

Projeto

Uso de *software* CAD 3D no desenvolvimento de ferramenta de dobra

Desenvolver ferramentas de dobra não é uma tarefa fácil, principalmente quando a peça final possui uma geometria complexa e o prazo para o desenvolvimento do produto é curto. Este trabalho apresenta as soluções encontradas para desenvolver e fabricar o sistema de catracas da linha 4 do Metrô de São Paulo. O projeto foi chamado de Catraca Bloqueio, sendo a estrutura do equipamento fabricada em aço AISI 304. A principal dificuldade foi a fabricação da ponteira, acoplada na parte frontal da catraca, devido à sua geometria complexa, sendo necessário criar uma ferramenta especial de dobra. Todo o projeto foi desenvolvido por meio do *software* SolidWorks e posteriormente foram confeccionadas e testadas as ferramentas.

A. Marques, A. Dutra, U. Boff e L. Schaeffer

A estampagem é um processo de conformação mecânica realizado geralmente a frio, por meio de operações de corte, dobra e embutimento, nas quais chapas planas adquirem uma forma geométrica conforme o projeto. Neste estudo, o enfoque será a operação de dobra, visto que esta é a forma utilizada na fabricação das ponteiras⁽¹⁾.



Fig. 1 – Tipos de dobramento em matrizes⁽²⁾

No processo de dobramento, a chapa sofre deformação por flexão em prensas e a forma desejada é conferida mediante

emprego de punção e matriz específicos. Para produções em larga escala utilizam-se estampas, cuja confecção gera alto custo, e para a fabricação de perfis dobrados e alguns tipos de peças com grandes comprimentos de dobras, utilizam-se prensas dobradeiras/viradeiras, com matrizes e machos (punções) universais⁽²⁾. O dobramento pode

Angela Selau Marques é professora do Instituto Federal Sul-rio-grandense IFSul – Campus Sapucaia do Sul e mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Alexandre dos Santos Dutra é engenheiro de processos da empresa Digicon e mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Uilian Boff é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Lírio Schaeffer é professor, doutor e coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), do departamento de Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este artigo foi apresentado como contribuição técnica na 2ª Conferência Internacional de Chapas – Porto Alegre/RS, 22 a 24 de outubro de 2012. Reprodução autorizada pelos autores.



Fig. 2 – Prensa dobradeira

ser concluído com uma ou mais operações, em uma ou mais peças, de forma progressiva ou individual. A figura 1 (pág. 52) mostra exemplos de operações de dobramento mais comuns.

Após a operação a chapa assume a forma definida pelo punção e pela matriz. É importante prever o retorno elástico (*springback*) do material, que tende a voltar à sua forma inicial. Para que a dobra final fique com o ângulo previsto, o retorno elástico pode ser determinado após o processo, por meio de equações matemáticas. Para a conformação de perfis, gabinetes e peças de grande porte, utilizam-se prensas dobradeiras, que tornam a produção economicamente viável. A figura 2 mostra uma imagem do equipamento utilizado para dobrar chapas.

As dobradeiras caracterizam-se por possuírem uma mesa longa e estreita na qual é fixada uma matriz e um cabeçote, onde se pode instalar ferramentas para a execução de dobras com formas e dimensões variadas.

O dobramento, anteriormente aplicado a reduzidas séries de fabricação, já está integrado a linhas de produção em larga escala, devido à modernização dos equipamentos e à utilização de ferramentas complementares e da robótica. A fabricação de balcões frigoríficos, de mobiliário metálico, de chassis para a indústria automobilística e agrícola e de estruturas metálicas para transportadores serve como exemplo⁽³⁾.

Fatores que afetam o dobramento

As peças produzidas nas dobradeiras geralmente são processadas anteriormente em máquinas de corte a *laser* ou punçonei-

ras CNC. Na operação de dobramento deve-se levar em conta alguns fatores que são muito importantes, dentre os quais destacam-se os seguintes⁽⁴⁾:

Capacidade elástica do material

A área dobrada tem a superfície externa tracionada, que sofre redução de espessura, e a superfície interna, comprimida. Estas tensões aumentam a partir de uma linha neutra, chegando a valores máximos em ambas.

Raio interno mínimo da peça a ser dobrada

Define-se o raio mínimo de dobra como o menor valor admissível para o raio, de modo a evitar uma grande variação de espessura da área dobrada, em função do alongamento que o material sofre ao ser tracionado e da espessura da chapa que está sendo dobrada.

Comprimento desenvolvido da peça

A variação da espessura da chapa na região da dobra impede que o comprimento desenvolvido seja a soma dos comprimentos retos e curvos da peça. Deve-se levar em conta a variação de espessura da região dobrada, conforme o comprimento da chapa a ser processada.

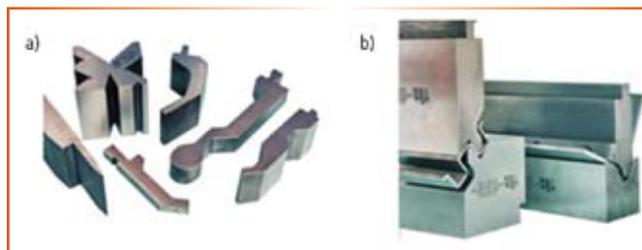


Fig. 3 – Exemplos de ferramentas. a) Perfis diversos das ferramentas de dobramento. b) Exemplo de ferramenta de dobra⁽⁶⁾.

Projeto



Fig. 4 – Recursos do software utilizado para trabalhos com chapas metálicas

As forças que atuam na operação de dobramento

As principais forças que atuam na operação de dobramento são: força de dobramento, força do prensa-chapas e força lateral. A força de dobramento atua de acordo com a espessura da chapa.

Descrição do processo

Produto (ferramental)

As ferramentas de dobramento geralmente são fabricadas em aço C45 (SAE-1045) ou 42CrMo4 (SAE-4140), e podem variar de 10 mm a 8.000 mm de comprimento, com geometria e perfis variados conforme a necessidade do produto. Podem ainda receber um tratamento térmico localizado (TTL) de têmpera na área de maior atrito com as chapas, para aumentar a resistência ao desgaste, evitando

quebras e estilhaços. O TTL aumenta de 3 a 5 vezes a vida útil da ferramenta cuja dureza varia entre 50 a 54 RC. Após o tratamento térmico, na maioria das vezes, as ferramentas são retificadas para garantir as mínimas tolerâncias dimensionais. No processo de fabricação, dependendo da aplicação da ferramenta, as tolerâncias de projeto podem manter uma precisão de até 0,02 mm, além de obter superfícies com alta planicidade e baixa rugosidade. As ferramentas também podem ser intercambiáveis, permitindo a troca rápida e a redução dos custos de fabricação. A figura 3 (pág. 53) demonstra alguns exemplos de ferramentas de dobra.

Desenvolvimento do projeto

O uso de sistemas CAD 3D é fundamental no desenvolvimento do

projeto, pois permite prever erros e identificar possíveis melhorias, tanto no produto quanto na ferramenta. Dentre as vantagens e benefícios proporcionados pelo sistema, destacam-se alguns que foram importantes para o desenvolvimento e fabricação das ponteiros.

O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o SolidWorks. Este possui uma barra de ferramentas com recursos específicos para modelagem de chapas metálicas, conforme mostra a figura 4, e tabelas para cálculos de dobra, nas quais é possível definir diferentes intervalos angulares e atribuir equações a eles. A figura 5 (pág. 55) mostra um exemplo de tabela de cálculo de dobras.

Para o desenvolvimento do projeto da ferramenta das ponteiros, foi criada a ponteira em 3D e,

Pensou em consumíveis para corte plasma?
Pensou na **Megaplasma!!**



Megaplasma

Tecnologia em corte a plasma

- Produção NACIONAL usando tecnologia de ponta e qualidade comprovada
- A maior variedade de consumíveis para as tochas comercializadas no Brasil
- Atendimento em todo território nacional. Verifique o representante mais próximo de você!

Rua Dom Joaquim de Melo, 274 - Moóca
CEP 03122-050 - São Paulo - SP - Brasil
Fone: +55 11 2601-5502
megaplasma@megaplasma.com.br
www.megaplasma.com.br

	A	B	C
1			
2	Tipo:	Tabela de Equações - Aço	
3	Processo	Dobragem de aço (Air Bending)	
4	Tipo de dobra:	Cálculo de dobra	
5	Unidade:	centímetros	
6	Material:	Aço	
7	Espessura do material	s	
8	Raio	r	
9	Fator K	$0.65+0.5 \cdot \lg(r/s)$	
10	Ângulo de dobra	$180-a$	
11			
12			
13	Intervalo angular	Equação	Usar comprimento tangencial
14			
15	$0 < a < 90$	$v = \pi \cdot ((180-b)/180) \cdot (r + ((s/2) \cdot k)) - 2 \cdot (r+s)$	Sim
16	$90 < a < 165$	$v = \pi \cdot ((180-b)/180) \cdot (r + ((s/2) \cdot k)) - 2 \cdot (r+s) \cdot \tan((180-b)/2)$	Não
17	$165 < a < 180$	$v=0$	Não

Fig. 5 – Exemplo de tabela de cálculo de dobras

em seguida, criou-se o desenho tridimensional de montagem desta peça na dobradeira – esta, em tamanho e modelo real em relação à máquina utilizada na produção. O produto final foi

colocado na máquina e a partir dele o projetista criou as partes da ferramenta, aproveitando os espaços livres entre o produto e o corpo da máquina. A figura 6 (pág. 56) mostra, através de uma

perspectiva 3D, o resultado final da modelagem da ponteira no SolidWorks.

No ambiente de montagem pode-se visualizar um conjunto de modelos e realizar simulações que comprovem a funcionalidade do projeto. Caso apresente alguma falha, é possível corrigir o problema antes da fabricação do modelo físico. A figura 7 (pág. 56) mostra o esquema de montagem da peça e da ferramenta.

Após definidas as medidas e a geometria para a fabricação da ferramenta de dobramento, esta foi dividida em oito partes. O material utilizado na fabricação da ferramenta foi o aço SAE-1045, as partes foram cortadas, usinadas e unidas por soldagem. Por último foi feito o alívio de tensões.

A KORT LASER tem, Peças e Serviços com Qualidade, Rapidez, Baixo Custo e Pontualidade.



100 Anos
prestando bons serviços

Equipamentos de última geração

Dobradeiras CNC 3/8 4000mm

Máquinas laser

Byspeed 1500 x3000mm - 4400w

Bystar 2500 x 4000mm - 4400w

Capacidade de corte:

Aço Carbono...25mm - Aço Inox...20mm - Alumínio...12mm - MDF...30mm



Certified
by

MSC

ISO 9001

2008

R. Poacá, 245 - Jd. Inamar - Diadema - São Paulo - SP
comercial@kortlaser.com.br - Tel/Fax: 11 4049-4099 - www.kortlaser.com.br

Projeto

Para executar o dobramento utilizou-se uma dobradeira hidráulica da marca Warcom, que possui um sistema sincronizado de servoválvulas e réguas lineares de alta precisão comandadas por CNC, para permitir dobras descentradas, assim como manter o paralelismo entre o prensador e a mesa. Além disso, a máquina utiliza as seguintes fórmulas para fazer o cálculo automático de dobra, de acordo com os dados recebidos⁽⁷⁾.

Para se calcular a força de dobra necessária por metro (F – ton/m):

$$F = \{ [1 + (4 \cdot S/V)] \cdot S^2 \cdot R \cdot L \} / V$$

Onde:

F = Força de dobra (ton/m);

S = Espessura da chapa (mm);

V = Abertura do canal de dobra (mm);

R = Limite de resistência do material ou tensão de ruptura (kgf/mm²);

L = Comprimento da dobra (m).

Para se calcular o raio interno (Ri), em mm, conhecendo o “V”:

$$R_i = V/6$$

Onde:

V = Abertura do canal de dobra (mm);

Ri = Limite de resistência do material.

Resultados e discussão

Após a fabricação da ferramenta, durante o *try out*, foram identificados alguns problemas, tais como: a área

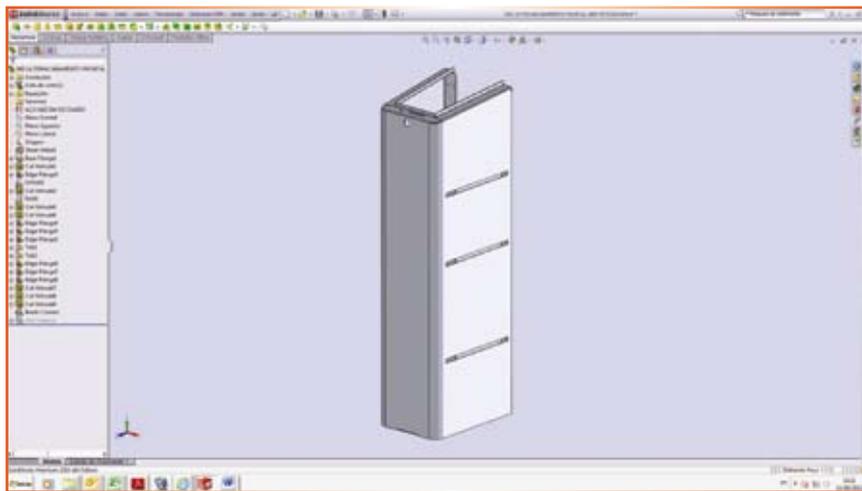


Fig. 6 – Ponteira modelada no software

de alívio da ferramenta estava funcionando como uma mola, exigindo um esforço desnecessário da máquina. Em função disso, concluiu-se que a ferramenta poderia, ao longo do tempo, sofrer deformações permanentes, caso não fosse estruturada.

O projeto passou por revisão a fim de evitar problemas futuros, tais como peças defeituosas, quebra ou deformação da ferramenta, desgaste desnecessário da máquina e comprometimento da segurança do operador. A

solução encontrada pelos projetistas foi reforçar os topos do feramental e instalar quatro mãos francesas na parte posterior, como pode ser visto na figura 8 (pág. 58).

Conclusão

O trabalho apresentado é fruto de um projeto no qual o uso de *software* foi fundamental para a fabricação do produto final. Apesar de realizadas duas alterações para reforço da ferramenta, o re-

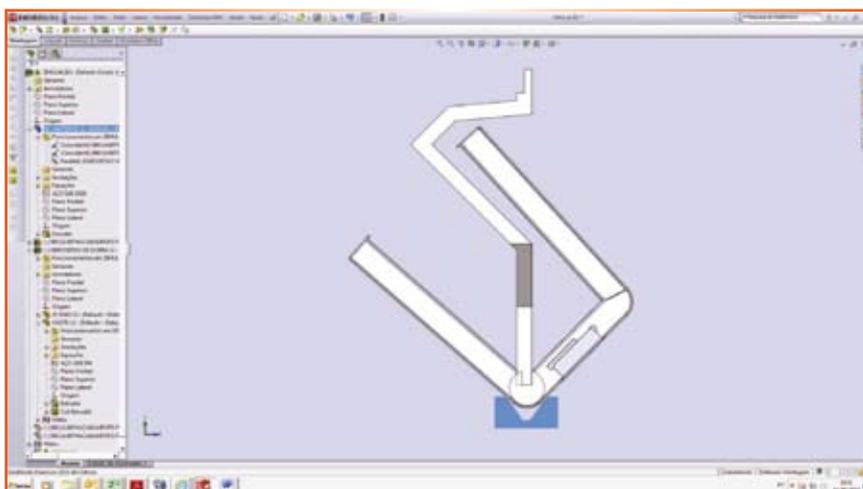


Fig. 7 – Montagem da ponteira e da ferramenta

Projeto

sultado do produto desenvolvido no SolidWorks, comparado ao produto físico, foi melhor do que o previsto, atendendo também aos requisitos técnicos e comerciais de fabricação. Na figura 9 pode ser vista a ferramenta fabricada e pronta para uso.

As tolerâncias de medidas estabelecidas durante a produção das ponteiros situaram-se na escala dos décimos de milímetro, conforme as solicitações do desenho de produto, mostrando que o ferramental desenvolvido é confiável. Para trabalhos futuros, alguns pontos podem ser abordados, como a redução do peso do ferramental por meio da diminuição da espessura da chapa estrutural da ferramenta de dobra, ou pela abertura de "janelas", utilizando a simulação para tentar otimizar o fator resistência x peso, tendo em vista que para uma produção em larga escala o peso excessivo da ferramenta acarretaria o desgaste prematuro da máquina, diminuindo sua vida

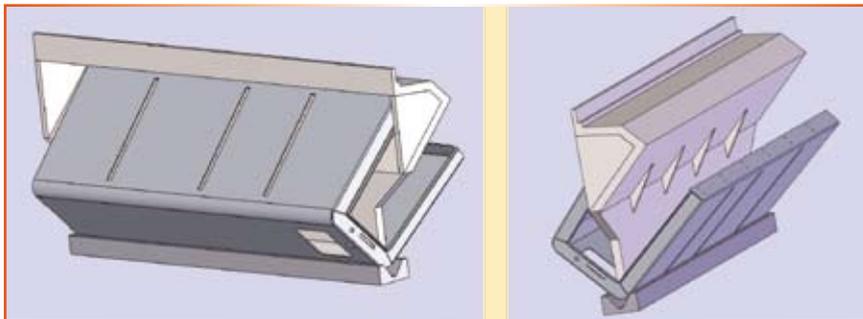


Fig. 8 – Correção dos pontos de falha



Fig. 9 – Ferramenta de dobramento para ponteira da catraca bloqueio

útil e aumentando os custos de manutenção.

A figura 10 (pág. 59) mostra imagens das catracas durante e depois da instalação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a empresa Digicon

LANÇAMENTO NACIONAL

Pipe Cutter

Máquina CNC Plasma e Oxicorte para corte de **TUBOS: QUADRADO, RETANGULAR, REDONDO, PERFIL.**



S B Silber do Brasil®

Máquinas CNC para corte Plasma e Oxicorte

www.silberdobrasil.com.br

Rodovia RS 118 km 16 – Número 6600 PAV.B
Neópolis – Gravataí – RS - Brasil
FONE: (51) 3488-6090 - (51) 3423-0260



Projeto mecânico, elétrico e eletrônico totalmente Nacional






Fig. 10 – Produto final (inauguração da Estação Pinheiros do Metrô-SP). a) Instalação das catracas; b) Catracas sendo utilizadas pela população.

SA, e as instituições de fomento à pesquisa CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.

Referências

- 1) SILVEIRA, F.D.; SCHAEFFER, L.; *Diretrizes para projeto de ferramenta de estampagem*. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/IdTM/publicacoes/Diretrizesparte1.pdf> Acesso em: 18/08/2012.
- 2) MARCONDES, P.V.P.; *Manufatura de chapas metálicas - Dobramento*. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM729/Artigos/Edicao25_Art_Tec_UFPR_PauloMarcondes_Dobramento_Versao01.pdf Acesso em: 18/08/2012.
- 3) CHIAVERINI, Vicente; *Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento, 2 ed.*, São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- 4) SCHAEFFER, L.; *Conformação de Chapas Metálicas*. Imprensa Livre, Porto Alegre, 2004.
- 5) CÉTLIN, P. R.; HELMAN, H. *Fundamentos da Conformação*. Editora Artliber, São Paulo, 2005.
- 6) INPLAF. *Ferramentas para dobradeira e punções para dobra*. Disponível em: <http://www.inplaf.com.br/produtos/ferramentas-para-dobradeira.asp> Acesso em: 18/08/12.
- 7) NEWTON. *Cálculo de dobras*. Disponível em: <http://www.newton.com.br/calculo.php> Acesso em: 18/08/12.
- 8) RODRIGUES, J.; MARTINS, P. *Tecnologia Mecânica – Tecnologia da Deformação Plástica. Vol. II, Aplicações Industriais*. Escolar editora, Lisboa, 2005.



What's KinEtic?

Descubra na FEIMAFE 2013, 3 a 8 de Junho 2013,
Pavilhão de Exposições do Anhembi, São Paulo.

salvagnini

marketing@salvagninigroup.com
salvagninigroup.com