

Projeto de um circuito eletropneumático com regulação da pressão para o processo de execução de furos circulares em chapas metálicas com variação de espessuras

PROJECT OF A ELECTRO PNEUMATIC CIRCUIT WITH REGULATION OF THE PRESSURE FOR THE EXECUTION PROCEEDING OF CIRCULAR PUNCTURES IN METALLIC PLATES WITH VARIATION OF THICKNESSES

Vicente José Fernandes Costa Ferreira
José Rui Camargo
Departamento de Eng.Mecânica, Universidade de Taubaté

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposta de execução de um circuito eletropneumático aplicado a uma bancada, com a finalidade de monitorar a pressão sobre um atuador pneumático para um processo de furação conforme variam as espessuras de chapas metálicas na alimentação do circuito. O controle de espessura é basicamente feito através de um sensor indutivo que associado a um dispositivo mecânico acionado por mola e uma haste, capaz de deslocá-la no momento de passagem de cada chapa e caracterizando com cada movimento uma espessura. A partir do sensor o sinal de entrada é gerado ao CLP, que também é empregado no circuito, para que então possa liberar a válvula solenóide a dosagem de pressão no atuador pneumático. O diagrama de função seqüencial denominado GRAFCET é utilizado para melhor desenvolvimento do projeto. Ressalta-se que para efeitos de simulação a execução dos furos circulares não ocorre na prática, na realidade, o projeto propõe o controle da pressão que está focado no ponto do leitor de espessura das chapas, no caso o sensor, o seu comportamento e a interpretação de sinal no próprio atuador pneumático representativo da máquina de punção.

PALAVRAS CHAVE

Furos circulares. Pratos metálicos. Densidades. Regulação de pressão.

ABSTRACT

This work presents the proposal of execution of an

applied electro pneumatic circuit to a group of benches, with the purpose to monitor the pressure on a pneumatic actuator for a process of in agreement punching varies the thicknesses of metallic plates in the feeding of the circuit. The thickness control basically is made through an inductive sensor that associated to a mechanical device set in motion by spring and a connecting rod, capable to dislocate it at the moment of ticket of each plate and characterizing with each movement a thickness. From the sensor the entrance signal is generated to the PLC, that also is used in the circuit, so that then it can liberate the valve solenoid the dosage of pressure in the actuator pneumatic. The diagram of sequential function called GRAFCET is used for better development. Only, if that for the purpose of simulation the execution of the circular punctures does not occur in the practical one, in the reality, the project considers the control of the pressure in the point of the reader of gauge, in the case the sensor, its behavior and the interpretation of signal in the proper actuator representative tire of the punch machine.

KEYWORDS

Circular punctures. Metallic plates. Thickness. Regulation of the pressure.

INTRODUÇÃO

A presença da engenharia de automação torna-se cada vez mais constante na indústria onde a manufatura busca maiores resultados de produção, qualidade

nos processos e rentabilidade.

Em especial no setor mecânico industrial, o processo de cortes em chapas metálicas apresenta inúmeras aplicações e especificações de tolerâncias, ajustes, tipo de material a ser empregado. A importância de soluções automatizadas para os processos torna-se essencial na medida que a demanda aumenta bem como a exigência do mercado.

Por isto, a necessidade de novas pesquisas que visualizem a aplicação da automação dentro dos processos de fabricação. Sendo escolhido o processo de corte por punção no desenvolvimento de uma punçoneira automática com regulagem de pressão em função da variação de espessura em chapas finas, conceituando a aplicação mecânica com o dinamismo da automação.

No intuito de obter um processo de fabricação mecânico e automático, especificamente no corte de chapas através de um punção, este projeto busca desenvolver um equipamento capaz de controlar as variáveis de trabalho que envolvam: a) espessura das chapas finas escolhidas; b) a variação de pressão no cilindro pneumático, necessário para executar os furos nas duas condições de espessuras de chapas empregadas; c) o monitoramento das espessuras das chapas através de sensores e d) a seleção dos componentes envolvidos. Visa, ainda, analisar o comportamento do processo na utilização dos componentes mecânicos com os automáticos, para a execução do equipamento e conclusões finais quanto ao desempenho do ciclo da máquina como um todo, tendo como ênfase avaliar o comportamento do leitor de espessura de chapas para a regulagem de esforço de corte junto ao cilindro pneumático, de forma a garantir a proposta deste projeto.

PROPOSTA DO SISTEMA

Com a proposta de elaborar um sistema capaz de simular um processo de execução de furos circulares em chapas metálicas com monitoramento das espessuras, deve-se conhecer os elementos, com a finalidade de obter os resultados que atendam a automação proposta e o seu controle.

Dentre os componentes deste projeto destacam-se: três atuadores pneumáticos, sensores indutivos para os fins de curso, sendo um utilizado para o acompanhamento da entrada das chapas até o atuador que executa o furo simulado, um dispositivo mecânico dotado de uma mola com uma haste de movimentação, um CLP, as válvulas solenóides que alimentam os

atuadores, uma válvula "OU", um manômetro, uma ventosa e gerador de vácuo, sendo utilizado quatro chapas quadradas de espessuras de 1mm e 3 mm respectivamente.

Pode ser observado o circuito proposto para o pro-

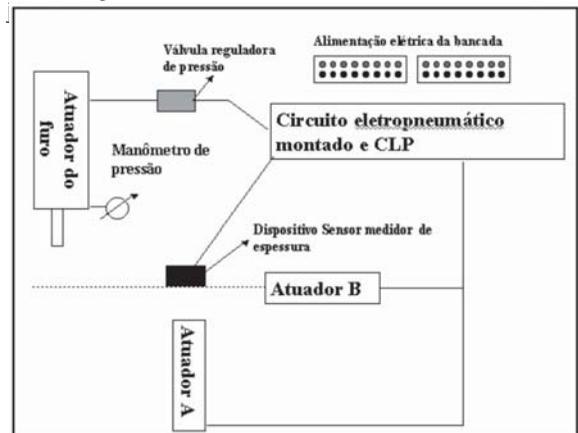


Figura 1 : Esquema da bancada eletropneumática proposta no projeto.

O DESENVOLVIMENTO DO LEITOR DE ESPESSURA DE CHAPAS:

Com o intuito de se obter uma interface mecânica junto a um sensor, foi desenvolvida um leitor de espessura de chapas, a partir de uma chapa retangular, com o uso de uma mola e uma peça alavanca que efetua o contato direto com a chapa ser furada.

O seu princípio de funcionamento se dá quando a peça a ser executada a operação de furação, se aproxima do braço de alavanca através de um cilindro que o conduz. Ao passar, ocorre um contato entre a chapa e a alavanca, como esta se encontra fixa com uma mola, a mesma irá se movimentar, deslocando e movimentando a peça alavanca. Assim, quando for uma chapa de maior espessura, no caso de 3 mm a passar pelo braço de alavanca, ocorrerá o movimento do mesmo, sendo a sensibilidade prevista para este movimento de 2 mm, então o sensor que se encontra no encaixe superior, acusará tal variação, gerando um sinal de entrada seja para o PLC ou para a válvula reguladora de pressão, conforme equipamento a ser empregado. Fazendo, então o devido reconhecimento de espessura a partir do sinal proveniente do sensor, controlando a força de corte na chapa em função da menor ou maior pressão a ser liberado no atuador pneumático. A Figura 2 a seguir ilustra as condições e respectivas medidas empregadas.

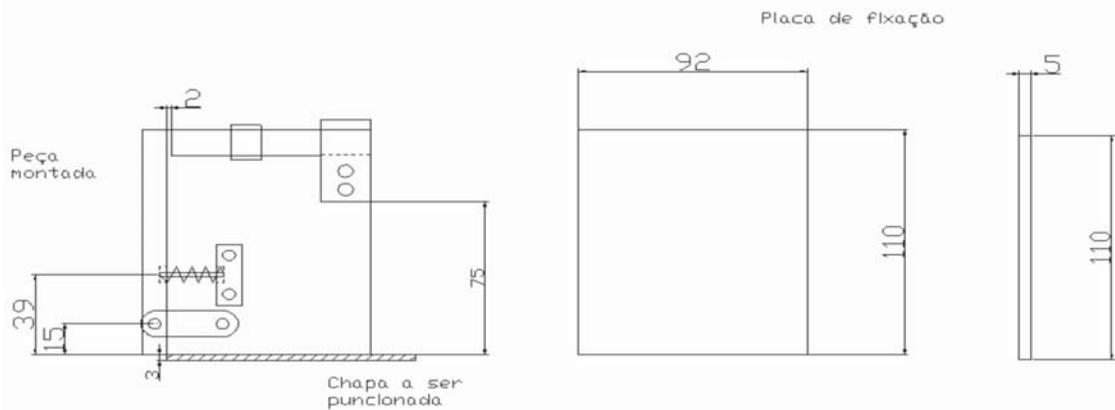


Figura 2 – Dispositivo leitor de espessura de chapas em detalhes.

O CIRCUITO ELETROPNEUMÁTICO:

O circuito será definido a partir de 3 atuadores pneumáticos, sendo um atuador para fins de execução da operação findo, ou seja, o corte de punção na chapa. Os outros dois atuadores servirão para alimentar e movimentar as chapas finas que serão utilizadas para o corte. Os mesmos serão detalhados nos itens adiante.

O elemento sensor será do tipo indutivo sendo necessariamente aplicado para o monitoramento dos seguintes passos do circuito: para efetuar o reconhecimento da espessura de chapa a ser trabalhado; para o posicionamento centralizado da chapa na matriz de corte e para garantir o retorno final do ciclo.

Quanto ao reconhecimento da espessura de chapa, será necessário o uso de uma válvula reguladora de pressão para quando sinal do sensor atuar após o reconhecimento da espessura da chapa metálica, a mesma regule a pressão no cilindro pneumático. O uso de um controlador lógico programável (CLP), será apresentado e sua respectiva programação para atuar no leitor de chapas. Além do sistema de alimentação de ar comprimido ao sistema composto pelo compressor, um conjunto de tratamento do ar e a linha de alimentação até a bancada.

O DIMENSIONAMENTO DOS ESFORÇOS E DA PRESSÃO DO CILINDRO NAS ESPESSURAS DE CHAPAS:

O dimensionamento mecânico propriamente dito é feito com base no esforço de corte a ser realizado sobre a chapa e a que cilindro e qual força de corte deve ser a correspondente a espessura programada. Obteve os seguintes valores para cada espessura de a ser cortada:

Tabela 1 – Esforços de cortes nos atuadores pneumáticos

Cilindro pneumático ISO			
d(mm)	T(N/mm ²)	e(mm)	Fc(N)
5	392,4	0,5	3080,3
		1	6160,7
		1,5	9241
		2	12321,4
		2,5	15401,7
		3	18482

Conclui-se que, para a espessura de chapa de 1 mm será necessário o cilindro com atuar com um esforço de **6170 N**, o que corresponde a uma pressão no atuador de **2,55 bar** e para a espessura de 3 mm atuar um esforço com **18482 N** o que representa no atuador **7,6 bar** de pressão.

A MONTAGEM E O FUNCIONAMENTO DOS ATUADORES:

No que diz respeito na composição dos elementos que constituem o circuito destacam-se as válvulas direcionais, sendo duas de 5 vias e 2 posições e uma de 5 vias e 3 posições, ambas de solenóides com retorno por mola. Além dos elementos sensores que se aplicam como fins de curso e as válvulas reguladoras de fluxo.

Após a definição do problema, deve-se partir para a elaboração do circuito eletropneumático, que para seu desenvolvimento, conta com uma análise preliminar da seqüência ser utilizada, número de setores empregados e os sensores, além dos solenóides. É também feito o diagrama trajeto – passo do circuito e uma tabela com a seqüência dos movimentos ou ações. No início do ciclo o botão de partida S0 energiza o circuito, acionando o avanço do cilindro A; logo em seguida o elemento sensor S2 aciona o seu retorno. Dando se-

guimento a movimentação, o elemento sensor S1 dispara o primeiro avanço de B; até o ponto que antecede o leitor de espessura de chapas identificar a espessura de trabalho; no passo seguinte o elemento sensor S4 determina o avanço do cilindro C que efetua o furo na chapa; o elemento sensor de fim de curso S7, garante o recuo do cilindro C; então o elemento sensor S6 determina o segundo avanço do cilindro B, retirando a chapa já furada do centro de mesa; o sensor S5 então recua o atuador B, até o sensor S3 que reinicia o ciclo.

Tabela 2 – Etapas de movimentação dos atuadores

1º	Botão de partida S0	Avanço do cilindro A	K1
2º	sensor S2	Retorno do cilindro A	K2
3º	sensor S1	1º avanço do cilindro B	K3
4º	sensor S4	Avanço do cilindro C	K4
5º	sensor S7	Retorno do cilindro C	K5
6º	sensor S6	2º avanço cilindro B	K6
7º	sensor S5	Retorno do cilindro B	K7
8º	sensor S3	Reinício do ciclo	K8

O esquema eletro pneumático é apresentado como se segue abaixo:

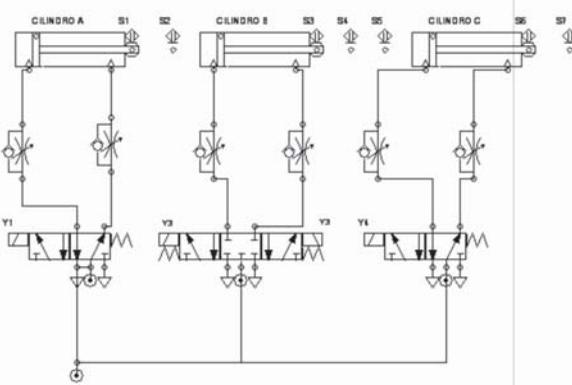


Figura 3 – O esquema eletropneumático do circuito

No que diz respeito na composição dos elementos que constituem o circuito destacam-se as válvulas direcionais, sendo duas de 5 vias e 2 posições e uma de 5 vias e 3 posições, ambas de solenóides com retorno por mola. Além dos elementos sensores que se aplicam como fins de curso e as válvulas reguladoras de fluxo. Quanto ao esquema elétrico e seus principais elementos, foram aplicados os sensores que por definição é baseado no conceito físico de indução, ou seja, variação de campo magnético.

A SEQÜÊNCIA DE OPERAÇÕES:

Conforme proposto, o arranjo dos elementos que

compõem a bancada, é da seguinte forma: um cilindro denominado A que posiciona a chapa até o atuador B, que por sua vez é acionado para conduzir a chapa até o seu ponto de leitura de espessura no dispositivo mecânico com sensor em sua extremidade, e conduz a chapa até o término do processo; uma ventosa acionada por gerador de vácuo na haste de A é empregada com a finalidade de se garantir a pega de chapa e posicionamento da mesma; um atuador C que representa o punção do processo, sendo regulado o seu esforço de execução de furo circular na chapa enquanto variam as espessuras empregadas. Para atender ao ciclo de movimentação do projeto, a seqüência dos atuadores e sensores é descrito abaixo:

1. Aciona a ventosa para succionar a chapa.
2. Avança o cilindro A até fim de curso.
3. Desaciona ventosa, solta chapa na posição para cilindro B.
4. Recua cilindro A .
5. Avança cilindro B até a metade de seu percurso, na altura do dispositivo medidor de espessura de chapas.
6. Sensor leitor de espessura de chapas é acionado com a passagem da chapa pela haste mecânica do dispositivo medidor com o sensor em sua extremidade.
7. Regula pressão do solenóide e válvula OU.
8. Avança cilindro C até o fim de curso.
9. Recua cilindro C.
10. Avança cilindro B até o fim de curso.
11. Recua cilindro B e reinicia o ciclo.

O SISTEMA DE CONTROLE DA ESPESSURA PELO SENSOR:

Para que o monitoramento do sensor ocorra é necessário o uso de uma eletroválvula 5/2 simples solenóide realizando a função de válvula seletora das pressões P1 e P2, a pressão P1 poderá ser a pressão da linha primária (exemplo: 6 bar) e estará já disponível na passagem de 1 para 2 da eletroválvula 5/2, na saída 4 da eletroválvula deverá ser instalado uma válvula reguladora de pressão que será responsável pela pressão P2 no sistema.

Desta forma você poderá utilizar uma válvula alternadora (Função OU) para receber as duas pressões , conforme o sensor identificar a espessura da chapa e enviar sinal para o CLP ou diretamente para a eletroválvula, a mesma realizará a seleção da pressão

solicitada e esta passará pela válvula OU e alimentará a válvula direcional do atuador que realizará a operação.

A figura 4 demonstra que a partir do medidor mecânico com o sensor em sua extremidade, ambas as espessuras de chapas e1 ou e2 são devidamente reconhecidas, quando o sensor indutivo emite a variação de seu sinal, correspondendo a um de maior intensidade quando a maior espessura de chapa for detectada, e sinal de menor intensidade quando a espessura for menor. Logo em seguida o sinal é encaminhado ao CLP que dará saída para a válvula solenóide, quando da espessura e1 tem-se a pressão P1 sem sair pela válvula OU, quando for pressão P2 o que corresponde a espessura e2, saindo pela válvula OU e acionando o atuador com pressão diferente.

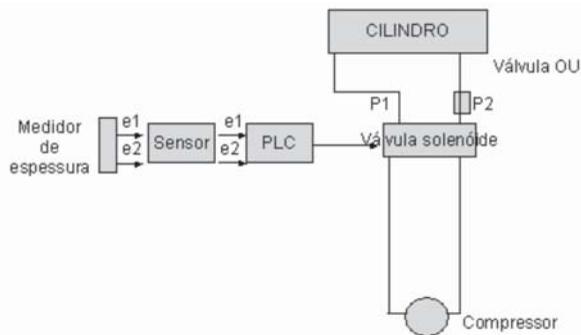


Figura 4 – O esquema de medição da espessura com base no sensor do circuito

Assim busca-se atender uma seqüência adequada para o reconhecimento de espessura a partir do sensor com o ciclo descrito abaixo:

OBS: COLOCAR COMO UMA SEQUENCIA DE TEXTO.

- 1.O sensor libera o sinal de espessura e1ou e2.
- 2.Vai para o PLC.
- 3.Direciona para a válvula solenóide.
- 4.Se for espessura e1, alimenta atuador diretamente com pressão P1.
- 5.Se for espessura e2, alimenta atuador na saída com válvula OU e efetua P2.
- 6.Retorna para início de ciclo.

O CIRCUITO EM GRAFCET:

Gueguén et Bouteille (2001), demonstram a aplicação de dois padrões no GRAFCET, a primeira aplicação é no que diz respeito a etapas fechadas ou em inglês o termo *enclosing steps*, que define o diagrama sob uma estrutura hierárquica aplicadas para solucionar as situações mais complexas; na segunda implica-

ção é apresentado as ações armazenadas ou *stored actions*, que usualmente mais empregadas, caracterizando as ações de cada etapa e sua respectiva lógica associada.

Segundo Georgini, o diagrama funcional seqüencial denominado SFC(Sequential Function Chart), aplicado neste trabalho tem seus elementos caracterizados abaixo:

- Etapas – às quais são associadas as ações.
- Transições – às quais são associadas as condições.
- Ligações orientadas – que conectam as etapas às transições e estas as etapas.

A combinação destes elementos proporciona uma representação estática do Sistema Automatizado.

Com base nas definições acima, busca-se determinar o sequenciamento do processo automatizado do processo em estudo, foi adotado dessa maneira, o diagrama funcional com as etapas e transições de forma descritivas e lógicas, considerando a movimentação dos atuadores e o monitoramento de espessura de chapas. A seguir pode ser visto o diagrama como um todo e suas principais etapas funcionais.

Dessa forma pode ser visto no diagrama o início, os elementos sensores atuando em suas respectivas ações, e identificar de uma maneira lógica a operação sendo executada num esquema do tipo passo a passo.

No projeto foi adotado o GRAFCET do tipo descritivo, onde para cada etapa é especificado sua respectiva ação e elemento lógico associado e caracterizado diretamente pelo seus elementos sensores que compõem a lógica do sistema. Portanto fica aplicado o diagrama realizado

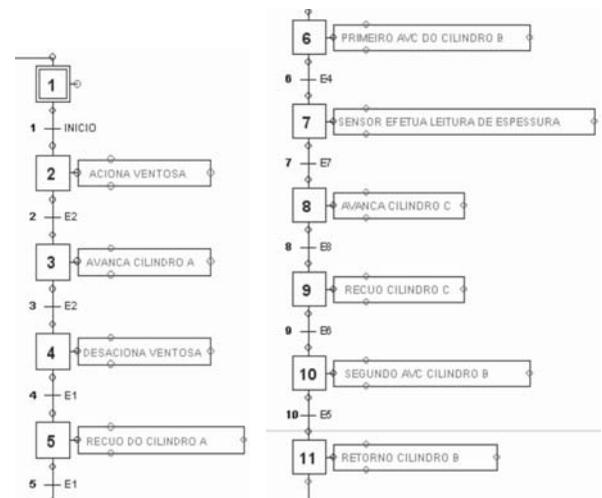


Figura 5 – Diagrama seqüencial funcional

Outra etapa é definir a combinação seqüencial através de comandos combinatórios e seqüenciais, que por Romano e Guimarães compõem o diagrama lógico do sistema, sendo que para os comandos seqüenciais associa-se a cada etapa um modo lógico correspondente. Sendo o método passo a passo adotado para associar a uma memória do tipo Set-Reset..

Em Fialho, os comandos seqüenciais são comandos de sistemas que produzem uma seqüência predefinida de ações, cuja passagem de uma para a outra se dá em função do cumprimento de condições de prosseguimento, sendo originados por sinais de entradas E e internas I, segundo a programação.

$$S = f (E, I) \quad (1)$$

O CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Com o objetivo de realizar o reconhecimento de sinal a partir do sensor, regular a força de corte quando diferentes espessuras são aplicadas, será necessário o uso de um CLP- Controlador Lógico Programável, que segundo Georgini, pode ser definido como um dispositivo de estado sólido – um computador industrial , capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle(seqüência lógica, temporização e contagem, por exemplo), além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados.

Para a sua programação, utiliza-se a linguagem Ladder, que representa um diagrama de contatos , sendo uma das formas mais claras de se apresentar uma lógicas de controle. Como tal linguagem evoluiu dos diagramas elétricos, com a corrente elétrica que circula pelos dispositivos de forma a completar um circuito elétrico.

Tendo como base o GrafCet e o diagrama lógico sequencial desenvolvido anteriormente, é então gerado as linhas de comando Ladder como seguem abaixo capazes de possibilitar a interpretação das dosagens de pressão no cilindro em função

Tabela 3 - Variáveis de entrada:

Descrição	Notação	Entrada no CP
Botão de início	E0	IO.0
Cilindro A recuado	E1	IO.1
Cilindro A avançado	E2	IO.2
Cilindro B recuado	E3	IO.3
Cilindro B - 1º avanço	E4	IO.4
Cilindro B - 2º avanço	E5	IO.5
Cilindro C avançado	E7	IO.7
Cilindro C recuado	E6	IO.6
Sensor medidor de espessura(1 e 3 mm)	E8	IO.8
Emergência	E9	IO.9

Tabela 4 - Variáveis de saída:

Descrição	Atuação	Entrada no CP
solenóide Y1	A +	Q0.0
solenóide Y2	A -	Q0.1
solenóide Y3	B+,B++	Q0.2
solenóide Y4	B -	Q0.3
solenóide Y5	C +	Q0.4
solenóide Y6	C -	Q0.5
aciona ventosa	L0	Q0.6
desaciona ventosa	L1	Q0.7

O SISTEMA DE CONTROLE E DIAGRAMA DE BLOCOS:

Dentro do contexto do Sistema de controle, destacam-se as variáveis dinâmicas e que estão inseridas no processo, no caso do presente trabalho destacam-se: a pressão e o deslocamento. Estes dois elementos representam a resposta dinâmica dos atuadores e do sensor envolvido no sistema automático, além do fator de realimentação do processo no retorno do ciclo.

No caso do que está sendo estudado, tem-se um diagrama de blocos conforme acontece o controle, então o sinal de entrada é gerado na interface sensor com haste mecânica, que é o próprio deslocamento devido a passagem da chapa e sua espessura.

O sensor que monitora a espessura das chapas finas, deve atuar conforme o deslocamento envolvido com o dispositivo mecânico medidor. Converte o sinal de entrada ,no caso o deslocamento proveniente do movimento da haste mecânica acionada por mola, e transmite-lo ao elemento gerenciador do sistema, no caso o PLC; que obtém na saída um sinal de maior ou menor tensão até a válvula reguladora de pressão , liberando a tensão até o atuador pneumático, recebendo uma condição de operação de maior ou menor pressão para atuar. O diagrama de bloco em questão opera da seguinte maneira:

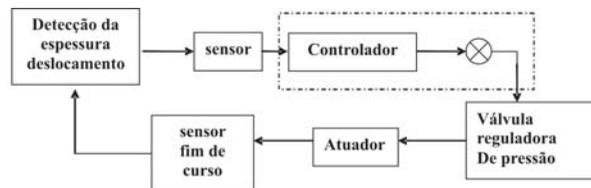


Figura 6 - Diagrama em blocos do sensor monitor da espessura de chapas.

RESULTADOS PREVISTOS PARA O ENSAIO:

De acordo com o exposto, o intuito de resultados é atender a aplicação da variabilidade da pressão no atuador quando há as mudanças nas espessuras de chapas. Como os testes estão em

finalização, o que se obtém é uma previsão do que o sistema irá apresentar conforme vai acontecendo os ensaios como um todo, atendendo aos ciclos programados e os ajustes que devem ser aplicados.

A montagem mecânica e o posicionamento do sensor que detecta o deslocamento proveniente da haste acionada por mola quando da passagem das chapas de espessuras diferentes, sendo o mesmo de característica indutiva. O sensor deve estar apoiado na posição que define para a espessura de chapa de maior valor, um sinal de maior intensidade em sua saída, de maneira a possibilitar a ação no CLP e o possível envio a válvula solenóide em sua saída com uma válvula OU, o que vem a garantir a distribuição da pressão de maior valor sobre o atuador pneumático final.

Já no caso da espessura de valor menor, o sensor deve estar alocado na posição de forma que garanta a não detecção do movimento da haste mecânica quando de seu deslocamento, servindo de ponto inicial para a pressão no atuador pneumático, não necessitando da saída com a válvula OU, garantindo a ação diretamente no atuador.

Em termos de valores sendo proporcional a alteração, quando da espessura maior, maior valor de pressão, e quando da espessura menor, o valor de pressão também é menor. A Tabela 5 apresenta um resumo do que o manômetro pode vir a acusar quando a aplicação dos testes em duas chapas de espessuras de 1 mm e 3mm de perfil quadrado 100 x 100 mm.

Tabela 5 – Previsão dos resultados dos ensaios:

Espessura da chapa em mm	Valor previsto de leitura para pressão em bar
1	2,5 a 3
3	7,6 a 8

Portanto uma aplicação como esta em uma situação de produção onde deva ocorrer mais de um tipo de chapa em uma mesma máquina ou equipamento, pode ser administrada em função do reconhecimento do tipo de espessura da chapa, permitindo um possível ganho de produtividade e de máquina, liberando um outro posto para uma atividade a mais.

REFERÊNCIAS

FIALHO, A.B. Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos. Editora Érica Ltda., São Paulo, 2003, 324 p., 85-7194-961-1.

CASTRUCCI, P.L. MORAES, C.C. Engenharia de Automação Industrial. Livros Técnicos e Científicos S.A, Rio de Janeiro, 2001, 295 p.

FRANKLIN, G.F. POWELL, J.D. NAEINI, A. E. Feedback Control of Dynamic Systems. Addison-Wesley Publishing Company, 3rd edition, 832 p.

GUÉGUEN, H. BOUTEILLE, N(2001). Extensions of GrafCet to structure behavioral specification. Control Engineering Practice, 9, 743-756.

RICHARDSON, R. PLUMMER, A.R. BROWN, M.D (2001). Self-Tuning Control of a Low-Friction Pneumatic Actuator under the Influence of Gravity. IEEE Transaction on control systems technology, vol.9, no.2, 330-334.

ROMANO, V.F. GUIMARÃES P.R. Projeto de Alimentador Pneumático para Automação de Processo de Alimentação de Chapas em Prensas CNC. Artigo de dissertação de Mestrado COPPE/ UFRJ, 1999.

BRITO, O. Técnicas e aplicações de estampos de corte. Hemus Editora limitada, São Paulo, 1^a edição em português, 188 p.

BONACORSO, N.G. Automação Eletropneumática. Editora Érica Ltda, São Paulo, 1999, 3^a edição, 136p., 85-7194-425-3.

PARKER HANNIFIN IND.COM.LTDA, Catálogo Linha Pneumática 1001-5 BR, Novembro 2003.

SORLI, M. PASTORELLI, S(2000). Performance of a pneumatic force controlling servosystem: Influence of valves conductance. Robotics and Autonomous Systems, 30, 283-300.

PROVENZA, F. Estampos I, PRO-TEC : 1984 APOSTILA.

PARKER TRAINING, Tecnologia Eletropneumática Industrial, Apostila M1002-2 BR, Agosto 2001.

WEBB, J.W. Programmable logic controllers: principles and applications. Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1999, 439p., 0-13-679408-4.

XIANG, F. WIKANDER, J(2004). Block-oriented approximate feedback linearization for control of pneumatic actuator system. Control Engineering Practice, 12, 387-399.

POLACK, A.V. Manual Prático de Estampagem. APOSTILA.

PFEIL,W. Estruturas de Aço.Livros Técnicos e Científicos,
Rio de Janeiro, 1976, 508p.

GEORGINI, M. Automação Aplicada Descrição e
Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs.Editora
Érica Ltda,São Paulo,2000,233p.