

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2013.05.10	(73) Titular(es): FAMOLDE - FABRICAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE MOLDES, S.A. APARTADO 139	PT
(30) Prioridade(s): 2013.07.05 PT 1000050749T 2013.10.16 PT 100075167Y 2014.05.07 PT 100037074P		
(43) Data de publicação do pedido: 2014.11.10	(72) Inventor(es): JOEL OLIVEIRA CORREIA VASCO BRUNO DINIS MARTINS PEDRO JORGE FERREIRA OLIVEIRA JOAQUIM HENRIQUES MARTINS	PT PT PT PT
(45) Data e BPI da concessão: /	(74) Mandatário: PATRICIA ALEXANDRA CORREIA MARQUES RUA MACHADO DOS SANTOS, Nº 14, ESCRITÓRIO 15 2410- 128 LEIRIA	PT

(54) Epígrafe: **DISPOSITIVO PARA OTIMIZAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICO E RESPECTIVO MÉTODO**

(57) Resumo:

O PRESENTE INVENTO REFERE-SE A UM DISPOSITIVO PARA OTIMIZAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICO E RESPECTIVO MÉTODO. A METODOLOGIA, PARA A OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICO, PROPORCIONADA PELO DISPOSITIVO RESULTA DA INCORPORAÇÃO DE SENSORES ESPECÍFICOS NA FERRAMENTA, O MOLDE (7)(8), NA MÁQUINA DE INJEÇÃO E NOS PERIFÉRICOS ONDE TAL SEJA NECESSÁRIO. OS SINAIS DESTES SENSORES SÃO PÓS-PROCESSADOS, PERMITINDO ESTABELECEER AS CONDIÇÕES ACTUAIS DE PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO, VERIFICANDO SE AS CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO ACTUAIS SÃO AS PREVISTAS. CASO NÃO O SEJAM, SÃO FORNECIDOS DADOS QUE SÃO INCORPORADOS NA MÁQUINA DE INJEÇÃO E/OU PERIFÉRICOS PARA OTIMIZAR AS CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO, SEM QUALQUER INTERVENÇÃO DO OPERADOR. O CONTROLO DA PRODUÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICO É REALIZADO COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS, UMA VEZ QUE ESTES TAMBÉM PERMITEM DETECTAR INCONFORMIDADES NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS. A METODOLOGIA É SIMILAR, SENDO QUE O ENFOQUE DO PÓS-PROCESSAMENTO DE DADOS PRIVILEGIA A VERTENTE DE GESTÃO DA PRODUÇÃO. O INTERFACE HOMEM MÁQUINA (10) DO CONTROLO DE PRODUÇÃO ESTÁ ESTRATIFICADO, PERMITINDO A OPERAÇÃO, A SUPERVISÃO DA PRODUÇÃO OU A GESTÃO DO DISPOSITIVO, LOCAL OU REMOTAMENTE.

RESUMO

"Dispositivo para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico e respectivo método"

O presente invento refere-se a um dispositivo (1) para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico e respectivo método. A metodologia, para a otimização do processo de injeção de termoplástico, proporcionada pelo dispositivo resulta da incorporação de sensores específicos na ferramenta, o molde (7)(8), na máquina de injeção e nos periféricos onde tal seja necessário. Os sinais destes sensores são pós-processados, permitindo estabelecer as condições actuais de processamento por injeção, verificando se as condições de processamento actuais são as previstas. Caso não o sejam, são fornecidos dados que são incorporados na máquina de injeção e/ou periféricos para otimizar as condições de processamento, sem qualquer intervenção do operador. O controlo da produção do processo de injeção de termoplástico é realizado com base nos resultados obtidos, uma vez que estes também permitem detectar inconformidades no processo de injeção de termoplásticos. A metodologia é similar, sendo que o enfoque do pós-processamento de dados privilegia a vertente de gestão da produção. O interface homem máquina (10) do controlo de produção está estratificado, permitindo a operação, a supervisão da produção ou a gestão do dispositivo, local ou remotamente.

DESCRIÇÃO

“Dispositivo para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico e respectivo método”

Descrição geral da invenção

O presente invento (1) refere-se a um dispositivo para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico e respectivo método. A metodologia, para a otimização do processo de injeção de termoplástico, proporcionada pelo dispositivo resulta da incorporação de sensores específicos na ferramenta, o molde, na máquina de injeção e nos periféricos onde tal seja necessário. Os sinais destes sensores são pós-processados, permitindo estabelecer as condições actuais de processamento por injeção, verificando se as condições de processamento actuais são as previstas. Caso não o sejam, são fornecidos dados que são incorporados na máquina de injeção e/ou periféricos para otimizar as condições de processamento, sem qualquer intervenção do operador. O controlo da produção do processo de injeção de termoplástico é realizado com base nos resultados obtidos, uma vez que estes também permitem detectar inconformidades no processo de injeção de termoplásticos. A metodologia é similar, sendo que o enfoque do pós-processamento de dados privilegia a vertente de gestão da produção. O interface homem-máquina do controlo de produção está estratificado, permitindo a operação, a supervisão da produção ou a gestão do dispositivo (1). O controlo da produção do processo de injeção de termoplástico estará disponível sob a forma de portal, o que permite o acesso seguro local e remoto.

Domínio técnico da invenção

O âmbito da presente invenção tem foco na otimização do processo de injeção, nomeadamente, a otimização do processamento e do processo produtivo.

A otimização do processamento é realizada com base na leitura das quedas de pressão (ΔP) nos vários segmentos definidos ao longo do tempo de injeção, ciclo a ciclo, com o objectivo de que esta variável se mantenha constante ao longo do ciclo de injeção, permitindo eliminar a fase de compactação e assim reduzir o tempo de processamento. A manutenção da queda de pressão (ΔP) em valores constantes requer ajustes na velocidade de injeção, pelo que é necessário monitorizar a tensão de corte aparente (τ_{app}), a taxa de corte aparente ($\dot{\gamma}_{app}$) e a viscosidade aparente (η_{app}) do material plástico fundido para manter as condições de fluidez do material ou impedir a sua degradação.

O controlo de produção utiliza os dados da otimização do processamento para identificar eventuais situações de não conformidade. Com base nas ordens de produção, são calculados índices de produtividade e eficiências da célula de produção. Esta componente do dispositivo (1) permite o acesso local de operação e supervisão e o acesso remoto para supervisão e gestão. O acesso remoto pode assumir as configurações de acesso remoto dentro da unidade industrial, através de uma rede local (LAN) ou acesso remoto em qualquer parte do mundo (WAN). Nesta situação e dependendo do nível de acesso concedido, um utilizador remoto poderá alterar configurações locais, como elementos da ordem de produção ou parâmetros de injeção.

A otimização do processo de injeção de termoplásticos tem sido focada no ajuste iterativo dos parâmetros das máquinas de injeção tendo base o controlo de qualidade das peças produzidas e por recurso ao conhecimento técnico do utilizador e ao histórico dos parâmetros de ajuste.

Estado da técnica da invenção

Em pesquisa ao estado da técnica foram identificados os seguintes documentos de patente como sendo o estado mais próximo da invenção:

(D1) US 5993704 A - divulga um dispositivo para determinação do momento ótimo para a comutação entre o controlo do processo pela velocidade de injeção para o controlo do processo pela pressão de injeção e difere da presente invenção porque não possui um controlo efetivo de todo o ciclo de processamento, o sistema não está preparado com um perfil de velocidades de injeção de referência para comparação assim como as respectivas tolerâncias para permitir o ajuste da velocidade de injeção segmento por segmento, comparando os desvios obtidos com o perfil de referência e interrompendo o processo produtivo caso o algoritmo não consiga convergir para valores dentro da tolerâncias definidas;

(D2) EP 1717004 A1 - divulga um dispositivo para controlo seletivo da temperatura no molde e difere da presente invenção porque apenas otimiza o processamento na fase de arrefecimento, não atendendo ao histórico anterior de enchimento da cavidade;

(D3) US 2004247724 A1 - divulga um dispositivo de monitorização passiva dos tempos de ciclo e de paragem e difere da presente invenção porque para além das funções de contagem de ciclos, tempos de paragem e tempos de funcionamento, não permite a integração de dados do molde e da máquina de injeção relativos aos eventos operacionais assim como não realiza a monitorização em tempo real e/ou a atuação local ou remota (ligação física ou ligação sem fios) em caso de necessidade;

(D4) DE 202005013954 U1 - D4 divulga um dispositivo de monitorização passiva em tempo real através de videovigilância e difere da presente invenção porque apenas permite a visualização das operações e correspondentes parâmetros produtivos, não possuindo qualquer capacidade de intervenção nos parâmetros de processamento da máquina de injeção. O dispositivo apresentado em D4 refere a existência de várias câmaras de vídeo, fixas e móveis, que podem ser utilizadas selectivamente por um operador local e não recorre a qualquer tipo de sensores que permitam avaliar o desempenho do processo de injeção enquanto este decorre.

Acrescenta-se que a presente invenção:

- requer apenas a ligação ao dispositivo de controlo da máquina de injeção para permitir atuar sobre os parâmetros de processamento, sendo por esse motivo minimamente intrusiva, dado que não implica qualquer intervenção física sobre a cablagem da máquina de injeção (9). Este acesso aos parâmetros da máquina de injeção (9) permite obter instantaneamente valores de

volumes doseados (doseamento e almofada) para o controlo do volume de material fundido injetado. Os sensores de pressão (12 e 13) do dispositivo (1) estão colocados na zona moldante (11) do molde (7/8) com o objetivo de calcular a queda de pressão (ΔP). O dispositivo (1) incorpora um algoritmo que utiliza os valores de queda de pressão (ΔP) medidos para comparar com a curva de queda de pressão otimizada para um molde em particular. Para além disso, o dispositivo (1) inclui sensores de temperatura na cavidade do molde para monitorização e controlo do processo e sensores de carga no plano de junta para determinar forças efetivas de fecho e desequilíbrios na operação de fecho. Inclui ainda sensores de temperatura e caudal para controlo do sistema de arrefecimento e respetivo periférico;

- incorpora todos os sensores necessários para a optimização do processamento no próprio molde, o que simplifica o processo de mudança de molde, dado que a comunicação entre os sensores e o módulo de processamento se realiza por via sem-fios;
- para além das funções de contagem de ciclos, tempos de paragem e tempos de funcionamento, permite a integração de dados do molde e da máquina de injeção relativos aos eventos operacionais assim como a monitorização em tempo real e/ou a atuação local ou remota (ligação física ou ligação sem fios) em caso de necessidade;
- prevê a utilização de valores constantes de queda de pressão (ΔP) na cavidade do molde, com limites superior e inferior, definidos previamente. A manutenção da queda de pressão (ΔP) na zona moldante (11) dentro dos limites estabelecidos permite que esta

seja constante ao longo do ciclo, garantindo a compactação do material termoplástico e reduzindo o tempo total de ciclo.

As diferenças entre a presente invenção e o estado da técnica solucionam os problemas técnicos supracitados, encontrados no estado da técnica da presente invenção, vejamos:

1. a colocação de ambos os sensores na zona moldante apresenta a vantagem de permitir a aquisição de valores de queda de pressão (ΔP) resultantes apenas da geometria da peça plástica, o que resultará num cálculo efectivo da taxa de corte (γ_{app}), tensão de corte (τ_{app}) e viscosidade aparente (η_{app}) do material que está a ser processado. A solução que compreende um sensor no molde e outro sensor no bico de injeção da máquina, incorre na situação de o cálculo ter de contabilizar as perdas de carga resultantes da distância e dos obstáculos ao enchimento que o material plástico tenha que superar para encher a zona moldante. O presente dispositivo (1), pelo facto de ter ambos os sensores no molde, cumpre o efeito preconizado pela redução ou eliminação de erros nas leituras instantâneas dos sensores realizadas em cada ciclo de injeção;
2. outra vantagem de ambos os sensores estarem localizados no molde, é a sua ligação sem fios ao controlador onde são realizados os cálculos reológicos. Desta forma, os sinais de todos os sensores presentes no molde são agrupados no módulo de aquisição (2) acoplado ao molde (7/8). Esta ligação sem fios permite que o módulo de aquisição (2)

transmita por rádio-frequência ao módulo de processamento (3) todos os valores necessários para cálculo, sem qualquer necessidade de uma ligação física. Na operação de montagem de um molde equipado com o presente dispositivo (1), independentemente da quantidade e tipologia dos sensores presentes, o módulo de aquisição (2) possui um módulo de memória interna onde são identificadas todas as características do mesmo. Desta forma, basta ao operador proceder à montagem do molde (7/8) e ao reconhecimento do módulo de aquisição (2) correspondente, não havendo lugar à ligação de sensores e respectivos amplificadores. Estas ligações estão todas pré-realizadas, eliminando dessa forma a possibilidade de erro de ligação. Quando o molde termina a operação, o módulo de aquisição (2) guarda automaticamente o último conjunto de parâmetros de injeção utilizado na memória. O operador terá apenas de desligar fisicamente as conexões de refrigeração, extracção ou outras. No que respeita ao presente dispositivo (1) apenas terá de indicar o fim da operação para que a ligação sem fios seja terminada.

As vantagens supracitadas resultam no efeito técnico inesperado da invenção de eliminação da fase de compactação, pois o facto da optimização do processo de enchimento da zona moldante depender da manutenção em valores constantes da queda de pressão (ΔP) lida entre o sensor a montante (12) e o sensor a jusante (13), torna possível injectar o material plástico na zona moldante (11) com valores de pressão previamente estudados para cada material e adaptados à geometria das peças injetadas que

permitem eliminar a fase de compactação, diminuindo assim o tempo de ciclo de injeção.

Descrição detalhada da invenção

Para efeito de uma melhor compreensão da descrição detalhada da invenção introduz-se antecipadamente a definição dos seguintes conceitos:

Secção equivalente (Se)

Considerando que na generalidade das peças plásticas não apresentam uma secção transversal uniforme e de fácil quantificação, para a presente invenção adoptou-se o conceito de secção equivalente que é determinada com base na relação entre a espessura média da peça a injectar e a largura da fenda (w) a considerar para escoamento. Dependendo da geometria da peça, esta largura pode variar em função da espessura média da peça na zona onde os sensores estão implantados. Tendo em conta as variáveis supracitadas, a secção equivalente é calculada como sendo o produto entre a espessura média da peça e a largura (w) definida.

Velocidade média do material fundido

Esta velocidade é definida pelo quociente entre a distância entre os sensores de pressão (12)(13) e o intervalo de tempo (Δt) definido pelos toques do material nos respectivos sensores de pressão (12)(13).

Caudal (Q)

Caudal é definido pelo produto da velocidade média definida anteriormente e a secção equivalente (Se).

O presente invento refere-se a um dispositivo (1) para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico e respectivo método. A metodologia para a otimização do processo de injeção de termoplástico, proporcionada pelo dispositivo resulta da incorporação de sensores específicos no molde (7/8), na máquina de injeção (9) e nos periféricos onde tal seja necessário, nomeadamente, sensores de pressão, temperatura e carga, implantados em localizações estratégicas para avaliar as condições de processamento. Esta informação é adquirida pelo módulo de aquisição (2) e processada no módulo de processamento (3). O módulo (3) comunica bidireccionalmente com o interface homem máquina (10), permitindo que o operador do equipamento ou um utilizador remoto possa aceder à informação obtida.

Por periféricos entendam-se equipamentos acessórios ao processo de injeção mas fundamentais para o bom desempenho do mesmo. Destaca-se entre vários outros equipamentos como periférico o termoregulador, que tem por função alimentar o molde (7/8) com fluido refrigerante para que se efetuem as trocas de calor necessárias ao arrefecimento das peças plásticas injetadas. O controlo da temperatura do molde pode interagir com a presente invenção (1) ao permitir que haja ajuste das condições de refrigeração, nomeadamente, temperatura e caudal do fluido refrigerante. Como periféricos podemos ter também manipuladores, unidades de vácuo, sistemas de montagem automática entre outros.

Os sinais destes sensores são pós-processados com recurso a modelos matemáticos, permitindo estabelecer as condições

actuais de processamento por injeção. Os mesmos modelos matemáticos verificam se as condições de processamento actuais são as previstas. Caso não o sejam, os resultados dos modelos matemáticos fornecem dados que são incorporados na máquina de injeção (9) e/ou periféricos para otimizar as condições de processamento, sem qualquer intervenção do operador.

Os modelos matemáticos utilizados incluem o cálculo da tensão de corte aparente (τ_{app}), a taxa de corte aparente (γ_{app}) e a viscosidade aparente (η_{app}).

A tensão de corte aparente (τ_{app}) é dada pela expressão

$$\tau_{app} = \frac{\Delta P}{L} \times \frac{h}{2},$$

onde ΔP é a queda de pressão medida entre os sensores a montante (12) e a jusante (13), L é a distância entre os centros dos sensores a montante (12) e a jusante (13) e h é a espessura média da parede da peça onde os sensores a montante (12) e a jusante (13) estão localizados.

A taxa de corte aparente (γ_{app}) é dada pela expressão

$$\gamma_{app} = \frac{6Q}{w \times h^2},$$

onde Q é o caudal calculado com base na velocidade do material dada pelos picos de pressão obtidos nos sensores a montante (12) e a jusante (13), w é a largura da fenda e h é a espessura média da parede da peça onde os sensores a montante (12) e a jusante (13) estão localizados

A viscosidade aparente (η_{app}) é dada pelo quociente entre a tensão de corte aparente (τ_{app}) e a taxa de corte aparente ($\dot{\gamma}_{app}$).

Os modelos matemáticos estão incorporados num algoritmo de controlo que tem por finalidade avaliar a evolução dos valores de pressão dentro do molde e compará-los com os valores de referência. Para que o controlo seja mais rigoroso, o algoritmo de controlo utiliza a divisão do curso de dosagem em vários segmentos, que permitem definir o perfil de velocidades de injeção em função da posição atual do fuso na máquina de injeção.

A divisão em segmentos do curso de doseamento permite que sejam impostas variações de velocidade para cada segmento ao longo do novo ciclo de processamento em vez de ser utilizada uma velocidade de injeção constante, ou seja, as alterações apenas terão efeito no próximo ciclo de injeção.

O objetivo deste algoritmo é manter a queda de pressão (ΔP) no molde (7,8) dentro dos valores de referência definidos previamente, ajustando a curva de velocidades de injeção.

O controlo da produção do processo de injeção de termoplástico é realizado com base nos resultados dos mesmos modelos matemáticos, uma vez que os resultados destes também permitem detectar inconformidades no processo de injeção de termoplásticos. A metodologia é similar, sendo que o enfoque do pós-processamento de dados privilegia a vertente de gestão da produção, porque com

base nos dados de processamento é possível obter dados indicadores de produtividade como tempos efectivos de produção, taxa de rejeitados, cadências de produção, entre outros.

O interface homem-máquina do controlo de produção está estratificado em níveis de utilizador, permitindo a operação, a supervisão da produção ou a gestão do dispositivo (1). O controlo da produção do processo de injeção de termoplástico estará disponível sob a forma de portal, o que permite o acesso seguro local e remoto.

A optimização do processo é conseguida com recurso a sensores de pressão (12)(13) implantados em localizações estratégicas para avaliar as condições de processamento, nomeadamente localizados na zona moldante (11). Os parâmetros que podem ser calculados ciclo a ciclo com base nestes sensores (12 e 13) são a tensão de corte aparente (τ_{app}), a taxa de corte aparente (γ_{app}) e a viscosidade aparente (η_{app}). Outros sensores localizados no molde poderão fornecer dados de temperatura ou de carga, cujos valores poderão despoletar alarmes para o operador caso excedam as tolerâncias definidas.

O sensor de pressão a montante (12) deverá estar localizado junto à entrada de material plástico fundido na cavidade. O sensor de pressão a jusante (13) deverá estar localizado numa das últimas zonas a preencher pelo material plástico fundido. Desta forma, o material plástico fundido tocará inicialmente no sensor a montante (12) e só depois tocará no sensor a jusante (13).

A informação de pressão na cavidade obtida a partir destes sensores (12 e 13) permite o cálculo da queda de pressão (ΔP), assim como o cálculo do intervalo de tempo (Δt) entre os toques do material fundido nos sensores (12 e 13). Estes cálculos são conseguidos pela própria definição destas variáveis apresentadas no início da descrição da invenção.

A distância (L) entre o sensor a montante (12) e o sensor a jusante (13) é a distância entre ambos os sensores, considerando a orientação do fluxo do material plástico fundido ao preencher a zona moldante (11). Com a queda de pressão (ΔP) e a distância (L) calcula-se a tensão de corte (τ_{app}) do material plástico fundido. Com a secção equivalente (Se) e o intervalo de tempo (Δt) calcula-se a taxa de corte aparente (γ_{app}) do material plástico fundido.

Clarifica-se que pela expressão: $v = \frac{L}{\Delta t}$, é calculada a velocidade média (v); pela expressão: $Se = w \times h$, é calculada a secção equivalente (Se); finalmente, o caudal (Q) é dado pela expressão: $Q = v \times Se$.

Estes cálculos podem ser realizados ciclo a ciclo, permitindo ainda o cálculo da viscosidade aparente (η_{app}), pelo quociente entre a tensão de corte (τ_{app}) e a taxa de corte aparente (γ_{app}).

A queda de pressão (ΔP), para além de ser a variável de entrada no cálculo da tensão de corte (τ_{app}), é utilizada também como variável de controlo para a pressão interna na zona moldante (11). Este controlo depende do perfil de velocidade de injeção imposto pelo que a fase de injeção pode sofrer algum incremento de tempo. No entanto, o

enchimento da zona moldante (11) a pressão constante permite eliminar a fase de compactação subsequente e, conseqüentemente, diminuir o tempo de injeção e aumentando a produtividade do processo de injeção propriamente dito.

No que se refere aos tempos de preparação, há incrementos de produtividade significativos resultantes da ligação sem fios entre o módulo de aquisição (2) acoplado ao molde (7/8) e o módulo de processamento (3). O presente invento (1) virá pré-ligado, eliminando erros de ligação e tempos dispendidos na sua montagem e desmontagem.

Acrescenta-se que o processo de controlo do dispositivo (1) pode ser descrito de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Verificação inicial da inexistência de eventos de alarme por parte da máquina de injeção conjugado com o sinal de arranque do dispositivo dado inicialmente pelo operador do dispositivo ou dado automaticamente após cada ciclo quando já em funcionamento;
- 2) É iniciado o primeiro segmento do perfil de velocidades de injeção. O primeiro segmento varia entre a posição 1 e a posição 2 do fuso e só quando é atingida a posição 2 é que o cálculo é feito;
- 3) É calculado o desvio do valor da queda de pressão (ΔP) para o primeiro segmento relativamente à curva de referência (figura 6);
- 4) É determinado:
 - a.o sentido do desvio, ou seja se é negativo ou positivo relativamente à curva de referência, para que se possa determinar o sentido do incremento a realizar à velocidade de injeção no ciclo seguinte;

- b. se a queda de pressão está entre a tolerância inferior e superior:
 - i. caso esteja fora das tolerância inferior e superior, é calculado o incremento a realizar à velocidade de injeção neste segmento;
 - ii. caso esteja dentro das tolerâncias inferior e superior não há qualquer tipo de alteração;
- 5) de seguida é analisada a taxa de corte aparente (γ_{app}) do material que está a ser injetado para evitar que se exceda o valor máximo admissível, definido pelo utilizador previamente, para a taxa de corte do material que está a ser injetado;
- 6) Recalculado o novo valor para a velocidade de injeção, tendo em conta a etapa 4. b)i., para o segmento, este valor é guardado e utilizado para definição da curva de velocidade de injeção a utilizar no ciclo seguinte;
- 7) O conjunto das etapas 3) a 6) é repetido para todos os segmentos do perfil de velocidades de injeção, ao fim dos quais é possível construir uma tabela com as velocidades de injeção recalculadas para cada segmento para o seguinte ciclo de injeção;
- 8) No final do ciclo são calculadas as variáveis de controlo para o ciclo seguinte, nomeadamente, queda de pressão (ΔP), intervalo de tempo (Δt), caudal (Q) e taxa de corte aparente (γ_{app}).

Acrescenta-se que preferencialmente, o dispositivo (1) pode incluir uma câmara de vídeo que permita ao utilizador remoto do mesmo, visionar o funcionamento da máquina de injeção (9). Esta câmara transmite o seu sinal de forma unidirecional pela comunicação sem fios bidirecional (5),

permitindo que o utilizador remoto se encontre na unidade industrial ou em qualquer parte do mundo.

Descrição das figuras

Figura 1 - Representação esquemática do invento (1), acoplado a uma máquina de injeção (9), compreendendo o módulo de aquisição (2) acoplado ao molde (7/8) estabelecendo comunicação sem fios unidireccional (4) para o módulo de processamento (3). O módulo de processamento (3), por sua vez, estabelece comunicação sem fios bidireccional (5) com um terminal (6) local ou remoto, via Internet.

Figura 2 - Representação esquemática e simplificada da Figura 1, onde se representa o invento (1), mas onde se omite a máquina de injeção (9) para melhor interpretação do funcionamento do dispositivo (1).

Figura 3 - Representação esquemática e detalhada da montagem dos sensores a montante (12) e a jusante (13) na zona moldante (11) e da sua ligação física ao módulo de aquisição (2). O módulo de aquisição (2) possui uma antena emissora para a realização da comunicação sem fios unidireccional (4).

Figura 4 - Representação esquemática do molde aberto com o módulo de aquisição (2) montado sobre o lado da injeção do molde (7). Esta localização deve-se ao facto de o lado da injeção possuir tipicamente menos elementos móveis, havendo por esse motivo menor risco de danificar os sensores. Contudo, a localização do módulo de aquisição (2)

poderá ser montado no lado da extracção do molde (8) caso a quantidade de sensores o justifique.

Figura 5 – Representação esquemática da zona moldante (11), visível com o molde fechado. Conforme é representado, o módulo de aquisição (2) deverá estar localizado na face do topo do molde.

Figura 6 – Representação esquemática do perfil pretendido para a queda de pressão na zona moldante (11), ilustrando o perfil de referência para a queda de pressão, as tolerâncias superior e inferior e a curva de queda de pressão real obtida pela aquisição de valores de pressão pelos sensores a montante (12) e a jusante (13). A curva de referência para a queda de pressão (ΔP referência) é determinada com base em valores oriundos de simulações numéricas, de acordo com a geometria da peça. A curva de referência é baseada na informação obtida pela simulação numérica do processo de enchimento da cavidade, onde são previstas as localizações na cavidade dos sensores a montante e jusante. Com a identificação destas localizações na simulação numérica, é possível obter estimativas realistas para os valores de pressão nestes locais e assim, avaliar antecipadamente o comportamento do fluxo de material plástico dentro da cavidade. A aproximação inicial por simulação numérica permite ainda determinar qual o segmento a partir do qual a queda de pressão (ΔP) estabiliza. Uma vez estabelecida a tendência da queda de pressão (ΔP), será possível garantir o fluxo de material plástico durante os segmentos seguintes com velocidades de injeção calculadas pelo invento (1). A solidificação continuada da peça tornará irrelevante a necessidade de controlar o último segmento. A cavidade está totalmente

preenchida com material plástico, a percentagem de volume solidificado da peça é bastante elevada, pelo que o controlo da queda de pressão (ΔP) neste segmento se revela pouco efectiva, constituindo este segmento num decréscimo abrupto da queda de pressão (ΔP). Para que o processo não seja interrompido logo após o não cumprimento da curva de referência, é definida previamente uma tolerância por parte do utilizador que resulta nas tolerâncias superior e inferior. O processo prosseguirá sem qualquer incremento à velocidade de injeção, sempre que os pontos da curva real da queda de pressão (ΔP real (adquirido)) estejam simultaneamente acima da tolerância inferior e abaixo da tolerância superior (etapa 4.b)ii. na descrição). A manutenção da queda de pressão entre a tolerância inferior e tolerância superior nos dois a três últimos segmentos da curva real da queda de pressão (ΔP real (adquirido)), tal como é preconizado nesta figura, permite que a peça esteja compactada logo após o final da fase de injeção, permitindo assim eliminar a fase de compactação. A compactação da peça é assim assegurada ainda durante o enchimento da cavidade, ou seja, durante a fase de injeção. A utilização da velocidade de injeção como forma de controlar a pressão dentro da cavidade, resulta no enchimento rápido da cavidade, permitindo que, apesar de a peça já possuir a sua superfície solidificada, o núcleo continue fluido, admitindo a continuação do fluxo de material que só será terminado à medida que o núcleo for solidificando. A estabilização da queda de pressão (ΔP) dá a indicação ao dispositivo (1) que continua a haver um fluxo de material estabelecido, permitindo-lhe ajustar a velocidade de injeção, segmento a segmento, por forma a manter a queda de pressão constante até que a peça solidifique totalmente. Aproveita-se a descrição da presente figura para

exemplificar o efeito técnico inesperado que a invenção apresenta relativamente ao estado da técnica da mesma. O gráfico pode dividir-se em três áreas, o crescimento dos valores de pressão nos sensores a montante (12) e a jusante (13), que se verifica nos segmentos 1 a 4; a estabilização dos valores de pressão nos sensores (12, 13) e que se traduz numa queda de pressão (ΔP) estável durante os segmentos 5, 6 e 7; o final da injeção representado no oitavo segmento, onde os valores de pressão decrescem rapidamente, traduzindo-se num decréscimo igualmente abrupto da queda de pressão (ΔP). De facto a apresentação de uma forma preferencial da invenção pode ser preconizada com este exemplo.

Figura 7 - Representação esquemática do processo de injeção convencional onde se podem incluir as fases de fecho do molde, injeção, compactação, arrefecimento e plasticização, abertura do molde, extracção e pausa.

Figura 8 - Representação esquemática do processo de injeção realizado com a invenção, onde a fase de compactação pode ser retirada do processo, diminuindo o tempo total do ciclo de injeção e assim incrementando a produtividade do processo.

Figura 9 - Representação esquemática da disposição dos sensores a montante (12) e a jusante (13) na caixa de CD. Conforme é ilustrado, os sensores (12,13) estão localizados em faces diferentes, havendo a necessidade de contabilizar a queda de pressão decorrente da mudança de secção. Da mesma forma, a distância (L) entre os sensores (12, 13) tem que considerar o percurso adicional que o material plástico terá de percorrer.

Figura 10 - Representação gráfica dos valores de pressão obtidos na injeção da caixa de CD para uma configuração de 10 segmentos com a duração de 1 segundo para cada segmento. O gráfico da figura representa os valores medidos pelo sensor a montante (12) e pelo sensor a jusante (13) com uma frequência de aquisição que pode variar entre 50 a 200Hz e processados em tempo real pelo invento (1). Tal como é preconizado antes, a queda de pressão (ΔP) cresce tendencialmente durante os segmentos 1 a 4, estabilizando durante os segmentos 5 a 9 e tendendo para zero no segmento 10, onde a cavidade já se encontra e a peça compactada.

Modo preferencial de realização da invenção

A presente invenção foi aplicada no caso de uma caixa de CD, onde os sensores a montante (12) e a jusante (13) foram localizados ambos na cavidade, mas em zonas geometricamente diferentes da peça. Neste caso, a distância entre os sensores (12,13) não corresponde à distância entre os eixos dos sensores (L), tendo a distância efetiva (L') que ser calculada através do percurso do material sobre o plano médio da parede da peça onde os sensores estão localizados. A localização dos sensores (12,13) deverá ser selecionada para que fiquem orientados de acordo com o fluxo de material plástico. Neste caso, o sensor a montante (12) fica localizado junto à entrada de material na peça e o sensor a jusante (13) fica localizado no alinhamento entre o ponto de injeção e o sensor a montante (12). O facto de os sensores (12,13) não se encontrarem localizados na mesma

face introduz uma queda de pressão adicional que deverá ser contabilizada, mas que não afecta o desempenho do invento (1). A distância entre os sensores (12, 13) foi neste caso de 42,78mm, considerando a transição da face onde se encontra o sensor a montante (12) para a outra face onde se encontra o sensor a jusante (13).

Foi realizada uma simulação numérica para o enchimento para esta peça onde foram criados nós na malha de simulação de onde pudessem ser retirados valores de pressão e temperatura. Com base nesta informação, foi obtido um perfil de velocidades de injeção com 10 segmentos, que numericamente, resultava numa queda de pressão que se verificava como sendo aproximadamente constante a partir do quinto segmento. Esta aproximação permite que possam ser utilizados o sexto, sétimo, oitavo e nono segmentos, para controlo da queda de pressão (ΔP), admitindo que no décimo segmento o material plástico já terá mais de 50% do seu volume solidificado, não se pretende controlar a queda de pressão (ΔP) neste segmento. A máquina de injeção foi configurada para 10 segmentos, para permitir a introdução do perfil de velocidades de injeção obtido.

O processo é iniciado com a injeção da peça. Os sensores (12,13) transmitem os valores de pressão lidos para o módulo de aquisição (2) que, por sua vez, os transmite ao módulo de processamento (3). É neste módulo (3) que a queda de pressão (ΔP) é monitorizada, segmento a segmento e sempre que se verifiquem desvios, essas informações são guardadas e introduzidas no interface homem máquina da máquina de injeção (10) sob a forma de acréscimos ou decréscimos da velocidade de injeção nos segmentos onde ocorreram os desvios detectados para o ciclo seguinte de

injecção. Este processo de correcção da velocidade de injecção será repetido sempre que ocorram quedas de pressão que fiquem fora das tolerâncias impostas.

Leiria, 06 de maio de 2014

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo (1) para otimização e controlo de produção do processo de injeção de termoplástico caracterizado por apresentar na sua constituição:
 - a. sensores no próprio molde (7)(8), na máquina de injeção (9) e nos periféricos, entre os quais:
 - i. sensores de pressão (12) (13) colocados na zona moldante (11) do molde (7)(8), em que o sensor de pressão a montante (12) deverá estar localizado junto à entrada de material plástico fundido na cavidade e o sensor de pressão a jusante (13) deverá estar localizado numa das últimas zonas a preencher pelo material plástico fundido;
 - ii. sensores de temperatura na cavidade do molde;
 - iii. sensores de temperatura e caudal;
 - b. módulo de aquisição de dados (2) que possui um módulo de memória interna;
 - c. ligação sem fios entre o módulo de aquisição (2) acoplado ao molde (7/8) e o módulo de processamento (3).
2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por incluir uma câmara de vídeo que transmite o seu sinal de forma unidirecional pela comunicação sem fios bidirecional (5).
3. Método de controlo do dispositivo (1) conforme reivindicação 1, caracterizado pelas seguintes etapas:
 - a) verificação inicial da inexistência de eventos de alarme por parte da máquina de injeção conjugado

com o sinal de arranque do dispositivo dado inicialmente pelo operador do dispositivo ou dado automaticamente após cada ciclo quando já em funcionamento;

- b) iniciação do primeiro segmento do perfil de velocidades de injeção;
- c) cálculo do desvio do valor da queda de pressão (ΔP), pela aquisição de valores de pressão pelos sensores a montante (12) e a jusante (13), para o primeiro segmento relativamente à curva de referência, com base em valores oriundos de simulações numéricas;
- d) determinação:
 - i. do sentido do desvio e do sentido do incremento a realizar à velocidade de injeção no ciclo seguinte;
 - ii. se a queda de pressão está entre a tolerância inferior e superior:
 - a. caso esteja fora das tolerância inferior e superior, é calculado o incremento a realizar à velocidade de injeção neste segmento;
 - b. caso esteja dentro das tolerâncias inferior e superior não há qualquer tipo de alteração;
- e) análise da taxa de corte aparente (γ_{app}) do material que está a ser injectado, para que seja inferior ao valor máximo admissível, definido pelo utilizador previamente;
- f) cálculo do novo valor para a velocidade de injeção, tendo em conta a etapa e)i., para o segmento; este valor é guardado para definição da curva de velocidade de injeção a utilizar no ciclo seguinte;

- g) repetição das etapas c) a g) para todos os segmentos do perfil de velocidades de injeção;
- h) cálculo da queda de pressão (ΔP), intervalo de tempo (Δt), caudal (Q) e taxa de corte aparente (γ_{app}), para o ciclo seguinte.

Leiria, 06 de maio de 2014