

## Técnica

# Laminação controlada permite a obtenção de folhas de aço-carbono ultrafinas

A recente tendência de miniaturização de componentes, como por exemplo nas indústrias de dispositivos eletrônicos e sistemas mecânicos controlados eletricamente, acentua a necessidade de fabricação de componentes a partir de folhas metálicas. Este trabalho descreve a obtenção de folhas finas de aço de baixo carbono com o uso de um laminador comum. A adoção de baixas reduções de área em cada passe – o que evita a geração de tensões durante o processo – em conjunto com o emprego de graus máximos de redução de área de 40%, permitiram obter folhas com espessura de 0,05 mm com bom acabamento superficial e boa regularidade, isentas de fissuras, trincas e poros.

*P. L. Ferrandini, H. F. Wächter, I. L. Diehl e L. Schaeffer*

**D**entre os vários setores industriais que dependem diretamente de desenvolvimento tecnológico, o metalúrgico é aquele em que o Brasil tem especial vocação para se desenvolver, dado o volume considerável de reservas de minerais metálicos e a história de nossa indústria metal-mecânica. Por outro lado, a fabricação de componentes metálicos, seja na fase de transformação da matéria-prima ou na obtenção dos componentes propriamente ditos, exige operações de conformação mecânica cada

vez mais complexas, o que mostra que o domínio e o contínuo desenvolvimento dos processos de conformação mecânica são passos importantes no desenvolvimento tecnológico do País.

No amplo conjunto dos processos de conformação mecânica, certamente a laminação de chapas está entre os mais conhecidos e utilizados; no entanto, quando se pensa em folhas finas de aço, com espessura abaixo de 0,20 mm, o volume empregado é menor. Alguns exemplos de casos de aplicação de folhas metálicas

finas mostram que se deve dar importância à sua produção: a fabricação de dispositivos eletrônicos e sistemas mecânicos controlados eletricamente levou à miniaturização de vários componentes, muitas vezes obrigatoriamente fabricados em chapas metálicas ultrafinas<sup>(1)</sup>. Xiuhua *et al.*<sup>(2)</sup> estudaram a utilização de folhas ultrafinas de aço-Si na indústria elétrica, para a fabricação de motores e transformadores, e obteve resultados interessantes devido às excelentes propriedades magnéticas “moles”

## Técnica

apresentadas pelas folhas com espessura de 0,06 mm. A utilização de aço-Si na indústria elétrica é clássica e o trabalho citado obteve as folhas com o emprego de laminação convencional e também “cross shear rolling”, um processo de laminação que utiliza cilindros com velocidades periféricas diferentes. Vários métodos de “layer manufacturing”, ou obtenção de componentes por camadas, foram desenvolvidos a partir dos anos 1980, utilizando plásticos, papel, cerâmicas e metais. Alguns se mostraram inviáveis, mas outros apresentam potencial, como mostra a literatura<sup>(3)</sup>. Obikawa<sup>(4)</sup> obteve componentes mecânicos como chaves de boca e minipolias utilizando o processo de montagem em “sanduíche” de folhas de aço com espessura 0,20 mm, o que mostra que outros componentes



Fig. 1 – Equipamento empregado na laminação

em dimensões reduzidas também podem ser obtidos.

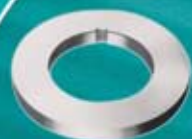
São vários os estudos encontrados na literatura que tratam da obtenção e processamento de folhas e tubos de parede fina. Ueji e colaboradores<sup>(5)</sup> laminaram chapas com espessura inicial de 2 mm em condição martensítica, atingindo

do várias espessuras, até a mínima de 0,44 mm, estudando também o efeito da temperatura de tratamento térmico de recozimento para recristalização entre 300°C e 700°C. Assim, o propósito deste trabalho é reportar a obtenção de folhas finas de aço de baixo carbono com espessura de 0,05 mm, utilizando um laminador comum.

### Equipamentos e materiais empregados

O trabalho utilizou chapas de aço baixo carbono NBR 5915 EM<sup>(6)</sup> com dimensões iniciais de 0,7 x 50 x 100 mm. As chapas foram inicialmente recozidas a 600°C, por 12 horas. O controle da recristalização foi feito indiretamente, com o acompanhamento da dureza do material por ensaios de dureza Vickers, utilizando carga

## FACAS ESPECIAIS E FERRAMENTAS PARA DOBRADEIRA



### Facas para:

- Metalúrgicas e Siderúrgicas
- Plásticos
- Tecidos
- Borracha
- Celulose e Papel



- Com ou sem Têmpera, Acabamento Retificado;
- Ferramentas Especiais em Aço SAE 1045 ou Aço Ferramenta.

Qualidade confirmada nos grandes fabricantes de máquinas.



MUT-FAC FACAS INDUSTRIAS LTDA.  
Rua Itajubá, 485 • Cumbica • Guarulhos • SP  
Fone: +55 (11) 2488-8999 • Fax: 2488-6044  
E-mail: mutfac@mutfac.com.br • www.mutfac.com.br

**MUT-FAC**  
FACAS INDUSTRIAIS

de 500 gf e tempo de aplicação de 10 segundos. A dureza do material aferida inicialmente foi de  $(114 \pm 3)$  HV. As chapas foram laminadas com e sem o uso de lubrificante. O lubrificante utilizado consistiu em grafite em suspensão aquosa Syndool – Synd Forj 331, que foi diluído na proporção de 1 para 4 partes de água. O equipamento de laminação utilizado, que faz parte do conjunto de equipamentos para conformação mecânica do LdTM (Laboratório de Transformação Mecânica) da UFRGS, foi um laminador Demag com potência de 49 kW. O equipamento operou com cilindros de aço lisos, com diâmetro de 178,8 mm e rotação de 27 rpm, que resulta em velocidade periférica de 252,8 mm/s. O equipamento é visto na figura 1 (pág. 80). Durante o processo de laminação as chapas receberam

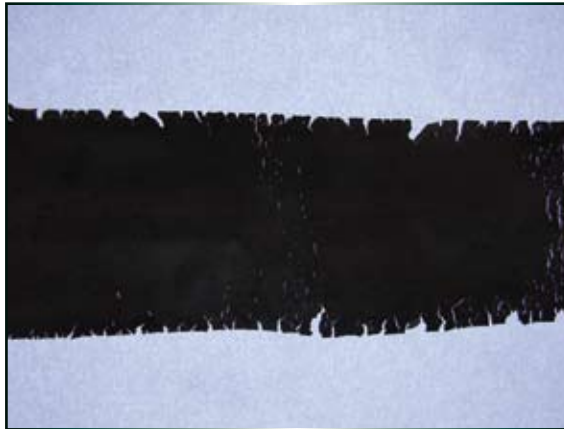


Fig. 2 – Os defeitos observados ocorrem devido à redução excessiva imposta ao material no último passe

recozimentos intermediários a  $600^{\circ}\text{C}$ , por três horas.

### Processamento e resultados obtidos

O processo de laminação a frio permite reduzir a espessura de uma chapa em mais de 90% sem encruamento prévio<sup>(7)</sup>. No entanto, a redução é sempre dividida em vários passes, já que tanto o encruamento excessivo quanto os altos valores de tensão durante a

operação podem levar ao surgimento de trincas e até à ruptura do material sob processamento.

Em uma operação de laminação a magnitude das tensões atuantes é proporcional à redução de espessura imposta em cada passe<sup>(8,9)</sup>. Portanto, nos testes realizados foram aplicadas pequenas reduções em todos os passes da laminação<sup>(10)</sup>, como forma de diminuir as tensões atuantes. A figura 2

mostra uma folha com espessura de 0,05 mm que sofreu reduções acentuadas nos últimos passes de laminação a que foi submetida e que, conseqüentemente, apresenta falhas, como trincamento e pequenos furos. Nota-se também a presença de ondulações e distorções, sempre ligadas à concentração excessiva de tensões.

A figura 3 (pág. 82) mostra uma folha com espessura de 0,06 mm que apresenta ondulações devido ao alto grau de encruamento a

**baw**  
SOLUÇÕES PARA PROCESSOS DE CORTE

MESAS DE CORTE CNC **femcor**<sup>®</sup>

Máquinas de corte a plasma extremamente robustas, com alta qualidade construtiva, projetadas para oferecer ao sistema alta velocidade e precisão, ampliando sua performance, consistência e vida útil.

**ABSOLUTA-CNC**



**LINEA CORD CNC**



**FINAME**

Distribuidor Autorizado:

**Hypertherm** **femcor** **alpha**<sup>®</sup> **TSV**

Rua Humberto Zanoni, 111 - Bairro Sanvitto - CEP: 95012-410  
Caxias do Sul - RS - Fone/fax: (54) 3226 3232

E-mail: [info@baw.com.br](mailto:info@baw.com.br)  
Site: [www.baw.com.br](http://www.baw.com.br)



## Técnica

que foi submetida. Mais um detalhe foi observado em relação ao grau de redução aplicado ao material: com a diminuição da espessura da chapa para valores menores que 0,2 mm, o grau de encruamento admissível diminui. O grau máximo de redução aplicado ao material de baixa espessura sem causar distorção excessiva foi de 40%.

Vários são os estudos ligados à utilização de lubrificantes no processo de laminação<sup>(11-13)</sup>. Sem emprego de lubrificação a espessura mínima conseguida foi de aproximadamente 0,6 mm, enquanto o uso de lubrificante permitiu que se atingisse aproximadamente 0,4 mm. As chapas foram laminadas uma a uma até a espessura de 0,42 mm, o que



Fig. 3 – O aspecto extremamente irregular da folha é causado pelo alto grau de encruamento aplicado à mesma

representa 51% de redução. Foi aplicada a seguinte sequência de reduções: 0,7 mm → 0,63 mm → 0,57 mm → 0,52 mm → 0,47 mm → 0,43 mm. A partir de então, as chapas foram laminadas em conjuntos de duas, de acordo com a seguinte sequência de reduções: 0,42 mm → 0,39 mm → 0,35 mm → 0,32 mm → 0,29 mm. Neste ponto a deformação

acumulada era de 88% e a dureza observada era de  $(208 \pm 3)$  HV. As chapas foram recozidas e o valor de dureza então observado foi de  $(114 \pm 5)$  HV. Em seguida, as chapas foram lixadas para retirada da camada de óxido e laminadas em conjuntos de quatro peças. A seguinte sequência de redução foi adotada: 0,29 mm → 0,27 mm → 0,25 mm →

**CLOOS & DEUMA**  
DO BRASIL LTDA

### Líder Mundial de Tecnologia em Soldagem

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



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



**Lixadeira Angular para Tubos:**  
para executar "boca-de-bolo"  
em tubos de até Ø 3"



**Chanfradeira:**  
Construção robusta  
chapas até 50mm



**Calandra para chapas**  
totalmente hidráulica  
3 e 4 rolos



**Curvadora de tubos**  
para Ø16 até Ø130mm

**Distribuidor exclusivo no Brasil !**



Máquinas e Equipamentos

**Fone: 11 2591-3881**  
vendas@baltecmaq.com.br  
www.baltecmaq.com.br

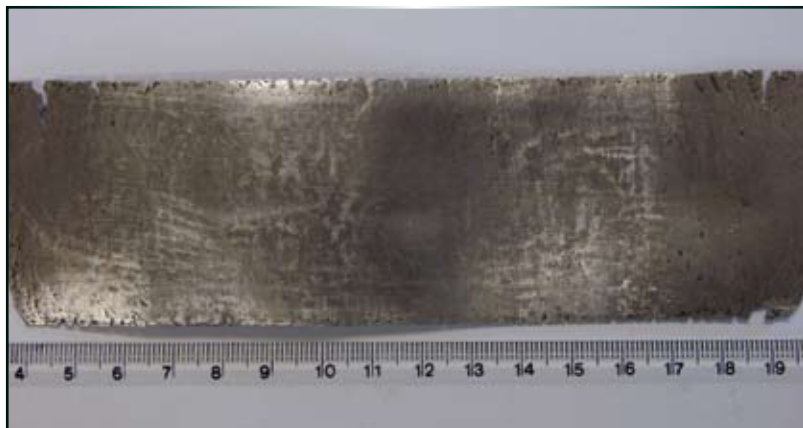


Fig. 4 – Folha obtida com o emprego de graus baixos de redução em cada passe e diminuição do grau total de redução entre dois recozimentos consecutivos

0,23 mm → 0,21 mm → 0,19 mm  
→ 0,18 mm → 0,17 mm →  
0,16 mm → 0,15 mm → 0,14 mm  
→ 0,13 mm → 0,12 mm.

Um novo recozimento foi aplicado, seguido de lixamento, e então as chapas foram laminadas em conjuntos de oito peças, na seguinte sequência: 0,12 mm → 0,11 mm → 0,10 mm → 0,09 mm → 0,08 mm → 0,07 mm → 0,06 mm → 0,05 mm. A figura 4 mostra uma folha com espessura 0,05 mm, isenta de trincas e sem distorção excessiva.

## Conclusões

Neste estudo chapas de aço de baixo carbono NBR 5915 EM foram laminadas até que se atingisse a espessura mínima de 0,05 mm, e os resultados obtidos permitem concluir que é possível obter folhas de espessura consideravelmente reduzida com o uso de um laminador comum. A adoção de reduções moderadas a cada passe permite obter folhas sem defeitos como fissuras e porosidades. O grau máximo de redução, e portanto, o grau máximo de encruamento aplicável ao material visando a obtenção de folhas sem distorção e ondulação excessiva diminui com a redução da espessura da chapa, sendo

40% o grau máximo de encruamento aceitável para espessuras abaixo de 0,2 mm.

## Referências

- 1) SAOTOME, Y., YASUDA, K., KAGA, H. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 113 (2001), p. 641-647.
- 2) XIUHUA, G., KEMIN, Q., CHUNLIN, Q. *Materials Science and Engineering, A* 430 (2006), p. 138-141.
- 3) LEVY, G. N., SCHINDEL, R., KRUTH, J. P. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, n. 52 (2003), p. 589-609.
- 4) OBIKAWA, T., YOSHINO, M., SHINOZUKA, J. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 89-90 (1999), p. 171-176.
- 5) UEJI, R., TSUJI, N., MINAMINO, Y., KOIZUMI, Y. *Science and Technology of Advanced Materials*, n. 5 (2004), p. 153-162.
- 6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Bobinas e chapas finas a frio de aço-carbono para estampagem – Especificação*; Rio de Janeiro, 2008.
- 7) Continuous annealing of steel. In: *ASM Handbook*. Volume 4. Heat treating. Nova York: ASM International. 10ª edição, 1990.
- 8) SCHAEFFER, L. *Conformação de Chapas Metálicas*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.
- 9) SCHAEFFER, L. & ROCHA, A. S. *Conformação Mecânica, Cálculos Aplicativos em Processos de Fabricação*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2007.
- 10) XIUHUA, G., KEMIN, Q., CHUNLIN, Q. *Materials Science and Engineering, A* 430 (2006), p. 138-141.
- 11) SANIEI, M., SALIMI, M. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 177 (2006), p. 575-481.
- 12) SHIRIZLY, A., LENARD, J. G. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 97 (2000), p. 61-68.
- 13) LIU, Y. J., TIEU, A. K., *Journal of Materials Processing Technology*, n. 130-131 (2002), p. 202-207.



## Fitas de aço



## Fitas Plásticas



## Selos

## Acessórios



**Felifer**  
EMBALAGENS

www.feliferembalagens.com.br  
+55-11-2966-7444