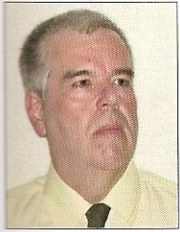


ALBERTO MOREIRA GUERREIRO BRITO - brito@ufrgs.br

LÍRIO SCHAEFFER - schaefer@ufrgs.br

STEFAN ERXLEBEN - stefan.erxleben@lasco.de

FRANZ SUTTAN - franz.suttan@lasco.de



## Processos de obtenção de pré-formas na produção de forjados em matriz

No forjamento em matriz é frequente a utilização de uma ou mais pré-formas, sendo que o projeto adequado das mesmas pode definir a viabilidade técnica e/ou econômica do processo. Neste trabalho é apresentado o método de distribuição de área, utilizado para o projeto de pré-formas e os principais processos de conformação empregados na sua fabricação.

No processo de forjamento em matriz geralmente não é possível obter uma peça em um único passo (gravura<sup>1</sup> única). Como a matéria-prima representa entre 30 e 50% do custo total unitário do componente, é importante que a pré-distribuição de material seja ajustada tão perto quanto possível da forma final já nas fases iniciais da produção. Assim sendo, recomenda-se a utilização de pré-formas otimizadas que podem reduzir consideravelmente o custo de produção.

Quando o componente a ser forjado é relativamente simples utiliza-se, além da gravura final, uma prévia para execução da pré-forma. Para o forjamento de componentes complexos, frequentemente torna-se necessário realizar operações mais elaboradas de pré-forma em máquinas separadas. Na figura 1 são mostrados alguns dos mais frequentes tipos de operações de pré-forma. Estas incluem diferentes tipos de recalçamento<sup>2</sup>, inclusive o eletro-recalçamento e de estiramento, além de operações para a “quebra” de cantos vivos, dobramento, forjamento em rolos e laminação transversal de pré-formas.

Normalmente as operações de recalçamento, dobramento e parcialmente também as de estiramento são mais eficientemente quando realizadas em prensas hidráulicas. Em muitos casos o eletro-recalçamento é uma solução óbvia para o recalçamento parcial de barras. Tarugos de seção redonda ou quadrada podem ser estirados através de forjamento em rolos ou laminação transversal. Com um projeto de pré-forma otimizado os

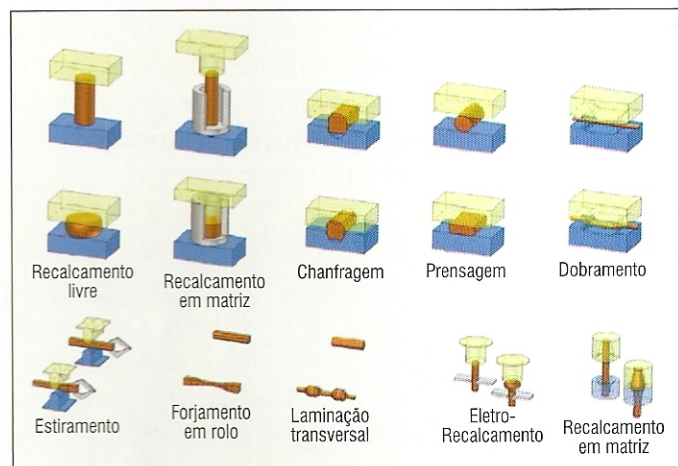


Figura 1 - Processos de obtenção de pré-formas mais frequentemente utilizados

custos relativos à matéria-prima podem ser reduzidos, pois é feita a distribuição do material de acordo com a distribuição do mesmo no forjado final.

A figura 2 mostra, para dois diferentes forjados, a considerável economia de material que pode ser obtida pelo uso de pré-formas produzidas por forjamento em rolos ou laminação transversal [1].

### PROJETO DE PRÉ-FORMAS PARA FORJAMENTO

A partir da observação da figura 2 fica evidente a

<sup>1</sup>Gravura: nome dado a impressão existente nas matrizes de forjamento onde a peça é conformada.

<sup>2</sup>Recalçamento: operação de forjamento que consiste na compressão axial de uma barra ou tarugo.



Figura 2 - Economia de material que pode ser obtida com o uso de pré-formas no forjamento de alavancas e bielas [1]

importância do projeto da pré-forma nos resultados finais do forjamento de uma peça. Embora muitas vezes a definição de uma pré-forma seja feita pelo método de tentativa e erro, existe uma metodologia de projeto, conhecida como "método da distribuição de área", que pode ser encontrada em inúmeros trabalhos [2 a 11]. Até alguns anos atrás, o ajuste final de uma pré-forma definida pelo método da distribuição de área precisava ainda ser feito experimentalmente. Nos últimos 10 anos houve uma grande evolução dos sistemas de simulação numérica dos processos de deformação plástica, especialmente dos baseados no método de elementos finitos.

Com isso, o ajuste final da geometria de uma pré-forma pode ser feito através da verificação da viabilidade da mesma por um programa computacional de simulação, que também pode sugerir as correções que precisam ser feitas [12, 13]. Muitos programas de simulação atualmente existentes no mercado possuem rotinas específicas para o desenvolvimento de diferentes processos de fabricação [14-16] que, tais como os vistos na figura 1, podem ser empregados na conformação de pré-formas.

Entretanto, é sempre importante lembrar que, independentemente do método ou programa de simulação utilizado para testar o projeto, é fundamental que se disponha de dados confiáveis sobre as propriedades mecânicas do material (curva de escoamento) e condições de contorno (atrito) do processo [17-20].

### FABRICAÇÃO DE PRÉ-FORMAS EM PRENSAS HIDRÁULICAS

Prensas hidráulicas são muitas vezes a primeira escolha para a realização de um grande número de processos de conformação mecânica. Isso ocorre porque esse tipo de equipamento possui uma grande ver-

satilidade e pode ser fabricado de modo a cobrir uma grande faixa de capacidade em termos de fornecimento de força e energia para conformação. A eficiência pode ser maximizada por um projeto cuidadoso dos sistemas de atuação e pela seleção de modernos sistemas de controle. Grande parte da flexibilidade característica desse tipo de equipamento vem do fato da força máxima de conformação poder ser atingida em qualquer ponto do curso, o que permite o uso de ferramentas com diferentes alturas a partir de adaptações mínimas.

Dependendo das exigências e características do processo de conformação, uma prensa hidráulica pode ser projetada com o atuador ou pistão ligado diretamente a bomba hidráulica ou a um acumulador. A figura 3 mostra esquematicamente os dois tipos de sistema.

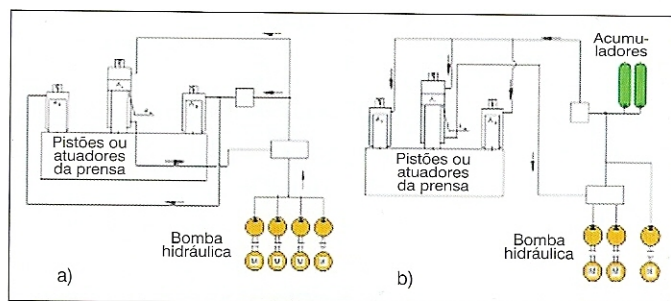


Figura 3 - Representação esquemática do sistema de acionamento de uma prensa hidráulica: a) atuação direta e; b) com acumulador

No caso de acionamento direto os movimentos da prensa dependem do fornecimento de óleo pressurizado proveniente diretamente de uma bomba ou conjunto de bombas. Essa solução é preferida quando determinada performance é requerida em um curso relativamente grande e com alta velocidade. No sistema bomba/acumulador, parte da energia é estocada no acumulador e pode ser disponibilizada se necessário. Essa solução é preferida quando altas velocidades de prensagem são necessárias em um curto espaço de tempo, sendo que a recarga do acumulador ocorre entre dois golpes da prensa. Dependendo do tipo de aplicação, da área de mesa necessária, da altura da máquina e do curso desejado podem ser utilizadas prensas cuja estrutura é formada por uma única peça (pela união de diversas peças soldadas) ou prensas cuja estrutura é formada por várias peças individuais (base, travessão, estrutura superior e colunas unidas e pré-tensionadas por quatro tirantes). A figura 4 mostra os dois tipos de estruturas das prensas hidráulicas e seus principais componentes.



Figura 4 - Tipos de estruturas das prensas hidráulicas e principais componentes

### Prensas para obtenção de pré-formas em anel

Peças como rolamentos e engrenagens são muitas vezes forjadas, dependendo do tamanho, a partir de

pré-formas em forma de anel. Geralmente essas pré-formas são fabricadas por laminação a partir de uma geratriz que pode ser obtida por diferentes processos.

A Lasco Umformtechnik GmbH desenvolveu uma prensa especial para a fabricação de pré-formas anelares que podem ser diretamente utilizadas em processos de forjamento. Na figura 5 é mostrado esquematicamente o processo utilizando esse equipamento, que

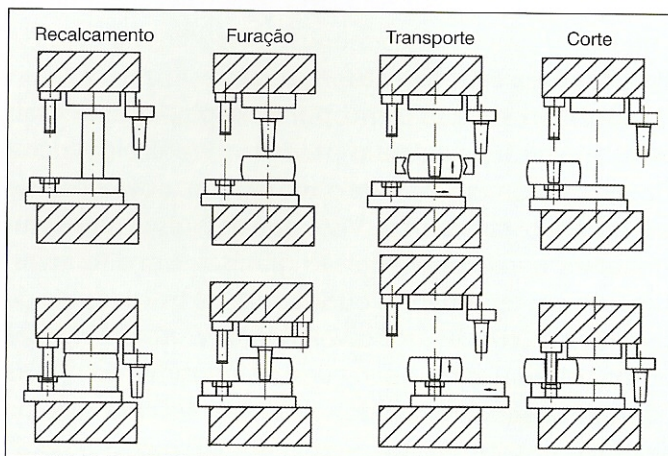
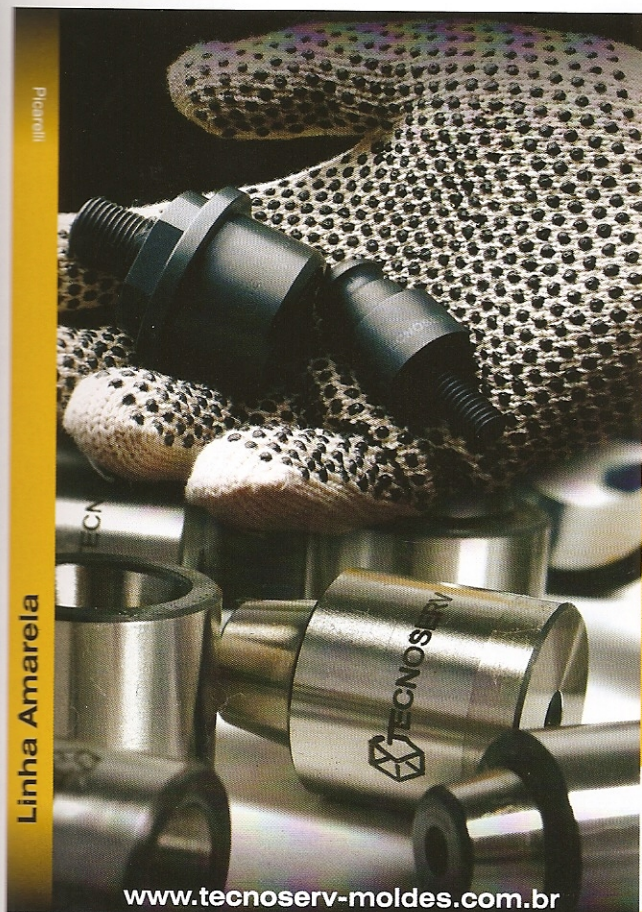


Figura 5 - Processo de obtenção de pré-formas em anel



Piccinelli

Linha Amarela

[www.tecnoserv-moldes.com.br](http://www.tecnoserv-moldes.com.br)

## Tudo em um só lugar

### Acessórios para Moldes



#### Molas de Compressão



#### Engates de Conjunto Extrator

A Tecnoserv, atuante no segmento de metal-mecânica de precisão desde 1992, tem hoje o compromisso de atender às exigências do mercado no que diz respeito a pequenos prazos de entrega de moldes para injeção de termoplásticos.

Para tanto, mantém em seu estoque elementos normalizados para moldes: insertos para reciclagem, posicionadores de gavetas, lâminas extratoras, placas deslizantes para gavetas, buchas e colunas, buchas de injeção, molas, pinos e buchas extratoras, guias de gavetas, centralizadores, gavetas, pino came, engates de extração, puxadores de placas, datadores e engates rápidos.



Fone: 11 4057-3977  
Fax: 11 4044-6086

[tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br](mailto:tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br)

pode ser totalmente automatizado e utilizado em operações de conformação a quente, a morno ou a frio. Em uma primeira etapa o tarugo é posicionado na mesa da prensa e sofre uma operação de recalçamento até uma altura especificada. Através de movimentos de translação e rotação das ferramentas, o tarugo é então posicionado sob um punção de pré-furação e a seguir sob uma ferramenta que corta o fundo do furo por cisalhamento.

**Prensas para estiramento**

Forjados especiais como, por exemplo, eixos frontais para caminhões e palhetas para grandes turbinas geradoras, consomem bastante tempo em operações de produção de pré-formas. Visto que os lotes de tais componentes geralmente não são grandes, um alto investimento em ferramentas ou sistemas de troca rápida de ferramentas não é justificável. Assim, o uso de prensas automatizadas para operações de estiramento é uma alternativa economicamente viável. O sistema visto na figura 6 consiste de uma prensa hidráulica de uso geral, com alta velocidade de prensagem e um manipulador para posicionamento e movimentação da peça. O manipulador permite a rotação da peça em torno do eixo e movimentação longitudinal, sendo acionado hidráulicamente. Dependendo da pré-forma desejada, o componente pode ser girado 90 ou 180 graus no sentido horário.

O número de golpes depende da velocidade da prensa e do número de operações de manipulação e é de pelo menos 60 golpes por minuto. Os valores nominais especificados para o contorno da pré-forma podem ser calculados em um computador pessoal e transferidos para o sistema de controle. Cada projeto pode ser armazenado e, se necessário, modificado para o forjamento de novas pré-formas. Para contornos semelhantes um mesmo conjunto de ferramentas pode ser utilizado. Se necessário um par de ferramentas pode ser montado como cisalha<sup>3</sup>.

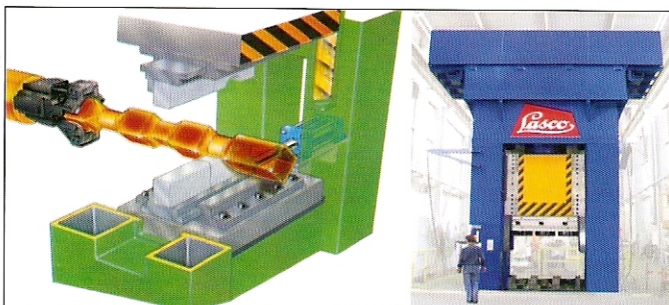


Figura 6 - Sistema para obtenção de pré-formas por estiramento

**ELETRO-RECALCAMENTO**

Durante o processo de eletro-recalcamento uma corrente de alta intensidade e baixa frequência passa através da região da barra a ser recalçada, limitada por contatos elétricos submetidos a uma diferença de potencial. Essa região é aquecida pela passagem da corrente devido a resistência elétrica do material. Simultaneamente um atuador hidráulico deforma o material de modo a concentrar massa entre os eletrodos. Com o aumento do volume a distância entre os eletrodos aumenta. O eletro-recalcamento não é limitado às extremidades da barra podendo o material ser acumulado em qualquer porção da mesma. A figura 7 mostra os dois tipos básicos de eletro-recalcamento existentes: (a) recalçamento livre e; (b) recalçamento de peças.

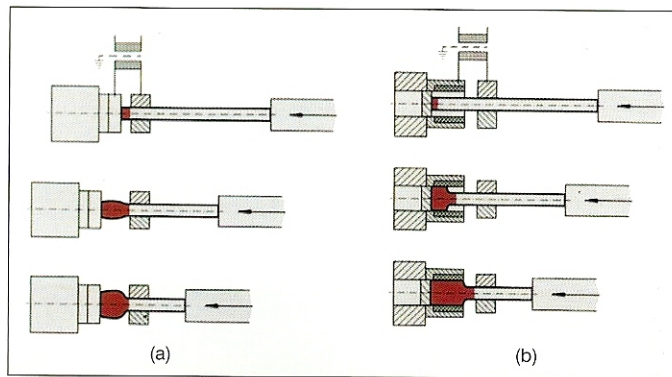


Figura 7 - Tipos de eletro-recalcamento: (a) recalçamento livre e; (b) recalçamento de peças

O eletro-recalcamento ajuda a superar algumas das limitações e das desvantagens tecnológicas da deformação plástica a quente além de aumentar a rentabilidade dos processos. O aquecimento e deformação simultâneas em uma única máquina permite aumentar significativamente a relação de recalçamento.

Relação de recalçamento é o quociente entre o comprimento inicial e o diâmetro da barra a ser recalçada. No processo convencional de recalçamento raramente pode ser utilizada uma relação maior do que três. Com o eletro-recalcamento esse valor frequentemente pode chegar a vinte como, por exemplo, em modernas válvulas de motores. Em alguns casos, até mesmo relações de recalço de quarenta vezes podem ser utilizadas.

Entre as inúmeras vantagens do eletro-recalcamento podem ser listadas: (a) não existe rebarba longitudinal,

<sup>3</sup>Cisalha: é um par de navalhas para realização de alguma operação de corte que pode ser necessária no processo.

o que é inevitável em máquinas convencionais; (b) não existe desperdício de energia e material visto que apenas a seção a ser deformada é aquecida; (c) no processo de peças em matriz fechada é possível um controle preciso do volume; (d) não existem tempos “mortos” de aquecimento (o aquecimento é feito durante a deformação); (e) o consumo de energia é bastante baixo (cerca de 0,35 a 0,40 kWh/kg); (f) em vista do aquecimento e deformação simultâneos, a formação de carepa<sup>4</sup> é mínima, o que aumenta a vida útil das ferramentas em operações subseqüentes de forjamento; (h) a contaminação ambiental pela emissão de calor, fumaça ou gases é reduzida ou inexistente; (i) em pré-formas desenvolvidas por eletro-recalcamento livre, operações subseqüentes podem ser executadas sem reaquecimento intermediário; (j) a temperatura de aquecimento pode ser precisamente controlada e mantida constante através de controle tiristorizado<sup>5</sup> da corrente; (k) a compressão axial da barra permite a obtenção de boas linhas de fluxo e a ausência de falhas superficiais; (l) a boa distribuição das linhas de fluxo evita a formação de dobras e enrugamentos; (m) eletro-recalcadoras podem também ser utilizadas apenas para aquecimento, por exemplo, para a realização de algum tratamento térmico localizado e; (n) eletro-recalcadoras normalmente não necessitam fundações.

O eletro-recalcamento é muito utilizado para obtenção de peças como as demonstradas na figura 8.

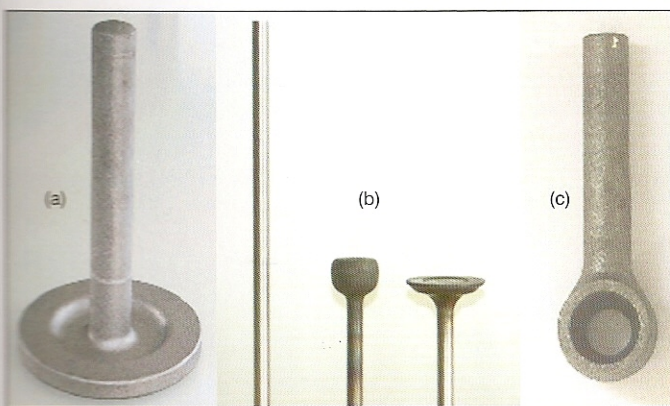


Figura 8 - Peças obtidas por eletro-recalcamento: (a) eixo flangeado; (b) válvulas para motores de combustão interna; (c) pré-formas destinadas à produção de juntas de sistemas de direção

O processo também é bastante adequado na fabricação de pré-formas para a produção de barras estabilizadoras para caminhões pesados e para vagões ferroviários.

Para o forjamento desse tipo de peça (figura 8) em um processo convencional o material precisa ser acu-

mulado nas extremidades da barra. Se essa operação requerer várias etapas de prensagem, o tempo de processo aumenta e a temperatura diminui, obrigando a utilização de aquecimentos intermediários e múltiplas ferramentas, o que encarece o processo. No eletro-recalcamento não é necessária a aplicação de reaquecimentos intermediários nem o uso de várias ferramentas. Em modernas eletro-recalcadoras todos os parâmetros necessários (posicionamento e temperatura) para um processo econômico e seguro são monitorados e controlados automaticamente. A confiabilidade do processo e o aumento da produtividade são alcançados pelo monitoramento das velocidades de prensagem e de afastamento dos eletrodos e das temperaturas das ferramentas e da peça. O guiamento da barra e a ocorrência de instabilidades também é monitorado.

## LAMINAÇÃO TRANSVERSAL E FORJAMENTO EM ROLOS

Laminação transversal e forjamento em rolos são dois processos de obtenção de pré-formas que promovem a distribuição do material fazendo passar o tarugo entre um par de rolos equipados com ferramentas. A operação contínua permite um processo inteiramente automático. O processo é utilizado para a obtenção de pré-formas e forjados de precisão que possuam simetria rotacional, em aços e ligas de alumínio.

No processo, visto na figura 9a, um tarugo cilíndrico aquecido na temperatura de conformação é alimentado entre dois rolos, nos quais as gravuras que deverão formar a pré-forma estão fixadas. Os rolos giram no mesmo sentido e a cada rotação uma pré-forma é ejetada. Dois trilhos guiam as barras que são alimentadas paralelamente ao eixo dos rolos exatamente no centro geométrico do par. Nas laminadoras transversais Lasco as ferramentas e rolos são mantidos em uma temperatura constante de forma a garantir um processo seguro, sem variações. O sistema permite a troca de rolos e ferramentas em menos de 5 minutos. A movimentação dos rolos é feita com dois servo-motores separados, o que garante um movimento contínuo e suave, permitindo melhor ajuste da velocidade.

O processo de forjamento em rolos é visto na figura 9b, sendo utilizado para a obtenção de pré-formas a

<sup>4</sup> Carepa: camada de oxidação, pouco aderente, formada a alta temperatura na superfície da peça.

<sup>5</sup> Tiristorizado: sistema de controle da potência fornecida a um equipamento realizado através do controle contínuo do ângulo de fase da corrente elétrica fornecida.

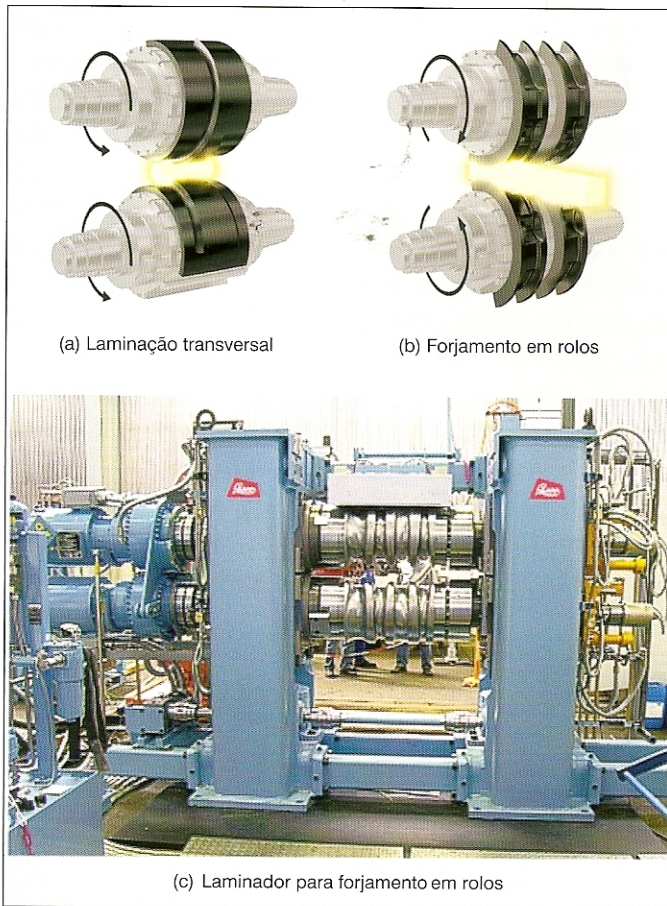


Figura 9 - Representação esquemática dos processos de laminação transversal, forjamento em rolos e laminador para os processos

partir de tarugos redondos ou quadrados. Ao contrário da laminação transversal, o tarugo é alimentado radialmente por um manipulador. Os rolos giram em sentido contrário e podem acomodar diferentes gravuras de modo a executar a operação de pré-forma em até seis passes.

A figura 9c mostra um laminador especialmente projetado para o forjamento em rolos de tarugos de ligas de alumínio. Os parâmetros do processo durante o rolamento devem ser rigidamente controlados de forma a garantir ótimos resultados. Os rolos são eletricamente aquecidos a 200°C sendo que unidades adicionais permitem manter uma temperatura constante, igual a 250°C, na superfície das ferramentas. Um *spray*<sup>6</sup> lubrificante é aplicado, a cada ciclo, sobre as ferramentas de modo a prevenir a aderência do alumínio nas ferramentas de aço.

Entre as muitas vantagens da laminação transversal e do forjamento em rolos pode-se citar as seguintes:

(a) considerável economia de material; (b) aumento da qualidade superficial devido a quebra de carepa durante a deformação; (c) aumento considerável da vida

de ferramentas em operações subsequentes de forjamento devido a quebra da carepa e a redução do fluxo de material na matriz; (d) poucas exigências de manutenção; (e) forças de conformação relativamente baixas e sem variações; (f) troca de ferramentas entre 5 e 10 minutos por rolo, dependendo do tamanho do mesmo; (g) facilidade de manutenção de temperatura constante e; (h) repetibilidade confiável de todos os parâmetros do processo.

## CONCLUSÕES

Uma vez que no forjamento raramente uma peça pode ser fabricada em uma única etapa, é fundamental que especial atenção seja dada à definição de geratrizes e/ou pré-formas desde as primeiras fases do projeto para que se obtenha um processo economicamente viável.

O projeto de uma pré-forma pode ser feito através do método de distribuição de área, que leva a aproximações razoáveis da forma final ou ainda ser auxiliados por testes em sistemas de simulação numérica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Erxleben, S., Suttan F.; *Preforming processes in the production of forgings*, XI Conferência Internacional de Forjamento, Bento Gonçalves, 2007
- [2] Sedighi, M., Tokmechi, S.; *A new approach to preform design in forging process of complex parts*, Journal of Materials Processing Technology, v. 197, n. 1-3, p. 314-324, 2008
- [3] Satisha, G.D., Singhb, N. K., Ohdarb, R. K.; *Preform optimization of pad section of front axle beam using DEFORM*; Journal of Materials Processing Technology, v. 203, n. 1-3, p.102-106, 2008
- [4] Park J. J., Hwang, H. S.; *Preform design for precision forging of an asymmetric rib-web type component*, Journal of Materials Processing Technology, v.187-188, p595-599, 2007
- [5] Vazquez, V., Altan, T.; *Die design for flashless forging of complex parts*; Journal of Materials Processing Technology, v. 98, n. 1, p. 81-89, 2000
- [6] Altan, T., Oh, S., Gegel, H.; *Conformação de Metais - Fundamentos e Aplicações*; FESC/USP, São Carlos, 1999
- [7] Chang, C. C., Bramley, A. N.; *A new forging preform design approach using reverse simulation*; CIRP Annals - Manufacturing Technology, v.47, n. 1, p. 193-196, 1998
- [8] Takemasu, T., Vazquez, V., Painter, B., Altan, T.; *Investigation of metal flow and preform optimization in flashless forging of a connecting rod*; Journal of Materials Processing Technology, v. 59, n. 1-2, p. 95-105, 1996

<sup>6</sup>Spray: do inglês, pulverização, borrfio.

- [9] Cappelli, P. F.; *Forjamento Isotérmico da Liga AlMgSi1*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 1988
- [10] Lange, K.; *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1985
- [11] Lange, K., Meyer-Nolkemper, H.; *Gesenkschmieden*; Springer-Verlag, 2. ed., Heidelberg, 1977
- [12] Diez, R., Hindenlang, U., Kurz, A.; *LARSTRAN/SHAPE User Manual*; LASSO Ingenieurgesellschaft, Leinfelden-Echterdingen, 1992
- [13] Franzke, M., Barton, G.; *Computer Aided Optimisation Tool Version 3.14 Benutzerhandbuch*; Aachener Umformtechnik GmbH, Aachen, 2007
- [14] QuantorForm Ltd.; Acessado em: 20/06/2008, disponível em [www.qform3d.com](http://www.qform3d.com)
- [15] Simufact-Americas LLC.; Acessado em 20/06/2008, disponível em [www.simufact-americas.com/examples/index.html](http://www.simufact-americas.com/examples/index.html)
- [16] TRANSVALOR S.A.; Acessado em 20/06/2008, disponível em [www.transvalor.com/](http://www.transvalor.com/)
- [17] Schaeffer, L., Brito, A. M. G.; *Simulação computacional do processo de forjamento*; Metalurgia e Materiais, v. 59, p. 104-106, 2004
- [18] Schaeffer, L., Brito, A. M. G., Geier, M.; *Numerical simulation using finite elements to development and optimization of forging processes*; Steel Research, v. 76, n. 2-3, p. 199-204, 2005
- [19] Schaeffer, L., Brito, A. M. G.; *FEM numerical simulation and experimental investigation on end-forming of thin-walled tubes using a die*; Steel Research, v. 78, n.10-11, p. 798-803, 2007
- [20] Almeida, B. P. P. et al.; *Expansion and reduction of thin-walled tubes using a die: Experimental and theoretical investigation*; International Journal of Machine Tools & Manufacture, v. 46, p. 1643-1652, 2006

**Alberto Moreira Guerreiro Brito** - Engenheiro Metalúrgico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor em Engenharia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais da UFRGS na áreas de Processos de Fabricação. Pesquisador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS, atuando nas áreas de desenvolvimento de processos de conformação mecânica, simulação numérica de processos através de elementos finitos e levantamento de propriedades físicas, térmicas e mecânicas de materiais. Autor de vários artigos nacionais e internacionais sobre esses temas.

**Lírio Schaeffer** - Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação pela Universidade Técnica de Aachen/Alemanha (RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do CNPq, professor das disciplinas de processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia da UFRGS. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.

**Stefan Erxleben** - Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia, Diretor de Vendas da Lasco Umformtechnik GmbH, Coburg, Alemanha e Editor Chefe da revista Lasco UpGrade.

**Franz Suttan** - Engenheiro Mecânico, Assistente de Vendas da Lasco Umformtechnik GmbH, Coburg, Alemanha e membro do corpo editorial da revista Lasco UpGrade.

# TopSolid

**Solução integrada  
CAD/CAE/CAM**

...a mais avançada  
...para simulação,  
...e manufatura de  
...de injeção.

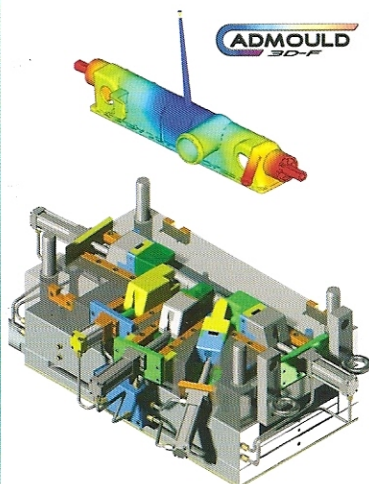
...nunca viu nada igual!

**Missler**  
SOFTWARE BRASIL

+ 55 11 5084-0048  
[topsolid.com.br](http://topsolid.com.br)

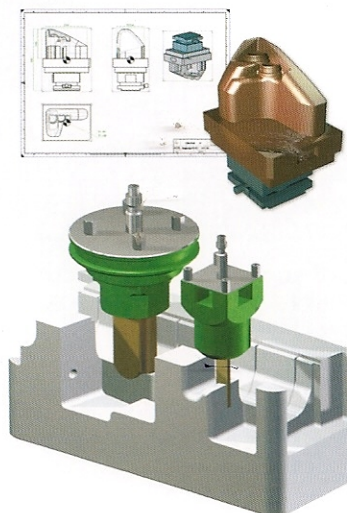
## TopSolid <sup>Mold</sup>

Reduz o tempo de projeto e detalhamento do molde



## TopSolid <sup>Electrode</sup>

Criação rápida de eletrodos e documentos de fábrica



## TopSolid <sup>Cam</sup>

Programação e gestão dos processos de fabricação

