

# PERFIL DA FORÇA DE CORTE NO PUNÇIONAMENTO DE TIRAS METÁLICAS VARIANDO A DISTÂNCIA ENTRE A MATRIZ E A PLACA GUIA DO PUNÇÃO<sup>1</sup>

*Antonio de Pádua Lima Filho<sup>2</sup>*

*Gustavo Henrique Pires<sup>3</sup>*

*Roberto Mac Intyer Simões<sup>3</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo analisar os perfis das curvas de corte (força versus tempo) para uma peça em forma de arruela variando a distância entre a abertura livre da placa guia do punção e matriz para o puncionamento de tiras metálicas. Uma prensa excêntrica de capacidade de 12tf foi usada para o puncionamento de tiras de alumínio 1050H14 de 2mm de espessura. Esta prensa excêntrica foi instrumentada com uma célula de carga de 5tf. Um sistema de aquisição de sinais e dados foi usado para obter o perfil das curvas de corte e comparar com os resultados obtidos através de equações que estimam a força de corte. Um grande gasto de energia foi obtido para efetuar o corte da tira e a extração do punção quando a placa guia está posicionada a duas vezes a espessura da tira. Conseqüentemente isto provoca um maior desgaste do ferramental e tempo de produção, considerando que milhões de peças serão fabricadas. As forças de corte estimadas teoricamente estão mais próximas dos valores obtidos quando a altura que separa a matriz da placa guia do punção, é igual à espessura da tira metálica. Tais ensaios permitem verificar a importância das principais partes de um projeto de matriz.

**Palavras-chave:** Puncionamento; Força de corte; Tempo de corte; Projeto de matriz.

## **CUTTING FORCE PROFILE FOR METALLIC STRIP WHEN PUNCHING WITH VARIOUS DISTANCES BETWEEN DIE AND PUNCH GUIDE PLATE**

### **Abstract**

The aim of this work is to analyze the cutting curve profile (force versus time) for a work piece in the shape of a washer for which the distance between the free opening of the punch guide plate and die is varied during the punching of metallic strip. An eccentric press of 12tf capacity was used for punching aluminium 1050H14 strip of 2mm in thickness. This press was fitted with a load cell of 5t capacity. A signal and data acquisition system was used to obtain the cutting curves, which were then compared with theoretically calculated values. When the guide plate is positioned at a distance of twice the thickness of the strip then a great amount of energy is expended in both cutting the strip and extracting the punch afterwards. Consequently, this results in a very high and unacceptable level of blanking tool wear especially considering the millions of pieces that are likely to be cut during manufacture. Conversely when the gap between the die and punch guide plate is equal to the thickness of the metallic strip then the theoretical cutting force calculations are much closer in agreement with experimental values. Such assays point to the significant parameters of blanking die designs.

**Key words:** Punching; Cutting force; Cutting time; Blanking die designs.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

<sup>2</sup> *UNESP-Campus de Ilha Solteira – Depto. de Eng. Mecânica - Eng. Metalúrgico pela EEIMVR-UFF; Mestre em Ciência pelo ITA; PhD pela University of Sheffield – Inglaterra*

<sup>3</sup> *UNESP – Campus de Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica.*

## INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo obter o perfil da força de corte e de extração do punção de tiras metálicas variando a distância entre a matriz e a placa guia do punção através de um sistema de aquisição de sinais e dados, e comparar os valores das forças obtidas experimentalmente no processo com os estimados teoricamente.

A ruptura por cisalhamento, modo de falha, tipo III, <sup>(1)</sup> é um estado de tensão atuante no processo de fabricação que envolve corte ou abertura de latas de bebidas em geral.<sup>(2)</sup> A operação de corte é um processo fácil, rápido e econômico quando comparado à fundição, forjamento e usinagem.

Há três forças envolvidas no punçionamento de tiras metálicas: força do punção  $P_{m\acute{a}x}$  (corte), força de ejeção do *blank* (material recortado) da cavidade da matriz e a força de extração do punção da tira. As principais variáveis na operação de cisalhamento são: a força  $P_{m\acute{a}x}$  e a velocidade do punção, a condição do fio de corte, o tipo do aço ferramenta do punção e da matriz, a folga entre o punção e a matriz, e o ângulo de impacto (corte).<sup>(2)</sup>

Quando o punção é posto em movimento, empurra o material para dentro da cavidade da matriz, fazendo com que tensões cisalhantes provoquem o corte do material entre a folga do punção e da matriz. O perfil de corte é formado de uma superfície lisa devido à tensão de cisalhamento e rugosa devido à ruptura do material.

A geometria dos *blanks* e dos furos é determinada respectivamente pelas dimensões da matriz e do punção. O desgaste e a conseqüente fiação das matrizes conduzem a recortes cada vez maiores. Por outro lado, os furos vão diminuindo de diâmetro à medida que o punção se desgasta. Assim, a folga entre o punção e a matriz é o fator determinante da forma e da qualidade das arestas cisalhadas dos *blanks*.

A zona de deformação das arestas de corte é mais irregular e menos precisa quanto maior a folga. Dessa forma, a tira metálica é puxada para dentro da área de folga, obtendo um perfil de corte arredondado e com maior formação de rebarba. Assim, a tira metálica é curvada e sujeita a tensão de tração, ao invés de atuar somente a deformação de cisalhamento. Como resultado, a trinca superior e inferior gerada no cisalhamento não se encontrarão, e a força de corte  $P_{m\acute{a}x}$  aumenta. Se a folga for correta ou mais justa, as trincas de ruptura superior e inferior se encontram e a separação do material ocorre plenamente.<sup>(2)</sup> Bresan e Vaz Junior<sup>(3)</sup> apresentam um modelamento matemático através de métodos de elementos finitos para visualizar os níveis de tensão, deformação e temperatura que ocorrem na região de cisalhamento de chapa.

Rebarbas cada vez maiores são formadas pelo desgaste prematuro das ferramentas nas tiras metálicas dúcteis. Estas podem ser acompanhadas por trincas, prejudicando a operação de conformação plástica por embutimento e ou repuxamento dos *blanks*.

A força de descida do punção ( $P_{m\acute{a}x}$ ) é igual ao produto da tensão de cisalhamento máxima entre a tira metálica e a área de seção transversal de corte. Esta força pode ser maior devido à expansão do *blank* a ser retirado da matriz após o corte. Como a zona cisalhada está sujeita a formação de trincas, deformação plástica, atrito, aquecimento, por exemplo, diversos perfis das curvas de força de corte do punção *versus* tempo podem ser obtidos. A área abaixo desta curva é o trabalho total realizado no cisalhamento.

A força máxima do punção ( $P_{max}$ ) é obtida pela Equação (1) (Kalpakjian (2)) e Equação (2):<sup>(4)</sup>

$$P_{max}=0,7(UTS)(t)(L) \quad (1)$$

$$P_{max}=(\sigma_{cis})(t)(L) \quad (2)$$

onde a UTS e  $\sigma_{cis}$  são respectivamente a resistência a tração convencional do material e ao cisalhamento máximo,  $t$  é a espessura da tira metálica e  $L$  é o perímetro de corte.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de corte foram realizados em duas etapas para avaliar o perfil da força de corte de acordo com a altura da placa guia em relação a matriz:

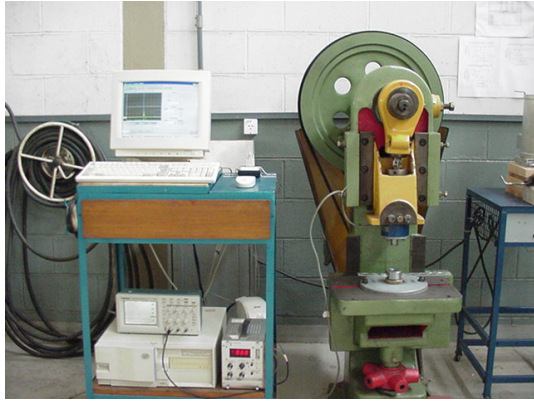
1. igual ao dobro da espessura da tira,  $e$ ;
2. igual à espessura da tira.

Figura 1 mostra o ferramental utilizado (punção e matriz) com um mecanismo o qual possibilita o deslocamento da placa guia do punção para efetuar a operação de puncionamento deste trabalho. A tira metálica é introduzida no ferramental manualmente, Figura 2. As marcas realizadas sobre as tiras previamente facilitam a sua ótima posição para a operação de corte.

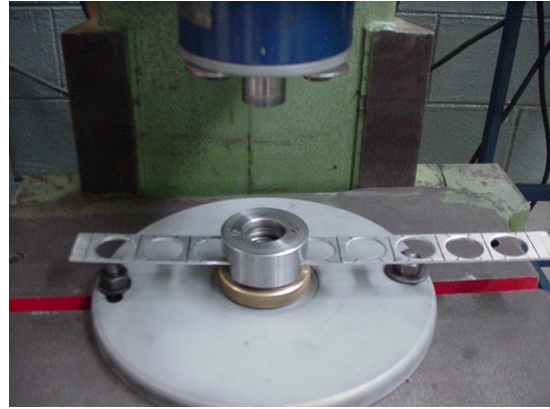


**Figura 1.** Punções e matrizes para o puncionamento de tiras de alumínio.

O aparato experimental para a operação de corte constituiu de uma prensa excêntrica de 12 toneladas de capacidade, um amplificador e condicionador digital de sinais modelo TMDE e um osciloscópio digital de memória (TEKTRONIX TDS 210), um microcomputador que utiliza o software WAVESTAR para obter o perfil da curva de corte (força *versus* tempo), Figura 2.



(a)



(b)

**Figura 2.** Aparato experimental composto pela prensa excêntrica de capacidade de 12tf e o sistema de aquisição de sinais e dados (a). Detalhe da tira metálica encaminhada para dentro do ferramental para operação de corte (b).

## RESULTADO

Figura 3 mostra a tira cortada (refugo), os *blanks* (refugo) e as arruelas obtidas. As marcas sobre as tiras como descrito anteriormente facilitam o seu posicionamento para que a peça seja obtida.



**Figura 3.** Tira de alumínio mostrando a parte da tira cortada juntamente com as peças obtidas e os refugos (*blanks*).

Tabela 1 mostra os dados da força de corte e extração da tira de alumínio comercialmente puro (1050H14) de 2,0 mm de espessura com resistência a tração e ao cisalhamento de 85MPa e 70MPa respectivamente de acordo com os dados do fabricante.

**Tabela 1.** Forças de corte e de extração dos ensaios realizados para diâmetros do retalho e da peça respectivamente de 15mm e 27mm.

Forças atuantes [kN]	Etapas			
	1. Espessura igual ao dobro da espessura da chapa*		2. Espessura igual ao da espessura da chapa**	
	Blank	Peça	Blank	Peça
Corte (experimental)	$8,9 \pm 0,2$	$15,5 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,04$	$7,7 \pm 0,05$
Extração (experimental)	$-3,5 \pm 0,7$	$-0,6 \pm 0,07$	$-1,1 \pm 0,3$	$-0,4 \pm 0,05$
Equação 1	5,8	10,2	5,8	10,2
Equação 2	6,9	11,2	6,9	11,2

\*4 amostras com confiabilidade de 95%; \*\* 9 amostras com confiabilidade de 95%.

Figura 4 mostra a relação entre a força de corte e a de extração do punção de acordo com as condições de ensaio. Para ambos os casos a força de extração aumenta à medida que a força de corte diminui.

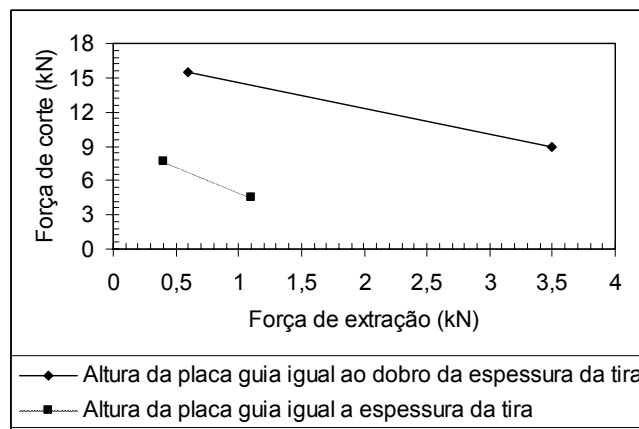


Figura 4. Relação entre a força de corte e a força de extração.

Figuras 5 e 6 mostram os perfis das curvas obtidas experimentalmente nas condições como especificadas para os testes.

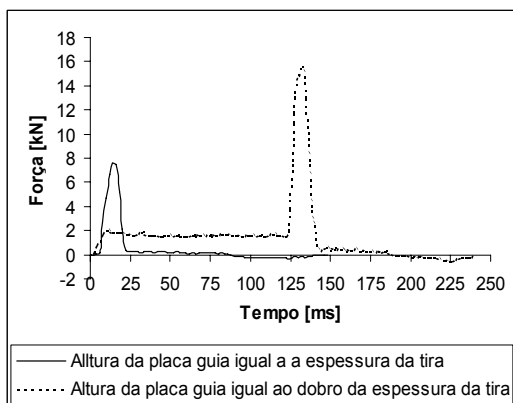


Figura 5. Perfis das curvas de corte para a peça (arruela). Nota-se um patamar serrilhado na curva de maior gasto de energia.

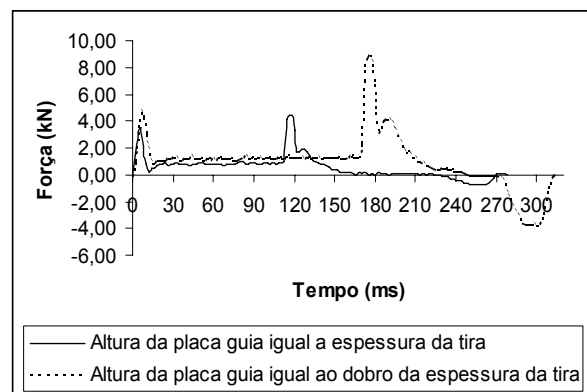


Figura 6. Perfis das curvas de corte para o retalho (blank).

## DISCUSSÃO

Os resultados experimentais mostram que a força de corte e a força de extração foram maior para o ensaio realizado com a altura da guia igual ao dobro da espessura da tira. Como resultado, uma maior energia é gasta e assim podendo provocar um maior desgaste do ferramental.

A força de corte calculada para o recorte da peça utilizando as Equações (1) e (2) está mais próximo do valor estimado para um afastamento igual ao da espessura da tira. Assim, o mecanismo de corte brevemente descrito acima, considera que a tira está sendo guiada dentro do estampo de corte para uma altura da placa guia do punção em relação a matriz igual à espessura do material que está sendo cortado. Praticamente, ambas as equações podem ser utilizadas para o cálculo da força de cisalhamento.

A força de extração do punção para a placa guia posicionada a duas vezes a espessura da tira em relação a matriz, foi sempre maior quando comparada a uma

altura igual à espessura da tira, Figura 4. Isto é um indicativo que outras forças estão agindo sobre a tira além da força de estiramento necessária para a retirada do punção da tira. A qualidade de corte da peça foi igual para as condições de corte empregadas.

A partir do momento em que o perímetro de corte é aumentado a força de extração medidas experimentalmente diminuiu para as condições de corte aplicadas, vide Figura 4. Isto pode ser explicado pela menor borda deixada, após o corte da tira de maior diâmetro, relaxando as tensões residuais de contração do furo. Assim, um menor grau de agarramento do punção ocorreu. Por outro lado, o puncionamento do *blank* a força de extração foi maior devido à maior borda deixada após o corte da tira e assim um maior grau de tensões residuais ocorreu.

O tempo total de corte para a altura da placa guia igual e duas vezes a espessura da tira para a arruela (peça), foi de 140ms e 240ms respectivamente, Figura 5. Assim, uma maior energia foi usada para efetuar o corte da tira quando a placa guia está posicionada a duas vezes a altura da tira. Conseqüentemente, isto acarreta um maior desgaste do ferramental e tempo de produção, considerando que milhões de peças serão fabricadas.

Figura 6 mostra que o tempo de duração de corte do *blank*, considerando a altura da placa guia como o dobro e a mesma altura da tira, foi respectivamente de 314ms e 278ms. Então, para efetuar o primeiro puncionamento (menor área de corte), um maior tempo foi necessário. Assim, um maior desgaste do ferramental ocorre. Os perfis das curvas de corte do retalho para ambas as condições são irregulares com a presença de três picos e parecidos (vide Figura 6), o que não ocorre com as curvas do corte final da peça (arruela), vide Figura 5.

## CONCLUSÃO

Os trabalhos publicados na literatura específica sobre a operação de corte concentram-se no estudo da folga entre o punção e a matriz, e simulação numérica do corte. Este trabalho possibilitou um outro tipo de abordagem, abrindo caminho para futuras pesquisas sobre o processamento de corte de tiras metálicas.

## REFERÊNCIAS

- 1 DIETER, G. E. **Mechanical Metallurgy**, McGraw-Hill Book Company, London, 1988.
- 2 KALPAKJIAN, S. **Manufacturing Process for Engineering Materials**, Third Edition, Addison-Wesley, Menlo Park, California, 1997.
- 3 BRESAN, J.D., VAZ JUNIOR, M. Simulação numérica do corte de chapas metálicas. In: 1º. COBEF CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 02 a 04 de abril de 2001, Curitiba. Paraná. 1 CD.
- 4 CRANE, E. V. **Plastic Working on Metals and Non-Metallic Materials**, Third Edition, New York, John Willey & Sons, London Chapman & Hall, Ltda, 1944.