

CENTRO PAULA SOUZA
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

CENTRO TECNOLÓGICO DA ZONA LESTE
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA ZONA LESTE

LEANDRO DOS SANTOS RIBEIRO

**EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E AUTOMAÇÃO DAS
MÁQUINAS INJETORAS**

São Paulo

2009

CENTRO TECNOLÓGICO DA ZONA LESTE
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA ZONA LESTE

LEANDRO DOS SANTOS RIBEIRO

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS INJETORAS

Monografia apresentada no curso de
Tecnologia em Produção com ênfase em
Plásticos na FATEC ZL como requerido
parcial para obter o Título de Tecnólogo
em Produção com ênfase em Plásticos

Orientador: Prof. Marcos Oliveira Gentil

São Paulo

2009

Ribeiro, Leandro dos Santos
Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras /
Leandro dos Santos Ribeiro – São Paulo, SP : [s.n], 2009.
77f.

Orientador: Prof. Marcos Oliveira Gentil.
Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia da
Zona Leste.
Bibliografia: f.



CENTRO TECNOLÓGICO DA ZONA LESTE
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA ZONA LESTE

LEANDRO DOS SANTOS RIBEIRO

**EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS
INJETORAS**

Monografia apresentada no curso de Tecnologia em Produção com ênfase em Plásticos na FATEC ZL como requerido parcial para obter o Título de Tecnólogo em Produção com ênfase em Plásticos

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Marcos Oliveira Gentil
Faculdade de Tecnologia da Zona Leste

Prof. Me. Givanildo Alves dos Santos
Faculdade de Tecnologia da Zona Leste

Marcos Rogério Ziliani
Faculdade Osvaldo Cruz

São Paulo, ____ de _____ de 2009.

A Deus, aos meus pais, a minha noiva e aos meus amigos...

companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tornar tudo possível.

Ao Prof. Gentil, braço amigo de todas as etapas deste trabalho.

A minha mãe Cleonice, meu pai Jair e minha noiva Denise pela confiança e motivação.

Aos amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos professores e colegas de Curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas.

Aos profissionais entrevistados, pela concessão de informações valiosas para a realização deste estudo.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

"O único lugar onde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário."

Albert Einstein

RIBEIRO, Leandro dos Santos. Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras: Trabalho monografia. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste – São Paulo.

RESUMO

O trabalho visa detalhar as características das máquinas injetoras de uma forma geral, com foco na evolução tecnológica e no uso de periféricos para o aumento da produtividade. Para a descrição das características gerais, das etapas de evolução das máquinas injetoras (a pistão, com pré-plastificador e rosca recíproca) e utilização de periféricos para produtividade (robô, sistema de câmara quente, controlador de temperatura, unidade de ar seco), foi utilizada a pesquisa bibliográfica e de campo. A evolução tecnológica não tem a função de substituir o elemento humano dentro do processo fabril, mas sim, um meio de garantir uma alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo com isso uma redução no custo final do produto, bem como sua disponibilidade em tempo relativamente menor e quantidades maiores.

Palavras-chave: máquina injetora, evolução tecnológica, periféricos, produtividade.

RIBEIRO, Leandro dos Santos. Technological developments and automation of machine injection: Working paper. School of Technology East - São Paulo.

ABSTRACT

The work aims to detail the characteristics of the machine guns in general, focusing on technological developments and the use of peripherals to increase productivity. For a description of the general characteristics of the stages of evolution of machine guns (the piston, with pre-plasticiser and screw each other) and use of peripherals to productivity (robot system, hot chamber, temperature controller, a unit of dry air), was used for literature search and field. Technological change is not the task of replacing the human element within the manufacturing process, but a means of ensuring a high productivity with high efficiency and quality standard, with this allowing a reduction in the cost of the final product and its availability in relatively less time and larger quantities.

Key-words: injection machine, development, peripherals, productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – John Wesley Hyatt	17
Figura 2 – Injetora a pistão “Máquina de Hyatt”	17
Figura 3 – Máquina injetora de plástico	18
Figura 4 – Máquina injetora horizontal	19
Figura 5 – Máquina injetora vertical	20
Figura 6 – Máquina injetora horizontal com moldes em tandem	21
Figura 7 – Sistema de fechamento mecânico de uma injetora mula manca	23
Figura 8 – Unidade de fechamento hidráulico	24
Figura 9 – Fechamento hidráulico de braço flipper	25
Figura 10 – Sistema hidráulico mecânico.....	26
Figura 11 – Placa fixa e placa móvel.....	27
Figura 12 – Conjunto de injeção por êmbolo.....	30
Figura 13 – Conjunto de pré-plastificador com pistão	30
Figura 14 – Conjunto de pré-plastificador com parafuso fixo	31
Figura 15 – Conjunto de injeção por rosca plastificadora.....	31
Figura 16 – Rosca de plastificação	33
Figura 17 – Sistema hidráulico	37
Figura 18 – Máquina injetora mula-manca	52
Figura 19 – Unidade de fechamento (antes e depois de acionada)	53
Figura 20 – Unidade de injeção.....	53
Figura 21 – Dispositivos de acionamento e controle	54
Figura 22 – Peças fabricadas pela injetora mula-manca.....	55
Figura 23 – Máquina injetora SEMERARO 1978	57
Figura 24 – Painel de aquecimento da injetora SEMERARO 1978.....	58
Figura 25 – Unidade de fechamento da injetora SEMERARO 1978	59
Figura 26 – Unidade de injeção da injetora SEMERARO 1978.....	59
Figura 27 – Máquina injetora MG 1986.....	60
Figura 28 – Painel de aquecimento da injetora MG 1986	61
Figura 29 – Unidade de injeção da injetora MG 1986	62
Figura 30 – CLP (Controlador Lógico Programável) de fabricação atos	63
Figura 31 – Injetora de plástico, modelo prática 450 de fabricação ROMI	63

Figura 32 – Injetora de plástico elétrica, modelo EL 150 de fabricação Sandretto...	65
Figura 33 – Robô NEPAL W3 de fabricação da DM Robótica do Brasil Ltda	68
Figura 34 – Unidade de ar seco – UAS de fabricação MECALOR.....	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.2 Objetivo	16
1.3 Metodologia	16
2 HISTÓRIA DA MÁQUINA INJETORA	16
3 CARACTERÍSTICAS DAS MÁQUINAS INJETORAS	18
3.1 Máquina Injetora Horizontal.....	19
3.2 Máquina Injetora Vertical.....	19
3.3 Máquina Injetora a 90°	20
3.4 Máquina Injetora em Tandem.....	20
3.5 Tipos de Máquinas	21
3.5.1 Manual.....	21
3.5.2 Semi-automática	21
3.5.3 Automática	21
3.6 Unidade de Fechamento ou Sistema de Fechamento do Molde	22
3.6.1 Sistema de fechamento.....	22
3.6.2 Tipos de fechamento	22
3.6.2.1 Mecânico	23
3.6.2.2 Hidráulico de pistão	24
3.6.2.3 Hidráulico de braço flipper.....	24
3.6.2.4 Sistema hidráulico mecânico.....	25
3.6.3 Componentes do sistema de fechamento	26
3.7 Unidade de Injeção	28
3.7.1 Máquina tipo pistão	29
3.7.1.1 Conjunto de injeção por êmbolo.....	29

3.7.1.2 Conjunto de injeção por pré-plastificador	30
3.7.2 Máquina tipo rosca	31
3.7.3 Elementos do sistema de injeção	32
3.8 Sistema de Acionamento e Controle	36
3.8.1 Base	36
3.8.2 Sistema hidráulico	37
3.8.2.1 Reservatório e filtro	38
3.8.2.2 Trocador de calor	38
3.8.2.3 Bomba	38
3.8.2.4 Válvulas	39
3.8.2.5 Atuadores lineares (cilindros)	40
3.8.2.6 Atuadores rotativos (motores hidráulicos)	41
3.8.3 Sistema pneumático	41
3.8.4 Sistema elétrico	42
3.8.5 Sistema de aquecimento	42
3.8.6 Pirômetro	42
3.8.7 Chaves contactoras	43
3.8.8 Amperímetro	43
3.8.9 Cabos termoelétricos	43
3.8.10 Resistências elétricas	43
3.8.11 Temporizador	43
3.8.12 Chaves fim de curso	44
3.8.13 Painel de controle	44
3.8.14 Sistema de refrigeração	44
3.8.15 Sistema de lubrificação	45
4 CAPACIDADE DA MÁQUINA INJETORA	45

4.1 Capacidade de Injeção (C_i).....	46
4.2 Capacidade de Plastificação (C_p)	46
4.3 Pressão de Injeção (P_{ing}).....	47
4.4 Pressão de Recalque (P_{rec})	47
4.5 Pressão de Fechamento	47
4.6 Peso de Moldagem por Ciclo	48
4.7 Velocidade de Injeção	49
5 EVOLUÇÃO DAS MÁQUINAS INJETORAS	51
5.1 Máquinas Injetoras com Pistão	51
5.1.1 Injetora de plástico mula manca.....	52
5.1.2 Principais características.....	52
5.1.3 Principais funções que a máquina não desempenha	54
5.1.4 Principais problemas quanto ao produto	54
5.2 Máquinas Injetoras com Pré-Plastificadores	55
5.3 Máquinas de Rosca Recíproca ou Rosca Pistão	56
5.3.1 Semeraro 1978.....	57
5.3.1.1 Principais características.....	58
5.3.1.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores	59
5.3.1.3 Principais funções que a máquina não desempenha	60
5.3.1.4 Principais problemas quanto aos produtos.....	60
5.3.2 Máquina injetora MG ano 1986	60
5.3.2.1 Principais características.....	61
5.3.2.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores	62
5.3.2.3 Principais funções que a máquina não desempenha	63
5.3.3 Injetora de plástico ROMI modelo prática 450.....	63
5.3.3.1 Principais características.....	64

5.3.3.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores	64
5.3.4 Máquinas elétricas	64
5.3.4.1 Principais benefícios.....	66
6 AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS INJETORAS.....	67
6.1 Automação	67
6.2 Robôs	67
6.2.1 Principais aplicações da robotização	68
6.2.2 Vantagens da robotização.....	68
6.3 Sistema de Câmara Quente	69
6.3.1 Vantagens do sistema de câmara quente	70
6.4 Controlador de Temperatura	71
6.5 Unidade de Ar Seco	72
6.5.1 Principais aplicações da unidade de ar seco	73
6.5.2 Vantagens da unidade de ar seco.....	73
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	76

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com o crescente uso de peças fabricadas em material plástico moldadas por injeção, a indústria contribui para evolução tecnológica visando qualidade e aumento da produtividade, para torná-la mais competitiva em um mercado cada dia mais disputado.

Antigamente na produção de peças plásticas injetadas, não havia controle de qualidade, era impossível retirar duas peças iguais em um lote, no que se diz respeito a controle dimensional e qualidade do produto fabricado, por causa dos recursos industriais da época (máquina, mão-de-obra não qualificada, matéria prima e etc), e não haviam muitas exigências sobre os produtos.

Com o crescimento da indústria do plástico, o desenvolvimento de novas matérias-primas e a necessidade de injeção de peças complexas, houve a necessidade de evolução das máquinas de injeção de plásticos, estudos mais profundos sobre a aplicação de cada matéria-prima e o desenvolvimento de periféricos para automação do processo, para torná-lo cada vez mais rápido e eficiente, robôs para extração de peças, câmara quente para eliminação dos galhos, unidades de ar seco para resfriamento do molde.

Hoje em dia o mercado está muito competitivo, ainda mais com o aumento das importações, a indústria busca qualidade dos produtos fabricados e aumento da produtividade para torná-la mais eficiente e competitiva no mercado. A indústria que não acompanha a evolução se torna obsoleta, perdendo mercado para empresas com melhores recursos industriais.

1.1 Objetivo

Este trabalho visa analisar a evolução tecnológica das máquinas injetoras de plástico, seus principais benefícios no processo de injeção e a utilização de periféricos para automação, visando à produtividade.

1.2 Metodologia

Para realização deste trabalho foi utilizada a metodologia de pesquisa bibliográfica, consulta a manuais técnicos, catálogos de produtos de fabricantes dos equipamentos citados neste trabalho e pesquisa de campo.

2 HISTÓRIA DA MÁQUINA INJETORA

Um dos primeiros equipamentos para injeção foi criado em 1878 por um jovem tipógrafo de Starkey, John Wesley Hyatt. Esta máquina consta de um cilindro de aquecimento com câmaras aquecidas a vapor, um bico para descarregar o material de um êmbolo acionado hidráulicamente para pressionar o material fundido. O material utilizado era o nitrato de celulose que foi desenvolvido por Hyatt. Devido à instabilidade do nitrato de celulose, ele acoplou uma prensa hidráulica vertical ao lado de sua máquina, aonde era despejado o material fundido com o molde fechado.

Após a invenção de Hyatt, este equipamento foi sendo aperfeiçoado até chegarmos às máquinas injetoras dos dias atuais, em que os fabricantes procuram diversificá-las visando o desenvolvimento de máquinas que operem com a máxima redução de custos energéticos, oferecendo grande produção e uniformidade das peças injetadas. (MUSEU DO PLÁSTICO, 2009)



Figura 1: John Wesley Hyatt
 Fonte: Museu do plástico, 2009

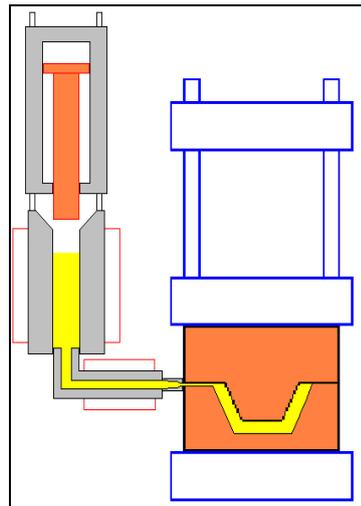


Figura 2: Injetora a pistão “Máquina de Hyatt”
 Fonte: Cefet (2004, p.4-6)

A injeção é o principal processo de fabricação de peças de plástico, cerca de 60% de todas as máquinas de processamento de plásticos são injetoras, com elas podem ser fabricadas peças desde miligramas até 90 kg.

A moldagem por injeção é um processo cíclico de transformação de termoplásticos e termofixos. As várias etapas do processo são executadas em uma ordem que se repete a cada ciclo, produzindo-se uma ou mais peças por vez. As três etapas básicas da moldagem de termoplásticos por injeção são:

1) **Plastificação**: para tornar o material plástico capaz de ser conformado.

2) **Preenchimento, Pressurização e Recalque**: para que o material complete a cavidade do molde, seja comprimido até alcançar a densidade correta e mantenha-se pressionado contra as paredes do molde, reproduzindo sua forma.

3) **Resfriamento:** para que o material solidifique dentro do molde, estabilizando a forma conseguida durante o recalque.

O processo de injeção é adequado para produção em massa, uma vez que a matéria-prima pode geralmente ser transformada em peça pronta em uma única etapa. Ao contrário da fundição de metais e da prensagem de elastômeros, na injeção de termoplásticos com moldes de boa qualidade não surgem rebarbas. Desta forma o retrabalho de peças injetadas é pouco e, às vezes, nenhum. Assim podem ser produzidas mesmo peças de geometria complexa em uma única etapa. (MICHAELI, GREIF, KAUFMANN, VOSSEBURGER, 2005, p.104)

3 CARACTERÍSTICAS DAS MÁQUINAS INJETORAS

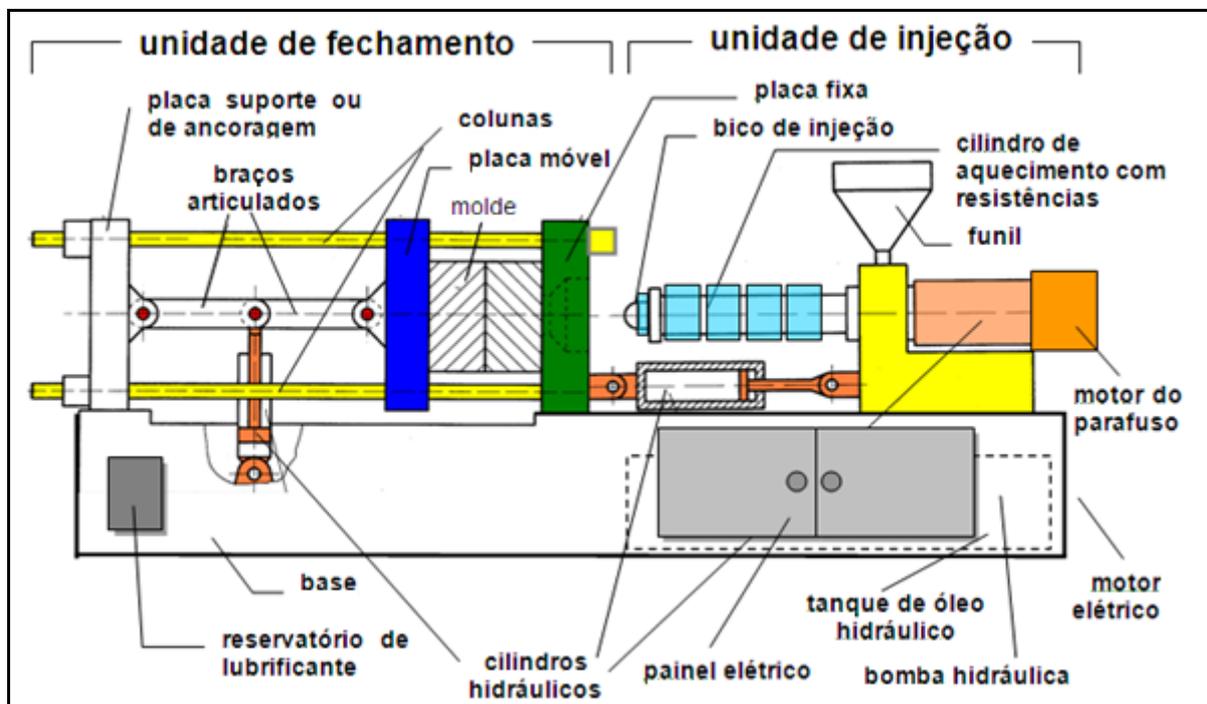


Figura 3: Máquina injetora de plástico

Fonte: Cefet (2004, p.4-9)

3.1 Máquina Injetora Horizontal

São máquinas nas quais o sistema de fechamento, os movimentos do molde ocorrem no eixo horizontal. A seguir, temos na FIG. 4 uma máquina injetora horizontal dividida nas suas principais áreas.

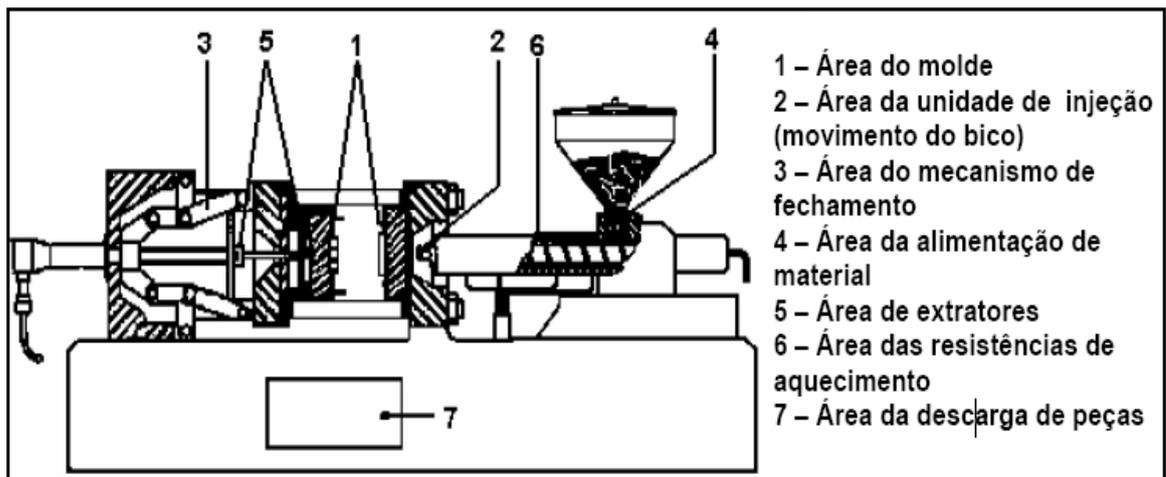


Figura 4: Máquina injetora horizontal

Fonte: Torres (2007, p.5)

3.2 Máquina Injetora Vertical

São máquinas nas quais o sistema de fechamento e os movimentos do molde ocorrem no eixo vertical. A seguir temos a FIG. 5 de uma máquina injetora vertical dividida nas suas principais áreas. (TORRES, 2007, p.5)

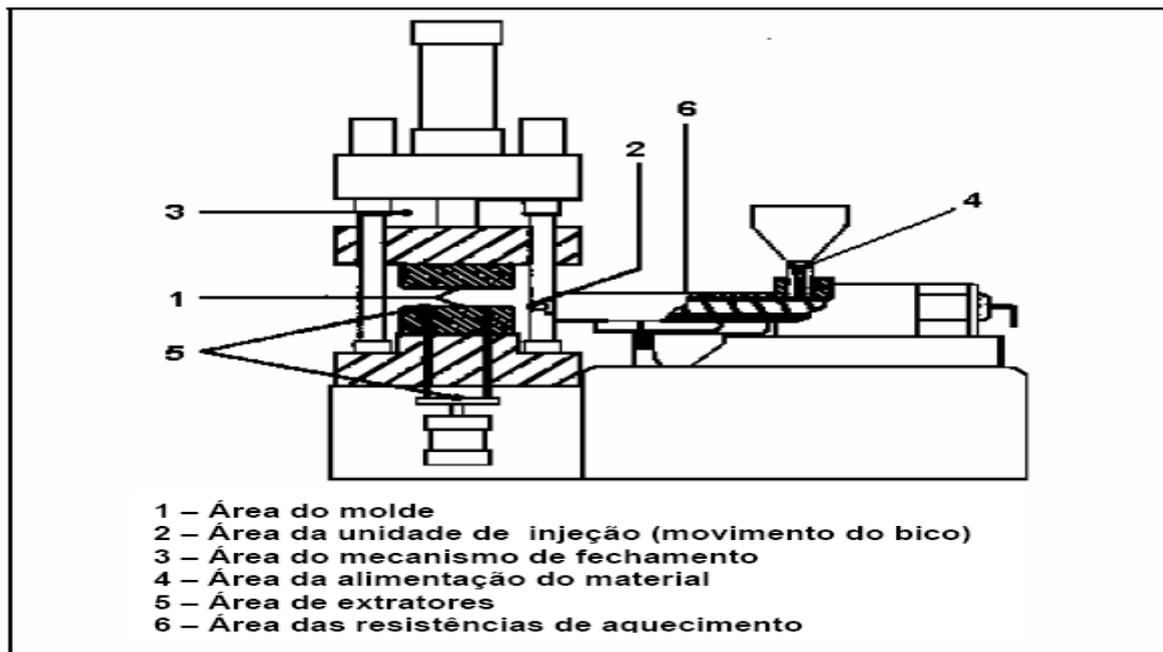


Figura 5: Máquina injetora vertical

Fonte: Torres (2007, p.5)

3.3 Máquina Injetora a 90°

Tanto a unidade de fechamento quanto a de injeção são horizontais, porém, em posição angular, uma à outra.

3.4 Máquina Injetora em Tandem

A máquina possui uma unidade de injeção lateral à unidade de fechamento, na qual são fixados dois moldes. A unidade de injeção alimenta os dois moldes ao mesmo tempo, duplicando a produção. (CEFET, 2004, p.4-6)

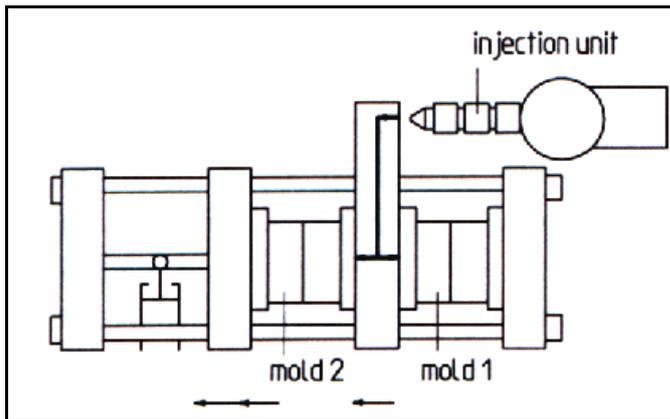


Figura 6: Máquina injetora horizontal com moldes em tandem

Fonte: Cefet (2004, p.4-8)

3.5 Tipos de Máquinas

3.5.1 Manual

Cada etapa do ciclo de moldagem é comandada pelo operador.

3.5.2 Semi-automática

Todas as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, porém início de um novo ciclo só se dá pelo comando do operador.

3.5.3 Automática

Todas as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, havendo o início de um novo ciclo sem a necessidade de

comando do operador. O equipamento só paralisa a operação se houver uma intervenção ou condição de alarme no processo. (TORRES, 2007, p.6)

3.6 Unidade de Fechamento ou Sistema de Fechamento do Molde

A maior vantagem do fechamento articulado sobre o fechamento hidráulico é que o primeiro permite ciclos mais rápidos, as desvantagens são a possibilidade de quebra das colunas ou a deformação permanente do molde por mau ajuste do sistema, ou elevado trabalho de manutenção.

As vantagens do sistema hidráulico são sua alta precisão, posicionamento qualquer, sem perigo de deformações inadmissíveis do molde e quebra de colunas.

As desvantagens são sua baixa velocidade de fechamento, a baixa rigidez da unidade de fechamento, principalmente devido à alta flexibilidade do óleo e elevado consumo de energia. (SENAI, 2004, p.48)

3.6.1 Sistema de fechamento

A unidade de fechamento promove o fechamento do molde com força suficiente para suportar a pressão do material no momento da injeção.

A força de fechamento necessária pode ser obtida através dos seguintes sistemas:

3.6.2 Tipos de fechamento

- Mecânico;

- Hidráulico de Pistão;
- Hidráulico de Braço Flipper;
- Sistema Hidráulico - Mecânico.

3.6.2.1 Mecânico

Esse sistema funciona com alavancas ligadas em dois braços, que recebem o acionamento manual transmitindo a força para as alavancas que se deslocam de acordo com o movimento, abrindo ou fechando o molde. É um sistema antigo, para pequenas produções onde, todos os movimentos dependem do operador.



Figura 7: Sistema de fechamento mecânico de uma injetora mula manca
Fonte: Empresa Plast Car

3.6.2.2 Hidráulico de pistão

Nesse sistema, a abertura e fechamento do molde são feitos por um pistão hidráulico de grande área, ligado a um cilindro hidráulico. A Força de

Fechamento e dada pela pressão do óleo, sendo assim, quanto maior a pressão, maior será a força aplicada no molde.

Qualquer vazamento interno ou externo no sistema de fechamento acarretará na perda de pressão, ocasionando uma diminuição na força de fechamento gerando rebarbas no produto.

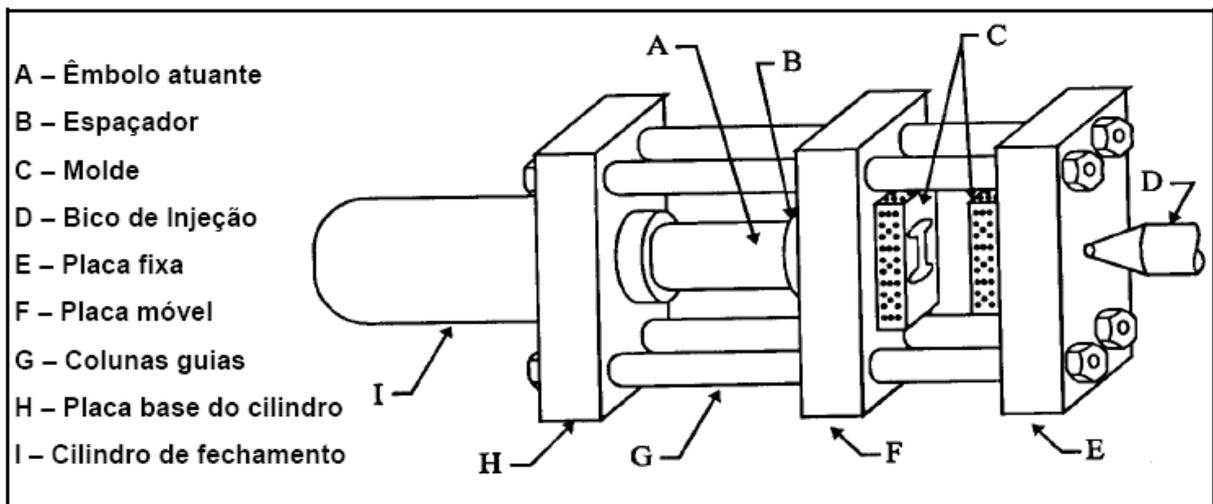


Figura 8: Unidade de fechamento hidráulico de pistão

Fonte: Torres (2007, p.6)

3.6.2.3 Hidráulico de braço flipper

O braço hidráulico que e montado em uma das colunas deve ser movimentado para dentro ou para fora. Esse braço hidráulico tem a função de manter o molde fechado durante a injeção. Os movimentos de abrir e fechar são executados por dois cilindros de baixa pressão, ligados na placa móvel ate fechar o molde, em seguida, o braço flipper entra por trás da placa, e o cilindro de alta pressão promove a pressão de fechamento.

Nesse sistema de fechamento, o que mantém o molde fechado e a pressão do óleo, sendo assim, qualquer problema de vazamento ocorrerá perda de

força gerando rebarbas no produto.

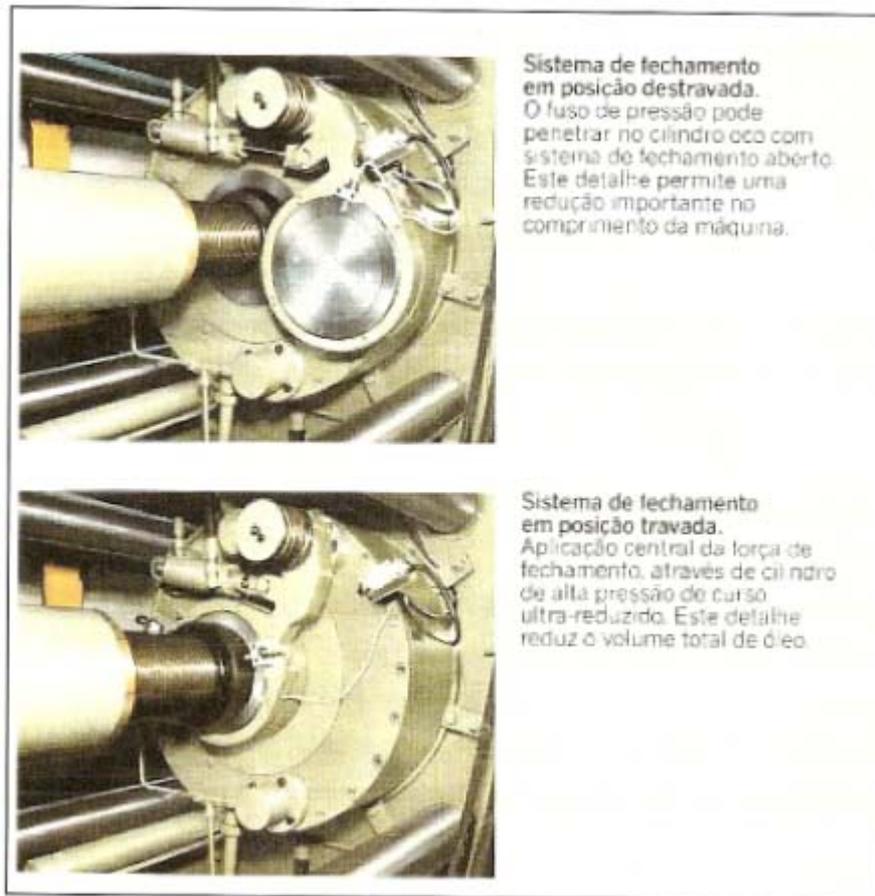


Figura 9: Fechamento hidráulico de braço flipper

Fonte: Senai (2004, p.50)

3.6.2.4 Sistema hidráulico mecânico

A maioria dos fabricantes de máquinas injetoras utilizam esse sistema de fechamento. Um cilindro e um pistão hidráulico de área bem reduzida em relação ao sistema com pistão, está ligado a um sistema de articulações (tesouras ou braçagens) que irão movimentar a placa móvel, fechando ou abrindo o molde. A pressão do óleo (pressão de fechamento), faz com que as articulações se travem, ocorrendo um "estiramento das colunas", gerando a Força de Fechamento.

Na troca de moldes, existem catracas (nas maquinas mais antigas),

ou botões (acionadas por um motor elétrico ou hidráulico), que movimentam todo o conjunto de fechamento, para estabelecer um perfeito ajuste de travamento do molde. (TORRES, 2007)

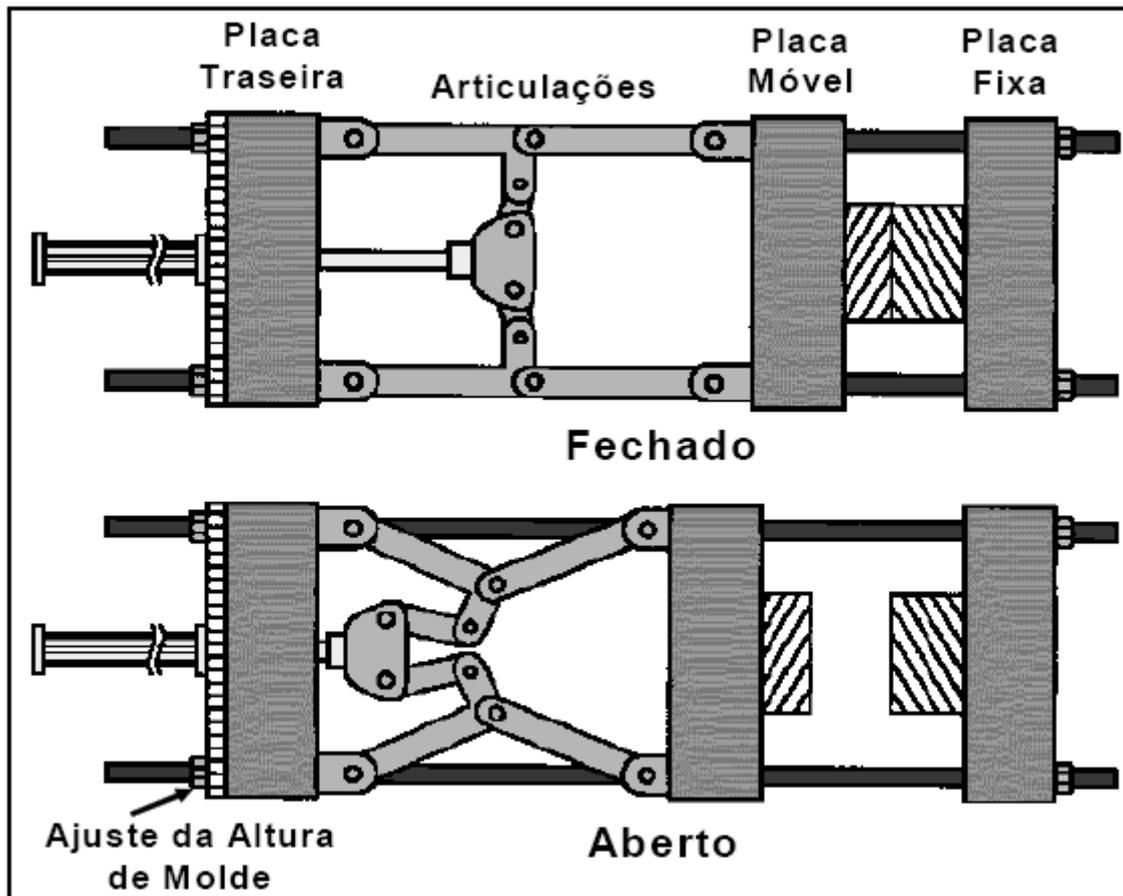


Figura 10: Sistema Hidráulico Mecânico

Fonte: Torres (2007, p.7)

3.6.3 Componentes do sistema de fechamento

Placa Fixa – Permite a fixação e centralização do molde. Suporta a força exercida no molde no momento do fechamento.

Placa Móvel – Suporta a parte inferior do molde. Promove o movimento de abertura e fechamento e pressão no momento do fechamento.

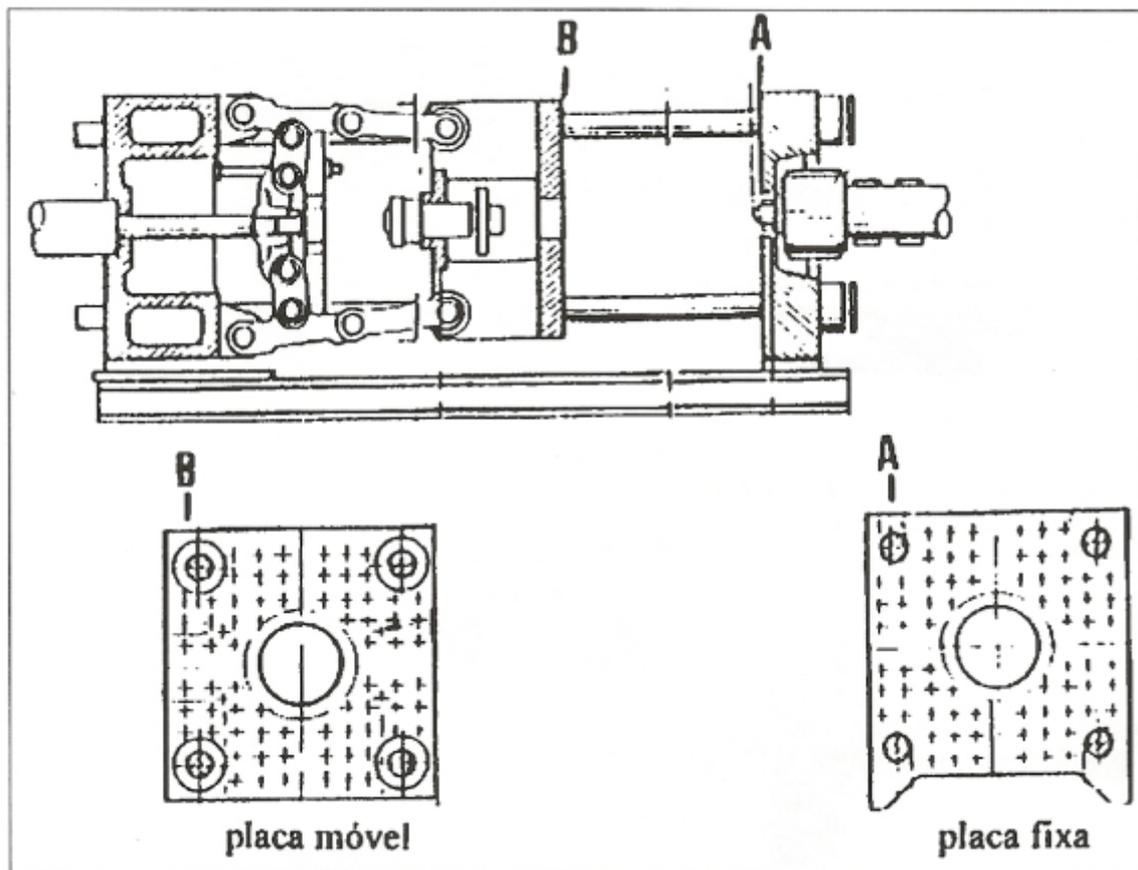


Figura 11: Placa fixa e placa móvel

Fonte: Senai (2004, p.52)

Colunas guias ou tirantes - Sustenta e guia os movimentos de mesa molde e suporta a força no momento do estiramento mecânico.

Sistema de extração - Localizado praticamente junto com o sistema de travamento, é o responsável pelo acionamento da barra extratora, e esta responsável pelo acionamento da placa impulsora do molde e conseqüentemente a extração do produto. Pode ser de acionamento hidráulico, ou sem acionamento, isto é, extrator mecânico, ou extrator de espera.

Extrator mecânico: Esta barra extratora não possui movimento, isto é, fica fixa, presa na estrutura da máquina "aguardando" a abertura do molde. Quando a placa atinge o final do curso de abertura, o furo central permite a passagem desta barra fixa, tocando na placa impulsora do molde acionando os extratores. De concepção mais antiga, não é empregado em máquinas construídas atualmente.

Extrator hidráulico: Como já vimos, os cilindros hidráulicos possuem regulagem independente de pressão e velocidade. As máquinas mais modernas possuem extratores com acionamento hidráulico, facilitando bastante a regulagem. O extrator hidráulico pode entrar em funcionamento em vários pontos de abertura de molde, ou seja, desde o início da abertura até o limite da abertura, quando a placa móvel já estiver totalmente parada, bastando para isto regulagens de micros específicos de acionamento de extração. (SENAI, 2004)

3.7 Unidade de Injeção

Esta unidade recebe o material no estado sólido em forma de grânulos ou pó e transporta-os em quantidades preestabelecidas para a ponta da rosca. Neste caminho o material sofre um aquecimento externo proveniente das resistências elétricas e um esforço de compressão e cisalhamento devido ao movimento da rosca. Suas principais funções são:

- Movimentar-se em sua base permitindo movimentos de avanço e recuo;
- Gerar pressão de contato entre o bico e a bucha do molde;

- Promover o movimento de rotação do parafuso permitindo a dosagem do material;
- Produzir movimento de avanço do parafuso durante a fase injeção;
- Produzir movimento de retorno do parafuso durante a fase de descompressão;
- Fornecer a pressão de recalque.

A unidade de injeção pode ser dividida em dois tipos, que praticamente define o tipo de máquina injetora. (TORRES, 2007, p.7)

- Máquina tipo pistão;
- Máquina tipo rosca.

3.7.1 Máquina tipo pistão

3.7.1.1 Conjunto de injeção por êmbolo

O conjunto de injeção por êmbolo (Figuras 12) é formado por um êmbolo simples, acionado pelo sistema hidráulico, que empurra o material plástico através de um cilindro previamente aquecido por elementos de aquecimento, onde se realizará a plastificação do material. O torpedo (Figura 12) tem a função de homogeneizar a plastificação do material. A Figura 12 parte superior mostra o êmbolo estacionado e o material plástico sendo alimentado no cilindro de injeção aquecido, enquanto na Figura 12 parte inferior mostra o êmbolo acionado levando o material através do cilindro aquecido. (HARADA, 2004, p.29)

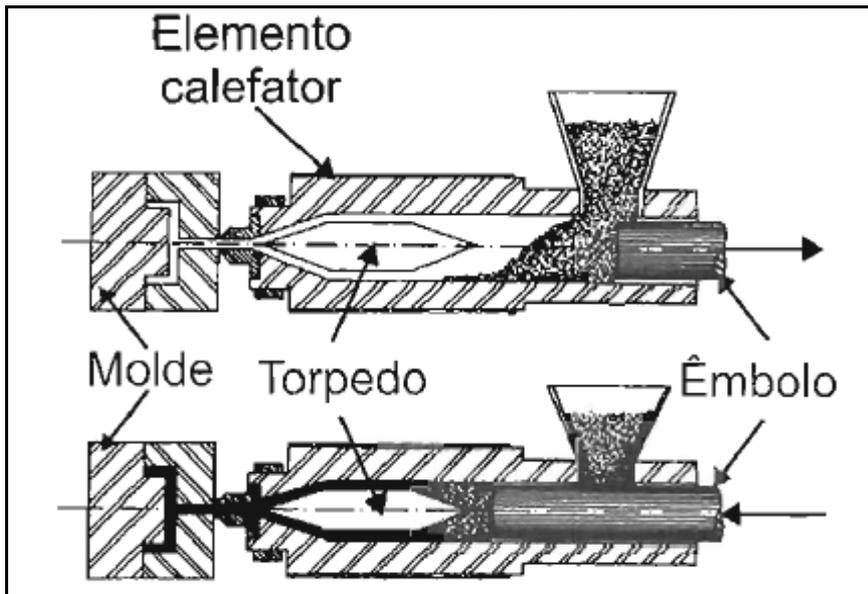


Figura12: Conjunto de injeção por êmbolo

Fonte: Harada (2004, p.29)

3.7.1.2 Conjunto de Injeção por pré-plástificador

A injeção por pré-plastificador consiste na plastificação do material em uma câmara auxiliar colocada acima do cilindro (Figura 13 e 14).

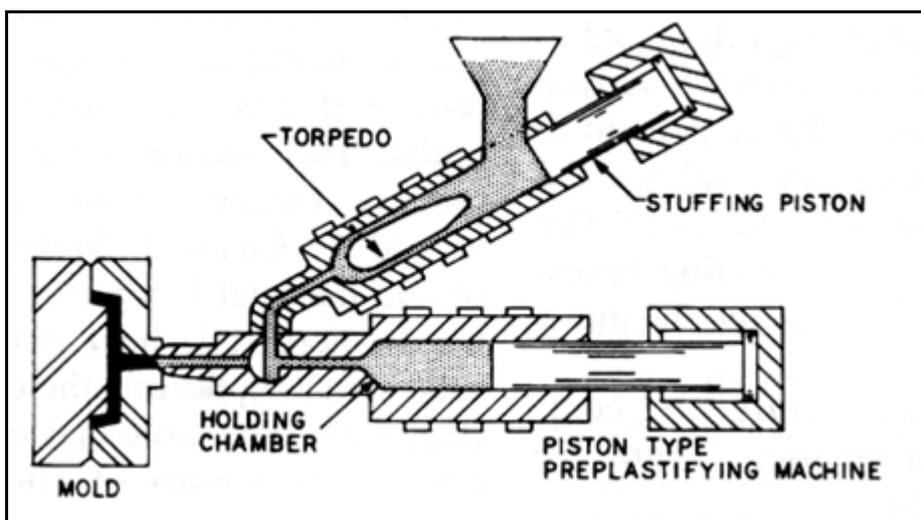


Figura 13: Conjunto de pré-plastificador com pistão

Fonte: Cefet (2004, p.4-7)

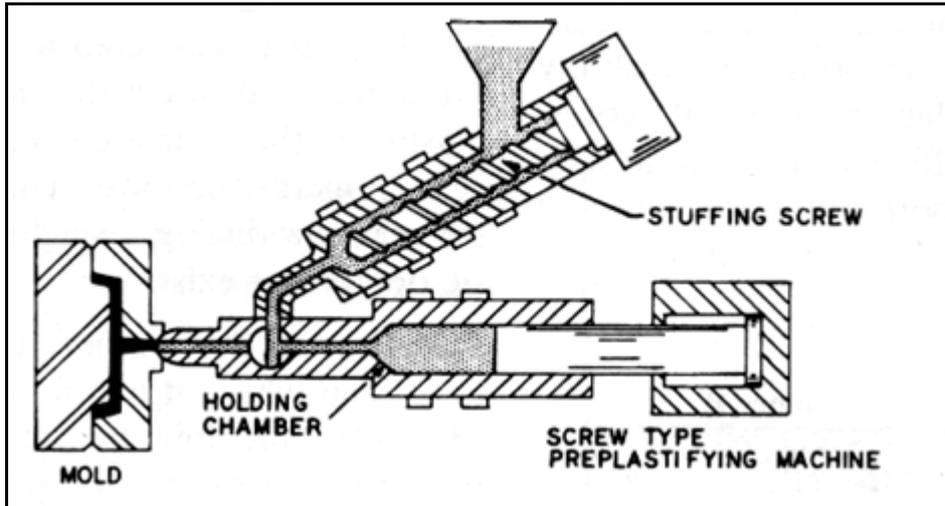


Figura14: Conjunto de pré-plastificador com parafuso fixo

Fonte: Cefet (2004, p.4-7)

3.7.2 Máquina tipo rosca

A injeção por rosca plastificadora é feita por uma rosca sem fim com duas funções: plastificar e homogeneizar o material, através de um movimento rotativo, e injetá-lo, posteriormente, através de um movimento retilíneo. (HARADA, 2004, p.29)

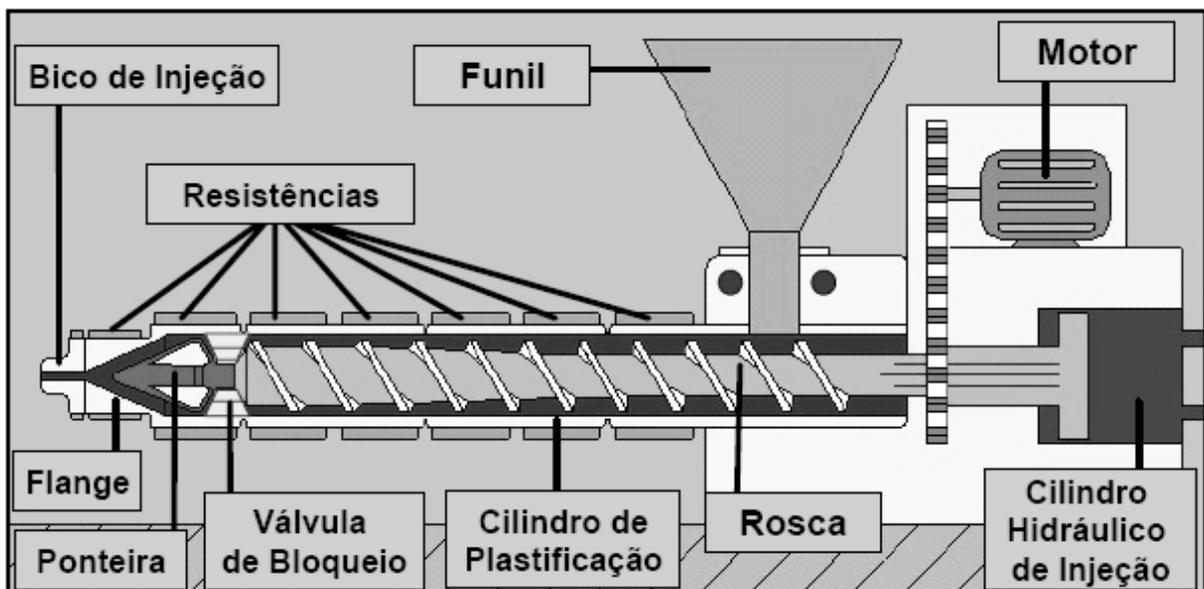


Figura15: Conjunto de injeção por rosca plastificadora
Fonte: Torres (2007, p.8)

3.7.3 Elementos do sistema de injeção

Funil de alimentação - É o depósito de material granulado para ser processado. Sua capacidade depende do tamanho da máquina injetora. Deve ser mantido sempre tapado para evitar que impurezas contaminem o material granulado.

Cilindro de aquecimento - Recebe o material plástico no seu interior e transmite-lhe calor, promovendo a plastificação. (SENAI, 2004, p.54)

Rosca de plastificação - São muito semelhantes e possuem as mesmas funções que as roscas empregadas no processo de extrusão. Porém, além do movimento de rotação, as roscas de máquinas-injetoras devem possuir também um movimento de translação (na direção do seu eixo), atuando e avançando como um pistão para transportar o material já plastificado e dosado para o molde. A rosca deve poder recuar para efetuar a dosagem do material, à medida que o material plastificado se deposita à sua frente, sem passar pelo bico de injeção. Um elemento dosador estabelece o curso de recuo da rosca em função do volume de material necessário.

Devido à relação L/D (comprimento/diâmetro) afetar as características de plastificação, estes valores devem ser dimensionados a fim de se

obter uma velocidade de plastificação adequada ao tamanho e à capacidade de produção da máquina. Também as dimensões da rosca especificam a capacidade de plastificação da máquina. Já a capacidade de injeção esta diretamente ligada com o seu diâmetro e seu curso, pois o volume deslocado pela rosca e igual ao volume de material plástico a ser injetado em um ciclo. De uma forma geral a relação L/D recomendada é de 16 a 24:1 enquanto que a razão de compressão de 3 a 4:1. (CEFET, 2004, p.4-16)

Taxa de Compressão (TC)= v_1/v_2 ($V=H \cdot \text{Passo} \cdot D \cdot Di$)

Relação L/D ou C/D = L/D

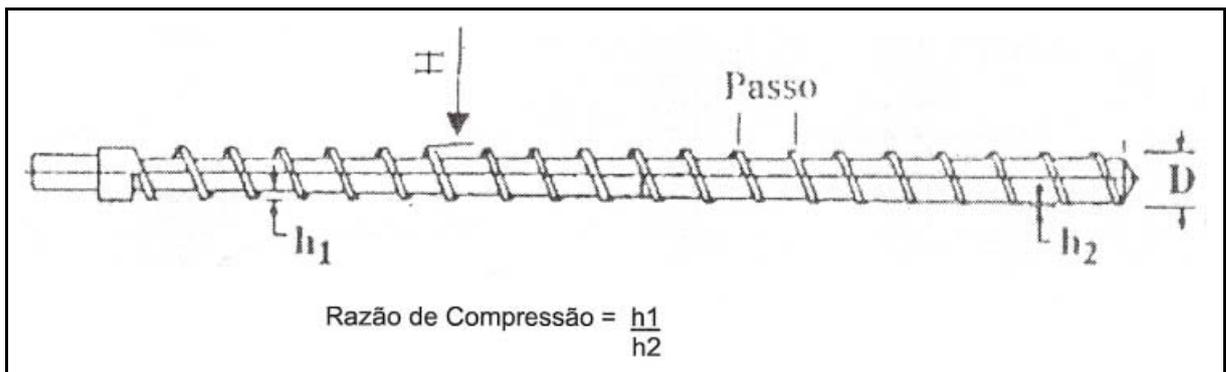


Figura16: Rosca de plastificação

Fonte: Senai (2004, p.54)

Zonas da Rosca

Para se entender melhor como ocorre a homogeneização ou plastificação do polímero na rosca da injetora devemos fazer uma divisão da rosca em zonas, cada qual com sua função. Certamente que não existe uma fronteira onde a partir dela a rosca deixa de exercer uma função e passa para outra. O que ocorre, no entanto, são fenômenos passíveis de separação.

a) Zona de alimentação: Na injetora, essa zona é mais longa que a de alimentação de uma extrusora, porque durante o ciclo de transporte do polímero para a parte frontal da rosca ocorre o deslocamento desta para trás (movimento axial), encurtando gradativamente a zona de alimentação. A teoria de fluxo nessa zona é de difícil conclusão devido à dificuldade de se medir corretamente o coeficiente de atrito entre o material e o barril, e entre o material e a rosca. Também nesta zona o polímero está na forma de grânulos ou pó e, gradativamente, deixa de ter viscosidade coulombiana para adquirir viscosidade newtoniana (após o terceiro ou quarto filete forma-se uma película de polímero fundido na maioria dos casos). A eficiência da alimentação, no entanto, é função direta entre a relação dos coeficientes de atrito acima mencionada. O plástico será arrastado para frente se o atrito entre o material e o canhão for maior que o atrito entre o plástico e a rosca. Por isso é que, em muitos casos, faz-se ranhuras no barril da extrusora para melhorar a eficiência na alimentação. As injetoras quase nunca possuem canhões com essas ranhuras.

b) Zona de transição ou zona de compressão: Neste segundo estágio da rosca, o polímero acelera a passagem do estado sólido para o estado fundido. Portanto, a função dessa zona é comprimir e fundir o material, continuar o bombeamento e, principalmente, homogeneizar ou misturar bem. A fusão inicia na primeira zona e, muitas vezes, não é completada até o final da rosca. Esse evento é comum onde se usa roscas curtas ou materiais com baixo índice de fluidez e até mesmo materiais reciclados. A fusão, nesse caso, se completa durante o tempo de espera na parte frontal da rosca antes de ser injetado e também por cisalhamento nos finos canais do molde.

A taxa de fusão na rosca determina o grau de plastificação do polímero e isto depende da capacidade de plastificação desta. A plastificação depende de vários outros fatores, entre eles da troca de calor por condução, por atrito (cisalhamento), e da razão de compressão da rosca na segunda zona. Uma razão de compressão alta significa rápida passagem do material do estado sólido para o fundido, valendo o inverso.

O comprimento da segunda zona é importante: se for curto, pode causar degradação do polímero e gerar alguma pulsação no processo; se longo, diminui muito a taxa de fusão nessa zona. Em injeção, no entanto, o controle da plastificação se dá muito mais pelo controle da pressão com que a rosca volta para trás do que pela sua geometria.

Pode-se calcular o comprimento correto da segunda zona para determinado polímero e rosca através de equações que descrevem o mecanismo de fusão. Programas de computador comercialmente disponíveis destinados ao projeto de roscas podem ser de grande ajuda. Esses softwares geram as seguintes informações: porcentagem de sólido em relação ao material fundido em cada filete, temperatura do fundido, em cada etapa ou intervalo, pressões nos pontos de interesse término da fusão, torque da rosca, viscosidade em função da temperatura e cisalhamento, entre outros parâmetros.

c) Zona de controle de vazão ou de bombeamento: A terceira zona tem como funções principais estabilizar o fluxo e gerar pressões para trás, ao longo do comprimento da rosca, para garantir a plastificação. Nesta zona é efetivada a mistura dos elementos do sistema polimérico (polímero mais aditivos), e a temperatura é homogeneizada. Nessa zona ocorre alto grau de cisalhamento sobre o material. Em injeção, o controle da vazão não tem tanta importância como

no caso da extrusão. O polímero é dosado de forma intermitente e em quantidades desejadas, sendo que essa dose é acumulada defronte a rosca, onde fica depositado até o momento da injeção. A flutuação de fluxo durante a dosagem também não afeta o processo. Na extrusão, por outro lado, qualquer flutuação da vazão torna-se crítica, afetando as propriedades dimensionais do produto final.

As equações de fluxo para a terceira zona são menos complicadas que as da primeira e segunda. Essas equações mostram que os seguintes parâmetros afetam o fluxo: altura h e largura b do filete, comprimento da zona em questão, rotação da rosca, ângulo da hélice da rosca, viscosidade do polímero e gradiente de pressões nesta região. (MANRICH, 2005)

Anel de Bloqueio - Evita o refluxo de material no momento da Injeção.

Ponta da rosca - Serve como tope para o anel de bloqueio e também para facilitar na homogeneização da temperatura da massa.

Bico de Injeção - Permite a passagem do material do interior do cilindro para o interior do molde sem que haja contato externo ou perda.

3.8 Sistema de Acionamento e Controle

3.8.1 Base

É uma estrutura de forma retangular, fundida ou de cantoneiras soldadas, que apoiada no piso, sustenta as demais partes da máquina e contém os componentes do sistema hidráulico. (HARADA, 2004, p.28)

3.8.2 Sistema hidráulico

A função do sistema hidráulico é a de transformar energia hidráulica em energia mecânica conduzindo-a através do sistema, oferecendo-nos condições de poder aplicá-la em pontos e tempos diferentes para se efetuar movimentos.

O princípio básico do acionamento de um movimento linear em qualquer máquina hidráulica é o seguinte: uma bomba comprime o óleo e uma válvula o direciona para uma das entradas de um atuador (cilindro). A pressão do óleo, controlada por outra válvula, empurra o êmbolo (e a haste presa no mesmo) com uma determinada velocidade, por sua vez controlada por um terceiro tipo de válvula. A parte da máquina que se quer movimentar deve estar interligada à haste deste cilindro.

Os principais elementos de um sistema hidráulico são mostrados pela figura 17 e descritos a seguir:

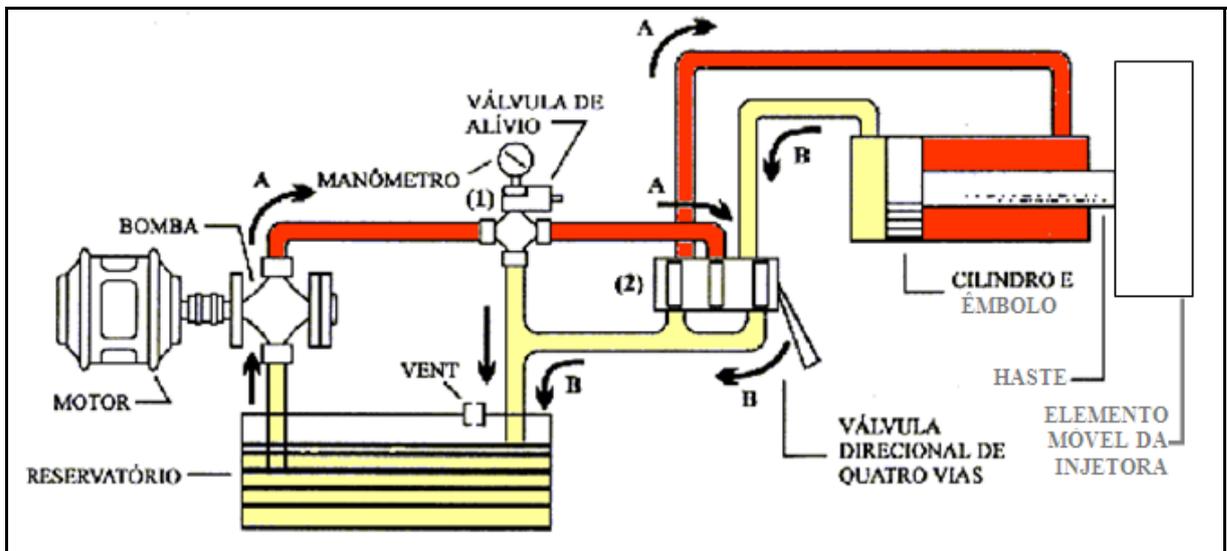


Figura 17: Sistema Hidráulico

Fonte: Cefet (2004, p.4-18)

3.8.2.1 Reservatório e filtro

O óleo deve ser armazenado em um tanque na própria máquina. Geralmente, o tanque possui um filtro na sucção e outro no retorno, para evitar que partículas indesejadas causem transtornos, como entupimento de válvulas e linhas de óleo.

3.8.2.2 Trocador de calor

É importante que a temperatura do óleo seja mantida entre 40 e 60°C, a fim de garantir movimentos uniformes sem perdas de pressão, vazamentos, engripamento dos elementos do sistema e degradação.

Por isso, junto aos reservatórios, as máquinas possuem um trocador de calor, que consiste de um cilindro tampado, com água circulante proveniente de uma torre, e com canais no seu interior, por onde deve passar o óleo a ser resfriado. É semelhante ao condensador de uma unidade de água gelada.

A temperatura muito baixa do fluido hidráulico faz com que o óleo permaneça muito viscoso atribuindo ao processo, além de outros problemas, velocidades muito lentas. Desta forma, o início do processamento deverá ser precedido de um pré-aquecimento do sistema hidráulico, pela sua movimentação pelo sistema (mas, sem acionar movimentos).

3.8.2.3 Bomba

Para que haja vazão de óleo pelo sistema e pressão suficiente para movimentar os atuadores, um motor elétrico faz o rotor de uma bomba girar,

succionando o óleo do reservatório e o mandando para os atuadores. Existem vários tipos de bombas, mas as mais utilizadas em máquinas-injetoras são as bombas de palhetas de vazão fixa.

Em algumas máquinas, uma ou mais bombas adicionais são incorporadas ao sistema, para fornecer vazão e pressão suficientes para a realização de movimentos simultâneos de diversas partes móveis.

Muitas vezes, o processo exige altas pressões de injeção, durante poucos segundos. Assim, ao invés de prover a máquina de uma bomba de altíssima pressão, é mais econômico utilizar um acumulador em conjunto com uma bomba que supra as necessidades dos demais movimentos. Os acumuladores são cilindros que utilizam uma bolsa de nitrogênio para liberar pressão acumulada sobre o óleo, em estágios específicos do ciclo.

3.8.2.4 Válvulas

Existem três tipos fundamentais de válvulas em uma máquina injetora. As reguladoras de vazão, as reguladoras de pressão e as direcionais.

Como a maioria das bombas fornece vazão e pressão constantes (as máximas) e cada movimento do ciclo precisa de diferentes velocidades e pressões, estas válvulas tratam de diminuir seus valores para que o sistema obedeça a programação feita pelo operador da máquina. Estas válvulas são chamadas de proporcionais, pois permitem regulagens entre o mínimo e o máximo permitido pelo sistema. Estas válvulas possuem um solenóide que controla automaticamente suas aberturas, a partir de informações provenientes do painel de controle e programação da máquina.

Algumas válvulas controladoras de pressão e vazão são reguladas manualmente (não são válvulas-solenóide) e controlam alguns movimentos menos críticos da máquina. Outro tipo de válvula de pressão são as limitadoras de pressão máxima e mínima do sistema, não permitindo a circulação de óleo até os atuadores caso a pressão não se encontre dentro destes limites.

As válvulas direcionais, por sua vez, não são proporcionais, pois são do tipo tudo aberto/tudo fechado, mas podem ter solenóides, para que possam obedecer às teclas painel de controle e/ou à programação realizada. A função destas válvulas é permitir que o óleo entre no atuador do movimento requisitado e que o mesmo ocorra no sentido desejado (avanço ou recuo).

3.8.2.5 Atuadores lineares (cilindros)

São responsáveis pelos movimentos lineares da máquina, como fechamento e abertura do molde (movimento da placa móvel), placa extratora, avanço e recuo da unidade de injeção, avanço da rosca para injeção e recuo da rosca para descompressão.

São, basicamente, cilindros cujos interiores são divididos em duas câmaras de tamanho variável, de acordo com o movimento do êmbolo. No cilindro que aciona o movimento da placa móvel, por exemplo, quando o óleo entra em uma das câmaras, empurra o êmbolo cuja haste movimentada os braços articulados e fecha o molde. Para abrir o molde, o centro da válvula direcional deste cilindro é movimentado pelo seu solenóide e permite que o óleo entre pelo outro lado do êmbolo, na outra câmara. Assim, o óleo empurra o êmbolo para o sentido contrário

e a haste faz com que os braços articulados recolham-se, abrindo o molde. O óleo que estava no outro lado do êmbolo é expulso do cilindro e retorna para o tanque.

3.8.2.6 Atuadores rotativos (motores hidráulicos)

Eles são o contrário das bombas, pois transformam a energia do óleo em movimento de um elemento da máquina, como a rotação da rosca e as porcas da placa suporte. São mais empregados os motores de palhetas e de pistões.

3.8.3 Sistema pneumático

Tem duas funções básicas. Uma é realizar movimentos de partes da máquina, de forma muito parecida com o realizado pelo sistema hidráulico, com cilindros e válvulas, mas utilizando ar comprimido no lugar do óleo. Porém, devido às menores pressões, é utilizado apenas para movimentar elementos leves, como a porta do operador e alguns tipos de gavetas em moldes.

A segunda função é atuar na extração dos moldados, através de uma válvula que, ao ser aberta, permite que o molde sobre o ar comprimido contra a superfície do moldado. Para comprimir o ar e conduzi-lo até a máquina são utilizados compressores industriais. (CEFET, 2004)

3.8.4 Sistema elétrico

Recebe a energia elétrica e através dos condutores distribui para aparelhos dando condições de através de comandos enviar mensagens para o acionamento dos elementos. (SENAI, 2004, p.59)

Serve para acionar o motor da bomba hidráulica, permitir o acionamento automático via painel de controle e programação de todos os seus movimentos e demais recursos, controlar as resistências do cilindro de aquecimento e possibilitar a instalação e o controle de sistemas opcionais como aquecimento do molde, gavetas, machos rotativos e manipuladores, entre outros.

O painel elétrico normalmente está embutido na máquina, fechado com portas tipo armário, acessadas pela parte frontal. Ali se encontram chaves contactoras, relés, fusíveis, e todo o sistema de controle da máquina, CPU, fonte, cartões de entrada/saída, etc.,. (CEFET, 2004, p.4-19)

3.8.5 Sistema de aquecimento

Transforma energia elétrica em energia térmica oferecendo condições de controlar o cilindro de plastificação.

3.8.6 Pirômetro

Permite a leitura e ajuste de temperatura pré-estabelecida.

Capta a mensagem e imediatamente responde em função do ajuste de temperatura do mostrador permitindo assim que haja o mínimo de variações nas temperaturas do cilindro durante o processo.

Comanda o acionamento das chaves contactoras.

3.8.7 Chaves contactoras

Recebe ordem do pirômetro para alimentar as resistências com energia a fim de elevar o calor ou cortar a energia para não exceder o calor.

3.8.8 Amperímetro

Mede a amperagem consumida pelos elementos.

3.8.9 Cabos termoelementos

Emiti constantemente mensagens das temperaturas no local onde se encontra, para os pirômetros.

3.8.10 Resistências elétricas

Transforma energia elétrica em térmica elevando a temperatura do cilindro estabelecido no pirômetro.

3.8.11 Temporizador

Estabelece o tempo de determinadas funções do equipamento promovendo um ciclo constante no transcorrer do processo.

3.8.12 Chaves fim de curso

Energiza ou corta a energia do sistema hidráulico interrompendo ou acionando novo movimento.

3.8.13 Painel de controle

Nas máquinas modernas, é possível introduzir os parâmetros através de um teclado, por meio de menus, sendo possível o armazenamento de regulagens.

No painel da máquina também pode-se escolher em ciclo manual, semi-automático e automático. O ciclo manual é pouco usado, e tem utilidade para o controle individual de cada etapa da moldagem, já o ciclo semi-automático a cada ciclo realizado o operador deverá acionar o início de um novo ciclo, e o ciclo automático é utilizado nas altas produções, dando um grande rendimento de produção.

3.8.14 Sistema de refrigeração

Recebe água industrial da rede de alimentação e proporciona a refrigeração necessária para o sistema hidráulico, unidade de injeção e molde.

➤ Refrigeração da unidade de injeção

Evita que o material se plastifique na entrada da alimentação não interrompendo a caída do material na rosca.

➤ Resfriamento do óleo

Mantém baixa a temperatura do óleo evitando que perca sua viscosidade e danifique os componentes do sistema. (SENAI, 2004)

3.8.15 Sistema de lubrificação

O contato entre partes metálicas deslizantes prejudica a suavidade e precisão dos movimentos e causa seu desgaste. Numa máquina-injetora, é necessário lubrificar, por exemplo, as guias de deslizamento da placa móvel e da unidade injetora (que ficam apoiadas sobre a base da máquina), as buchas dos furos de coluna e as sapatas de deslizamento da placa móvel, as porcas e a sapata de deslizamento da placa suporte, as articulações do sistema de braçagem, as colunas-guia da placa extratora, engrenagens, correntes, etc. Dois tipos de sistemas de lubrificação podem ser usados.

Máquinas com lubrificação por graxa possuem um reservatório do qual o lubrificante é bombeado (por bomba de mola acionada por válvula direcional hidráulica ou por motor elétrico, geralmente), para blocos que distribuem graxa por mangueiras até os bicos de graxa nos pontos citados acima. Ao invés da graxa, a lubrificação também pode ser feita com um óleo específico para lubrificação, mais viscoso que o óleo hidráulico. (CEFET, 2004, p.4-20)

4 CAPACIDADE DA MÁQUINA INJETORA

Antes de iniciar o projeto do molde é necessário determinar a capacidade desejada da máquina injetora, de forma a estabelecer o tipo adequado de máquina injetora a ser empregada. Quando esta já estiver estabelecida, as

informações necessárias quanto aos dados de projeto para a montagem, área da placa, distância entre as colunas, etc., podem ser obtidas no catálogo do fabricante. (HARADA, 2004, p.33)

4.1) Capacidade de Injeção (C_i): Definida como a quantidade máxima em gramas de material "B" que pode ser injetado por ciclo, sendo fornecida pelo produtor da máquina a capacidade de injeção do material de referência "A" que é o Poliestireno (PS), cuja densidade a 23°C é próxima de 1g/cm³.

$$C_{iB} = C_{iA} \frac{\rho_B}{\rho_A} \frac{v_A}{v_B} [g]$$

onde, ρ = densidade e v = volume dos materiais A (PS) e B (teste), respectivamente.

4.2) Capacidade de Plastificação (C_p): É a quantidade máxima de material "B" que a injetora pode homogeneizar em um período de tempo. Nesse caso, C_p especificado pelo fabricante da máquina refere-se também ao PS ("A"). Para encontrar o C_p para o material que se deseja injetar (B), utiliza-se a equação:

$$C_{pB} = C_{pA} \frac{c_A}{c_B} \frac{T_A}{T_B} \rightarrow C_p = w \cdot n$$

onde T é temperatura; c é o calor específico dos materiais. Se o número de ciclos por hora (n) for conhecido, bem como o peso injetado por ciclo (w), é possível

calcular quanto de material é plastificado por hora durante um processamento determinado.

4.3) Pressão de Injeção (P_{inj}): É a pressão exercida pelo pistão sobre o material durante o preenchimento.

$$P_{inj} = [\text{bar}] \text{ ou } [\text{MPa}]$$

Essa pressão pode se referir àquela pressão necessária apenas para preencher o molde sem pressurização (pressão de injeção de "preenchimento propriamente dito") ou pode se referir à pressão necessária para preencher o molde até o final da pressurização máxima, que é o término do preenchimento sob alta pressão (pressão de injeção de pressurização), e nesse caso, é a pressão de comutação. Pressão de comutação é aquela que "muda de para", isto é, muda de pressão de pressurização para pressão de recalque.

4.4) Pressão de Recalque (P_{rec}): É a pressão após a pressurização. Normalmente a pressão de pressurização comuta para a de recalque, assumindo valores inferiores. É importante, na maioria das vezes, que o recalque seja inferior à pressurização para evitar a geração de tensões internas na peça final.

4.5) Pressão de Fechamento: Toda injetora deve manter o molde bem fechado enquanto pressões (injeção/pressurização e recalque) são exercidas. Essas pressões forçam a abertura das placas do molde e pode vazar material

(gerando rebarbas). A força de fechamento de uma injetora deve ser sempre superior à máxima pressão de processo. Para calcular a força de fechamento necessária, deve-se conhecer a área da cavidade do molde onde o polímero fundido está exercendo pressão. Essa área pode ser a área projetada da cavidade no plano perpendicular à direção da pressão. Força de fechamento (F_f) é dada pela equação, onde P_{cav} é a pressão na cavidade:

$$P_{CAV} \cong \left(\frac{1}{2} a \frac{1}{3} \text{ de } P_f \right) \therefore$$

$$F_f = A.P_{CAV} = \left(\frac{1}{2} a \frac{1}{3} \right) A.P_f$$

$$P_{CAV} = P_{MANOMETRO} \cdot \frac{D^2_{EMBULO}}{D^2_{ROSCA}}$$

Pressões de fechamento podem ultrapassar 3000 toneladas, quando se injeta peças com pressões na cavidade com valores entre 300 a 1400 Kg/cm², projetada da peça.

4.6) Peso (w) de Moldagem por Ciclo: Para calcular o peso injetado em cada ciclo, deve-se calcular o volume total (v) da cavidade, mais os canais, e multiplicar pela densidade (p). Para preservar a injetora, nunca se deve ultrapassar 80% da capacidade de injeção da máquina. O número de ciclos por hora (n) pode ser calculado:

$$n = \frac{0.8C_p}{w.60}$$

$$w = v.\rho$$

4.7) Velocidade de Injeção (V_{inj}):

$$v_{inj} \Rightarrow [cm^3 / s]$$

É a velocidade com que a massa é enviada para dentro do molde durante a fase de preenchimento. Como em uma mesma máquina é possível utilizar uma infinidade de tipos de moldes com áreas dos canais diferentes, a especificação e a regulação da velocidade de injeção é feita tendo como base o movimento do pistão da injetora, cujo diâmetro não varia. Sabendo-se a velocidade do pistão que possui área fixa, sabe-se a vazão do material, bastando relacionar essa vazão com a área de qualquer canal por onde o fluido polimérico vai escoar. Algumas máquinas trazem como especificação da velocidade máxima apenas o valor da vazão máxima (cm^3/s).

As injetoras são projetadas para trabalhar, muitas vezes, com materiais ou famílias de materiais específicos, e o projeto então dependerá das características do termoplástico em questão. Para injetar poliestireno, por exemplo, a injetora pode ter baixa pressão de injeção e a rosca deve trabalhar a altas rotações sob baixo torque, consumindo, portanto, pouca energia. Por outro lado, o policarbonato e o PVC necessitam de um sistema de alta pressão de injeção, e devem trabalhar em baixa rotação da rosca, gerando mesmo assim alto torque durante a mistura dos mesmos, consumindo, por sua vez, mais energia que o caso

anterior. O polietileno de alta densidade, por outro lado, trabalha com pressões de injeção até maiores que as pressões usadas para o PVC. A rotação da rosca é também superior, gerando um torque bem alto durante a mistura. Esse material suporta essas condições por não se degradar tão facilmente como o PVC e o PC. Conclui-se com isso que não existe uma relação direta entre rotação, pressão de injeção e o torque necessário. Na compra de uma injetora deve-se considerar pelo menos a família de polímeros a ser utilizada, para não se investir mais do que o necessário.

O projeto de uma injetora é função, além do tipo de material, do tamanho ou peso da peça a ser injetada. Normalmente, o que interessa bastante ao transformador é o projeto da rosca dessa injetora, além, obviamente, das demais especificações, tais como capacidade de injeção, pressão de fechamento, pressão de injeção.

A rosca tem papel fundamental no processo de injeção. Ela pode ser alterada em suas especificações, sem modificar outras características da injetora. Se compararmos uma rosca de extrusão com uma de injeção, podemos concluir que esta última apresenta exigências menos críticas quanto à sua performance, devido à qualidade do fundido em injeção ser aparentemente menos crítica, visto que, em extrusão, o polímero deve ter uma homogeneização completa, a uma temperatura bem controlada, apresentando características de fluidez ideal. Em injeção, a vazão não é crítica, além de se trabalhar a baixas taxas de produção. Em extrusão o material deve ser completamente fundido, ao passo que, em injeção, pode-se trabalhar com o polímero não totalmente plastificado, pois por cisalhamento nos canais do molde haverá a complementação da plastificação, apesar disso não ser recomendado por causar variações de fluxo de preenchimento e variações nas

propriedades da peça injetada. Existem roscas que satisfazem um grupo muito grande de materiais, mas não de forma otimizada para cada um deles.

A rosca recíproca de uma injetora possui um comprimento médio de 18 passos (para o tipo onde o diâmetro é igual ao passo) ou de 28 passos quando se tem degasagem no processo. A razão de compressão pode variar de 1,8 a 2,4 para polímeros como o PC, PVC e plásticos de engenharia em geral, de 2,0 a 3,0:1 para as poliolefinas e 3,0 a 4,5 para alguns tipos de náilons (alguns tipos de náilons podem trabalhar com roscas cuja razão de compressão chega a 5,5:1). (MANRICH, 2005)

5 EVOLUÇÃO DAS MÁQUINAS INJETORAS

5.1 Máquinas Injetoras com Pistão

A primeira máquina deste gênero foi a de Hyatt, já descrita. Para melhorar a uniformização da temperatura e homogeneização do material, foi incorporado um torpedo no centro do cilindro de aquecimento, à frente do pistão de injeção.

Atualmente, este tipo de máquina só é empregado em algumas aplicações especiais. (HARADA, 2004, p.29)

5.1.1 Injetora de plástico mula manca



Figura 18: Máquina injetora mula manca

Fonte: Empresa Plast Car, 2009

1. Unidade de fechamento
2. Unidade de Injeção
3. Alavanca de acionamento do sistema de fechamento
4. Válvula de ajuste de pressão do sistema hidráulico
5. Alavanca de acionamento do sistema de injeção
6. IHM de ajuste da temperatura do canhão

5.1.2 Principais características

- Máquina Injetora manual, Tipo pistão;
- Sistema de fechamento mecânico, realizado por sistema articulado “tesoura ou

joelhos” acionado por alavanca, conforme a figura 19.

- Sistema de injeção fixa, realizado através de pistão hidráulico acionado por válvulas e comandado por alavanca, conforme a figura 20;
- Ajuste da altura do molde manual, realizado através de porca e contra-porca individual;
- Sistema mecânico e fixo de extração;
- A regulagem do processo é realizada através do controle da temperatura do canhão e pela pressão hidráulica do êmbolo de injeção.



Figura 19: Unidade de Fechamento (antes e depois de acionada)

Fonte: Empresa Plast Car, 2009



Figura 20: Unidade de Injeção

Fonte: Empresa Plast Car, 2009

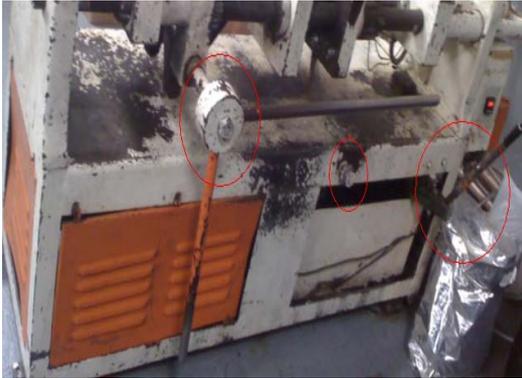


Figura 21: Dispositivos de acionamento e controle

Fonte: Empresa Plast Car, 2009

5.1.3 Principais funções que a máquina não desempenha

- Controle de tempo e velocidade;
- Recalque;
- Descompressão;
- Dosagem;
- Homogeneização da matéria prima.

5.1.4 Principais problemas quanto ao produto

Devido ao não controle automático de tempo e velocidade, dependendo da habilidade manual do operador, não há estabilidade no processo, gerando muitas peças com falhas de preenchimento ou com excesso de rebarbas.



Figura 22: Peças fabricadas pela injetora mula manca

Fonte: Empresa Plast Car, 2009

Devido à unidade de injeção ser por êmbolo, e por não possuir sistema de homogeneização completa do material, impossibilita a utilização de pigmentação (O AUTOR).

5.2 MÁQUINAS INJETORAS COM PRÉ-PLASTIFICADORES

Neste tipo de máquina, pouco utilizada hoje em dia, existe uma câmara de plastificação montada horizontalmente ou inclinada sobre o cilindro de injeção. Nestes pré-plastificadores, o material é aquecido até cerca de 20 a 30°C abaixo da temperatura ideal de injeção. O material pré-aquecido é então lançado no cilindro de aquecimento de propriamente dito, por um pistão ou uma rosca. Na seqüência, o pistão (êmbolo) do cilindro principal injeta sob pressão a massa plastificada na cavidade do molde.

Este sistema apresenta algumas vantagens sobre as máquinas de pistão:

- Melhoria na homogeneidade térmica;
- Emprego de menor pressão de injeção;

- Velocidade de injeção mais rápida;
- Temperaturas mais baixas no cilindro;
- Maior capacidade de injeção e de plastificação.

5.3 MÁQUINAS DE ROSCA RECÍPROCA OU ROSCA-PISTÃO

Não possuem um pistão no cilindro de aquecimento e sim uma rosca (parafuso), semelhante à das extrusoras, para plastificar o material alimentado ao funil. Para que o material plastificado e dosado no cilindro (canhão) seja injetado, a própria rosca para de girar e avança com alta pressão, agindo como um êmbolo.

Esta é a configuração de máquina mais encontrada atualmente, em diferentes níveis de sofisticação, tamanho e aplicações. Suas principais vantagens são:

- Rápida plastificação do material plástico;
- Melhor homogeneidade na temperatura da massa fundida;
- Facilidade para plastificar materiais de alta viscosidade;
- Melhor aproveitamento de material recuperado;
- Menores perdas de pressão;
- Limpeza do cilindro mais rápida e eficiente. (CEFET, 2004, p.4-5)

5.3.1 Semeraro 1978

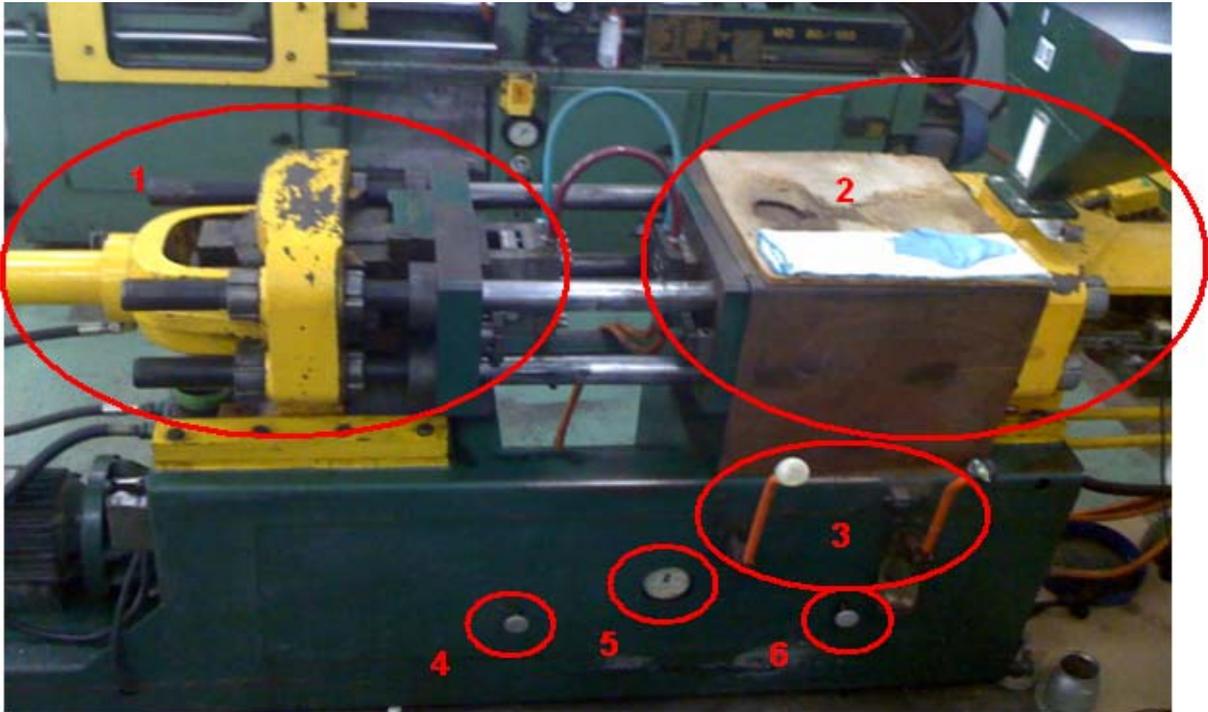


Figura 23: Máquina injetora Semeraro 1978

Fonte: Empresa Provalín, 2009

1. Unidade de fechamento
2. Unidade de Injeção
3. Alavanca de acionamento do sistema de fechamento e de injeção
4. Válvula de ajuste de pressão hidráulica da unidade de fechamento
5. Manômetro de pressão do sistema hidráulico
6. Válvula de ajuste de pressão hidráulica da unidade de injeção



Figura 24: Painel de aquecimento da máquina injetora Semeraro 1978

Fonte: Empresa Provalin, 2009

5.3.1.1 Principais características

- Máquina injetora manual, tipo rosca;
- Sistema de fechamento hidráulico mecânico, realizado por sistema articulado, que por sua vez é acionado por um pistão hidráulico horizontal comandado por alavanca;
- Sistema de injeção fixa, realizado através de rosca acionada por motor elétrico e comandado por alavanca;
- Ajuste da altura do molde manual, realizado através de porca e contra-porca individual, conforme o destaque 1 da figura 25;
- Sistema mecânico e móvel de extração.



Figura 25: Unidade de Fechamento da máquina injetora Semeraro 1978

Fonte: Empresa Provalín, 2009



Figura 26: Unidade de Injeção da máquina injetora Semeraro 1978

Fonte: Empresa Provalín, 2009

1: Sensor de posicionamento da rosca, responsável pela dosagem do material.

5.3.1.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores

- Plastificação e homogeneização do material através da rosca com movimento de rotação, e injeção através do movimento retilíneo;
- Dosagem do material realizada pela rosca, através do ajuste manual de

sensores para o posicionamento da mesma;

5.3.1.3 Principais funções que a máquina não desempenha

- Controle de tempo e velocidade;
- Recalque;
- Descompressão.

5.3.1.4 Principais problemas quanto ao produto

Devido ao não controle automático de tempo e velocidade, dependendo da observação visual do operador para os sinais emitidos pelo painel de aquecimento, não há estabilidade no processo, gerando peças com falhas de preenchimento ou com rebarbas.

5.3.2 Máquina injetora MG ano 1986

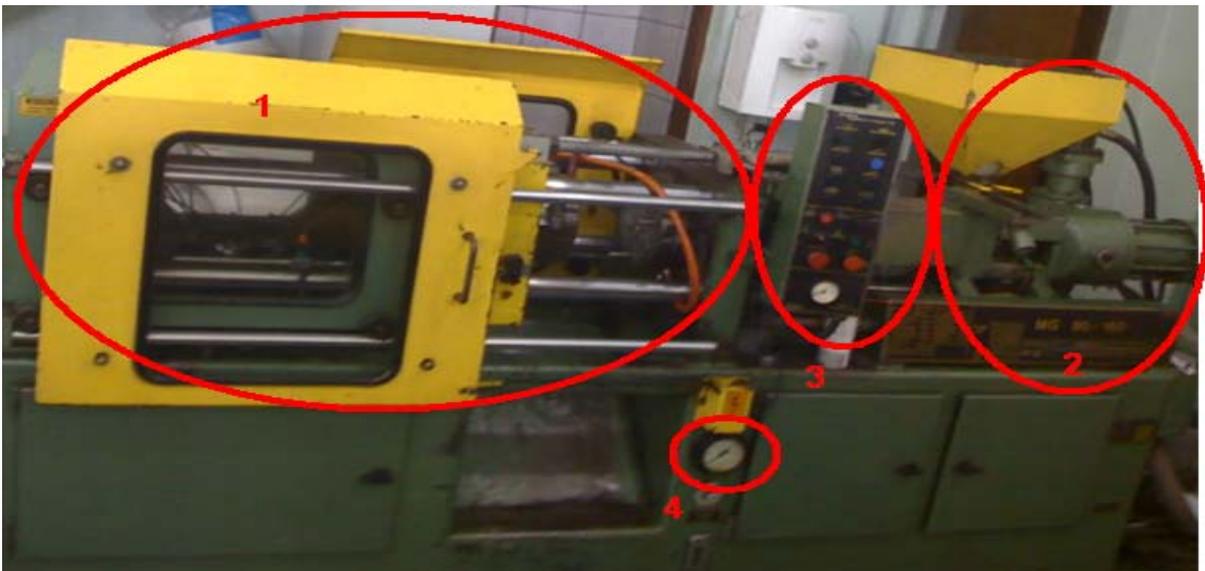


Figura 27: Máquina injetora MG 1986

Fonte: Empresa Provalín, 2009

1. Unidade de fechamento
2. Unidade de Injeção
3. Painel de controle
4. Manômetro de pressão do sistema hidráulico



Figura 28: Painel de aquecimento da Injetora MG 1986

Fonte: Empresa Provalín, 2009

5.3.2.1 Principais características

- Máquina injetora automática, tipo rosca;
- Sistema de fechamento hidráulico mecânico, realizado por sistema articulado, que por sua vez é acionado por um pistão hidráulico vertical comandado por CLP;

- Sistema de injeção móvel, realizado através de rosca acionada por motor hidráulico e comandado por CLP;
- Ajuste da altura do molde manual, realizado através de corrente que movimenta o conjunto de porcas e contra-porcas;
- Sistema hidráulico e móvel de extração;



Figura 29: Unidade de injeção da injetora MG 1986

Fonte: Empresa Provalin, 2009

1. Sensor de posicionamento da rosca, responsável pela dosagem do material.
2. Acionamento hidráulico da rotação da rosca

5.3.2.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores

- Controle de tempo e velocidade, realizado através do CLP (Controlador Lógico Programável);
- Carenagem e sensores de fechamento e abertura para proteção dos

operadores.



Figura 30: CLP (Controlador Lógico Programável) de fabricação atos
Fonte: Empresa Provalin, 2009

5.3.2.3 Principais funções que a máquina não desempenha

- Recalque;
- Descompressão.

5.3.3 Injetora de plástico ROMI modelo prática 450



Figura 31: Injetora de Plástico série Prática 450 de fabricação ROMI

Fonte: ROMI, 2009

5.3.3.1 Principais características

- Máquina injetora automática, tipo rosca;
- Sistema de fechamento hidráulico mecânico, realizado por sistema articulado de 5 pontos, que por sua vez é acionado por um pistão hidráulico comandado por CLP;
- Sistema de injeção móvel com duplo cilindro de injeção, realizado através de rosca acionada por motor hidráulico e comandado por CLP;
- Ajuste da altura do molde Automático, realizado através de motor elétrico acionado por CLP;
- Sistema hidráulico e móvel de extração.

5.3.3.2 Principais diferenças quanto aos modelos anteriores

- Régua digital para o ajuste da dosagem e descompressão;
- Painel de controle para realização do ajuste, visualização e armazenamento das regulagens dos moldes (pressão de injeção, recalque, descompressão e etc.). (O AUTOR)

5.3.4 Máquinas elétricas

Os movimentos rotativos são acionados diretamente por servomotores elétricos, enquanto os movimentos lineares são transmitidos do eixo

do servomotor para o elemento móvel por intermédio de um fuso de esferas recirculantes. A velocidade dos movimentos é controlada pela velocidade de rotação dos servomotores. Embora as injetoras elétricas não sejam uma novidade, somente agora se tornaram economicamente competitivas. (CEFET, 2004, p.4-9)



Figura 32: Injetora de plástico elétrica, modelo EL 150 de fabricação SANDRETTO
Fonte: ROMI, 2009

Série de máquinas com acionamentos totalmente elétricos, alterando radicalmente o conceito de transformação por injeção.

Economia de energia de até 60% (dependendo do modelo da máquina a ser comparado, 80%), nível de ruído em 60 decibéis, limpeza total de ambiente, baixo número de componentes em movimento, elevada eficiência energética associados à altíssima precisão nos movimentos fazem deste novo conceito de acionamento para injetoras um sistema revolucionário para a transformação por injeção.

5.3.4.1 Principais benefícios

- Redução do consumo energético em até 60%;
- Elevada eficiência energética com o uso de servomotores;
- Simplicidade no acionamento das partes móveis;
- Ambiente do molde livre de contaminantes - Clean Room;
- Precisão centesimal em todos os movimentos através de servomotores com Sistema encoder óptico e a utilização de guias lineares;
- Menor variação de peso das peças injetadas;
- Tempo de ciclo até 25% menor;
- Repetibilidade da massa injetada na casa de +/- 0,075%;
- Menor nível de ruídos (próximo de 60 decibéis);
- Até 80% menor geração de calor para o ambiente;
- Especificações conforme normas EUROMAP;
- Requisitos técnicos de segurança conforme norma ABNT NBR 13536 e (NR 12);
- Placas porta-moldes reforçadas, com grande distância entre as colunas e rasgos em "T" para a fixação dos moldes.
- Monitor de produção;
- Controle simultâneo dos movimentos;
- Alta capacidade de plastificação;
- Movimentos através de acionadores elétricos;

- Todos os movimentos em closed loop (ROMI).

6 AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS INJETORAS

6.1 Automação

Automação significa a dinâmica organizada dos instrumentos, máquinas, processos de trabalho, ferramentas ou recursos capazes de potencializar, reduzir, ou até mesmo eliminar a ação humana dentro de um determinado processo produtivo, objetivando com isso, é claro, uma otimização e consequente melhoria de produtividade. As suas associações de uma forma otimizada e direcionada à consecução dos objetivos do progresso humano. Portanto, não é, nunca foi e nunca será a mera substituição do elemento humano dentro do processo fabril, mas sim, um meio de garantir uma alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo com isso uma redução no custo final do produto, bem como sua disponibilidade em tempo relativamente menor e quantidade maiores. (FIALHO, 2005, p.17)

6.2 Robôs

O robô atualmente substitui algumas operações realizadas por operadores em situações de risco ou extremamente repetitivas, nestes casos a adequação do robô é fundamental para aumentar a produtividade, sem que o operador corra riscos desnecessários, podendo o mesmo ser direcionado a outras atividades mais interessantes.



Figura 33: Robô NEPAL W3 de fabricação da DM Robótica do Brasil Ltda
 Fonte: DALMASCHIO, 2009

6.2.1 Principais aplicações da robotização

- Extração em automático de peças que normalmente trabalham em semi-auto.
- Separação peça x canal de injeção
- Extração de peças que se danificam na extração convencional
- Montagem de insertos
- Montagem de decoração “in-mold”
- Otimização do lay-out de fábrica
- Otimização da mão de obra
- Montagem de pallets

6.2.2 Vantagens da robotização

- **Aumento da produção**

Em um parque de mais de 900 robôs cartesianos instalados no Brasil, temos obtido um mínimo de 15% de aumento de *peças boas* por turno de trabalho, sendo 20% um valor médio de ganho sobre a produção obtida em ciclos semi-automático;

➤ **Obtenção de tempo de ciclo constante**

Com o uso dos robôs não ocorre variação de tempo de ciclo, problema normal quando a máquina depende do operador;

➤ **Repetibilidade do processo - qualidade**

Com o tempo de ciclo constante, a qualidade do processo se mantém estável no tempo eliminando refugos e perdas, permitindo ainda refinamento da regulagem da injetora, otimização da temperatura da água e novas reduções do ciclo da máquina, o que resulta em mais ganhos de produtividade;

➤ **Nivelamento de produtividade entre os turnos**

Possibilitando se obter nos turnos noturnos a mesma produtividade dos turnos diurnos; (DALMASCHIO, 2009)

6.3 Sistema de Câmara Quente

O Sistema de Câmara Quente é a forma mais eficiente de se otimizar a produção e melhorar a qualidade de um produto injetado. Este sistema é basicamente uma extensão do bico de injeção da máquina, funcionando como distribuidor do fluxo para cada uma das cavidades. Através de canais de

distribuição constantemente aquecidos, é possível manter o material na mesma temperatura do cilindro da máquina injetora, livre de variações e sem os inconvenientes canais de alimentação (galhos). (POLIMOLD, 2009)

6.3.1 Vantagens do sistema de câmara quente

A utilização de sistemas de câmara quente pode oferecer diversas vantagens se comparado aos sistemas convencionais de canal frio, tais como:

- a)** Redução do custo de mão-de-obra com a eliminação do corte ou separação de galhos (parte que solidifica dentro dos canais);
- b)** Melhor controle da operação;
- c)** Economia em matéria-prima com a inexistência de canais congelados (galhos);
- d)** Economia em energia por não necessitar reciclar os canais;
- e)** Ciclos mais rápidos, pois a cada ciclo o material somente preenche a cavidade, pois os canais quentes sempre ficam cheios. Os canais chegam a representar de 10 a 50% da massa utilizada em um ciclo de injeção;
- f)** Otimização do ciclo de injeção pelo fato de necessitar resfriamento apenas na peça e não nos canais;
- g)** Qualidade do injetado é superior por se poder controlar as propriedades reológicas e térmicas da massa polimérica;
- h)** Projetos de moldes com canais quentes permitem maiores variações e maior flexibilidade;
- i)** A eficiência da injetora aumenta, podendo utilizar máquinas menores ou aumentar o número de cavidades para a mesma máquina;

- j) Eficiência na transferência das pressões de injeção e recalque devido o polímero estar sempre fundido nos canais, mesmo durante o ciclo de resfriamento da peça;
- k) Fabricação de peça com baixo nível de tensões internas, e conseqüente baixo encolhimento. (MANRICH, 2005)

6.4 Controlador de Temperatura

Todo molde que utiliza câmara quente necessita de um excelente controle térmico, por isso a POLIMOLD desenvolveu um Controlador de Temperatura específico para aplicação no processo de injeção.

O Controlador de Temperatura da Polimold é um conjunto de software e hardware de precisão que além de fazer o controle térmico de um sistema de câmara quente também oferece um conjunto de funções de apoio ao processo de injeção:

- Capacidade de interpretar e “aprender” o fator de potência após 3 minutos de estabilização, impedindo que uma zona deixe de ser controlada em caso de queima do termopar;
- Desumidificação inteligente: A temperatura das resistências aumenta lentamente, impedindo a queima por choque térmico;
- Sistema de equalização de temperatura simultâneo em todas as zonas;
- Altamente programável permite limitar os índices de potência e temperatura de cada zona de trabalho;
- Facilidade de diagnósticos de erros;

- Dispositivos de proteção contra sobrecarga de tensão. (POLIMOLD, 2009)

6.5 Unidade de Ar Seco

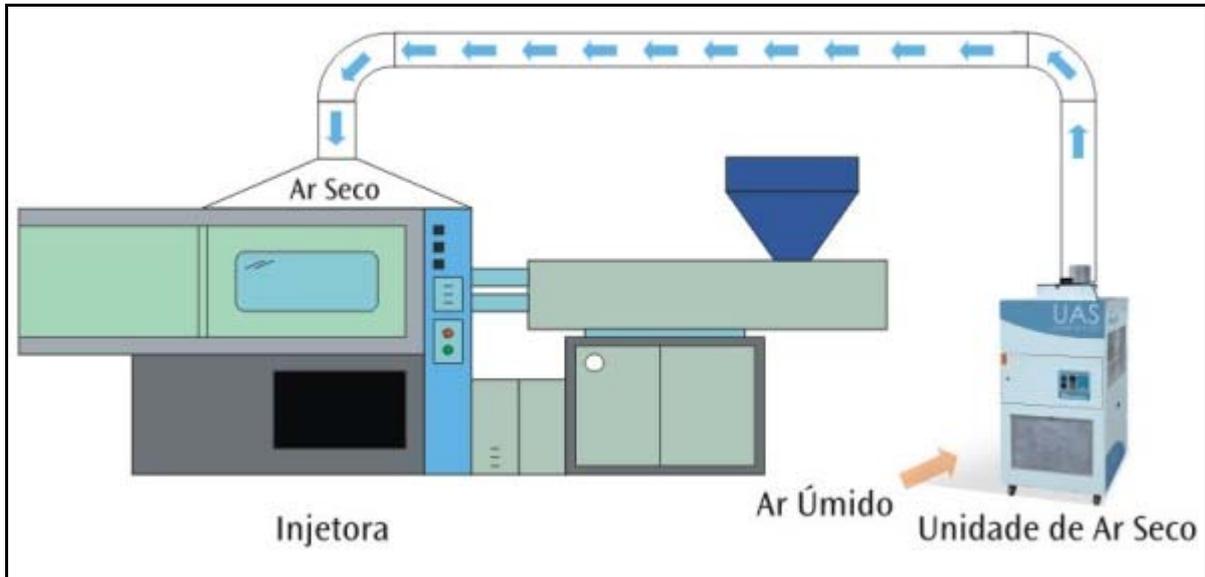


Figura 34: Unidade de ar seco – UAS de fabricação MECALOR

Fonte: MECALOR, 2009

Maior produtividade nos processos de injeção e sopro de termoplásticos é o ideal que todas as empresas estão perseguindo. Uma alternativa é trabalhar com água gelada cada vez mais fria. Com a utilização de solução de anti-congelante temperaturas menores que 5°C têm sido testadas com sucesso. Um dos obstáculos à utilização de água mais fria é a formação de uma película de condensação causada pelo vapor d'água do ar ambiente nas superfícies externas e nas cavidades do molde.

A Unidade de Ar Seco – UAS - utiliza uma concepção inovadora e foi desenvolvida especificamente para prevenir a condensação. O ar seco produzido que sai do topo da unidade é transportado por um duto flexível e direcionado na forma de um jato de ar seco sobre a região ocupada pelo molde para criar uma

barreira à penetração do ar ambiente úmido. Desta maneira a produtividade pode ser mantida em seu ponto ótimo ao longo do ano.

6.5.1 Principais aplicações da unidade de ar seco

- Moldes de injetoras de plástico de ciclo rápido;
- Moldes de injetoras que usam água gelada com temperatura abaixo de 10°C;
- Moldes de sopradoras;
- Equipamentos de injeção de pré-forma e sopro de PET.

6.5.2 Vantagens da unidade de ar seco

- Capacidade de 1.000 m³/h de ar seco à temperatura ambiente (capacidades maiores sob consulta);
- Aplicável para moldes resfriados com solução de água com anti-congelante de até -5°C;
- Economia de 50% de energia elétrica em relação aos desumidificadores de ar com rotor dessecante;
- Dispensa o uso de água gelada para o pré-resfriamento do ar;
- Não existe rotor com resina a ser substituído periodicamente;
- Enclausuramento, duto e coifa podem fazer parte do fornecimento;
- Ajuste preciso do ponto de orvalho do ar seco por meio de um controlador PID;
- Fácil instalação e operação. (MECALOR, 2009)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira fase da evolução, máquina injetora tipo pistão, o produto não tinha muita qualidade e ela dependia muito da habilidade do operador, por causa dos recursos da máquina, fechamento manual, injeção a pistão que mesmo com a inserção do torpedo no interior do cilindro de aquecimento não havia a homogeneização da matéria prima. A regulagem do processo era realizada apenas pela temperatura do cilindro de aquecimento e pela pressão hidráulica na injeção, não havia estabilidade no processo, gerando muitas peças com rebarba ou com falhas de preenchimento.

Na segunda fase da evolução, máquina injetora com pré-plastificador, uma câmara auxiliar faz a plastificação do material e despeja-o no cilindro principal para injeção, com esse sistema houve uma melhoria na plastificação e homogeneização da matéria prima, mas a qualidade do produto ainda dependia muito do operador.

Na terceira fase da evolução, máquina injetora tipo rosca, não existia um pistão no cilindro de aquecimento e sim uma rosca (parafuso), para homogeneizar, plastificar e dosar o material através do movimento de rotação, e para a injeção, a própria rosca para de girar e avança com alta pressão, agindo como um êmbolo. Houve muitos aperfeiçoamentos nessa fase e cada um deles trazendo um benefício para injeção, obtendo um controle maior sobre o processo atingindo a estabilidade do mesmo.

Com o desenvolvimento da indústria do plástico, houve a necessidade de desenvolvimento de periféricos para o auxílio no processo, no que se diz respeito à produtividade e qualidade do produto fabricado.

A evolução tecnológica não tem a função de substituir o elemento humano dentro do processo fabril, mas sim, um meio de garantir uma alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo com isso uma redução no custo final do produto, bem como sua disponibilidade em tempo relativamente menor e quantidades maiores.

REFERÊNCIAS

CEFET-RS/UNED Sapucaia do Sul. Introdução a Transformação de Termoplásticos, 2004

FIALHO, Arivelto Bustamante. Automação Pneumática. 3º Edição. Editora Érica, 2005.

HARADA, Júlio. Moldes para Injeção de Termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos. São Paulo. Editora Artliber, 2004.

MANRICH, Silvio. Processamento de Termoplásticos: Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes. São Paulo. Editora Artliber, 2005.

MICHAELI / GREIF / KAUFMANN / VOSSEBURGER. Tecnologia dos Plásticos. Editora Edgard Blucher, 2005.

SENAI-SP, Mário Amato. Processo de Transformação I, 2004.

TORRES, Jocelito. Dossiê Técnico: Prevenção de Acidentes em Máquinas Injetoras de plástico. SENAI-RS Nilo Bettanin, 2007.

Sites Consultados

Museu do Plástico disponível em:

<<http://museo.cannon.com/museo/portoghese/default.htm>>. Acesso: 25/05/2009 às 23h00

<<http://www.dalmaschio.com.br>>. Acesso em: 10/03/2009 às 2h00

<<http://www.debmaq.com.br>>. Acesso em: 20/04/2009 às 18h00

<http://www.mecalor.com.br/ajusta/produtos.php?categoria=produtos_industria_plastica&produto=unidade_de_ar_seco>. Acesso: 22/03/2009 às 16h00

<http://www.polimold.com/download/dados_para_projeto/dados_para_projeto_PT.pdf>. Acesso em: 10/03/2009 às 1h00

<http://www.polimold.com/download/dados_para_projeto/dados_para_projeto_PT.pdf>. Acesso em: 10/03/2009 às 1h00

<http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/IP/Catalogos/Portugues/cat_geral_inj_2008_8_AA.pdf>. Acesso: 25/04/2009 às 17h00

<http://www.romi.com.br/ip_eletramax000.0.html?&L=0>. Acesso: 25/04/2009 às 17h00

Visita às Empresas:**Plast Car Indústria e Comércio de Plásticos e Moldes Ltda**

Rua Romariz, 105

Vila Industrial – SP

Tel: 2143-3076

Contato: Sr. Alexandro

Provalin Indústria e Comércio Ltda

Rua Mateus de Siqueira, 804

São Paulo – SP

Tel: 2684-2621

Contato: Sr. Daril