

ROTEIRO PARA DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAL PARA PUNÇONAMENTO DE CORPO DE PROVA DE TAMANHO REDUZIDO PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO

Manolo Lutero Gipiela

Paulo Victor Prestes Marcondes

Universidade Federal do Paraná. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, 81530-000.

lutero@ufpr.br

marcondes@ufpr.br

Resumo. Neste trabalho é apresentado um roteiro compacto para desenvolvimento e fabricação de um ferramental de punçonnemento de corpos de prova de tamanho reduzido utilizados em ensaios de tração. O desempenho do ferramental como manufaturado se mostrou eficiente para sua finalidade e seu uso tem sido de grande valia nas aulas laboratoriais de Conformação Plástica de Metais no curso de Engenharia Mecânica e na caracterização de propriedades materiais em estudos de Mestrado e Doutorado realizados no LABCONF – Laboratório de Conformação do DEMEC – Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

Palavras chave: Punçonnemento de chapas. Ferramentas de corte. Projeto de ferramentas.

1. INTRODUÇÃO

Ferramentas de estampagem devem proporcionar um excelente funcionamento produzindo peças sem rebarbas e imperfeições, portanto, ao projetar um ferramental, é necessário verificar alguns requisitos de grande importância para que se obtenha um bom resultado final, considerando o tipo de material a ser estampado até mesmo a quantidade da produção das peças. Os materiais utilizados para fabricação do ferramental as folgas de corte, disposição do produto na tira devem ser criteriosamente determinados, pois representam grande economia na construção e produção através do processo de punçonnemento.

Utilizando-se de todas essas informações, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e fabricar um ferramental específico para punçonnemento para corpos de prova em tamanho reduzido para realização de ensaios de tração. No projeto foram consideradas as mínimas dimensões permitidas por norma e a premissa de gerar o mínimo de desperdício de chapa.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Estampo de corte

Segundo Benazzi e Caversan (2012), os estampos são compostos de elementos comuns como ferramentas (base inferior, cabeçote ou base superior, espiga, colunas de guia, placa de choque, placa guia, parafusos e pinos de fixação entre outros) e por elementos como punção e matriz, os quais são responsáveis pelo formato da peça a produzir.

Segundo Provenza (1976), para que uma ferramenta tenha uma excelente eficiência é necessário o bom projeto do ferramental, materiais com propriedades mecânicas adequadas para sua construção, bom acabamento e tratamentos térmicos em alguns elementos do conjunto. Existem diferentes tipos de construção de ferramentas dependendo da sua aplicação alguns exemplos são: ferramentais para corte, dobra, repuxo, etc.

2.2. Punçonnemento de chapas

Chapas planas são submetidas à ação de um punção de corte, aplicado por intermédio de uma prensa, que exerce pressão sobre a chapa apoiada em uma matriz. No instante em que o punção penetra na matriz, o esforço de compressão converte-se, em esforço de cisalhamento e ocorre o desprendimento brusco de um pedaço de chapa (Rossi, 1979).

No corte por punçonnemento, primeiro o material é comprimido, efetuando a deformação de suas fibras. Para o cisalhamento, a pressão exercida é maior que a resistência do material, este se rompe e as fibras deformadas tendem retornar à sua posição primitiva. Deste modo, há a necessidade que o punção e matriz obtenha precisão na dimensão, apresentando folga entre os mesmos (Silveira, 2008).

No puncionamento, à medida que ocorre o deslocamento do punção em contato com a superfície da chapa, o material, em estado plástico, se expande para o interior da matriz. Com o esforço exercido pelo punção, o mesmo supera a resistência ao cisalhamento do material, e separando a peça cortada do restante do material da chapa (Gipiela, 2013). Devido à elasticidade do material e ao esforço exercido na chapa, várias deformações ocorrem nas fibras do material ao redor da área puncionada. Com as deformações ocorre atrito sobre as paredes da matriz, dificultando a expulsão do retalho e o retorno do punção a partir do furo da chapa. Portanto, é de suma importância considerar uma folga entre o punção e a matriz de corte para facilitar tanto a expulsão do retalho como a extração do punção (Gipiela, 2013).

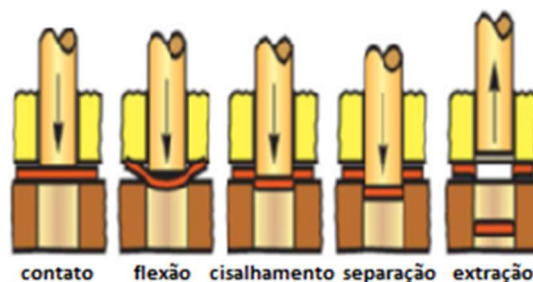


Figura 1. Etapas do processo de corte por cisalhamento (Müller, 2012)

2.3. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do projeto do ferramental e sua fabricação, foram determinadas as etapas segundo o fluxograma da Fig. 2.

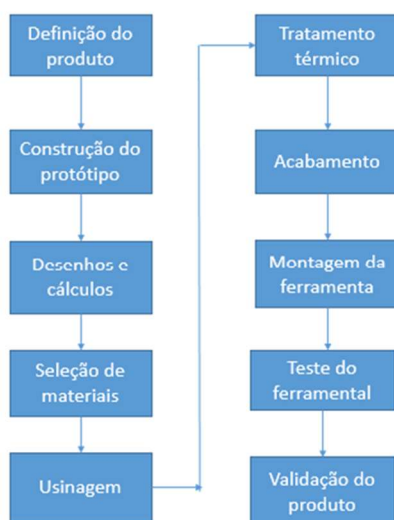


Figura 2. Fluxograma da sequência do projeto e fabricação

2.4. Dimensões do produto

Neste tópico é explicado o planejamento definido para a fabricação do ferramental de corte por puncionamento. Considerando a norma NBR 6673, e utilizando dimensões mínimas dentro da norma, foi definido o tamanho do produto e fabricado um protótipo com tamanho reduzido, para teste de fixação é possível leitura do extensômetro da máquina de ensaio de tração.

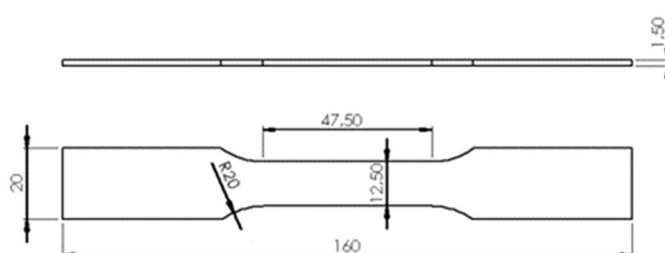


Figura 3. Protótipo do produto.

2.5. Dimensionamento de ferramenta

No processo de estampagem é necessário conhecer a força de corte necessária para realizar o cisalhamento da chapa. Com esta informação é realizado o dimensionamento da ferramenta, pois mesmo chapas com pouca espessura possuem alta resistência mecânica e a maneira mais simples de calcular a força de corte é multiplicar a tensão de ruptura do cisalhamento pela área cisalhada demonstrada na Eq. (1) (SOUZA, 2001).

$$F_c = T_c \cdot A_c \quad (1)$$

Onde:

F_c = Força de corte [N], T_c = Tensão de cisalhamento [Mpa] e A_c = Área de corte [mm²]

Conforme mostrado na Fig. 1, um ferramental para punçionamento de chapas é composto por um punção de corte, matriz, porta punções, placa de choque, base superior, coluna guia, base inferior e espiga que irão proporcionar a realização do processo de estampagem de maneira eficaz, garantindo os requisitos exigidos em termos qualitativos.

Segundo PROVENZA (1976) um punção para estampagem de chapa é construído de aços com alto teor de carbono ou metal duro, tem como função cortar a geometria definida sendo seu comprimento calculado pela Eq. (2).

$$L = \frac{\sqrt[2]{\pi^2 \cdot E \cdot J}}{F_c} \quad (2)$$

Onde:

L = comprimento do punção [mm], E = módulo de elasticidade [kgf/mm²], J = momento de inércia $J = \frac{b \cdot h^3}{12}$ e F_c = força de corte [kgf].

Sendo que seu comprimento deve ser limitado para que não flambe verificado nas Eqs. (3) e (4).

$$L_o = \frac{\sqrt[2]{\pi^2 \cdot E \cdot J_{im}}}{F} \quad (3)$$

Válido para:

$$\lambda = \frac{L_o}{J_{im}} > 100 \quad (4)$$

Onde:

L = comprimento do punção (mm) e L_o = comprimento de flambagem (mm), sendo $L_o = 2 L$ para punção simples ou $0,75 L$ para punção guiado.

A matriz é o componente que, juntamente com o punção, conforma a chapa e esta utiliza o mesmo material do punção. Seu dimensionamento é realizado através de dados da Fig. 4 e nas Tabs. 1 e 2 e espessura máxima que uma matriz deve possuir para suportar os esforços de corte é calculada pela Eq. (5).

$$E > \sqrt[3]{F - 3} \quad (5)$$

Onde:

E = espessura da matriz [cm] e F = força de corte [ton]

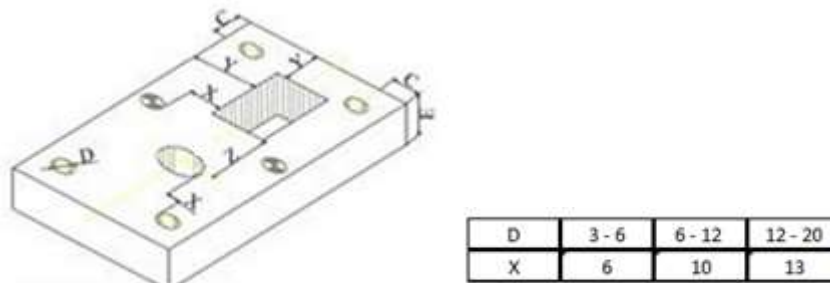


Figura 4. Dimensionamento da matriz (Provenza, 1976)

F ton	10	15	20	30	50	90	120
E mm	16	16	22	28	34	40	48
C mm	9-10	12-13	14-15	17-18	21-23	29-32	34-35
C' mm	11-12	14-15	17-18	21-22	26-27	36-37	41-42
Y mm	1, 2 - 3. E para matrizes pequenas				Obs: Para matrizes intericas ou encaixadas podemos tomar		
	2 - 3. E para matrizes grandes						
Z mm	α . e (e = espessura da chapa em mm)				0,6 e .		

Tabela 1. Dimensionamento da matriz (Provenza, 1976)

P \ e	0,2 - 0,5	0,8 - 1	1,2 - 1,5	1,8 - 2,5	2,8 - 3,5
16	4 - 10	2,5 - 3	1,7 - 2	1,2 - 1,5	0,8 - 1
30	5 - 13	3 - 4	2 - 3	1,5 - 1,8	1,4 - 1,5
60	6 - 15	4 - 5	3 - 3,5	2,2 - 2,6	1,8 - 2
100	8 - 20	5 - 6	4 - 4,2	3 - 3,5	2 - 2,5
150	10 - 25	6 - 7	4,5 - 5	3,2 - 4	2,8 - 3
200	15 - 30	7 - 8	5 - 6	3,8 - 5	3,5 - 4
300	15 - 35	7,5 - 9	5,5 - 6,5	5 - 6,2	4 - 4,5

Tabela 2. Valores de α definidos em função do perímetro de corte p (mm) e da espessura da chapa e (mm) (Provenza, 1976)

Ainda na matriz, é necessário prever um ângulo para facilitar a saída do material cortado e evitar o acúmulo e quebra da matriz. Esse ângulo de saída na matriz é mostrado na Fig. 5. Além do ângulo de saída, é necessário que seja definida uma espessura adequada para reafiações da matriz. Na Fig. 5 essa espessura para reafiação é representada pela letra T e pode ser definida entre 3 a 4 vezes a espessura da chapa quando for menor que 2 mm e entre 1,5 vezes a espessura da chapa quando possuir espessura maior que 2 mm.

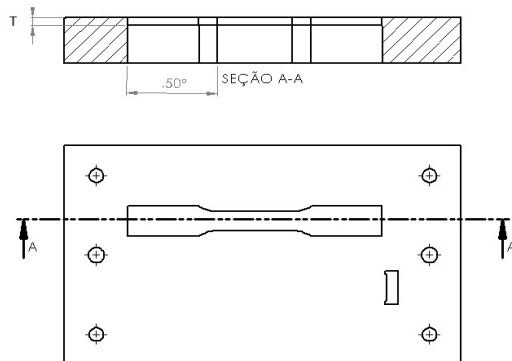


Figura 5. Ângulo de saída e matriz de corte

Em ferramentais para estampagem de chapas, além da matriz é necessário o uso de porta punção, o qual é uma placa onde são fixados os punções e este é fabricado em aço 1010/1040 e sua dimensão de espessura corresponde a $\frac{1}{4}$ do comprimento do punção. A placa de choque é responsável por distribuir a pressão dos punções evitando a penetração dos mesmos no cabeçote, material utilizado aços 1040/1050 e sua espessura deve ser maior ou igual à 5 mm. A base superior do cabeçote serve de suporte para os punções e outros elementos que se encontram acima da matriz. Pode ser de ferro fundido (26FF), aço fundido (3430 AF) ou aço laminado (aço 1010), sendo sua espessura maior ou igual à 20 mm. No caso da placa guia tem a função de guiar os punções. O material comumente utilizado na sua fabricação é o aço 1020 ou aços com o teor de carbono um pouco mais elevado, como por exemplo, o aço 1040. Sua espessura deve ter $\frac{1}{4}$ do comprimento dos punções.

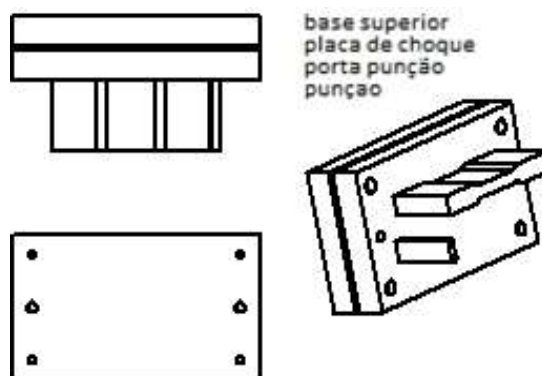


Figura 6. Conjunto superior da ferramenta

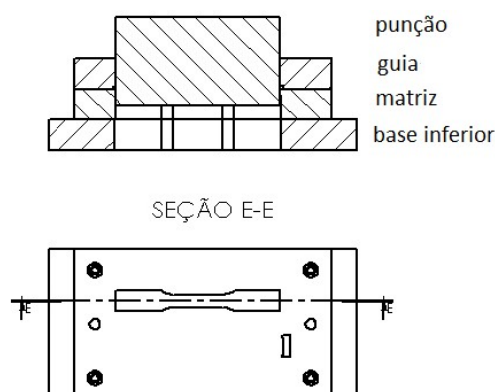


Figura 7. Conjunto inferior da ferramenta

A base inferior deve ser fabricada em ferro fundido (26FF), aço fundido (3430AF) ou aço laminado (aço 1010/1020). Serve para apoio da matriz e outros componentes com espessura maior ou igual à 25 mm.

A espiga deve estar localizada no centro de forças do cabeçote (base superior) para que não haja inclinação nos punções, sendo que sua união à base superior pode se dar de duas maneiras: forçada e rebatida ou por rosqueamento. A primeira opção é usada quando a espessura do cabeçote é inferior ou igual a 25,0 mm (PROVENZA, 1976), caso contrário, opta-se pelo rosqueamento. O material da espiga pode ser um aço 1040 ou aço 1020. Aplica-se as dimensões conforme representações da figura abaixo.

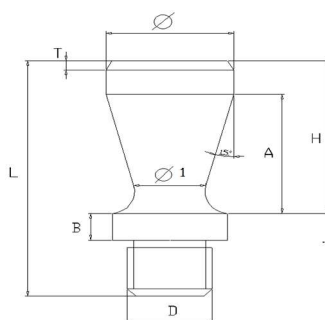


Figura 8. Espiga da ferramenta de estampo

A Tab. 3 fornece todos dados necessários para o dimensionamento da espiga ilustrada na Fig. 8.

Ø	Ø1	D	A	B	C	T	H	L
20	13	M16	28	5	3,5	3	40	55
25	17	M20	35	7	4	3	45	65
32	24	M22	35	8	4	4	56	80
40	26	M27	55	10	7	4	72	100
50	36	M30	55	15	7	5	80	110
65	51	M45	55	15	7	5	100	140

Tabela 3. Dados para dimensionamento da espiga de ferramentas para puncionamento

A determinação do posicionamento da espiga é definida em função do baricentro da placa superior onde a espiga é fixada. As Eqs. (6) e (7) possibilitam calcular o baricentro para essa finalidade.

$$XG = \frac{\sum Xi * Li}{\sum Li} \quad (6)$$

$$YG = \frac{\sum Xi * Li}{\sum Li} \quad (7)$$

Onde:

XG – Localização da espiga no eixo X [mm], YG – Localização da espiga no eixo Y [mm], Xi – Perímetro da geometria da matriz [mm],

Li – Coordenada da geometria em X no caso para XG e em Y no caso para YG [mm]

De acordo com Gipiela (2013), para obter um acabamento adequado na superfície de corte é necessário planejar a folga entre punção e matriz (tipicamente entre 2 a 15% da espessura da chapa a ser puncionada). Nas folgas insuficientes ocorre o desencontro das trincas (rasgamento secundário) e nas folgas excessivas causam intensa deformação plástica, permitindo a origem de rebarbas e saliências agudas na borda superior do furo.

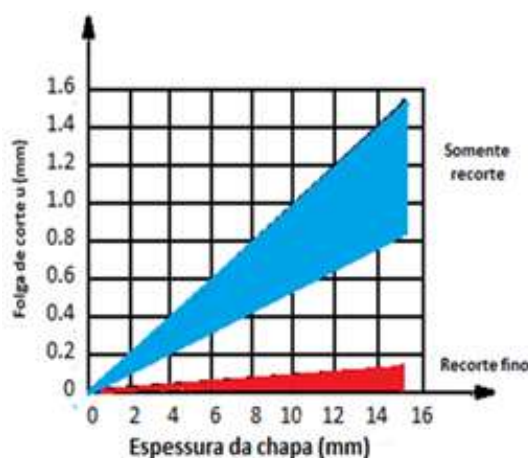


Figura 9. Tabela de folga de corte em função da espessura da chapa (Schaeffer, 2004)

Segundo HAMBLI (2002), a folga entre punção e matriz tem importante papel nos processos de corte de chapas. A dimensão da folga influenciará diretamente na vida da matriz ou punção, na força de corte, na força de extração e precisão dimensional. Alguns fatores como folga e velocidade dos punções em relação a matriz, geometria da ferramenta e as propriedades mecânicas dos materiais tem influências importantes na qualidade da secção transversal e precisão dimensional.

Através da altura da rebarba em processos de corte de chapas, podem ser avaliadas, produtividade e qualidade do produto. Segundo Marcondes (2009), existe 3 tipos possíveis de folgas entre punção e matriz em operações de puncionamento de chapas, sendo estas: a) folga apropriada, b) folga insuficiente e c) folga excessiva. As folgas tipo b) e c) geram rebarbas no processo de puncionamento de chapas.

Um outro componente de grande importância em ferramentas para puncionamento é a faca de avanço. Esta tem como finalidade limitar o passo da tira é um punção cuja largura equivale ao passo da matriz, as facas de avanço se aplicam em peças de espessura de 0,2 até 4 mm. Utilizando a Tab. 4, podemos dimensionar a faca de avanço ilustrada pela Fig. 10.

a = p	e	c	b	a1	l	l1
6,3	6,5	2,0	0,3	6,3	80-100	60-70
6,4- 10	6,5	2,5	0,4	7,0		
10,1- 16	6,5	3,0	0,5	8,0		
16,1- 25	8,5	4,0	0,6	9,0		
25,1- 40	12,0	6,0	0,7	10,0		
40,1- 100	13,5	8,0	0,8	12,0		

Tabela 4. Dados para dimensionamento da faca de avanço

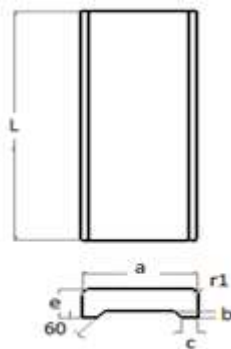


Figura 10. Faca de avanço

Além da faca de avanço, as réguas de guia ou guias laterais do produto também são bastante úteis para se realizar o puncionamento sequencial em chapas, possibilitando um bom aproveitamento da mesma. A régua de guia tem como objetivo guiar convenientemente a tira do produto dentro do estampo, sendo montadas numa distância entre si igual à largura da tira mais um mínimo de folga que possibilite um deslizamento regular da tira que geralmente é cerca de 20% da espessura da chapa. O material para fabricação da régua guia pode ser SAE 1045 ou VND, sendo aconselhável o tratamento térmico para HRC 45-48 (Andradas, 2016).

Segundo Marcondes (2009), existem algumas regras gerais de projeto de peças recortadas ou puncionadas, que deve ser sempre que possível respeitadas. Uma disposição adequada das peças na chapa ou tira sempre significará maior economia de material e, conseqüentemente, bom aproveitamento da chapa. Podemos calcular o percentual de aproveitamento utilizando-se a Eq. (8) abaixo.

$$\% APC = \frac{Ap \cdot n}{Ac} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

APC = aproveitamento da chapa, Ap = Superfície total da peça [mm²], n = número de peças por chapa e Ac = Superfície total da chapa [mm²].

De acordo com Chiaverini (1986), todos os aços para ferramentas e matrizes são utilizados no estado temperado e revenido. Nos tipos mais comuns, simplesmente ao carbono ou com alguns elementos da liga em baixos teores. Essas operações são levadas a efeito às temperaturas normais de têmpera e revenido, dependendo as mesmas apenas do teor de carbono e da dureza final desejada. Como a temperabilidade desses aços mais simples é baixa, a têmpera é realizada em água. Nos aços mais complexos, com vários elementos de liga, alguns dos quais em teores elevados, a têmpera deve ser realizada a temperaturas muito elevadas, às vezes acima de 1.300°C, para garantir completa solução dos carbonetos complexos presentes nesses materiais. Nesses aços mais complexos, a temperabilidade é muito alta, de modo que a têmpera pode ser feita em óleo, ao ar e até mesmo em banho de sal.

3. CONCLUSÃO

Os materiais utilizados para fabricação do ferramental, as folgas de corte e a disposição do produto na tira devem ser criteriosamente determinados, pois representam grande economia na construção e produção através do processo de puncionamento. Utilizando-se de todas essas informações foi desenvolvido e fabricado um ferramental para a obtenção de corpos de prova em tamanho reduzido para ensaios de tração e, conforme verificado em amostras estampadas por este ferramental, o mesmo proporcionou um excelente funcionamento produzindo peças sem rebarbas e imperfeições. Portanto, ao projetar um ferramental para puncionamento de chapas, é necessário verificar alguns requisitos de grande importância para que se obtenha um bom resultado final, considerando o tipo de material a ser estampado até mesmo a quantidade da produção das peças. Com essas informações é possível otimizar um projeto de ferramental de estampagem tornando mais em conta a sua fabricação.

A ferramenta desenvolvida neste trabalho tem sido utilizada de forma satisfatória nas aulas laboratoriais da disciplina de Conformação Plástica de Metais do curso de Engenharia Mecânica da UFPR e, inclusive, alunos de pós-graduação do LABCONF – Laboratório de Conformação Plástica de Metais tem utilizado esse recurso, o que tem ajudado a minimizar os custos envolvidos nos experimentos laboratoriais de Mestrado e Doutorado conduzidos neste laboratório.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6673. Produtos planos de aço – Determinação das propriedades mecânicas à tração. 1981.
Andradas, M. F. L. Pré-projeto de estampo para fabricação da tampa de embreagem para veículos de passeio. 2016.

- Benazzi, I. J., Caversan, E. G. Apostila Fatec, 1 ed. São Paulo, setembro. 2012.
- Chiaverini, V. Tecnologia mecânica. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- Gipiela, M. L. Estudo da expansão de furos e estampabilidade de chapas de aço multifásico CPW800. 2013.
- Hambli, R. Prediction of burr height formation in blanking processes using neural network. International Journal of Mechanical Sciences, 44, p. 2089-2102, 2002.
- Marcondes, P. V. P. Manufatura de chapas metálicas - puncionamento. Ferramental - Revista Brasileira da Indústria de Ferramentas, Brasil, v. 22, p. 25 - 29, 01 mar., 2009.
- Müller, R. G. Estudo do processo de corte por cisalhamento rotativo. 2012.
- PRO-TEC. Estampos. Editora F. Provenza, 1993.
- Provenza, F. Estampos I.v.1. São Paulo: F.Provenza, 1989.
- Provenza, F. Estampos II.v.1. São Paulo: F.Provenza, 1989.
- Provenza, F. Estampos III.v.1. São Paulo: F.Provenza, 1989.
- Rossi, M. Estampagem de chapa a frio: Estampas, Matrizes, Punções, Prensas e Máquinas, São Paulo, Dossat. 1979.
- Schaeffer, LIRIO. Conformação de chapas metálicas. Porto Alegre: Imprensa Livre. 2004
- Silveira, F. D., Schaeffer, L. Diretrizes para projeto de ferramenta de estampagem Parte I. 2008.
- Souza, J. H. Estudo do processo de corte de chapas por cisalhamento. 2001.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DEVELOPMENT GUIDE OF PUNCHING TOOL FOR REDUCED SIZE COUPON FOR TENSILE TESTS

Manolo Lutero Gipiela

Paulo Victor Prestes Marcondes

Universidade Federal do Paraná. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, 81530-000.

lutero@ufpr.br

marcondes@ufpr.br

Abstract. *This work presents a compact guide for the development and manufacturing of a punching tool for reduced coupons used in tensile tests. The tool performance as manufactured has proved to be efficient for its purpose and its use has been of great value in the laboratory classes of Plastic Metal Forming and in the characterization of material properties in Master and Doctorate studies carried out at LABCONF – Metal Forming Laboratory of DEMEC - Department of Mechanical Engineering at UFPR – Federal University of Paraná..*

Palavras chave: *Sheet punching. Cut tools. Tool design.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.