

Dimensionamento de prensas para conformação de rebites

Método alternativo à simulação evita erros no dimensionamento de prensas e equipamentos para a indústria



Eng. Rafael Vagliatti



Dr. Eng. Lirio Schaeffer

Recentemente, em um artigo publicado na Revista do Parafuso pelo Dr. Gerhard H. Arfmann, foram abordados temas relativos a simulações por elementos finitos na indústria de fixadores. Não restam dúvidas que o método está consolidado e atualmente é a forma mais precisa e confiável para se desenvolver um novo produto, seja um fixador, parafuso ou qualquer elemento estrutural em questão.

Como os softwares de simulação ainda representam um grande investimento na indústria, muitas

vezes se tornando inviáveis para as menores corporações, este artigo mostra um cálculo analítico para determinação das forças exigidas pelo maquinário para a conformação de um rebite de compressão semitubular.

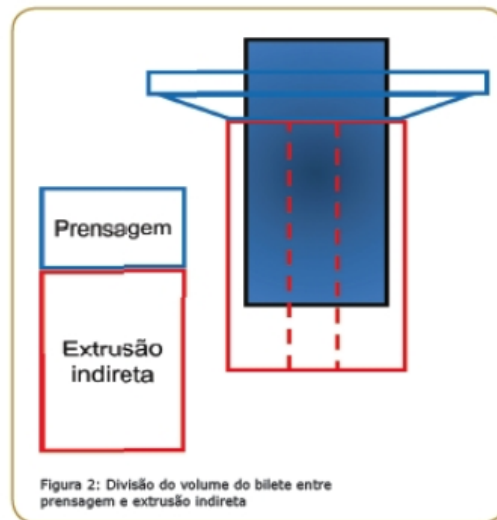
Cálculo analítico da força de conformação de fixadores para indústria cutedeira

Dentre os diversos tipos de fixadores, os mais comuns na indústria cutedeira são os rebites de compressão. Ao contrário dos fixadores individuais, os rebites de compressão ou de cutelaria são utilizados em pares, conferindo um acabamento similar nos dois lados da fixação. Tecnicamente eles são chamados de rebites maciços e semitubulares, conforme mostrado na figura 1.



Figura 1: Rebites semi tubulares

Para a conformação dos rebites semitubulares parte-se de fios ou arames, os quais são processados em alta velocidade dando origem aos rebites. Um equipamento bem dimensionado e em pleno funcionamento pode produzir 400 peças por minuto, sem defeitos de qualidade. A figura 2 mostra a divisão do volume entre os dois processos que ocorrem simultaneamente durante a conformação.



Partindo do arame, que é um bilete cilíndrico, divide-se o seu volume em duas partes, de acordo com o tipo de conformação: a primeira parte relativa à prensagem, que dá forma a cabeça (azul), e a segunda parte relativa à extrusão indireta, que dá origem ao corpo tubular (vermelho) do rebite.

As equações analíticas para o cálculo da força de prensagem e extrusão indireta estão representadas ao lado.

Conhecendo-se as dimensões do bilete inicial e do rebite a ser produzido é possível calcular a força, levando-se em conta alguns parâmetros de processo e o material a ser conformado. O parâmetro necessário para o cálculo da prensagem é o coeficiente de atrito entre o material e ferramenta, que pode ser obtido por tabelas disponíveis na bibliografia ou então pelo ensaio do anel, por exemplo. Para o material utilizado é necessário conhecer a equação de escoamento, que para trabalho mecânico a frio é representado por uma equação do tipo $k_f = C$.

$$F_{extrusao\ indireta} = \frac{A_o \cdot k_{fm} \cdot \varphi}{\eta_F} \quad (1)$$

$$F_{prensagem} = A_{1p} \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_{1p}}{h_{1p}} \right) \quad (2)$$

Onde:

A_o – área do bilete inicial (arame) – mm²

k_{fm} – Tensão média de escoamento, dada por: $\frac{k_{f1} - k_{fe}}{2}$ – MPa

k_{f1} – Tensão final de escoamento, dada em φ – MPa

φ – Deformação principal da extrusão indireta – (-)

η_F – Rendimento do processo varia de 0,4 a 0,7

A_{1p} – Área final da cabeça do rebite – mm²

d_{1p} – Diâmetro final da cabeça do rebite – mm

h_{1p} – Altura final da cabeça do rebite – mm

μ – Coeficiente de atrito da prensagem (-)

Os cálculos analíticos dados pelas equações 1 e 2 são dependentes das deformações principais dos processos de prensagem e extrusão indireta, mostradas nas figuras 3 e 4, respectivamente.



Figura 3: Dimensões relativas ao cálculo da força de prensagem

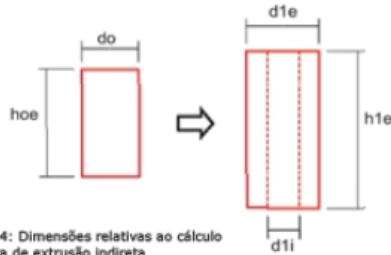


Figura 4: Dimensões relativas ao cálculo da força de extrusão indireta

Segundo a literatura, para a prensagem, a deformação principal é dada pelo logaritmo natural da razão de h_{1p} e h_{op} . Já para a extrusão indireta a deformação principal é calculada pelo logaritmo natural da razão da parte não extrudada pela altura total do bilette. Estas relações estão demonstradas nas equações 3 e 4.

$$\phi_{h_{extrusao\ indireta}} = \ln \frac{h_{op}}{h_0} \quad (3)$$

$$\phi_{h_{prensagem}} = \ln \frac{h_{1p}}{h_{op}} \quad (4)$$

Onde:

h_0 – Altura total do bilette dada por $h_{op} + h_{oe}$ – mm

Com as informações dadas acima é possível estabelecer uma força total para a conformação do rebite, dada pela soma da força de prensagem com a força de extrusão indireta. Tendo esses dados em mão é possível dimensionar um equipamento adequado, evitando muitas vezes um equipamento superdimensionado ou, então, quebras de maquinário.

Comparação do cálculo de força analítico x simulação computacional

O cálculo analítico nos mostra a força máxima a ser exercida pelo maquinário para realizar a conformação. Por outro lado, a simulação fornece gráficos de força em função do tempo ou da deformação. Para demonstrar a eficiência do método será mostrado um exemplo de cálculo da força para um rebite partindo de um arame de 3,90mm de diâmetro e 10,86mm de altura, com as dimensões finais conforme figura 5 mostrada ao lado.

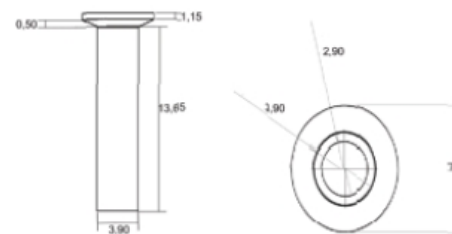


Figura 5: Dimensões finais do rebite

O coeficiente de atrito utilizado, através do ensaio do anel foi de 0,30 e a curva de tensão utilizada para o Aluminio 5052, que é o material utilizado, é mostrada na equação 5.

$$kf = 383,34 \cdot \varphi^{0,189} \quad (5)$$

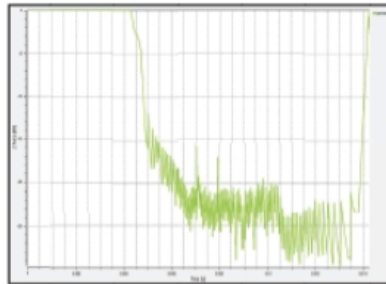
O cálculo analítico é dado pelas equações 6,7 e 8 mostradas abaixo.

$$F_{Prensagem} = 38,48.387,55 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,30 \cdot \frac{7}{1,65}\right) = 21.242,18 \text{ N} \quad (6)$$

$$F_{Extrusão Indireta} = 11,95.264,83.0,825/0,5 = 5.221,78 \text{ N} \quad (7)$$

$$F_{Total} = F_{Prensagem} + F_{Extrusão Indireta} = 21.242,18 + 5.221,78 = 26.463,97 \text{ N} \quad (8) \quad \blacktriangleright$$

Através da simulação computacional pode-se observar uma força muito próxima, conforme indicado pelo gráfico da figura 6 mostrada abaixo:



Conforme indicado no gráfico, a força da simulação se mostrou um pouco superior, na casa dos 28kN. Para o cálculo analítico o valor encontrado foi de 26,5kN. A diferença, de aproximadamente 5%, é praticamente nula, para as margens de trabalho utilizadas nos processos. Levando em conta que essa variação pode se apresentar nas propriedades dos materiais durante o recebimento, é seguro contar com uma margem de erro superior para evitar problemas futuros.

Portanto, mesmo sem entrar no mérito da viabilidade de adquirir um software de simulação, observam-se outras alternativas econômicas para o projeto e desenvolvimento de processos de geometrias mais simples, como o cálculo analítico do rebite estudado.

Referências bibliográficas: SCHAEFFER, L.; Conformação Mecânica, Porto Alegre: Editora Imprensa Livre; 2004 SCHAEFFER, L.; Forjamento: Introdução ao Processo, Porto Alegre: Editora Imprensa Livre; 2006

Eng. Rafael Vagliatti

Engenheiro Mecânico, Mestrando em Simulação Computacional
pelo LdTM/PPGEM - UFRGS.
bv.rafael@gmail.com

Dr. Eng. Lirio Schaeffer

Professor/pesquisador da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul – UFRGS.
schaeffer@ufrgs.br