido. Aqui pele e núcleo podem se controlados separadamente.

Injeção simultânea

Técnica dois canais

O método dos dois canais (figura 6), desenvolvido pela Battenfeld em meados da década de 1970, inclui uma fase de injeção simultânea. A seqüência do processo pode variar, mas um exemplo típico poderia ser:

- injeção da pele (até um ponto de comutação pré-ajustado),
- a injeção do material do núcleo começa e assim a pele e o núcleo fluem juntos,
- injeção somente do núcleo,
- injeção somente da pele,
- peça pressurizada e resfriada seguida pela ejeção.

Este processo de moldagem por co-injeção envolve a injeção do plástico para formar a camada da pele na cavidade do molde. Depois de um tempo pré-ajustado, usualmente na faixa de 0,1 – 0,3 segundos, outro plástico que constituirá o núcleo é injetado e, por um período, há simultânea injeção de ambos os materiais. Este período simultâneo de fluxo origina seu nome e também como ele difere da técnica seqüencial descrita anteriormente. A injeção do material do núcleo empurra a camada em movimento do material da pele de encontro às paredes da cavidade onde esfria e solidifica. O estágio final do enchimento do molde é a injeção do material do núcleo somente, embora os moldados sejam acabados, algumas vezes, com a camada da pele para terminar o encapsulamento do núcleo.

Duas unidades de injeção são utilizadas neste método, as quais são unidas através de um bico de injeção especialmente projetado. No projeto da Battenfeld, o bico de injeção é equipado com dois canais concêntricos separados que podem ser independentemente operados, abertos, e fechados hidráulicamente. Isto permite que a seqüência do processo seja cuidadosamente controlada.

A fase com injeção simultânea da pele e do núcleo evita os problemas inerentes da técnica do canal único mantendo uma velocidade constante na frente de fluxo. Isto pode ser percebido olhando a figura 7 e comparando os perfis de pressão e velocidade da rosca nos métodos de canal único e simultâneo. No método seqüencial, o período de estagnação depois da injeção da pele (A), mas antes da injeção do núcleo (B), pode ser claramente vista, resultando em uma queda na pressão da cavidade e em um período onde não há movimento de material na rosca. Isto demonstra muita das limitações da injeção seqüencial discutida anteriormente. Esta queda de pressão é menos aparente no método simultâneo.

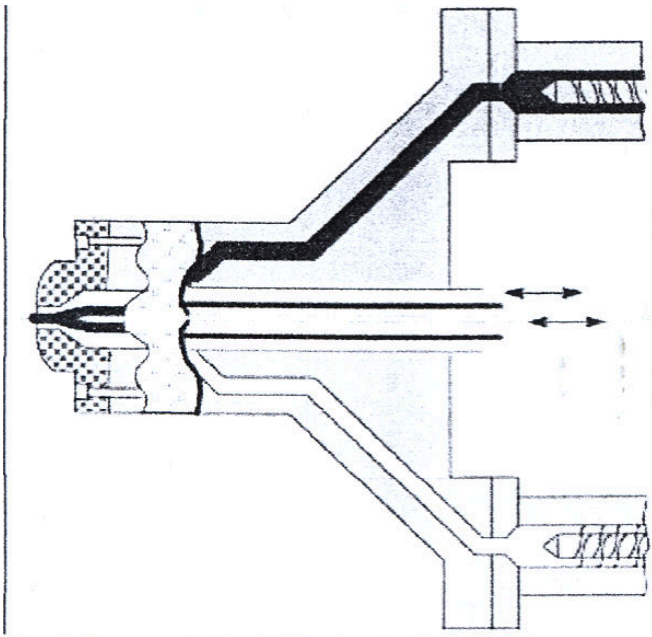


Fig. 6: Representação da Técnica dos Dois Canais.

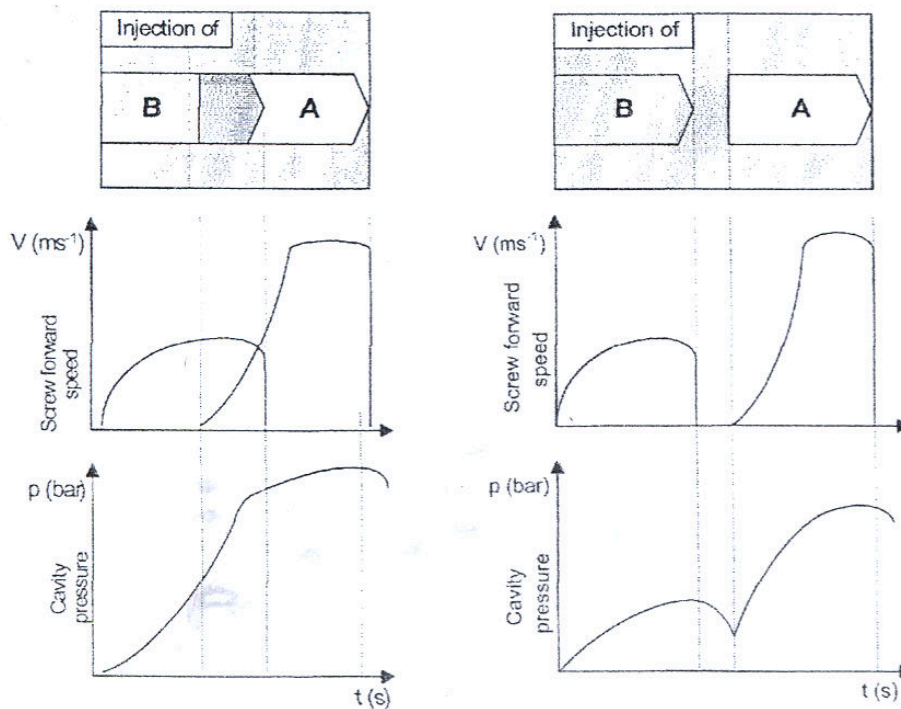


Fig. 7: Comparação do preenchimento do molde com técnicas de moldagem de injeção simultânea (esquerda) e sequencial (direita).

A duração da fase simultânea da injeção depende do material e da geometria do molde. Uma duração típica é de 25% do tempo de injeção para o componente da pele. A dinâmica do preenchimento do molde dita que a distribuição ótima do material do núcleo é obtida se a viscosidade da pele é mantida levemente mais baixa que a do núcleo. Isto é devido a fatores reológicos evidentes. A operação em separado de duas unidades de injeção torna mais fácil

controlar a espessura de pele em várias partes de um moldado. Isto ocorre porque, pelo controle em separado do perfil da velocidade da pele e do núcleo, a espessura de pele pode ser ajustada em várias partes do moldado. As quantidades extras de material da pele podem também ser injetadas durante o tempo de recalque para selar a área da entrada. Isto também assegura que o bico está limpo do material do núcleo e preparado para a próxima injetada.

De novo, devido à dinâmica do preenchimento do molde, o material que entra na ferramenta e que se resfria nas paredes perto da entrada pode começar a re-plastificar e ser arrastado devido ao calor gerado pela fricção da entrada do material plastificado. Isto pode levar a variações na espessura da pele e deixar a pele próxima da região da entrada muito mais fina que a do resto do moldado. Com o objetivo de superar estas deficiências foi proposta a técnica dos três canais.

Técnica dos três canais

Nesta técnica, um canal extra é usado para a pele no centro da entrada com o objetivo de manter a espessura nesta área. Um exemplo de um sistema desenvolvido comercialmente pela Kortec é mostrado na figura 8. Este é o exemplo de sistema com tubulação quente. Estes sistemas são introduzidos no mercado também por outras companhias incluindo Kona, Incoe e Battenfeld. O canal extra pode atingir o lado oposto do moldado, permitindo as duas superfícies serem reguladas separadamente e ter a espessura da superfície controlada. Este *design* especial pode ser usado somente com uma entrada central, senão a distribuição pele/núcleo será irregular como detalhado na figura 8. Para outras geometrias de entrada ou moldagens com multicavidades, a técnica de dois canais ou canal único são as preferidas.

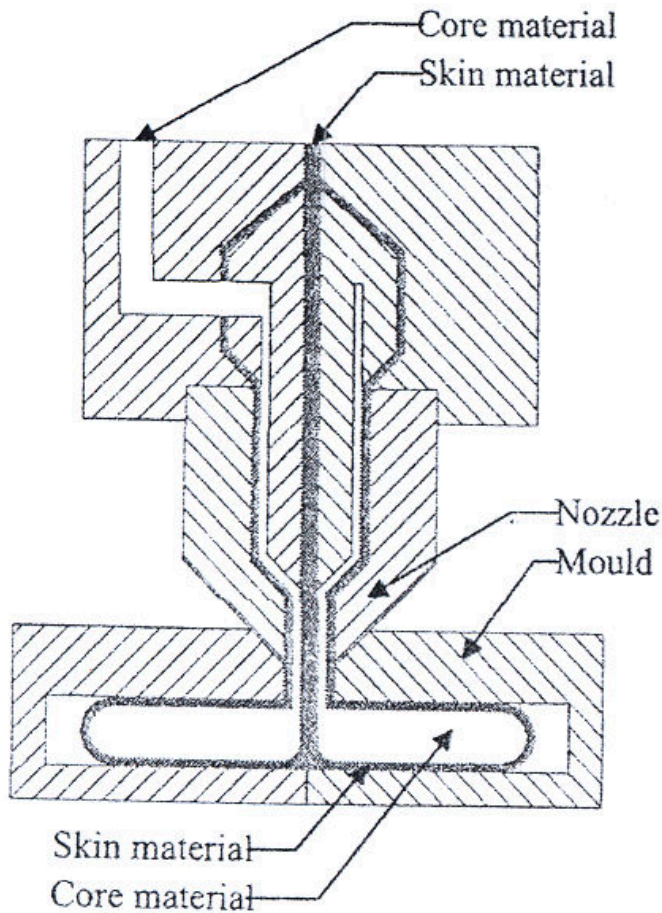


Fig. 8: Técnica Kortec utilizando um bico com três canais.

Uma técnica que utiliza três camadas para combinar materiais imiscíveis foi proporcionada pela Billion Corporation of France. Sua solução para a incompatibilidade de polímeros na moldagem de injeção sanduíche foi usar uma terceira camada intermediária de polímero como um adesivo, isto é análogo ao método usado em extrusão-sopro. Contudo, há uma desvantagem óbvia em custo com máquina, porque o sistema de canais é complexo e requer uma terceira unidade de injeção.

A solução da Battenfeld para a moldagem com três canais é mostrada na figura 9. Esta utiliza configurações de máquina também usada na técnica multi-shot que será descrita posteriormente. A unidade vertical pode ser usada para alimentar o terceiro material em um sistema de bico combinado baseada na tecnologia de duas camadas descrita anteriormente.

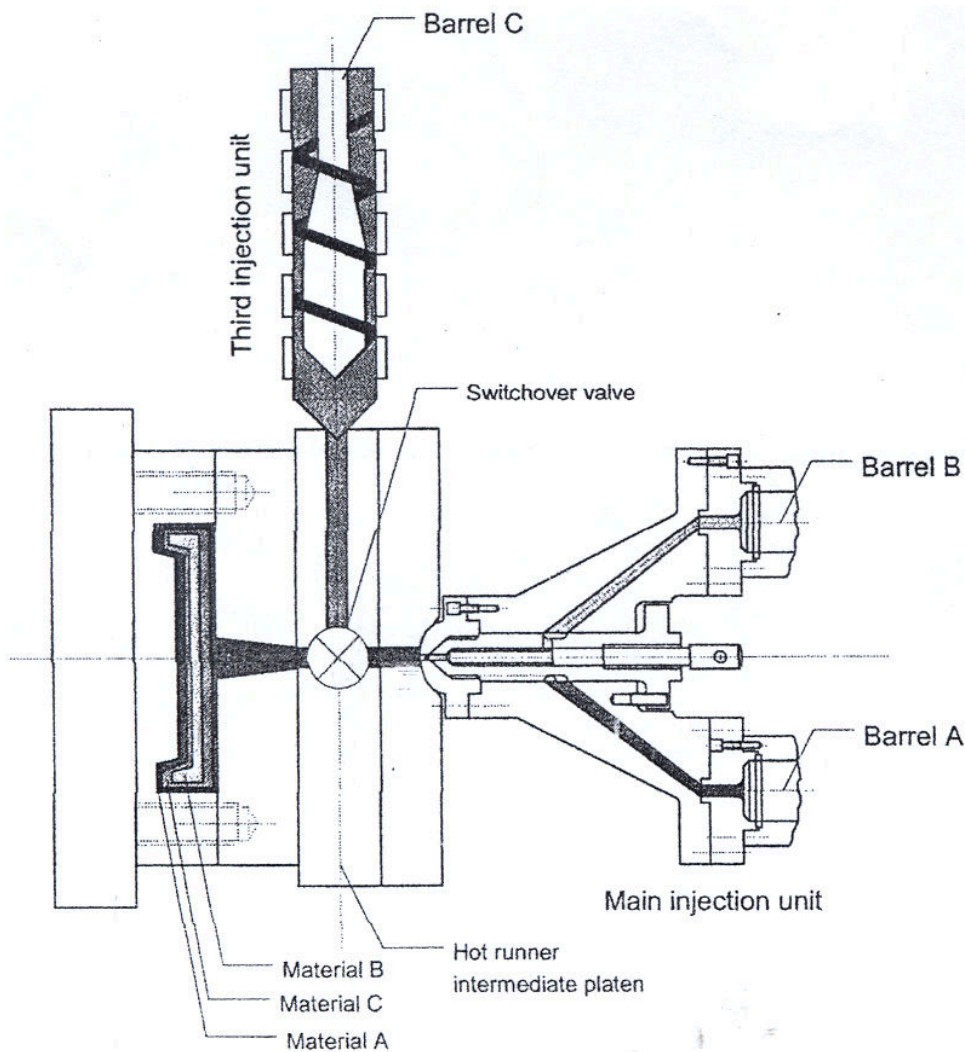


Fig. 9: Representação da Técnica dos Três Canais da Battenfeld.

Design da peça e requisitos do molde para a co- injeção

O preenchimento do molde e a resultante distribuição pele/núcleo são fortemente influenciados pela localização da entrada como mostra a figura 8. A entrada da injeção deve ser designada com respeito a distribuição pele/núcleo resultante, senão podem resultar moldados insatisfatórios. Se mais que uma entrada é necessária, as linhas de solda serão bastante evidentes na pele, enquanto que o material do núcleo não se encontrará devidamente preenchido devido à dinâmica de preenchimento da co-injeção. A pele estará sempre compactada nestas áreas antes que o material do núcleo possa atingi-la. Isto é ilustrado nas figuras 10 e 11.

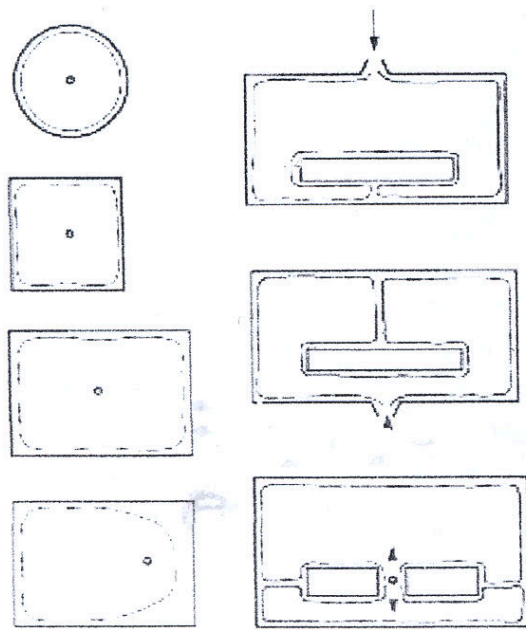


Fig. 10: Efeito da posição das entradas sobre a distribuição das camadas da pele e do núcleo.

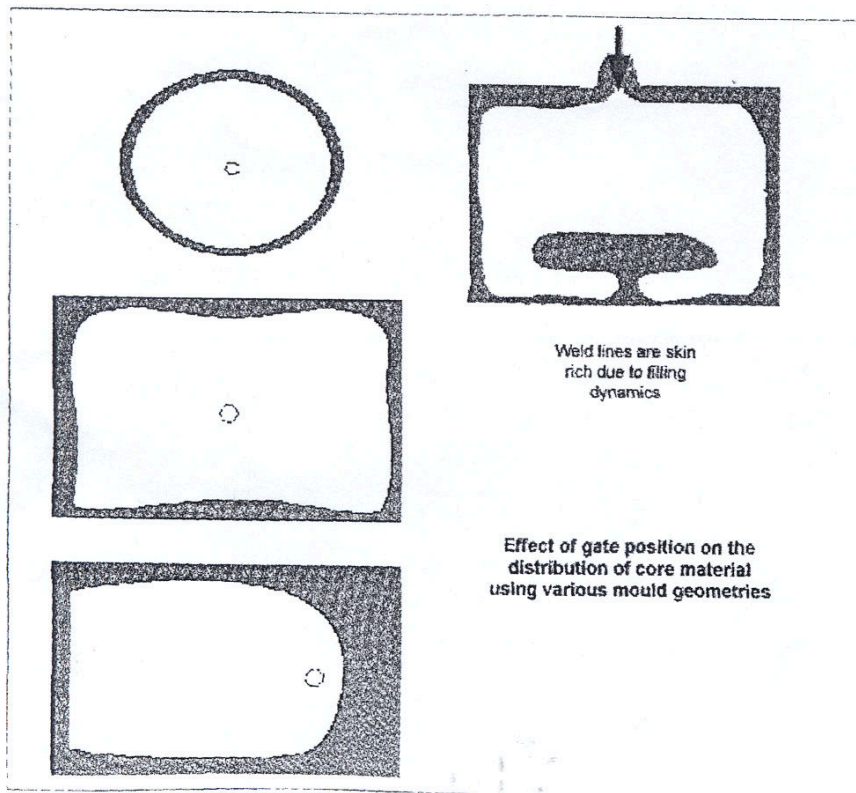


Fig. 11: Efeito da posição das entradas sobre a distribuição das camadas da pele e do núcleo.

Ajustando parâmetros ótimos

Em termos de interface, o principal fator para a adesão é a espessura da camada da pele. Isto se deve ao aumento do tempo de ligação disponível para a adesão com uma camada mais espessa e, portanto, uma interface com resfriamento mais lento. Uma camada mais fina também estaria sujeita a um maior cisalhamento pelo material plastificado que está entrando na cavidade e mais provavelmente seria re-plastificada e arrastada pelo fluxo.

Portanto, para manter uniforme a espessura, a viscosidade e os efeitos dos parâmetros de moldagem necessitam ser controlados. A velocidade de injeção é o parâmetro chave para se conseguir a distribuição uniforme da pele. Baixas viscosidades são mais efetivas. Isto também minimiza a perturbação do fluxo laminar, especialmente na região da entrada da cavidade, em maiores velocidades de co-injeção. Usando materiais de diferentes famílias sendo eles imiscíveis ou compatíveis, há provavelmente uma resposta elástica diferente para cisalhar e estirar a interface pele/núcleo, especialmente em maiores taxas de cisalhamento. Esta instabilidade afetará a dinâmica na interface e em alguns casos poderá causar defeitos superficiais na interface pele/núcleo como o resultado de diferentes tensões. Contudo, com o desenvolvimento sendo capaz de combinar materiais imiscíveis através da compatibilização ou de técnicas mecânicas, é provável que interesses comerciais em tal combinação de materiais leve a um desenvolvimento adicional.

Discussão e conclusões

A moldagem por co-injeção propicia rotas de processamento para obtenção de combinação de propriedades que são, em geral, impossíveis com a moldagem por injeção convencional. Contudo há um número de fatores que tende a limitar o crescimento comercial de tecnologias de co-injeção.

- Alto custo de capital: máquinas de co-injeção são em torno de 40% mais caras que uma máquina de injeção convencional.
- Restrições com respeito à geometria do molde: peças com cantos agudos, mudança na espessura de parede, reforços ou saliências são difíceis com co-injeção devido ao problema de distribuição do material da pele e do núcleo.
- Linhas de solda: nas linhas de solda há somente material da pele.
- Há uma complicada e pobremente entendida relação entre reologia e parâmetros de processo. Inter-relações existem entre a temperatura do material plastificado, viscosidade e diferenças de temperatura entre a pele e o núcleo.
- Restrições com respeito a combinações de materiais: mesmo para materiais compatíveis, a escolha de um certo *grade* pode influenciar a adesão e dar propriedades inferiores. Desde que as condições de processamento podem afetar as taxas de inter-difusão da pele e do núcleo, eles também podem afetar as propriedades do componente final. De novo, os efeitos são complicados e não bem entendidos.

Com o aumento da necessidade de enquadrar-se com a legislação ambiental (reciclagem) e metas mais exigentes, e em adição a um aumento no entendimento do processo, é provável que o crescimento da tecnologia em co-injeção continuará a avançar nos próximos anos.

1.1.2 Bi-injeção

Na bi-injeção, os materiais são processados simultaneamente em diferentes pontos de um molde. Desta maneira tem características de co-injeção (simultânea injeção de dois materiais, mas através de um bico) e injeção *multi-shot* com sistema de gaveta, *core back* (onde a injeção é em dois pontos, mas em seqüência).

Desta forma, a moldagem fornece um tempo de ciclo mais curto que a moldagem *core back* e é um método de se atingir os requerimentos usuais da injeção *multi-shot* tais como multicores ou combinações duro/macio. A linha de solda é também mais forte devido às maiores temperaturas na interface quando os fluxos se encontram. Contudo, os materiais não mantêm boa separação e definição na interface, a qual pode ser um problema em potencial para aplicação desta técnica.

A técnica de bi-injeção é caracterizada pela injeção de dois diferentes materiais ao mesmo tempo, dentro da mesma cavidade, através de dois diferentes bicos. O produto final obtido utilizando-se desta técnica depende fundamentalmente das características técnicas e de configuração da máquina de moldagem por injeção, tanto quanto do método de construção do molde.

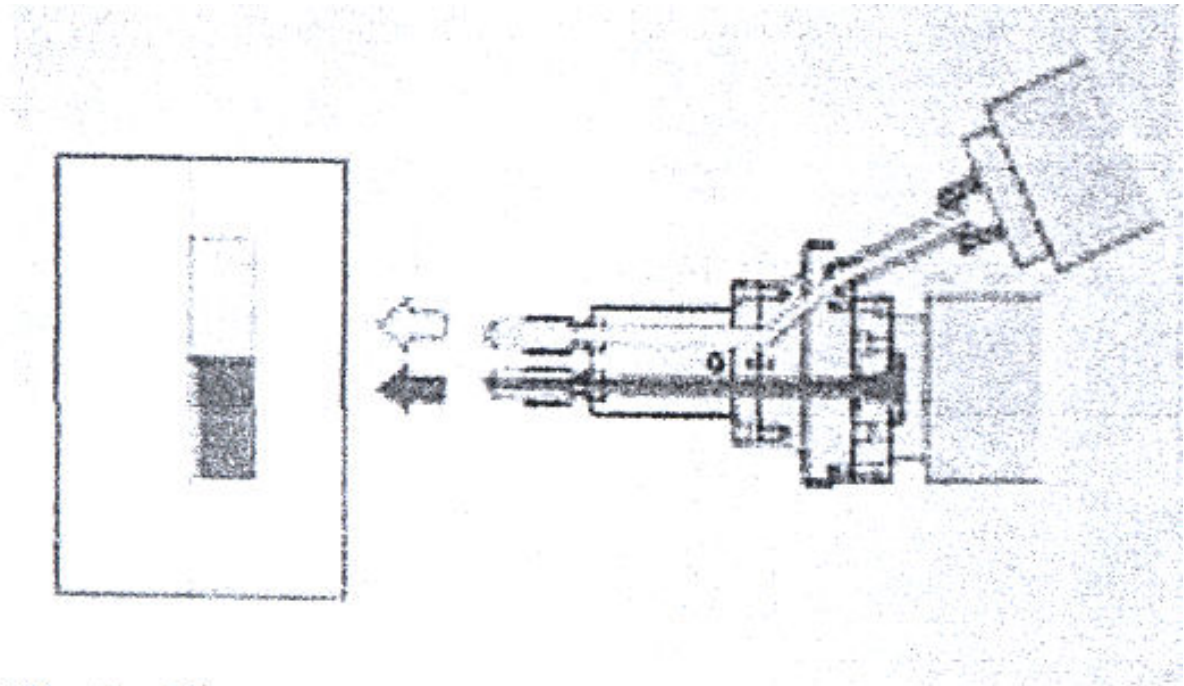


Fig.1 : Representação da moldagem por Bi-Injeção.

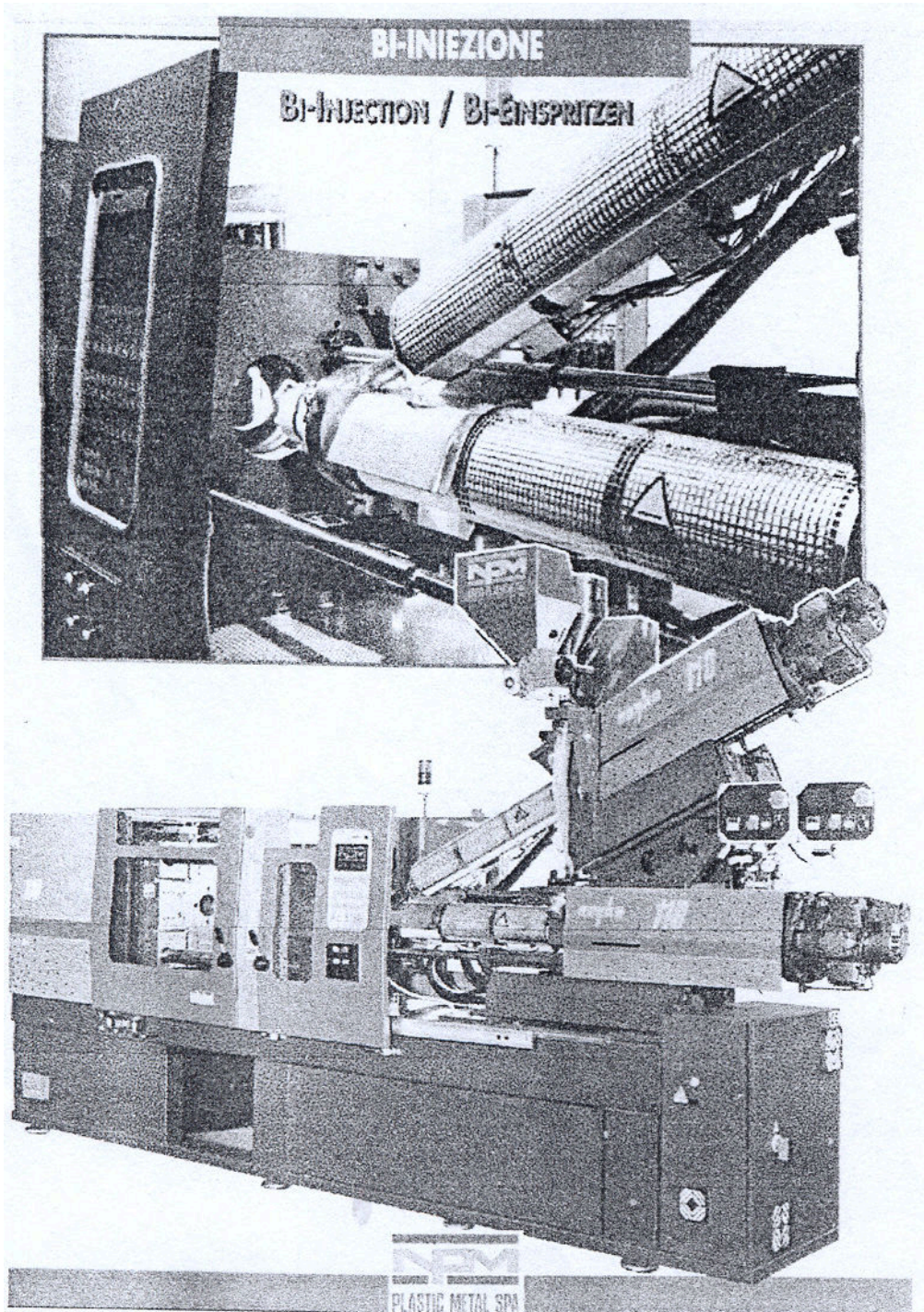


Fig. 2: Máquina para moldagem por Bi-Injeção.

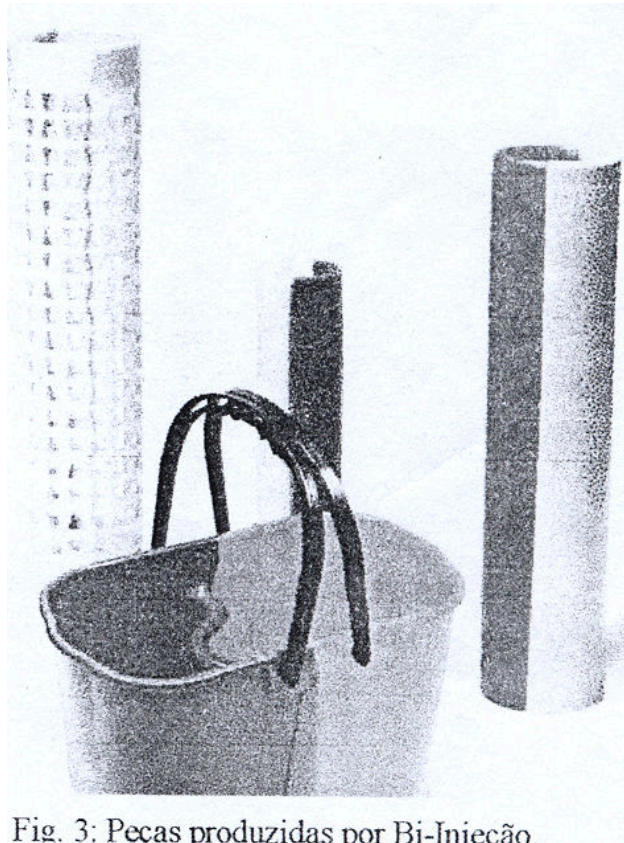


Fig. 3: Peças produzidas por Bi-Injeção.

Diferentemente da co-injeção, a bi-injeção não produz uma estrutura pele/núcleo, isto é, ambos os materiais são visíveis no produto acabado. Em essência, este processo é como usar duas máquinas que trabalham com seu próprio material em um mesmo molde. O processo de injeção é o seguinte:

- Dois materiais separados, A e B, são plastificados em cilindros separados.
- Os materiais A e B são injetados simultaneamente na cavidade. O material A fluirá em parte do molde e somente preencherá uma porção específica da cavidade total, enquanto B preencherá simultaneamente o restante da cavidade.
- A peça acabada então resfria e solidifica e pode ser ejetada do molde.

A bi-injeção é usualmente restrita às condições simples, dois materiais como componentes são postos em contato ao longo da junção de superfícies de desenho muito simples (se não planar). O fato de ambos materiais serem injetados simultaneamente previne-os da formação de uma interface macroscópica complicada, assim eles tenderão a se ligarem de forma estática no local onde eles se encontram no molde.

Adicionalmente, os materiais não tenderão a penetrar um no outro, assim arranjos pele/núcleo ou seções encapsuladas não são possíveis. Além disso, os componentes produzidos por moldagem por bi-injeção tendem a ter tolerância menos rígida que a daqueles moldados por outras técnicas de moldagem multi-material. Por estas razões, a bi-injeção é tipicamente utilizada para produzir componentes simples multicoloridos.

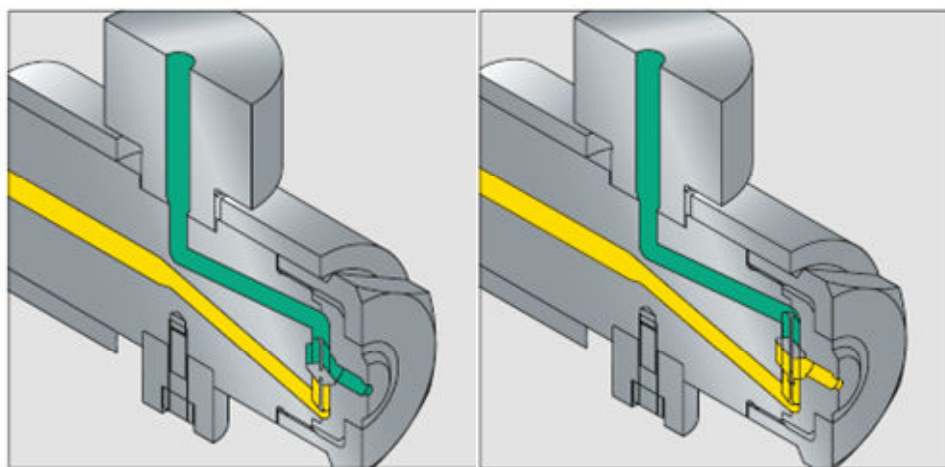
A bi-injeção é adequada a todos os tipos de polímeros desde que eles sejam compatíveis quimicamente o suficiente para induzir ligações. Isto geralmente significa que as temperaturas do processo devem ser tão similares quanto possível.

Como postulado acima, a única diferença entre moldes para um material convencional e um de bi-injeção é que o último tem que possuir um sistema de entrada para cada material em separado. Fora este requerimento moldes padrões podem ser usados.

1.1.3 Moldagem por injeção com intervalo

Este método produz efeito tipo marmorização, embora nem sempre, confinado a moldagem de materiais de diferentes cores do mesmo tipo. Isto pode produzir um modelo de distribuição aleatório ou regular de cores como requerido. Funciona pela injeção de materiais em uma maneira simultânea ou seqüencial a partir de um bico combinado (figuras 4 e 5). É similar ao método usado para produzir moldados por co-injeção. Neste caso, contudo, a injeção não produz uma configuração pele/núcleo. Os materiais ficam juntos e ocorre uma operação de mistura em pequena escala, mas não em um nível que misture completamente os dois materiais. As duas unidades de injeção são acopladas através de uma unidade especial para injeção com intervalo, na qual o bico de mistura está localizado. Isto é mostrado na figura 6.

A coloração resultante é controlada pela dinâmica da mistura dos materiais em questão e ao cisalhamento a que estão sujeitos, por exemplo, pelo tamanho e posição do bico. A injeção pode ser simultânea ou com ciclos alternantes para dar um efeito tipo pulso. A medida da etapa de injeção e a velocidade de injeção também vão alterar a coloração resultante do moldado. As aplicações tendem a serem principalmente cosméticas tais como tampas e caixas e aplicações como botões nos quais a coloração pode ser usada como efeito decorativo. Pode ser produzida uma variedade de efeitos de cor nas peças moldadas (figura 6).



Válvula de intervalo Posição 1

Válvula de intervalo Posição 2

Fig. 4: Apresentação da moldagem por injeção com intervalo



Fig. 5: A programação da válvula propicia a entrada dos materiais de uma forma simultânea ou seqüencial



Fig. 6: Efeitos de cor com a tecnologia de intervalos

Na injeção com intervalo, as duas unidades são acopladas uma a outra por meio de uma unidade especial de intervalo, em cujo interior se encontra o bico misturador (figura 7). A unidade é fixada sobre a placa fixa da máquina, ficando posicionada antes do molde. A coloração é influenciada pela seqüência do ciclo, pelo formato da peça moldada, ponto de injeção e pela fluidez das massas de injeção.

A injeção simultânea ou alternada, assim como a alteração da velocidade de injeção, são parâmetros decisivos. Um programa especial de intervalo no comando da máquina garante a seqüência de ciclos e o controle dos fluxos das massas fundidas. Através da desmontagem da unidade de intervalo, a mesma máquina também pode ser utilizada para a moldagem por injeção de dois componentes.

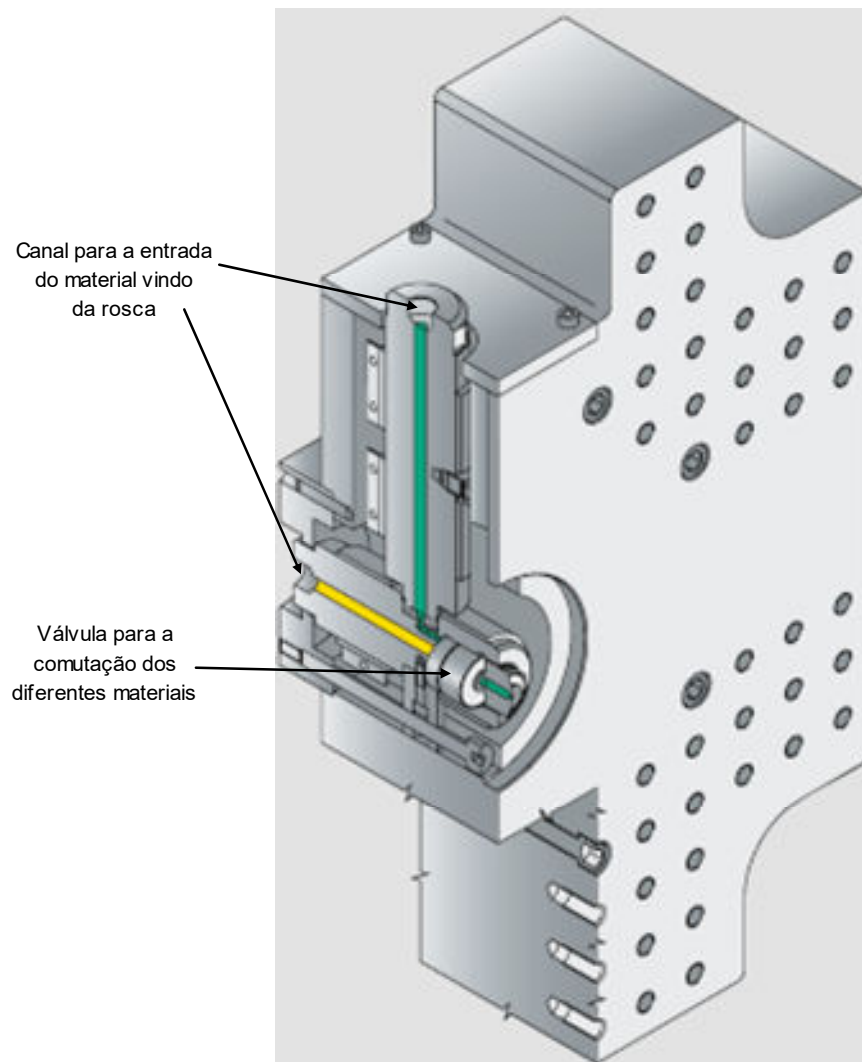


Fig. 7: Placa fixa para moldagem com intervalo

1.2 Moldagem *multi-shot* (multi-cargas)

A moldagem *multi-shot* é usada como um método de colocação de materiais lado a lado (adjacente), um em cima do outro em uma sobreposição, ou adição de uma injetada sobre outra. Para fazer isto, são requeridas máquinas e ferramentas especiais.

Exemplos comuns de aplicação são teclas com os números feitos de uma cor e as letras moldadas usando-se outra cor, as lanternas traseiras multicoloridas dos automóveis, na combinação de materiais duros e macios para produzir componentes “macios ao toque”.

As técnicas *multi-shot* produzem não somente moldados multicores, mas também moldados de múltiplos materiais.

Tecnologia da máquina

O processo multi-shot, como diz o próprio nome, requer múltiplas cargas de materiais para fazer um único componente. Para cada um destes materiais uma unidade de injeção é requerida. Para moldar estas múltiplas cargas também requer moldes e equipamentos especiais. Para possibilitar múltiplas cargas, várias unidades de injeção podem ser arranjadas para alimentar as máquinas em diversas maneiras.

Configuração das unidades de injeção

Usando-se uma unidade de injeção vertical pode-se economizar espaço e, portanto, é a posição mais usada para moldagem multi-shot. Com a configuração dupla, a unidade pode ser posicionada acima da unidade principal. Este método economiza espaço no piso, como no método vertical, mas requer menor altura do teto.

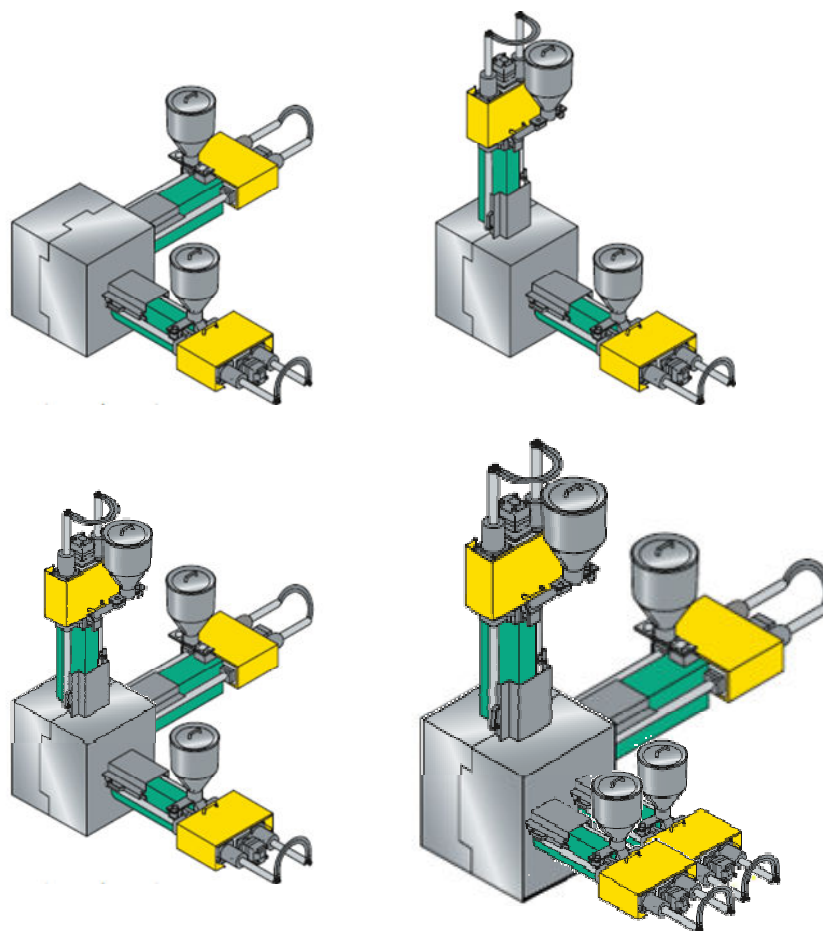


Fig. - Arranjos possíveis das unidades de injeção

Moldagem com sistema de gaveta (molde com partes móveis)

- A moldagem com sistema de gaveta é um processo controlado pela ferramenta (molde).
- Pensada de forma simplificada, consiste em um molde recebendo múltiplas injetadas dentro de um único ciclo de máquina. Permite a diferentes áreas do molde serem abertas ou fechadas para a entrada do material específico.

- Isto é obtido com movimentos deslizantes ou com insertos.
- Etapas do processo:
 1. O primeiro material é injetado na cavidade.
 2. Usando um dispositivo de acionamento, uma área adicional da cavidade é revelada.
 3. O segundo material é injetado na cavidade.
 4. O componente *multi-shot* completo é ejetado.
- A habilidade para completar o processo sem abertura do molde ou transporte de pré-formas são as principais vantagens deste método quando comparado a outras técnicas *multi-shot*.

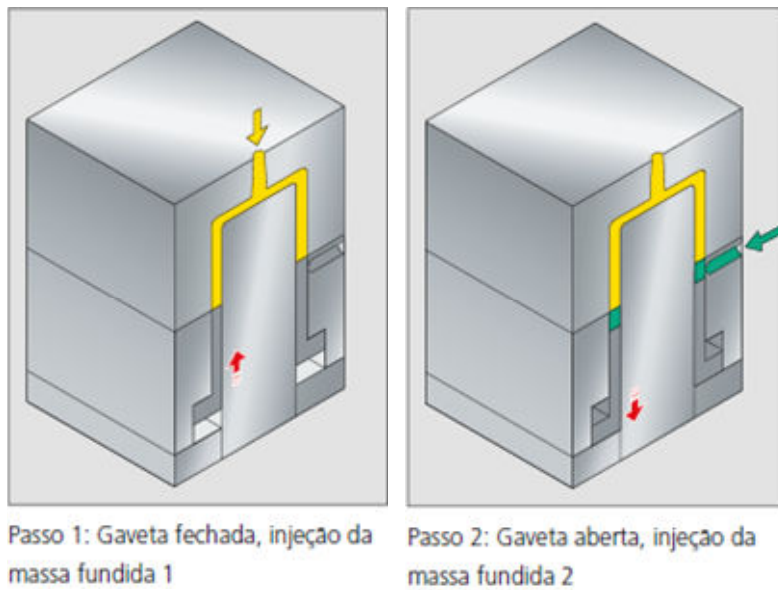


Fig. 2: Moldagem com sistema de gaveta

1.2.1 Moldagem com rotação do molde

- O molde gira por 180° para duas injetadas ou 120° para três injetadas.

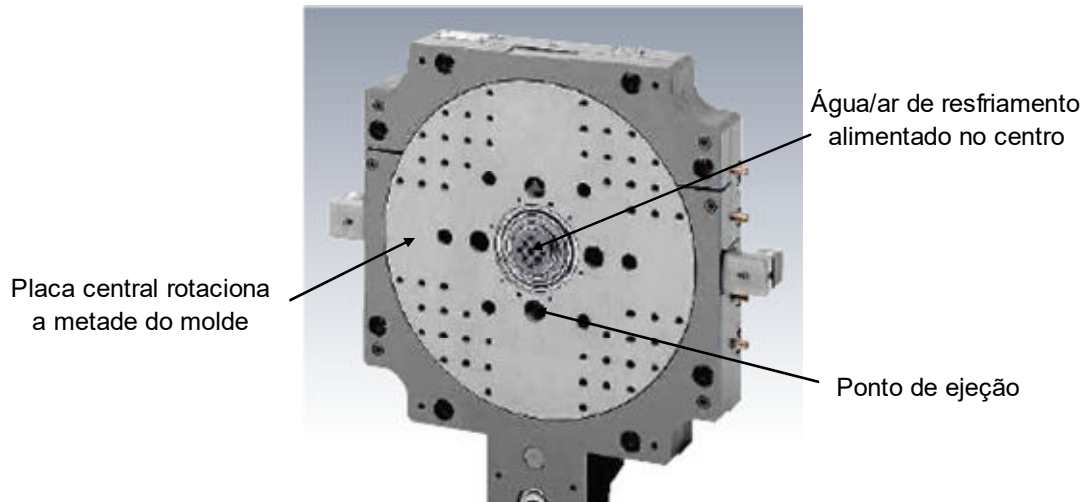


Fig. 3: Unidade de rotação hidráulica



Fig. 4: Unidade de rotação elétrica

Moldagem por injeção de dois componentes

- A moldagem por injeção automática de dois componentes é efetuada em moldes com duas estações, nas quais a peça moldada é pré-injetada e em seguida recebe a injeção de acabamento.
- Após a extração da peça acabada, uma cavidade volta a estar disponível para a produção de uma nova peça pré-injetada.

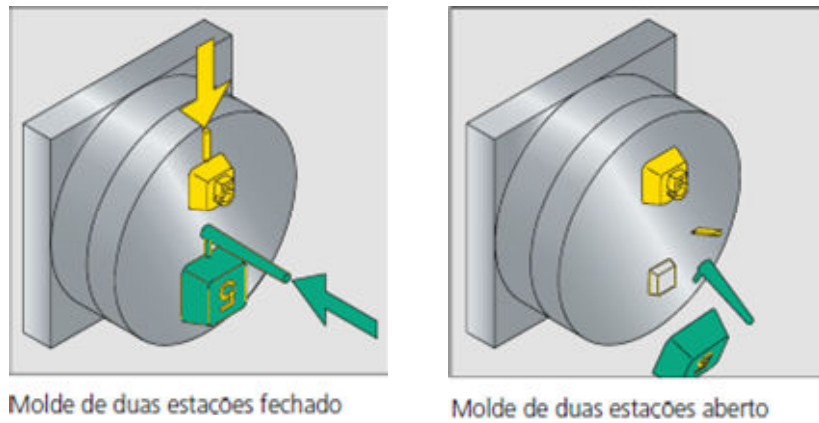
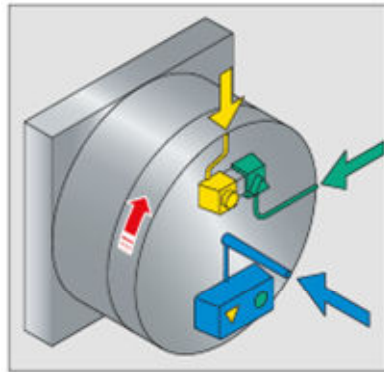


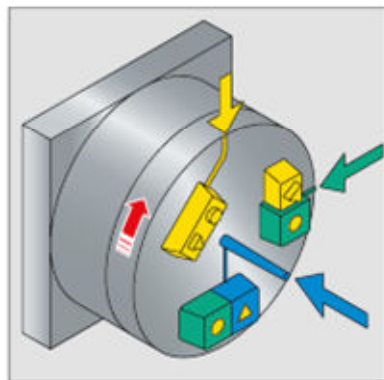
Fig. 5: Esquema de moldagem com dois componentes

Moldagem por injeção de três componentes

- A peça moldada pré-injetada da primeira estação é transformada em peça acabada, através da adição de novos componentes nas estações subseqüentes. Entre cada uma das estações, são executados respectivamente movimentos giratórios de 120° no mesmo sentido.



Molde de duas estações



Molde de três estações

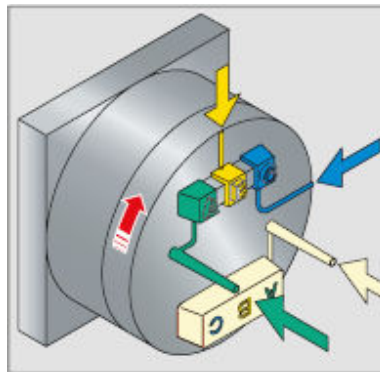


Exemplo de peça produzida com três componentes

Moldagem por injeção com mais de três componentes

Molde de duas estações

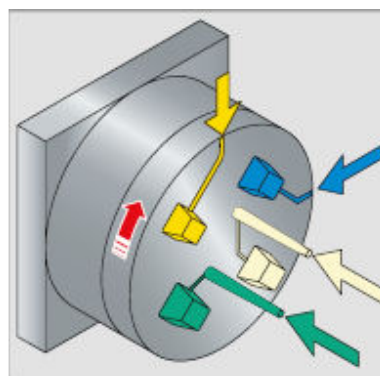
- Na primeira etapa do processo são produzidas as peças pré-injetadas através da injeção simultânea de três até no máximo cinco componentes.
- Toda metade do molde gira em 180° até atingir a segunda posição. Em seguida, as peças pré-injetadas são finalizadas com a sobre-injeção de outro componente.
- A terceira estação pode ser utilizada para a extração das peças com o molde fechado.



Molde de duas estações

Molde de quatro estações

- Com um molde de quatro estações pode-se produzir, por exemplo, peças com várias camadas.
- Na primeira estação é produzida a camada mais interna. O molde continua o ciclo girando em 90° até a próxima estação. Neste estágio o segundo componente é injetado sobre o primeiro. Em seguida a metade do molde gira até a terceira estação e a peça é finalizada na quarta estação. Aqui é injetada a camada externa de cobertura, ou seja, a camada visível da peça moldada. Após decorrer o tempo de resfriamento, a peça de múltiplas camadas, já pronta, pode ser retirada da cavidade. Dentro do ciclo contínuo, a cada abertura do molde é extraída uma peça injetada.



Molde de quatro estações

Unidade giratória

Na moldagem por injeção com múltiplos componentes, as peças moldadas são movimentadas em sua maioria através de um movimento giratório. Conforme a geometria das peças se faz a decisão entre dois sistemas de construção para a execução do molde giratório:

- Rotação da metade inteira do molde
- Rotação de uma placa ou da cavidade da placa móvel

Os movimentos giratórios podem ser alternados (duas estações) ou também contínuos (tecnologia de três estações). As unidades rotativas estão na placa móvel e podem ser utilizadas de forma universal para vários moldes.

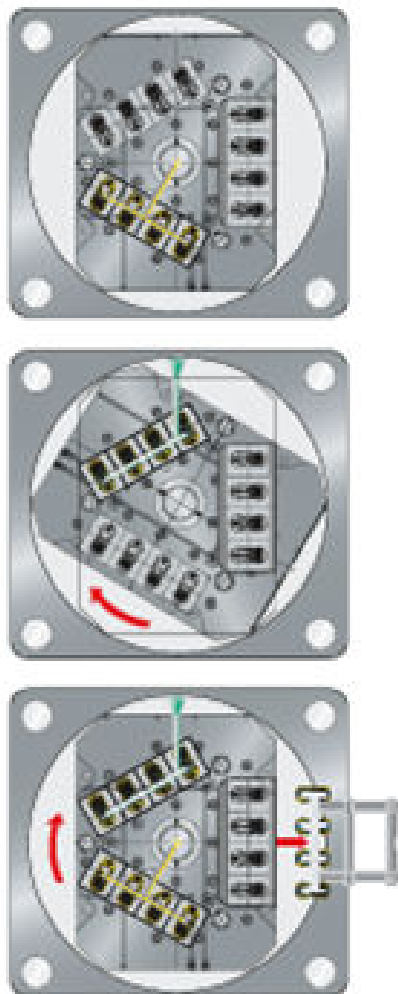
Unidade de rotação hidráulica (figura 3)

A unidade de rotação hidráulica é composta por uma placa interna rotativa e uma placa traseira fixa, que está aparafusada na placa de fixação da máquina. O acionamento é realizado por meio de um motor hidráulico. As unidades de rotação que giram 180°, tem encosto em ambas as posições finais. O movimento rotativo pode ser realizado com duas velocidades (rápido/lento).

Nas unidades de rotação que giram 120° (alternativamente também 180°), o encosto fixo é introduzido através de um dispositivo tira-macho com a ativação da segunda velocidade. As conexões pneumáticas e as conexões de regulação de temperatura do molde são conduzidas através do eixo central.

Unidade de rotação elétrica (figura 4)

Os movimentos da unidade de rotação elétrica são programados diretamente através do comando da própria máquina. Além disso, o acionamento servo-elétrico permite movimentos bem mais rápidos em comparação com as unidades de rotação hidráulicas, além do fato de que estes ainda podem ser executados de forma independente dos eixos hidráulicos da máquina. Outra vantagem consiste na precisão de posicionamento nitidamente superior do acionamento servo-elétrico, sendo que qualquer ângulo pode ser alcançado, seja no sentido horário ou anti-horário.



Etapas da fabricação do molde das carcaças de celular



Fig. 6: Etapas da fabricação da carcaça do celular. Extração sem abertura do molde.

1.3 Sobre-Moldagem

1.3.1 Injeção com núcleo perdido

- Produz componentes ocos, únicos e que apresentam características geométricas complexas, geometria interna suave e alta estabilidade dimensional, as quais não podem ser obtidas através de processos convencionais de injeção.
- Tipos de núcleo:
 - Núcleo fusível
 - Núcleo solúvel
 - Núcleo salino
- O processo estudado será aquele com o núcleo fusível.

Descrição do processo

O plástico é injetado em torno de um núcleo temporário de baixo ponto de fusão (liga de estanho-bismuto, cera ou termoplástico).

Etapas do processo

1. O núcleo é colocado como um inserto no molde.
2. Ciclo de uma injeção convencional, incluindo ejeção do núcleo e do moldado.
3. Separação da peça e do núcleo por fusão do núcleo.
4. Modelagem do núcleo para o processo de injeção.
5. Após a moldagem o núcleo será fundido ou dissolvido, deixando sua geometria externa com o formato interno da peça plástica.

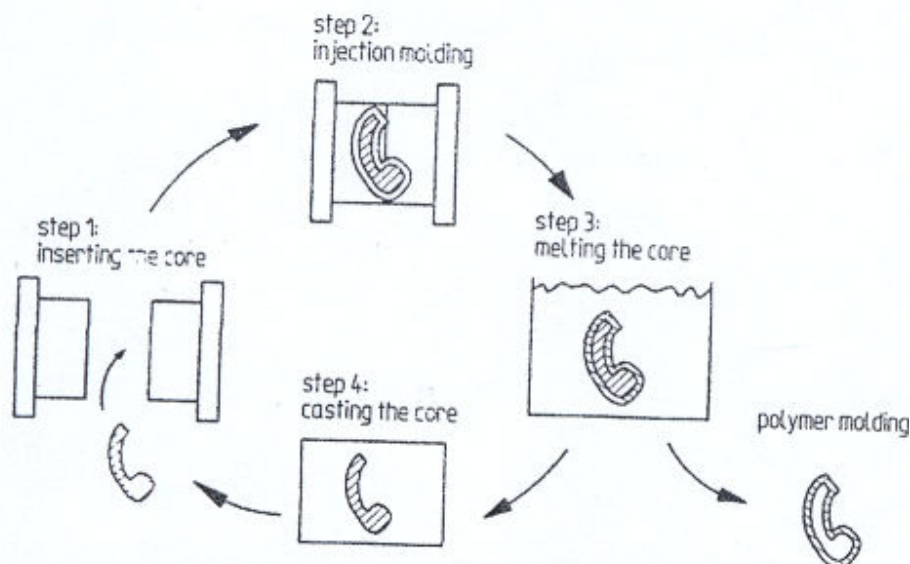
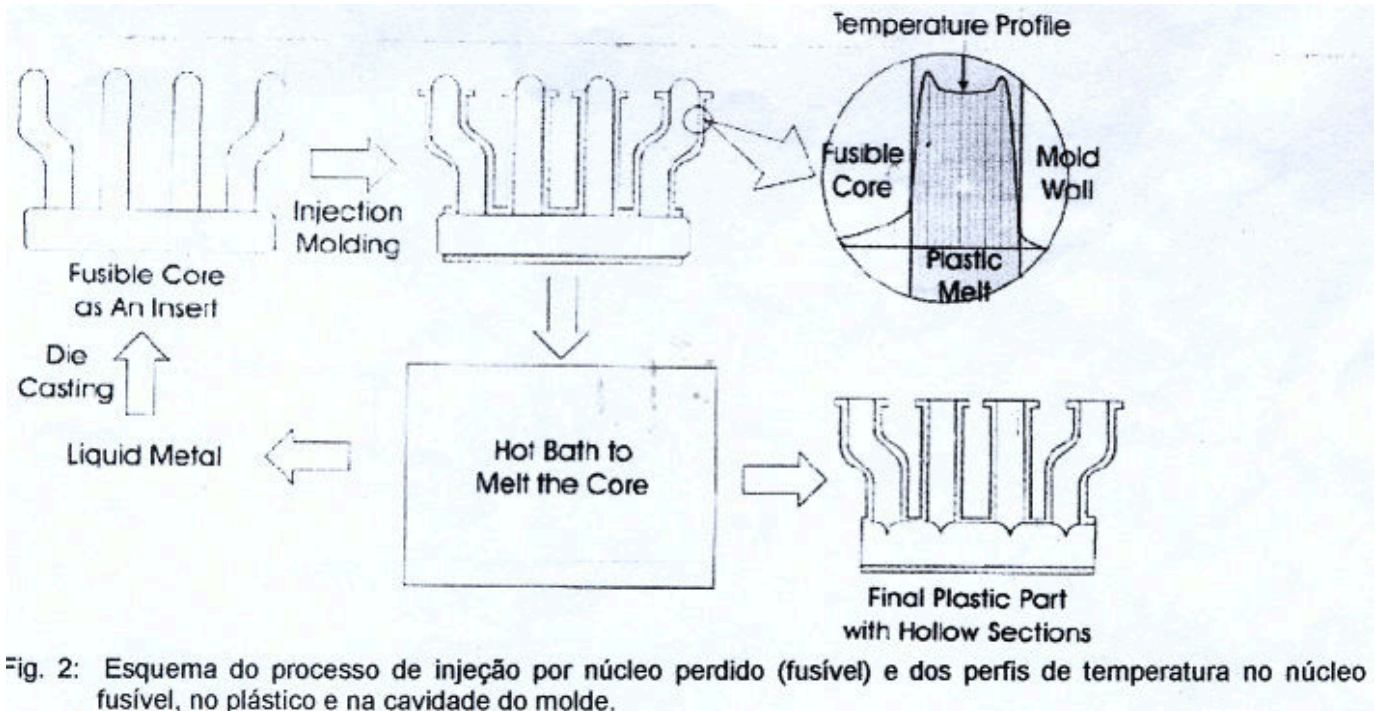


Fig. 1: Processo de Injeção com Núcleo Perdido.

Ligas constituintes do núcleo

- São ligas eutéticas que apresentam estabilidade dimensional (com baixa expansão ou contração), agudo ponto de fusão e rápida transição de fase.
- É necessário que a temperatura da liga seja mais baixa que a do plástico que a envolve, podendo ser fundida em um banho sem danificar a peça.

- Contudo, devido à alta difusividade térmica tanto quanto a massiva inércia térmica e calor latente da liga, a temperatura superficial do núcleo permanece abaixo de seu ponto de fusão durante a moldagem.
- Este fenômeno é semelhante à relativamente pequena elevação de temperatura na parede do molde na injeção convencional, na qual a alta condutividade térmica do molde metálico rapidamente remove o calor do plástico fundido.



Vantagens

- Geometrias complexas são possíveis
- Alta qualidade no acabamento superficial
- Ausência de linhas de emenda no interior da peça
- Economia de material
- Permitida alta pressão na cavidade

Desvantagens

- Processo caro
- Alto custo unitário
- Longo tempo de desenvolvimento
- O material do núcleo é caro
- Fabricação contínua do núcleo.