

Software

Projeto computacional de ferramenta para produção de componentes automotivos

Atualmente, grande parte dos componentes utilizados na indústria automotiva é produzida por conformação mecânica de chapas, tais como carrocerias, elementos internos do painel e peças estruturais. Este artigo demonstra o desenvolvimento de um projeto de ferramenta para o suporte dos cabos de freio, no qual a validação computacional do processo foi feita antes da sua fabricação efetiva, de forma a evitar o custoso método de tentativa e erro. Essa validação, feita com uso do *software* Dynaform, indica as zonas com maiores solicitações mecânicas (tensão e deformação), a espessura e a geometria da peça em cada etapa do processo.

F. A. Lora, C. C. Yurgel, L. Folle e L. Schaeffer

O Estado da Bahia recentemente tem experimentado a instalação bem-sucedida de empresas fabricantes de autopeças e de produtos automotivos vendidos diretamente ao consumidor (Ford, Sodecia, BSB, Ferrolene, Arvin, Krupp, Forja Bahia, Centrotampa, Gerdau e Fixar), além de equipamentos de linha branca (Britânia, Faet e Mondial). A instalação dessas empresas tem trazido também a necessidade do desenvolvimento de uma rede de fornecedores locais, tan-

to de componentes como de sistemas completos, que permitiriam reduzir o custo do produto final por proporcionarem economia em logística e tributos, como também em assessoria técnica.

Atualmente, grande parte dos componentes utilizados na indústria automotiva são produzidos pelo processo de conformação mecânica de chapas⁽²⁾, tendo como exemplos carrocerias, componentes internos do painel e componentes estruturais. Uma grande atenção tem sido dada

para a redução do volume e peso dos produtos⁽¹⁾; por outro lado, é necessário saber se a deformação desejada pode ser realizada na peça⁽³⁾.

O objetivo final da estampagem, feita a partir de um blanque ou de uma tira de chapa, é a manufatura de uma peça que apresente o formato e as dimensões desejadas, sem defeitos ou falhas. O formato do produto após o seu processamento é definido pelo ferramental, o blanque e os parâmetros de processo adotados. Erros no projeto do ferramental ou no formato do blanque, bem como a escolha inadequada do material a ser processado ou dos

Fábio André Lora (lora@cimatec.fieb.org.br) e Charles Chemale Yurgel fazem parte do Senai Cimatec (Salvador, BA). Luis Folle (luis.folle@ufrgs.br) e Lírio Schaeffer são pesquisadores do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), vinculado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre. Este artigo foi apresentado durante o 20º Cobem – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, realizado em Gramado (RS) entre os dias 15 e 20 de novembro de 2009. Reprodução autorizada.

Software

parâmetros de processo, podem gerar um produto com geometria inadequada ou com falhas.

Para simular um processo de conformação de chapa metálica são requeridos, inicialmente, o modelo CAD das ferramentas de conformação (punção, matriz e prensa-chapas), as propriedades mecânicas do material usado e outros parâmetros de processo, como força de prensa-chapas, lubrificação e geometria⁽⁴⁾.

O objetivo deste estudo é apresentar a metodologia usada para a fabricação de uma ferramenta de conformação de chapa para fabricação de um componente automotivo, tendo em vista que nessas condições trabalha-se com alta produção e custos reduzidos. Este trabalho



Fig. 1 – Desenho da peça a ser produzida

foi desenvolvido dentro de um programa de inovação fomentado pelo Departamento Nacional do Senai (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial).

Metodologia

No desenvolvimento de ferramentas para conformação de chapas metálicas, o tempo gasto no projeto e, posteriormente, no *try out*, torna-se uma variável de grande influência nos custos das

ferramentarias. No *try out* – etapa em que é feita a validação prática da ferramenta no equipamento – podem aparecer erros, como rebarbas e retorno elástico da peça, que não foram previstos na etapa de projeto da ferramenta, o que demanda o retrabalho da ferramenta e, conseqüentemente, tempo e custo maiores.

Neste trabalho foi empregada a metodologia da engenharia reversa, que consistiu na produção de um componente utilizado na indústria automobilística para, a partir dele, desenvolver uma ferramenta para sua produção. Realizou-se a planificação da peça, o pré-projeto da ferramenta, a validação da ferramenta por simulação computacional e, finalmente, a sua fabricação.

QUALIDADE GARANTIDA PELOS NOSSOS SERVIÇOS E PARCEIROS

CHAPAS E PLACAS DE 1/4" A 18" DE ESPESSURA
Distribuidor das Maiores Usinas Siderúrgicas do País




- Oxicorte CNC
- Plasma de Alta Definição CNC
- Prensa Hidráulica para Conformação

Produtos 100% Rastreáveis
Garantia de Procedência
Empresa Certificada ISO 9001:2000




CONSULTE NOSSA LINHA DE PRODUTOS
tel 11 2641.5211
fax 11 2641.3191
vendas@acosradial.com.br
www.acosradial.com.br





Qualidade que excede suas expectativas

Perfiladeiras · Desbobinadores
Ferramentas e Automação







SEGMENTOS DE ATUAÇÃO

- Implementos Rodoviários · Linha Branca
- Automobilística · Metalúrgicas · Construção Civil
- Implementos Agrícolas · Armazenagem

R: Alberto José Ismael, 630 - Quinta das Palmeiras - São José do Rio Preto/SP | CEP: 15080-410
Tel/Fax: 17 3216-3704 · comercial@camasi.com.br
www.camasi.com.br

Geometria do componente

A peça a ser fabricada pela ferramenta em estudo é o suporte dos cabos do freio usado em automóveis de passeio, que tem a função de apoiar os cabos de freio que passam embaixo do veículo. Devido ao meio em que atua, essa peça é tratada superficialmente para aumento da resistência à corrosão. O desenho do componente a ser fabricado pode ser visto na figura 1 (pág. 84).

Pré-projeto da ferramenta

Para o desenvolvimento da ferramenta é feito um pré-projeto, visando estimar as etapas de fabricação do componente. A primeira etapa consiste em definir o processo de fabricação e o dimensionamento da matriz e dos punções que darão a forma final ao componente. Algumas

definições feitas previamente podem ser citadas, como:

- O processo será realizado em uma ferramenta progressiva (com vários processos dentro de uma mesma ferramenta), sendo necessária apenas uma ferramenta para a produção do componente;
- Para fabricação do componente serão necessárias etapas de corte e dobramento;
- Será explorado o máximo aproveitamento da tira nas operações de corte e dobramento⁽⁵⁾;

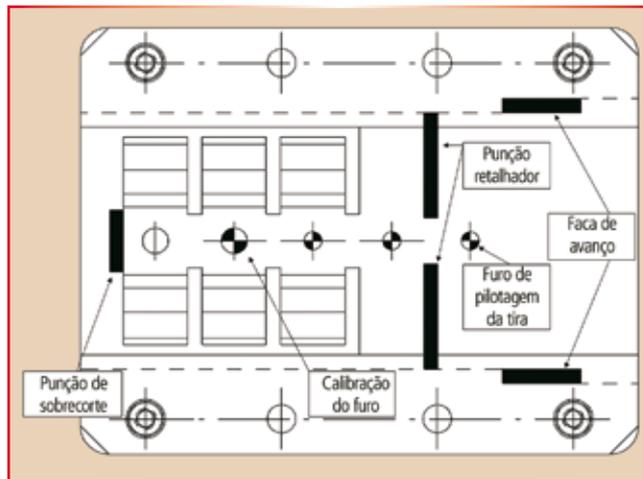


Fig. 2 – Esquema do pré-projeto da ferramenta mostrando todos os passos da passagem da tira

- Será empregada a técnica de corte convencional: produção de peças com média tolerância, valor e com média frequência de produção. Esse processo é executado em prensas com estrutura tipo C⁽⁶⁾;

- Serão utilizadas tiras para alimentação da ferramenta;

- A tira será introduzida por um alimentador, de forma que o processo se torne automático. Com esse tipo de alimentador, o material para produção será fornecido em forma de bobinas;

- Serão inseridas facas de avanço na ferramenta para auxiliar no alinhamento da tira. A colocação de uma faca de avanço de cada lado auxilia o controle dimensional da tira, tendo em vista que essas dimensões podem variar conforme as tolerâncias especificadas para a tira;

Harris-Brastak e sua nova linha de produtos

Equipamentos para corte e solda de metais

BRASTAK
BY HARRIS

A alta tecnologia e qualidade Harris, com equipamentos projetados e fabricados nos EUA e na Europa, vêm aliar-se à tradição e experiência da Brastak, trazendo para o Brasil produtos totalmente compatíveis com os padrões nacionais. A melhor solução em corte e solda.

Série 80

Maçarico de Corte Manual
BR531

Série 30

Série 70

Série 20

Série 80

HARRIS
BRASTAK

Harris Soldas Especiais S.A.
Av. Industrial, 1255 - 09080-510 Santo André (SP)
Tel.: (55 11) 4993 8111 Fax (55 11) 4993 8116
vendas@brastak.com.br
www.brastak.com.br
www.harrisproductsgroup.com

Software

- Será aumentado o comprimento dos punções retalhadores, que separam as peças, de forma a realizar um sobrecorte no final do processo, garantindo a exclusão das marcas de corte nas laterais da peça;
- Serão inseridos “pilotos” para a tira. Depois do processo de corte, o posicionamento da tira não é mais controlado pela guia, contudo é necessário que ela continue guiada. Serão usados furos centrais na tira para passagem dos pilotos, sendo que na última etapa é realizada a calibração do furo, conforme o desenho da peça;
- Os punções de dobramento deverão ser assessorados com molas, garantindo o seu bom

Tab. 1 – Propriedades da matéria-prima do componente

Componente	Especificação
Material da tira	ABNT 1008
Módulo de Young	207 GPa
Coefficiente de Poisson	0,28
C (coeficiente de resistência)	520 MPa
n (índice de encruamento)	0,24
r_0 (anisotropia a 0°)	1,86
r_{45} (anisotropia a 45°)	1,72
r_{90} (anisotropia a 90°)	2,28
Tensão máxima	441 MPa
Tensão de escoamento	126 MPa
Deformação máxima	0,5

funcionamento mesmo com uma possível imprecisão de deslocamento do martelo da prensa;

- Será incluída uma placa intermediária no porta-estampo

Tab. 2 – Parâmetros do processo de simulação

Parâmetros	Valor
Velocidade do punção	15 mm/s
Coefficiente de atrito	0,13
Crítério de escoamento	Hill 1948
Geometria do blanque	76 x 18 x 2 mm

(guiada pelas colunas do porta-estampo), que servirá como guia dos punções, garantindo o seu alinhamento com a matriz;

- Utilização de prensa-chapas através de guia de punção, de modo que sua força seja exercida por molas;
- Na etapa de corte por cisalhamento, a folga entre o punção e a matriz deverá ser calculada de acordo com a espessura do material (a folga é de, aproxi-

CLOOS & DEUMA
DO BRASIL LTDA

Lider Mundial em Tecnologia em Soldagem

- Robôs e dispositivos especiais
- Equipamentos de solda TANDEM, MIG, MAG, TIG e Plasma
- Soluções completas para automação em linhas de montagem
- Viradores
- Manipuladores
- Elaboração e execução de projetos especiais

Tel: (47) 3371-9046
www.deuma.com.br
deuma@deuma.com.br

Perfilados Granado

Perfis especiais laminados a frio, em aço, latão, inox ou cobre. Uniformidade e especificação garantidas pelo sistema de fabricação "Roll Forming" em barras com até 20m de comprimento. Departamento de projetos e ferramentaria próprios.

www.perfiladosgranado.com.br

Av. Rosa Kasinski, 781 - Capuava - Mauá
CEP 09380-128 - São Paulo - Brasil
Tel: 55 11 4555-7192 / Fax: 55 11 4555-7193

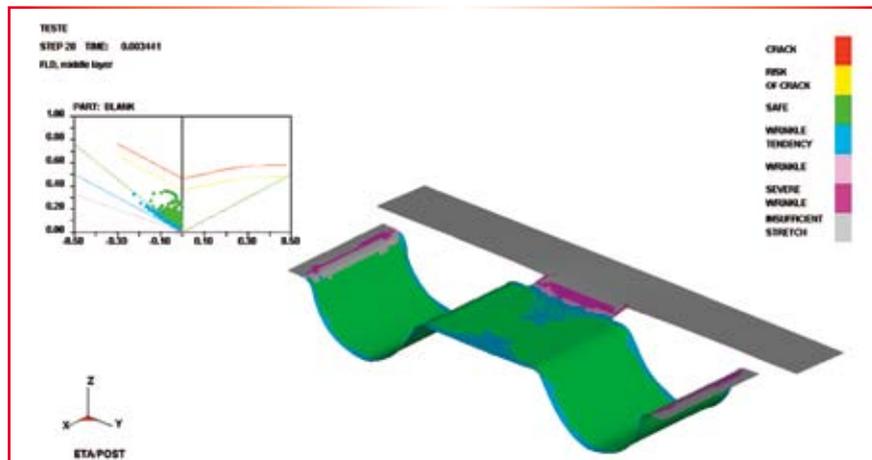


Fig. 3 – Conformação da peça com o defeito de abas

madamente, cinco centésimos da espessura)⁽⁷⁾;

- Na etapa de dobramento, o retorno elástico do material deverá ser considerado, e deverá corresponder a um valor pré-definido;

Com as definições do pré-projeto prontas, foi realizada a planificação da peça. Para calcular as dimensões que o blanque deve ter, a peça final foi modelada no *software* SolidWorks, e a dimensão da linha que passa na metade da espessura foi medida, gerando o valor da largura do blanque. Como a peça apresenta dobras apenas no sentido longitudinal, a largura do blanque no sentido transversal é a mesma da peça final.

Após a elaboração do pré-projeto da ferramenta, foi possível realizar a sua validação por meio de simulação numérica computacional, evitando assim possíveis falhas no componente e menor tempo de *try out*. Na figura 2 (pág. 85) observa-se o esquema do pré-projeto da ferramenta através dos processos que a tira sofrerá.

Simulação computacional

A simulação computacional é realizada a fim de validar a ferramenta pré-projetada. Essa validação é feita com a inserção de vários parâmetros, como propriedades do material, geometria da ferramenta e variáveis do processo (velocidade do punção, força, deslocamento, entre outras). A validação computacional foi realizada no *software* de simulação DynaForm5.6 e LS-Dyna971, que tem aplicação na conformação de chapas.

O componente foi produzido com o aço ABNT 1008, e as características desse material foram importadas da biblioteca do *software*. As propriedades utilizadas podem ser vistas na tabela 1 (pág. 86). No processo de simulação computacional alguns parâmetros precisaram ser especificados de acordo com o processo real; esses parâmetros utilizados são descritos na tabela 2 (pág. 86).

Algumas propriedades particulares do ETA/Dynaform são descritas abaixo:

- Tipo de contato usado: "Form one way surface to surface".

JIER

JIER MACHINE-TOOL GROUP CO., LTD.

Um dos maiores fabricantes de
Prensas do Mundo!



MAIS DE 6000 PRENSAS
FABRICADAS

Outras Prensas em Fabricação

Prensas mecânicas
(60 a 7.500 ton)

Tandem | High Speed | Transfer

Assistência Técnica local e
permanente

Engenharia Própria

Projetos Turn-Key

PRIMEIRA PRENSA DE GRANDE PORTE
JÁ INSTALADA NO BRASIL



www.cydak.com.br | vendas@cydak.com.br

(11) 4341-3050 | (11) 9700-8033
São Bernardo do Campo - São Paulo

Software

Esse contato é usado para modelar corpos rígidos que usam elementos do tipo casca; nesse caso é necessário que a espessura do corpo rígido seja levada em consideração.

- Tipo de deslocamento empregado: "Single action". O movimento das ferramentas é relacionado com o tipo de deslocamento das mesmas (*draw type*). É definida uma ação simples, o movimento é executado pela matriz e o punção permanece estático. No caso do simples efeito, tanto o deslocamento como as forças de sujeição do prensa-chapas são atribuídas à matriz.
- Propriedade aplicada à geratriz (blaque): A propriedade Belytschko-Tsay é usada para

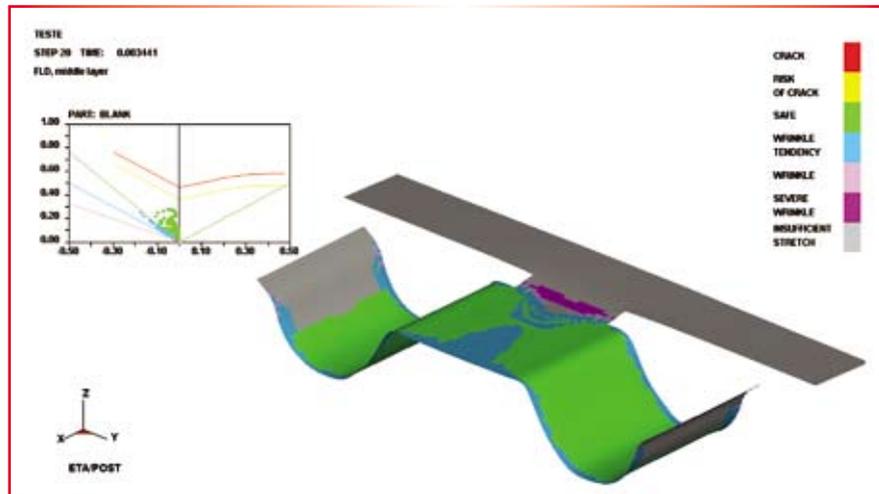


Fig. 4 – Conformação da peça sem o defeito de abas

definir o tipo de formulação matemática que será aplicado nos elementos do tipo casca da geratriz. Essa propriedade é amplamente usada em simulações de estampagem.

O elemento usado para definir as ferramentas (punção, matriz e

prensa chapas) é do tipo casca, indeformável.

Projeto e fabricação da ferramenta

O projeto da ferramenta de conformação estará concluído quando todos os seus componentes estiverem discriminados, tais como

ALIMENTADORES PARA PRENSAS

- Alimentadores Pneumáticos
- Alimentadores Eletrônicos
- Desbobinadores • Endireitadores
- Endireitador/Alimentador Eletrônico
- Linhas de Corte Transversal

Excelência em alimentação de prensas

HONZIK
Alimentadores para Prensas

(51) 3586-2858
(51) 3595-4658

www.honzik.com.br

oximig[®]

TELEFONE PARA CONTATO:
(11) 2100-4824

www.oximig.com.br
oximig@oximig.com.br
comercial@oximig.com.br

-Acessórios para o corte elétrico
-Desenvolvimento e produção de pistolas, tochas e acessórios para soldagem ao arco elétrico

REFERÊNCIA NACIONAL EM SEU SEGMENTO HA
25 ANOS

molos, porta-estampo, parafusos, entre outros. Após a sua conclusão, o projeto da ferramenta é encaminhado para a fabricação por usinagem, seguida de tratamentos térmicos.

Análise dos resultados

Simulação computacional

A simulação computacional relacionou todas as características do processo e do material na conformação da tira. Já para a validação da ferramenta foi utilizado o *software* Dynaform 5.6, específico para simular processos de estampagem.

Na figura 3 (pág. 87) é possível observar a geometria da peça após o seu primeiro estágio de dobramento, resultante da simulação computacional. É possível notar que as deformações da peça estão todas dentro da região segura da

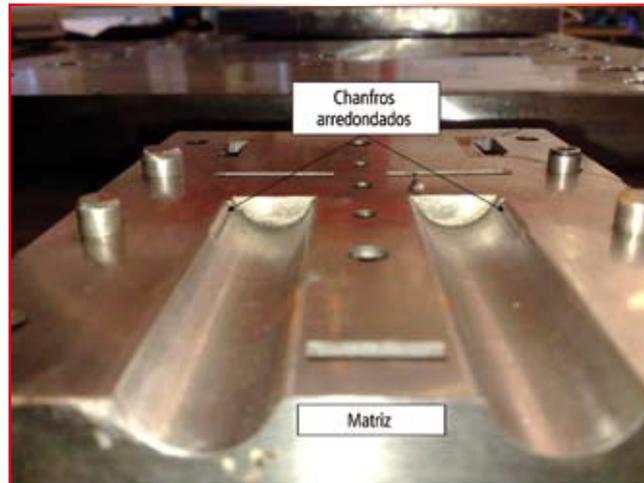


Fig. 5 – Detalhe do chanfro gerado na matriz

curva-limite de conformação do material (quadro na parte superior à esquerda). Isso mostra que o material da chapa não apresentará trincas ou defeitos prematuros. Entretanto, nas extremidades da peça há um dobramento indesejado (o formato original da peça não apresenta tal dobra), que revela que a peça apresentará o defeito de “abas” nas extremidades logo na primeira etapa da fabricação. Esse é um problema que deve ser evitado já nessa primeira etapa, pois as fases seguintes são apenas de calibração do formato final, e

não preveem o desdobramento dessas abas.

O defeito encontrado deve-se ao fato de o material ter sido repuxado, em vez de ser apenas dobrado. Para a solução desse problema foi sugerida a alteração de algumas dimensões da matriz, como:

- A inserção de um chanfro arredondado na primeira etapa de dobramento da peça, que possibilitaria um melhor escoamento do material naquela região, evitando que ele ficasse preso entre a matriz e a guia da chapa;
- O aumento da altura da guia da chapa, o que reduziria a restrição ao escoamento do material;

A primeira modificação realizada foi a inserção de chanfros arredondados na matriz, visando melhorar o escoamento do mate-



PLASMA E OXICORTE

Máquina de Corte CNC

Velocidade máxima 20m/mim
Largura útil padrão de 1500, 2500, 3000mm
Até 12.000 mm de comprimento útil
Oxicorte com operação automática
Sensor de altura com dispositivo anti-colisão

TEL: 27.2127-9999 – FAX: 27.2127-9955
Veja máquina em operação em nosso site

www.automatica.com.br




BOTAM
oxicorte

A BOTAM OXICORTE PLANEJA O FUTURO INVESTINDO NO PRESENTE

**LASER
OXICORTE
PLASMA
DOBRA**

Av. São Paulo nº1771 - Paulicéia
Piracicaba/SP CEP:13401-541
Fone: 19 3447-7500 fax: 19 3447-7509
e-mail: botam@terra.com.br

Software

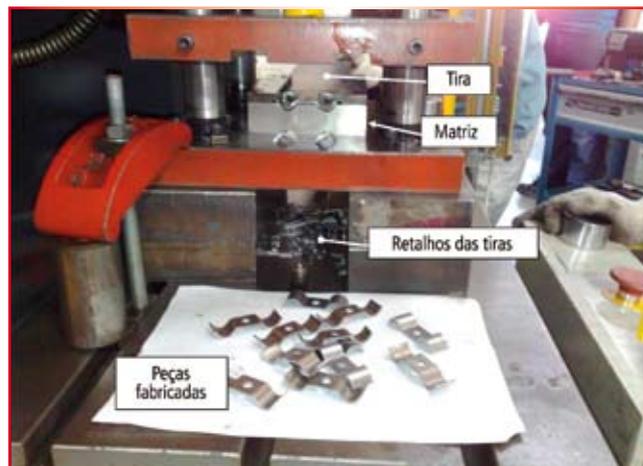


Fig. 6 – Posicionamento do estampo na prensa e componentes fabricados

MASATO AUTOMAÇÃO

USINAGEM CNC
SOLDAGEM
PROJETOS 3D

sempre uma nova
solução p/ soldagem

www.soldaautomatica.com.br

soldaautomatica@uol.com.br

TEL: (11) 4976-1677

rial para a região de dobramento da peça. Na figura 4 (pág. 88) é possível observar a primeira etapa de dobramento com a inserção dos chanfros na matriz, demonstrando que as “abas” foram praticamente eliminadas.

Nas figuras 3 e 4 nota-se também que a peça está unida a uma tira de mesma dimensão do blank. Essa tira foi inserida intencionalmente durante a simulação, já que durante a primeira etapa do processo real de fabricação a peça ainda está unida à tira de chapa que a originou. Uma vez que as simulações têm a função de prever o comportamento real das peças em desenvolvimento,

elas têm de ser realizadas com a maior fidelidade possível à realidade.

Projeto e fabricação da ferramenta

Após o término da simulação para validação da ferramenta pré-projetada, é realizado o seu projeto definitivo, assim como o dimensionamento de todos os componentes que serão necessários para o seu funcionamento. Em seguida, o projeto concluído deve ser encaminhado para a ferramentaria, que fabricará a ferramenta real. Na figura 5 (pág. 89) pode-se observar a matriz da ferramenta, com destaque

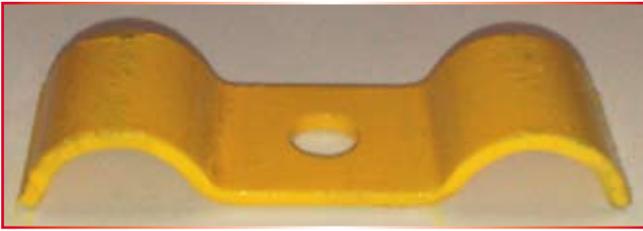


Fig. 7 – Peça produzida pela ferramenta fabricada no projeto

para o chanfro necessário para a conformação do componente, conforme indicado pela simulação numérica.

Para realização do *try out* da ferramenta utilizou-se uma prensa excêntrica de 40 t; na figura 6 (pág. 90) é possível observar a ferramenta já inserida na prensa e os componentes produzidos com ela. Já a figura 7 mostra com detalhes o componente produzido pela ferramenta.

Conclusões

- As metodologias de desenvolvimento de projetos devem ser seguidas para evitar possíveis falhas e custos elevados durante a fabricação da peça;
- É necessário elaborar um pré-projeto para discussão das etapas e parâmetros a

diminuir o tempo de desenvolvimento do projeto;

- A simulação numérica do projeto foi fundamental para a diminuição do tempo de *try out*, haja visto que uma possível falha na ferramenta foi descoberta antes da realização do seu projeto e fabricação;
- É possível concluir que a simulação numérica auxilia o desenvolvimento de ferramentas de conformação de chapas, reduzindo custos e possíveis retrabalhos que poderiam se mostrar necessários durante o *try out* da ferramenta.

Agradecimentos

A equipe de pesquisa do projeto agradece ao Departamento Nacional do Senai pelo fomento do projeto de pesquisa e pelo apoio

serem usados entre os membros da equipe, pois isso ajuda a

prestado durante o seu desenvolvimento. Agradecemos também à empresa CARHEJ Nordeste pela colaboração no desenvolvimento do projeto.

Referências

- 1) B. LIN, C. KUO. Application of an integrated RE/FP/CAD/CAE/CAM system for magnesium alloy shell of mobile phone. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 2.818–2.830, 2009.
- 2) M. SAMUEL, Numerical and experimental investigations of forming limit diagrams in metal sheets. In: *J. Mater. Process. Technology*, v. 153–154 (2004), p. 424–431.
- 3) M.H. CHEN, L. GAO, D.W. ZUO, M. WANG. Application of the forming limit stress diagram to forming limit prediction for the multi-step forming of auto panels. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 187–188, p. 173–177, 2007.
- 4) K. HARIHARAN, C. BALAJI. Material optimization: a case study using sheet metal-forming analysis. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 324–331, 2009.
- 5) E. L. A. MESQUITA, L. L. RUGANI. *Estampagem dos aços inoxidáveis*, dez. 1997.
- 6) HELLWIG, W., SEMLINGER, E. *Spanlose fertigung stanzen*, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1996.
- 7) PROVENZA, F. *Estampos II*, Editora F. Provenza, 1993.



“Fabricamos também roletes e ferramentas para todos os tipos de pertiladeiras”

FIorentINI
CUSTO/BENEFÍCIO
INIGUALÁVEL

Av. Antonio Buono, 209 - Vila Guarani - São Paulo - SP - CEP 03382-000

Fiorentini@fiorentini.com.br - www.fiorentini.com.br

TEL.: (11) 2301-3655 | 2918-2931