

## Melhoria de Produtividade e Qualidade de Puncionadeira CNC

João Sinohara da Silva Sousa

Rômulo Gonçalves Lins

sinohara@uol.com.br

romulolins2001@gmail.com

Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica.

**Resumo.** Neste trabalho, foi realizado o estudo e o desenvolvimento de novas formas de ferramentas para otimização do tempo de estampagem e melhoria da qualidade para puncionadeira CNC. Numa primeira etapa, foi descrito o processo de estampagem, explicando como se realiza e quais fenômenos estão envolvidos neste processo. Posteriormente fez-se uma análise para determinar as técnicas empregadas para solucionar problemas enfrentados nos ensaios, o emprego de novos materiais e revestimentos voltados à fabricação de ferramentas, e a influência dos parâmetros de processo (força de corte, geometria de corte no punção e força da prensa chapa) na qualidade do produto e no tempo de processamento. O trabalho apresenta, com detalhes, o desenvolvimento da solução e os resultados obtidos através da implantação no chão de fábrica e seus resultados técnicos e econômicos. Para tal abordagem, utilizou-se como trabalho prático o caso da estampagem de uma porta perfurada que possui dezessete mil furos de Ø 6 mm em chapa de aço carbono AISI 1010.

**Palavras-Chave:** puncionadeira CNC, redução do custo de produção, melhoria de produtividade.

### Improvement of Productivity and Quality of Punching CNC

**Abstract.** Summary In this work, it was carried through the study and the development of new forms of tools for optimization of the stamping time and improvement of the quality for punching CNC. In a first stage the stamping process was described, describing it as if it carries through and which involved phenomena in this process. Later an analysis became to determine the used techniques to solve problems faced in the assays, the job of new materials and coverings directed to the manufacture of tools, and the influence of the parameters of process (force of cut, geometry of cut in the punch and force of the press plates) in the product quality and the time of processing. The work presents, with details, the development of the solution and the results gotten through the implantation in the economic soil of plant and its results technician and. For such boarding, the case of the stamping of a perforated door was used as practical work that possesses 17000 punctures of Ø 6 mm in steel plate carbon AISI 1010.

**Keywords.** punching CNC, reduction of production cost, improvement of productivity.

## 1. Introdução

Os processos de conformação mecânica, em especial a estampagem, estão se tornando um dos métodos de fabricação mais utilizados na obtenção de produtos na indústria. Com a estampagem, é possível **obtenção de** componentes com alto índice de produtividade, baixo custo, menor desperdício de material pós-processo de fabricação, menor consumo de energia, e produtos com elevado valor agregado (VOELKNER, 2000).

A geometria e o desenvolvimento das ferramentas utilizadas são os fatores que determinam a qualidade e o tempo de fabricação dos produtos obtidos pelo processo de estampagem por puncionadeira CNC e, aliada a esses fatores, há ainda grande flexibilidade, pois, com a mesma ferramenta, é possível produzir inúmeros tipos de produtos e ou diferentes formas.

A ferramenta, bem como sua forma, está entre os problemas mais importantes a serem abordados na otimização e na qualidade dos produtos obtidos do processo de estampagem por puncionadeira, pois ferramentas especificadas inadequadamente provocam empenamentos, rebarbas excessivas devido ao cisalhamento e maiores tempos de fabricação.

**Este** estudo de caso analisa a produção de portas perfuradas, bem como a melhor situação de produtividade e qualidade a ser desenvolvida à aplicação.

## 2. Objetivo

A produção de portas perfuradas vem apresentando defeitos no produto, como rebarba excessiva, empenamento maior que a tolerância de planicidade de 1 mm no comprimento total, devido a tensões provenientes do corte e, quanto ao processo de produção, os problemas apresentados são o tempo excessivamente longo para a fabricação, alto consumo de insumos como óleos de corte, punções e matrizes de corte, devido ao método utilizado, com uma ferramenta de único punção, conforme Figura 2-a.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise sobre alguns métodos disponíveis para geração da geometria da ferramenta e das técnicas utilizadas, com a finalidade de reduzir o tempo de fabricação, melhoria da qualidade e da produtividade, bem como a redução dos custos de produção em puncionadeira CNC.

Ao final, foram feitas comparações dos custos de produção e da qualidade do produto para avaliar qual a melhor solução adotada para resolver o problema.

## 3. Estampagem

No processo de estampagem por puncionadeira CNC, alguns fatores devem ser observados, tais como a carga de corte máxima, as dimensões de trabalho da máquina e a quantidade de ferramentas no magazine.

As ferramentas também devem ter atenção especial, tanto na fabricação, com relação às dimensões estabelecidas pelo fabricante, bem como o seu desgaste quando em regime de trabalho. Os principais tipos de desgaste são: desgaste abrasivo, desgaste adesivo, lascamento, trinca catastrófica, deformação plástica, caldeamento (LIM, RAMAKRISHNA e SHANG, 2000).

### 3.1. Processo de estampagem

A estampagem da porta ocorre na puncionadeira *trumpf* 3000R, com velocidade linear de 108 m/min, nos eixos X e Y ou simultaneamente, possuiu carga máxima de corte de 180kN, possui capacidade para 19 ferramentas no magazine, e 420 golpes por minuto para um incremento de 25 mm, e dimensões da mesa de 2500 x 1250 mm.

A chapa de aço AISI 1010 de dimensão 2000 X 1200 X 1,2 mm, é colocada sobre a mesa da puncionadeira e, após a fixação, cada ferramenta programada atua conforme a sequência preestabelecida pelo programa. A Figura 1 mostra o equipamento:



Figura 1. Máquina punçoneira CNC utilizada na produção (Dados do autor, 2006)

Após a fixação, a mesa da máquina desloca-se para a posição programada e ocorre a estampagem, para isto o punção superior é acionado contra a matriz inferior, formando a geometria da ferramenta na chapa. A força que a máquina utiliza na operação é mensurada por meio de células de carga e é enviada ao sistema de controle. Caso a força utilizada ultrapasse a carga máxima de corte, a máquina possui sistemas de segurança que proporcionam a parada da máquina para não ocasionar maiores danos.

### 3.2. Forças envolvidas na operação de corte

A força de corte depende diretamente do tipo de material, da espessura da chapa “e” e do perímetro de corte “p”. A espessura da chapa e o perímetro de corte são grandezas conhecidas de projeto. A influência do material na força de corte vem por meio de um valor tabelado chamado Pressão Específica de Corte “k”, que é uma função da tensão de ruptura. O valor de k. é determinado experimentalmente, e para o aço AISI 1010, o valor de k. é de 313,8 N/mm<sup>2</sup> (PROVENZA, 1993). Desta forma, a força de corte “F<sub>c</sub>” é calculada a partir da Eq. (1):

$$F_c = e \cdot p \cdot k_c \text{ [N]} \quad (1)$$

## 4. Inovações tecnológicas implantadas

### 4.1. Ferramenta multipunções

A fim de melhorar o tempo de fabricação, foi desenvolvida uma geometria que possibilitou utilizar doze punções de corte em uma única ferramenta, e empregou-se a solução com rotação simétrica para otimizar os esforços de corte (PROVENZA, 1993). As principais dimensões da ferramenta são mostradas na Figura 2-b.

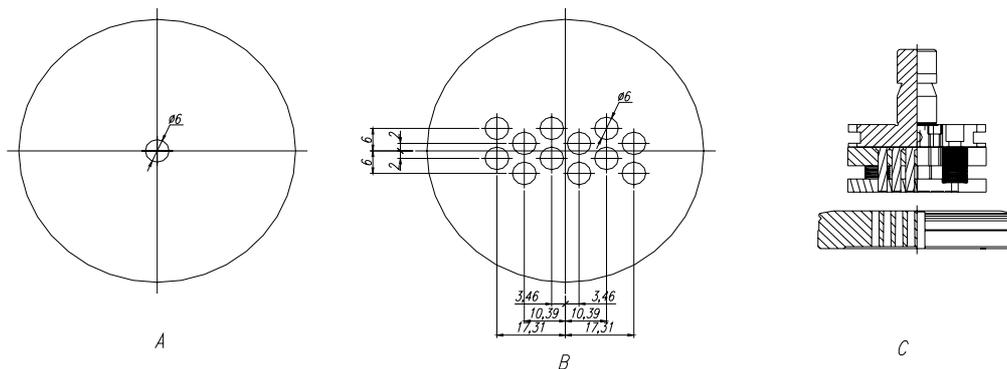


Figura 2. a) Punção único; b) Geometria com doze punções; c) Ferramenta montada em corte

#### 4.2 - Prensa-chapa baseado em molas prato

O prensa-chapa é um dos itens mais importantes em estampos, pois, além de manter a chapa presa sobre a matriz durante a operação, sua utilização diminui as tensões residuais de corte. É comum no desenvolvimento de prensa-chapa a utilização de molas helicoidais (LIM, RAMAKRISHNA e SHANG, 2000).

No processo de estampagem por punçoneira, torna-se muito complexo o desenvolvimento do prensa-chapa, pois o tamanho das molas helicoidais é um grande problema e, com o espaço reduzido, a mola helicoidal a ser utilizada possui carga pequena, o que não proporcionará um bom desempenho.

O prensa-chapa desenvolvido utiliza molas tipo prato, Ø 13 mm e espessura de 0,5 mm, montadas em arranjo simples, num total de noventa e seis molas, distribuídas em quatro conjuntos equidistantes, e a força de prensa-chapa “F<sub>pc</sub>” é calculada em função do número “n” de molas e da constante da mola “c” que, no caso da mola utilizada, é de 225,4 N/mm<sup>2</sup>. Então, a força do prensa-chapa é calculada por:

$$F_{pc} = n \cdot c \text{ [N]} \quad (2)$$

#### 4.3 – Corte com arestas inclinadas

A prática de se construir as arestas de corte inclinadas, tanto para o punção como para a matriz, diminui a força de corte necessária por possibilitar um corte progressivo. Podem-se dispor arestas inclinadas tanto na matriz quanto no punção. Quando a parte cortada é a peça final, a inclinação deve ser feita na matriz, porém quando a parte cortada é retalho, a inclinação deve ser feita no punção. A Figura 3 mostra o gráfico comparativo das forças de corte quando as arestas de corte são inclinadas.

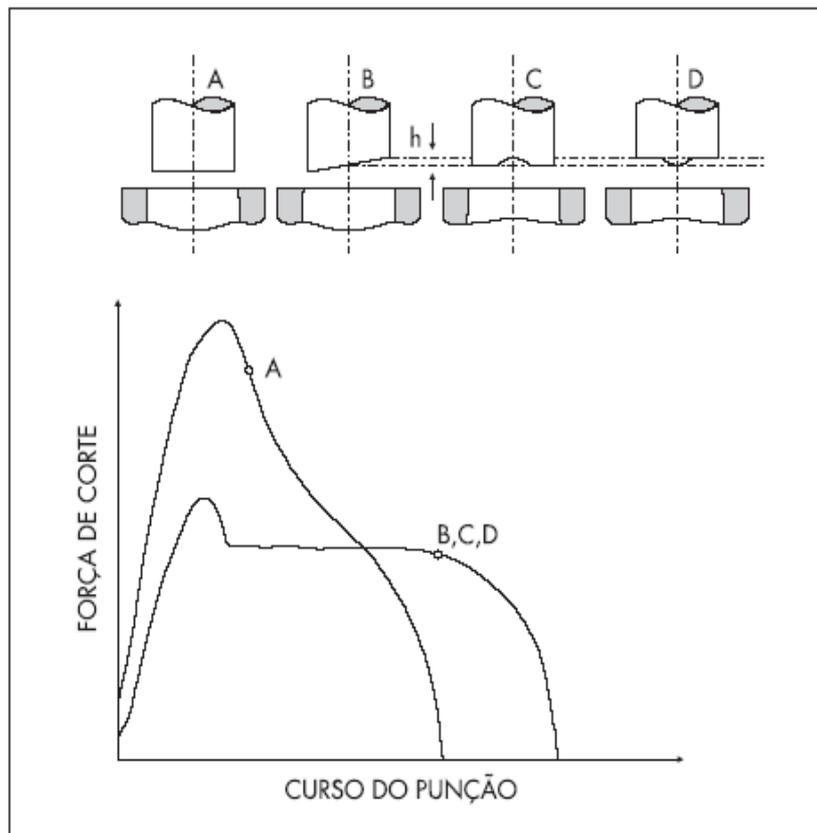


Figura 3. a) Aresta reta; b) Aresta inclinada; c) Aresta côncava; d) Aresta com guia

Com a prática de construção de arestas inclinadas, reduz-se em média 30% da força de corte, **de acordo com** dados experimentais (PROVENZA, 1993). Com a diminuição da força de corte e o dimensionamento correto da folga entre punção e matriz de corte, **reduz-se** sensivelmente a formação de rebarbas na saída do furo e também o empenamento devido ao corte. A força que a máquina utiliza para estampar mais a força do prensa-chapa é a força total "F" que a punçoneira precisa para realizar o processo de estampagem:

$$F_t = e \cdot p \cdot k_c \cdot 0,7 + n \cdot c \text{ [N]} \quad (3)$$

#### 4.4 - Aplicação de revestimento

A questão do revestimento para ferramentas de conformação mecânica é um tema não muito difundido, pois aumenta os custos de produção, mas pode ser aplicado visando **a** diminuir problemas no processo de produção, principalmente os fenômenos de desgaste, proporcionando uma vida útil maior à ferramenta (BRASIMET, 2006).

O revestimento aplicado à ferramenta foi o Nitreto de cromo "CrN", aplicado pelo processo de deposição física de vapor "PVD" a arco. Esse revestimento possui características importantes para melhoria de desempenho das ferramentas, tais como, a baixa tensão residual de compressão, minimização do efeito de caldeamento entre a ferramenta e o material, principalmente em chapas de aço carbono, e grande resistência **à** corrosão.

Os principais fenômenos de desgaste são minimizados devido às propriedades dos revestimentos apresentados na Tabela 1. A adesão é minimizada em virtude da baixa inércia química do revestimento e do baixo coeficiente de atrito. O desgaste por abrasão é minimizado pela alta dureza do revestimento e a deformação plástica é minimizada devido à diminuição dos esforços tangenciais na superfície da ferramenta por conta da redução do coeficiente de atrito.

Tabela1. Propriedades das camadas de TiN, CrN, TiCN, depositadas pelo processo de PVD a arco

Camada	TiN	CrN	TiCN
Dureza [HV 1N]	2500	2300	2900
Carga crítica [N]	60	45	50
Temperatura de oxidação [°C]	550	650	450
Coeficiente de atrito	0,65	0,55	0,50

## 5- Resultados experimentais

Os produtos foram estampados em três diferentes configurações de geometria, afiação do punção, revestimento e prensa-chapa.

A primeira configuração **constituiu-se de** furo individual e punção reto não revestido sem prensa-chapa; o segundo caso com doze furos por golpe, punção reto revestido com prensa-chapa, e uma terceira configuração com doze furos por golpe, punção a 15° revestido com prensa-chapa. Após o processo de fabricação, houve medição da planicidade em máquina tridimensional, conforme ilustrado na Figura 4.

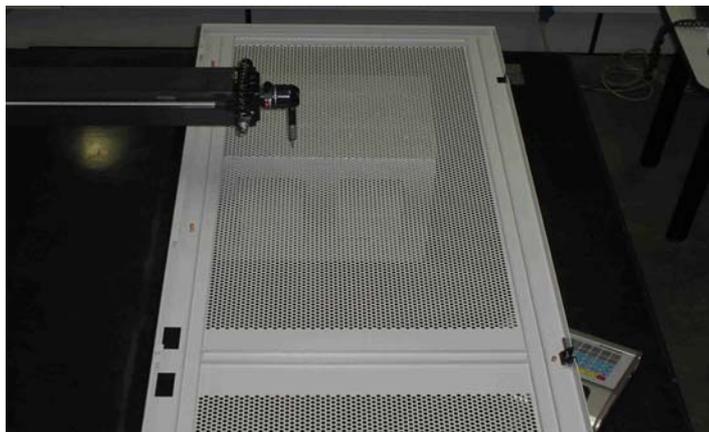


Figura 4. Medição da planicidade da porta perfurada acabada em tridimensional

Os resultados experimentais foram obtidos a partir de medições realizadas no laboratório de metrologia, e das informações do sistema ERP. A medição da planicidade foi realizada na máquina de medição tridimensional, conforme o controle estatístico do processo, e seus resultados são apresentados na Figura 5.

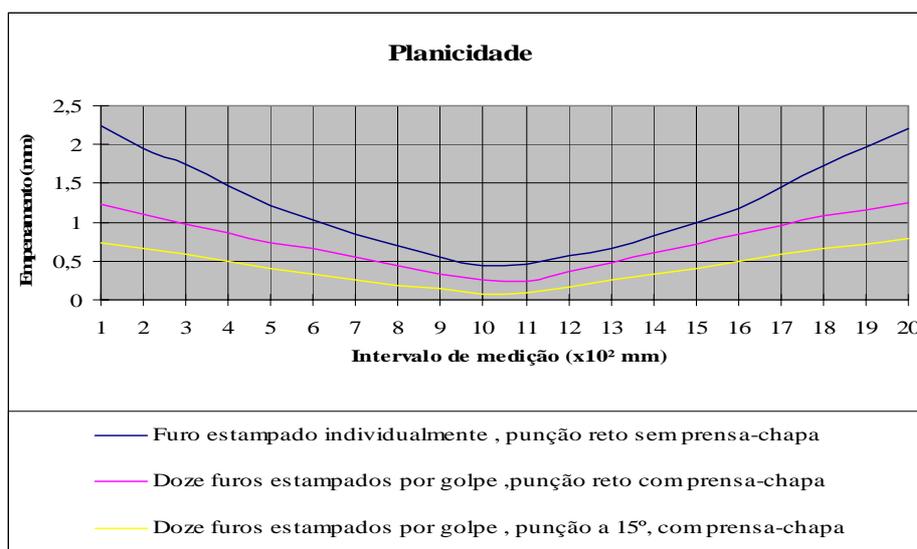


Figura 5. Gráfico da medição da planicidade

Observa-se que na primeira configuração houve um empenamento de 2,24 mm, ultrapassando-se a tolerância de planicidade exigida. Na segunda configuração, houve uma redução do empenamento devido à inclusão do prensa-chapa, mas ainda não foi obtida a tolerância desejada. Somente na terceira configuração, com arestas inclinadas e com prensa-chapa, é que houve uma redução do empenamento a um valor de 0,74 mm, dentro da tolerância especificada.

Os resultados da redução de custos são informações provenientes do processo de produção colhidos pelo sistema ERP e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Custo de produção em puncionadeira para lote de 100 unidades

Custos de fabricação	Configuração 1	Configuração 2	Configuração 3
Tempo de produção do produto (min)	48,32	7,75	7,75
Tempo de parada de máquina (min)	3,5	3,5	3,5
Tempo total de produção (min)	51,82	11,25	11,25
Custo de matéria-prima (R\$)	67,2	67,2	67,2
Custo total de produção (R\$)	103,64	22,5	22,5
Custo de insumos por unidade (R\$)	6,32	9,87	8,25
Custo total por unidade (R\$)	177,16	99,57	97,95
Custo de produção do lote (R\$)	177,16	99,57	97,95

A tabela de custos de produção (Tabela 2) mostra que, com a configuração com doze punções, o tempo de fabricação foi reduzido aproximadamente seis vezes, comparando-se com a configuração com um único punção, porém o custo de insumos aumentou, devido ao custo do revestimento aplicado à ferramenta, mas

esse custo é muito pequeno, comparando-se com o custo de produção, por isso, torna-se viável o uso de revestimentos.

## 6- Conclusão

As inovações tecnológicas implantadas, prensa-chapa, arestas inclinadas, revestimentos, e a ferramenta multipunções permitiram atingir a qualidade especificada, melhoria de produtividade e redução do tempo de fabricação, e mostraram-se viáveis quanto a sua implantação no chão de fábrica.

Dentre as inovações, o revestimento aumentou a vida útil das ferramentas, reduzindo paradas de máquina indesejadas, contribuindo para a melhoria de produtividade.

O prensa-chapa desenvolvido contribuiu para a diminuição do empenamento, para a melhoria da qualidade do produto e para a obtenção de padrões de planicidade dentro dos padrões especificados.

A ferramenta multipunções e as arestas de corte inclinadas foram de fundamental importância para a redução do tempo de fabricação, com reflexos diretos sobre o custo de produção.

Com a implantação das melhorias, foi possível reduzir o custo final de produção, melhorar a qualidade e a produtividade em punçoneira CNC, tornando o produto viável economicamente para comercialização.

## 7- Referências

BRASIMET. **Revestimentos**. 2006. [online]. Disponível em <http://www.brtasimet.com.br>.

EARY, D. F.; REED, E. A. **Technique of design**, 2 ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974.

LIM, T. C.; RAMAKRISHNA, S.; SHANG, H. M. Simultaneous stretch forming and deep drawing in axisymmetrical sheet forming, **J. Mater. Proc. Technol.**, v. 97, pp. 82-87, 2000.

MATWEB. **Materials information resource**. 2006. [online]. Disponível em <http://www.matweb.com>.

PROVENZA, F. **Estampos III**. Local de edição: Pro-Tec. Edição, 1993.

ROSSI, M. **Estampado en frío de la chapa**. Barcelona: Ed. HOEPLI, 1971.

VOELKNER, W. Present and future developments of metal forming: select examples. **J. Mater. Proc. Technol.**, v. 106, pp. 236-242, 2000.

## 8. Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.