

PROJETO DE UM RECIPIENTE COMPOSTO DE ALTA CAPACIDADE PARA EXTRUSÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovnichii⁽²⁾
Alan M. Ramalho⁽³⁾
Apóstolos J. Sideris Júnior⁽⁴⁾

Resumo.

Os recipientes são as partes mais carregadas dos dispositivos de extrusão das prensas hidráulicas horizontais. Eles funcionam com temperaturas elevadas e altas pressões específicas. As exigências das novas tecnologias revelam as necessidades de aplicar pressões até 1000MPa e temperaturas até 500°C. Como já é conhecido, as dificuldades do desenvolvimento de recipientes para as prensas horizontais de alta capacidade aumentam muito quando o peso do recipiente supera o valor de 100Ton. Durante projeto da nova construção do recipiente é considerado a condição que as tensões máximas equivalentes em cada bucha do recipiente não superam o limite do escoamento do material, ou seja, todas as buchas do recipiente devem funcionar no estado elástico. Mas a prática da operação dos recipientes mostrou que as buchas, nos quais as tensões na parede interna são próximas ao limite do escoamento, são destruídas rapidamente neste trabalho apresentado. Como solução do problema a construção do recipiente com cinco buchas encaixadas uma dentro da outra sob ajuste com interferência. As tolerâncias dimensionais dos diâmetros interno e externo, para cada bucha, foram calculadas sob a condição que, depois da montagem na parede interna da bucha interna, surgem as tensões tangenciais negativas com valor aproximadamente igual à metade da tensão admissível do aço empregado. Para este caso e para as condições favoráveis do trabalho dos materiais do recipiente, o coeficiente de espessura de parede é limitado por:

$$1 > K \geq \frac{\sqrt[4]{3}}{e^{\frac{\sqrt{3\pi}}{4}}}$$

Palavras chaves: extrusão, recipiente composto, buchas.

-
- (1) 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes 28, 29 e 30 de outubro de 2003 – São Paulo – SP
 - (2) Prof. Titular do Setor de Materiais Superduros, do Laboratório de Materiais Avançados, da Universidade Estadual Norte Fluminense.
 - (3) Doutorando em Engenharia de Ciências dos Materiais no Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual Norte Fluminense.
 - (4) Aluno de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual Norte Fluminense.

1 – Introdução.

Os recipientes para extrusão são os elementos mais carregados das prensas hidráulicas horizontais que funcionam sob elevadas temperaturas e altas pressões (Dieter, 1981; Avitzur, 1968). As exigências tecnológicas aos recipientes durante a extrusão de ligas de alumínio são limitadas pela temperatura (430°C) e pela pressão (500MPa) (Jivov et al., 1985). A força das prensas não supera 10000 toneladas. A construção do recipiente é comumente composta de bucha interna cônica e corpo feito de aço de elevada resistência (Metal Forming Handbook, 1966; Filho, 1991). Para garantir a troca rápida da bucha interna após seu desgaste, a mesma é fabricada com conicidade igual a 6°. A montagem da bucha interna no corpo executa-se por aperto. O aquecimento do recipiente é realizado por indução com montagem das barras de aquecimento no corpo. Essa construção é de fácil execução sendo aplicada amplamente.

A experiência do uso dos recipientes com bucha interna cônica revelou algumas desvantagens desta construção:

- Durante a usinagem das superfícies cônicas da bucha e corpo é difícil manter e controlar as dimensões geométricas destas superfícies. Para que a bucha tenha um bom ajuste no corpo do recipiente, ela é fabricada um pouco mais longa do que o necessário.
- Durante a retirada da bucha desgastada na prensa, pode ocorrer um estilhaçamento da bucha e causar danos aos elementos do equipamento.
- Ao longo do período de funcionamento, a superfície interna do corpo desgasta-se de forma abaulada dificultando o uso posterior do recipiente.

Por estes motivos, esta construção na maioria dos casos, não é recomendável para prensas de alta capacidade.

Foi decidido não mudar as buchas cônicas e aplicar somente as buchas cilíndricas coaxiais uma dentro da outra seguida de aperto. Neste caso, a retirada da bucha interna desgastada faz-se por usinagem, a qual leva um longo tempo, mas é viável. Nos últimos anos, foi realizada uma interessante tentativa de substituir a bucha interna por um núcleo composto de bucha cilíndrica inteiriça de parede fina e anel segmentado com superfície externa cônica (Bobrovnichii et al., 1996; Bobrovnichii et al., 2002). Esta solução permite facilitar a troca da bucha desgastada, contudo encarece o processo de fabricação.

Devido a tendência de aumento na capacidade das prensas hidráulicas, e também com a implantação de novos materiais resistentes para extrusão, as exigências à construção tanto em relação ao aumento de pressão, quanto ao aumento da temperatura elevou-se bruscamente, surgindo a necessidade de alcançar pressões de até 1000MPa.

As dificuldades no projeto dos recipientes para prensas de alta capacidade aumenta com o fator da escala, principalmente quando o peso total do recipiente supera 100ton. Além disso, é difícil manter numa peça grande e com propriedades mecânicas homogêneas. Este problema ainda não tem solução satisfatória.

O objetivo deste é apresentar as particularidades do projeto em relação ao cálculo dos recipientes compostos (recipientes "n" buchas encaixadas por ajuste com interferência).

1. Conceitos Teóricos do Cálculo

Os cálculos de resistência dos recipientes de multielementos para extrusão de tarugos cilíndricos são realizados considerando as fórmulas de Lamé, algumas

simplificações de seu funcionamento e a Teoria de Von Mises (High Pressure Technology, 1978; Timoshenko, 1976):

- As pressões são consideradas constantes ao longo do comprimento do recipiente. Na realidade as variações das pressões são bastante complexas.
- Tensões de compressão axial, possuem pouca influência, são desconsideradas.
- Considera-se que todos os elementos cilíndricos (buchas) do recipiente são aquecidos uniformemente até uma única temperatura. Na realidade, apesar do isolamento, existe o gradiente de temperatura no sentido radial.

Como é conhecido [9], no cilindro de parede grossa, carregado com as pressões internas p_i e externas p_{ex} , as tensões radial σ_r e tangencial σ_t são determinadas pelas fórmulas (1), considerando os diâmetros interno d_i e externo d_{ex} :

$$\sigma_r = \frac{p_i d_i^2 - p_{ex} d_{ex}^2}{d_{ex}^2 - d_i^2} - \frac{(p_i - p_{ex}) d_i^2 d_{ex}^2}{(d_{ex}^2 - d_i^2) d^2} \quad \sigma_t = \frac{p_i d_i^2 - p_{ex} d_{ex}^2}{d_{ex}^2 - d_i^2} + \frac{(p_i - p_{ex}) d_i^2 d_{ex}^2}{(d_{ex}^2 - d_i^2) d^2} \quad (1)$$

Em conformidade com a Teoria de Von Mises as tensões equivalentes são:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t \sigma_r + \sigma_r^2} \quad (2)$$

As tensões máximas equivalentes sempre ocorrem na superfície interna:

$$\sigma_{eq}^2 = \left[\frac{p_i d_i^2 - p_{ex} d_{ex}^2}{d_{ex}^2 - d_i^2} \right]^2 + 3 \left[\frac{(p_i - p_{ex}) d_i^2 d_{ex}^2}{d_{ex}^2 - d_i^2} \right]^2 \quad (3)$$

Calculando esta equação em função da p_i depois da transformação, pode-se obter:

$$\frac{p_i}{\sigma_{eq}} = \frac{p_{ex}}{\sigma_{eq}} \left[3 + \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^2 \right] \pm \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^2 \sqrt{3 + \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^4 - 3 \left(\frac{p_2}{\sigma_{ex}} \right)^2} \right] / \left[3 + \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^4 \right] \quad (4)$$

A escolha do sinal (\pm) é feita considerando $p_{ex}=0$. A equação (4) é a fórmula básica para o cálculo de recipientes compostos de "n" buchas.

Durante o projeto de novas construções de recipientes, a condição inicial é que as tensões máximas equivalentes em qualquer bucha não superem o limite de resistência ao escoamento dos aços usados para fabricação das buchas, ou seja, as buchas têm que funcionar apenas no regime elástico. A prática do funcionamento dos recipientes mostrou que as buchas, nas quais a tensão interna alcançou o limite do escoamento do material, são fraturadas.

São relatados dois casos de cálculo para o recipiente composto:

1. Considerando as tensões admissíveis conhecidas para cada bucha, são determinadas as pressões máximas admissíveis para a construção estudada.
2. Conhecendo as pressões e tensões máximas equivalentes para cada bucha, são determinadas as tensões máximas equivalentes para cada bucha.

Na prática do desenvolvimento do projeto para os recipientes, é considerado normalmente o primeiro caso, quando é necessário determinar as maiores pressões atuantes na construção projetada.

As tensões admissíveis de cada bucha foram escolhidas, considerando as propriedades mecânicas (σ_{esj}) do material e o coeficiente de segurança (n_j):

$$[\sigma_i] = \frac{\sigma_{esj}}{n_j} \quad (5)$$

Na metodologia proposta à numeração das buchas começa na bucha externa. O coeficiente de espessura de uma determinada bucha é dada pela fórmula $k_j = d_{ij}/d_{exj}$, portanto a equação (4) transforma-se em:

$$\frac{p_i}{[\sigma]_j} = \frac{\frac{P_{exj}}{[\sigma]_j} [3 + k_j^2] + [1 - k_j^2] \cdot \sqrt{3 + k_j^4} - 3 \left(\frac{P_{exj}}{[\sigma]_j} \right)}{3 + k_j^4} \quad (6)$$

No caso de construção contendo somente uma única bucha, o coeficiente de parede é dado por $k = d_i/d_{ex}$ e quando $p_{ex} = 0$ a fórmula (6) transforma-se em:

$$\frac{p_i}{[\sigma]} = (1 - k^2) \sqrt{\frac{1}{3 + k^4}} \quad (7)$$

Dessa equação conclui-se que quando o diâmetro externo é bastante grande ($k \approx 0$), a pressão interna máxima no recipiente não deve superar o valor $[\sigma]/\sqrt{3}$.

2. O Cálculo do Recipiente Composto de "n" Buchas.

Em conformidade com a fórmula (6) é determinada a relação $p_{i1}/[\sigma]_1$ para a primeira bucha (externa), a qual não tem a pressão externa ($p_{ex1} = 0$) atuando. Conhecendo o valor de $[\sigma]_1$, pode-se determinar a pressão interna (p_{i1}) na primeira bucha. A pressão interna da primeira bucha é a qual a pressão externa para a segunda bucha ($p_{i1} = p_{ex2}$).

Conhecendo a pressão externa e a tensão admissível para a segunda bucha (p_{ex2} , $[\sigma]_2$) pode-se determinar a relação $p_{ex2}/[\sigma]_2$. Usando a fórmula (6), determina-se a relação $p_{i2}/[\sigma]_2$ para a segunda bucha, de onde é calculado p_{i2} .

Para as demais buchas, o cálculo repete-se na mesma seqüência, determinando enfim para a última bucha "n" a relação $p_{in}/[\sigma]_n$, que fornece o valor da pressão interna p_{in} , a qual é a maior pressão do recipiente, $p_{in} = p_i$ (onde "n" é o número de buchas utilizadas na construção).

Quando a pressão interna p_i é encontrada e já estão determinadas as tensões máximas equivalentes para cada bucha através da utilização da fórmula (6), o valor absoluto das tensões equivalentes máximas para cada bucha poderá ser determinada, trocando $[\sigma]_j$ por correspondente σ_{eqj} .

A relação entre as tensões equivalentes da bucha "j" com as tensões equivalentes da bucha "j+1" pode ser expressa por $m_j(j+1) = \sigma_{eqj}/\sigma_{eq(j+1)}$. A seqüência do cálculo nesse caso será: usando a fórmula (6) pode-se determinar, para a bucha externa ($p_{ex1} = 0$), a relação p_{i1}/σ_{eq1} . Após isso determina-se a pressão interna da primeira bucha em função da pressão equivalente da primeira bucha σ_{eq1} .

A pressão interna da primeira bucha (p_{i1}) será igual a pressão externa para a segunda bucha $p_{i1} = p_{ex2}$. A relação p_{ex2}/σ_{eq2} para a segunda bucha é igual a relação p_{i1}/σ_{eq1} para a primeira bucha multiplicada por m_{j2} , ou seja: $(p_{ex2}/\sigma_{eq2}) = [(p_{i1}/\sigma_{eq1})m_{j2}]$;

Usando a fórmula (6) determina-se a relação p_{i2}/σ_{eq2} para a segunda bucha de onde se obtém p_{i2} expressa através da tensão equivalente da segunda bucha. Para as outras buchas as operações repetem-se na mesma seqüência, ou seja, obtendo-se a relação p_{in}/σ_{eqn} para a bucha, em conformidade com a pressão conhecida $p_{in} = p_i$, determina-se às tensões equivalentes na bucha σ_{eqn} . Conhecendo as relações das

tensões equivalentes nas condições prescritas, buscam-se as tensões equivalentes para cada bucha e as pressões entre elas.

Para as construções dos recipientes na prática, quando a geometria de alguma bucha afasta-se devido às condições da fabricação, fica difícil garantir qualquer regularidade no diâmetro de algumas buchas. Contudo, nos projetos preliminares, às vezes, são utilizadas considerações para essa variação de diâmetro nas buchas.

As considerações mais usadas são as duas dependências das quais a primeira está supondo que todas as buchas são fabricadas com a mesma espessura e a segunda está relacionada com a otimização dos diâmetros em conformidade com a equação a seguir, onde "a" é uma constante:

$$d_{exj} = a^{n-j+1} \cdot d_{i1} \quad (8)$$

No primeiro caso a espessura de todas as "n" buchas é igual a:

$$\frac{d_{ex} - d_i}{2n} = d_{ex} \frac{1-k}{2n}; \quad (9)$$

Diâmetro interno e externo da "j" bucha:

$$d_{ij} = d_{ex} \left[1 - \frac{1-k}{n} j \right] \quad d_{exj} = d_{ex} \left[1 - \frac{1-k}{n} (j-1) \right] \quad (10)/(11)$$

O coeficiente de espessura de parede (k_j da j – bucha), é:

$$k_j = \frac{n - (1-k)j}{n - (1-k)(j-1)}; \quad (12)$$

No caso da otimização dos diâmetros, tendo em vista as "n" buchas do recipiente, a constante "a" é determinada através do coeficiente de espessura total do recipiente:

$$a = \sqrt[n]{\frac{1}{d_i/d_{ex}}} = \sqrt[n]{\frac{1}{k}} \quad (13)$$

ou, por conseguinte, o diâmetro interno da "j" bucha é dado por: $d_{ij} = a^{n-1} \cdot d_i$.

A relação entre os diâmetros d_{ij}/d_{exj} apresentada na fórmula (6) é:

$$k_j = \frac{a^{n-1}}{a^{n-j+1}} = \frac{1}{a} \sqrt[j]{k} = \text{const.}; \quad (14)$$

O coeficiente de espessura de parede neste caso é igual para todas as buchas.

A figura 1 apresenta as curvas de dependências entre a razão das pressões às tensões admissíveis pelo coeficiente de espessura para os recipientes contendo até quatro buchas ($n=4$). É possível fazer gráficos para um recipiente com $n=10$. A experiência mostra que os coeficientes mais usados de espessura ficam entre $k=0,25$ e $k=0,5$. No caso observado as tensões admissíveis para todas as buchas foram consideradas iguais. As curvas com linhas contínuas são referentes a recipientes cujos diâmetros foram escolhidos por motivos de otimização. As curvas com linhas tracejadas representam os recipientes com buchas de espessuras iguais. Para o gráfico foram utilizadas as fórmulas (12) e (14).

É interessante determinar as condições de trabalho mais vantajosas do material utilizado na fabricação de cada bucha, ou seja, quando $\sigma_{eq}=[\sigma]$. Isto ocorre

para $n = \infty$. A bucha comprimida por enrolamentos de fitas é um exemplo desta construção. Analisando as equações diferenciais para a condição de equilíbrio, pode-se obter após a integração a seguinte equação:

$$\frac{r}{r_0} = \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \arcsen\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sigma_r}{[\sigma]}\right)\right) / \sqrt{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \frac{\sigma_r^2}{[\sigma]^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_r}{[\sigma]}}} \quad (15)$$

A equação obtida revela a dependência entre as tensões radiais (σ_r) e o raio do recipiente (r), em qualquer ponto do mesmo. Como na superfície interna do recipiente tem-se $\sigma_r = -p_i$, $r = r_{in}$ e $k = r_{in}/r_{ex}$, então:

$$k = \frac{1}{\exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \arcsen\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{p_i}{[\sigma]}\right)\right) \cdot \sqrt{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \frac{p_i^2}{[\sigma]^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{p_i}{[\sigma]}}} \quad (16)$$

Considerando os valores de $p_i/[\sigma]$, pode ser obtido os valores de "k" que melhor aproveita a resistência do material usado na fabricação do recipiente. Na figura 1, esta dependência é apresentada para a curva $n = \infty$.

A dependência (16) é correta para $p_i \leq (2/\sqrt{3}) \cdot [\sigma]$ e para $p_i = (2/\sqrt{3}) \cdot [\sigma]$ e o coeficiente de espessura é dado por $k = (\sqrt[4]{3}/\exp(\sqrt{3}\pi/4)) = 0,3375$, ou seja, os valores do coeficiente de espessura de parede para o uso mais eficaz da resistência do material do recipiente é limitado por:

$$1 > k \geq \left(\sqrt[4]{3}/\exp\left(\frac{\sqrt{3}\pi}{4}\right)\right); \quad (17)$$

Para os casos já analisados, foi suposto que em qualquer carregamento, as tensões equivalentes não devem superar as tensões admissíveis $[\sigma]$. Para tal fato, com o recipiente não carregado por pressão interna, as pressões de montagem não podem gerar as tensões equivalentes superiores a $[\sigma]$, sendo necessário manter a condição $0 > \sigma_t > -[\sigma]$, ou seja, $\sigma_t = -[\sigma]$. Fixando esta condição, na ausência da pressão interna, durante o carregamento por pressão de trabalho p_i , podem ser obtidas, para o diâmetro interno da bucha interna, as seguintes tensões:

$$\sigma_r = -p_i; \quad \sigma_t = \frac{1+k^2}{1-k^2} p_i - [\sigma]; \quad (18)$$

Utilizando a equação da resistência da Teoria de Von Mises, obtém-se:

$$\sigma_t^2 - \sigma_t \cdot \sigma_r + \sigma_r^2 = [\sigma]^2; \quad \left(\frac{1+k^2}{1-k^2}\right)^2 p_i^2 - 2 \frac{1+k^2}{1-k^2} p_i [\sigma] + [\sigma]^2 + \frac{1+k^2}{1-k^2} p_i^2 - p_i [\sigma] + p_i^2 = [\sigma]^2$$

Portanto:

$$\frac{p_i}{[\sigma]} = \frac{(3+k^2)(1-k^2)}{3+k^4} \quad (19)$$

Como considerado na equação (17), o valor absoluto da pressão interna para recipiente composto deve ser sempre menor que o valor absoluto das tensões

admissíveis. Teoricamente, a sua igualdade é possível somente para $k=0$, ou seja, quando o diâmetro for infinitamente grande.

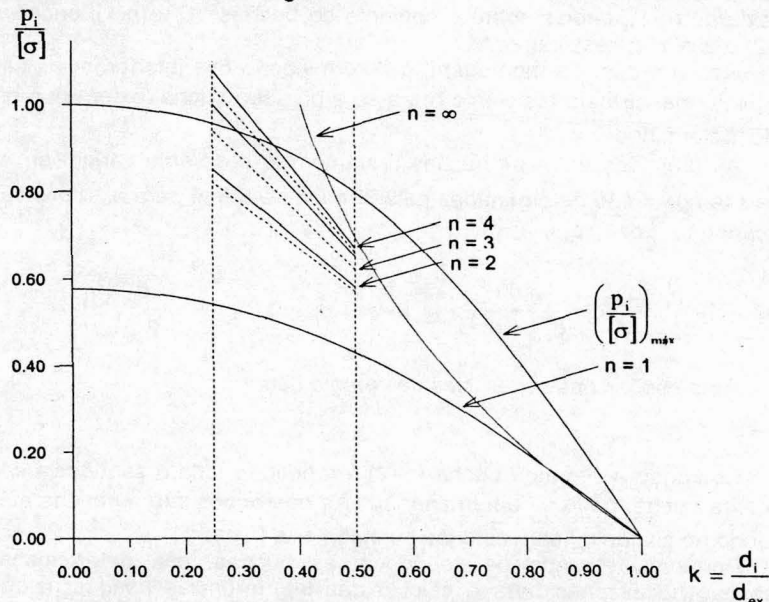


Figura 1 – Relação entre a razão da pressão interna pela tensão equivalente e o coeficiente de espessura de parede do recipiente.

Na figura 1, a dependência (19) é apresentada por uma curva $(p_i/[\sigma])_{\max}$. Esta curva, para todas as construções reais de recipientes compostos, apresenta uma limitação que ocorre se as tensões de escoamento do material das buchas sob a tração e compressão forem iguais.

Depois da determinação das tensões equivalentes e pressões entre as buchas, considerando a pressão interna p_i , é deve-se achar a diferença entre os diâmetros internos e externos para garantir a montagem sob ajuste com interferência.

4. Determinação do Valor da Interferência Durante a Montagem com Ajuste Forçado a Frio.

Se o recipiente, sob pressão de extrusão (p_i) for solicitado por uma pressão interna negativa ($-p_i$), as pressões de contato entre as buchas variam em (Δp_{ij}) , o qual é determinado através da fórmula de Lamé para o cálculo de σ , quando $p_{ex}=0$:

$$\Delta p_{ij} = - \left[\frac{p_i d_i^2}{d_{ex}^2 d_i^2} - \frac{p_i d_i^2 d_{ex}^2}{(d_{ex}^2 - d_i^2) d_{ij}^2} \right] = p_i \frac{1 - (d_{ij}/d_{ex})^2}{1 - k^2} \left(\frac{d_i}{d_{ij}} \right)^2; \quad (20)$$

As pressões de contato provocadas pela interferência são determinadas subtraindo a variação da pressão (Δp_{ij}) pelas pressões de trabalho entre as buchas:

$$\Delta p_{ij}^I = p_{ij} - \Delta p_{ij} \quad (21)$$

A determinação do valor de interferência depende da ordem de montagem do recipiente. O mais comum é o método quando sobre a bucha interna "n" encaixa-se a externa (n-1), depois sobre o conjunto de buchas "n" e (n-1), encaixa-se a bucha (n-2) e assim sucessivamente.

Nessa ordem de montagem, a determinação das interferências são obtidas da seguinte maneira: do recipiente retira-se a primeira bucha (externa); a pressão de p_i^1 já foi determinada.

As pressões entre as buchas restantes do recipiente variam em valor Δp_i^1 as quais também são determinadas pela fórmula de Lamé para σ_r , considerando $p_i=0$ e trocando p_{ex} por $(-p_i^1)$.

$$\Delta p_i^1 = \left[\frac{-p_i^1 d_i^2 d_{ex2}^2}{d_{ex2}^2 - d_i^2} - \frac{-p_i^1 d_i^2 d_{ex2}^2}{(d_{ex2}^2 - d_i^2) d_i^2} \right] = p_i^1 \cdot \left[\left(1 - \left(\frac{d_i}{d_i} \right)^2 \right) / \left(1 - \left(\frac{d_i}{d_{ex2}} \right)^2 \right) \right]; \quad (22)$$

As pressões nas superfícies de contato são:

$$p_i^{II} = p_i^1 - \Delta p_i^1 \quad (23)$$

Retirando a segunda bucha (n=2) e repetindo toda a seqüência anterior para a primeira bucha, pode-se determinar p_i^{II} . As operações são repetidas até o momento quando no conjunto ficam as duas buchas, "n" e (n-1).

Portanto, retirando na seqüência as buchas, são determinadas todas as pressões necessárias para o cálculo das interferências usadas na montagem de cada bucha do conjunto.

De posse do valor das pressões de aperto, para cada montagem, pode-se determinar o valor das interferências pela fórmula do Gadolin para duas buchas:

$$\delta = \left\{ p \cdot 2d_c \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^2 \right] \right\} / \left\{ E \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_c} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{d_c}{d_{ex}} \right)^2 \right] \right\}; \quad (24)$$

Onde: δ - interferência diametral;

p - pressão de contato;

E - módulo de elasticidade do material das buchas;

d_c - diâmetro nas superfícies de contato.

A diferença das temperaturas dos elementos montados, considerando a fenda tecnológica (aproximadamente 1mm a 1000mm de diâmetro) é:

$$\Delta T^0 = (\delta + d_c \cdot 10^{-3}) / (\alpha \cdot d_c); \quad (25)$$

Onde: α - coeficiente de dilatação linear do material das buchas.

Para avaliação do estado de tensão, as ordenadas do diagrama de tensões equivalentes determinam-se pela fórmula da teoria de Von Mises (2):

O mais importante é possuir os valores das tensões nos diâmetros de contato, nos diâmetros internos e externos de cada bucha. As tensões radiais e tangenciais para cada bucha são determinadas pelas seguintes fórmulas já apresentadas:

$$\sigma_{ij}^{in} = \frac{1+k_j^2}{1-k_j^2} \cdot p_{ij} - 2 \frac{1}{1-k_j^2} \cdot p_{exj} \quad \sigma_{ij}^{ex} = 2 \frac{k_j^2}{1-k_j^2} \cdot p_{ij} - \frac{1+k_j^2}{1-k_j^2} \cdot p_{exj}$$

Ao longo do processo da operação, se a bucha interna ($j=n$) sofrer desgaste considerável então ela pode ser trocada. A nova bucha deve ser instalada no corpo do recipiente com interferência δ_n . O valor da pressão de contato para este caso é igual à pressão entre a bucha "n" e o resto do corpo do recipiente no estado sem carregamento. A diferença das temperaturas das peças montadas são determinadas considerando a fenda tecnológica e compara-se com a temperatura de recozimento do metal utilizado na fabricação das buchas.

Como citado acima, nas construções reais do recipiente, quando a geometria de algumas buchas é determinada pelas condições da sua fabricação, fica difícil manter qualquer regularidade da variação de diâmetros de algumas buchas. Além disso, as buchas podem ser feitas de aços com diferentes propriedades mecânicas e por isso podem ter os coeficientes de segurança diferentes. Nestes casos, os cálculos de resistência utilizando a metodologia proposta são muito trabalhosos. Durante o projeto de novas construções dos recipientes, quando é necessário ter os dados de diversas variações da mesma construção, o volume do cálculo aumenta muito. Para este fim, é necessário desenvolver software à base da metodologia apresentada. Também pode ser utilizado o método que se baseia em dados tabelados que será apresentada em outro artigo.

3. Conclusão

- Foi desenvolvida a metodologia de cálculo otimizado da resistência mecânica dos recipientes compostos usados na extrusão das ligas de alumínio, considerando algumas particularidades de construção e fabricação das mesmas, principalmente para condições de extrusão sob forças elevadas;
- A metodologia elaborada permite escolher as interferências na montagem que melhor permitem obter um estado de tensão que não supera o admissível;
- Também a metodologia permite determinar os limites da aplicação dos materiais, pressões e dimensões geométricas para os recipientes a serem elaborados.

4. Referências bibliográficas

- Dieter, George .E., Metalurgia Mecânica. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro 1981.
- Avitzur, B., Metal Forging – Processes and Analysis. Ed. McGraw – Hill, 1968.
- Jivov, L.I., Ovtchinnikov A.G., Equipamentos para conformação plástica. Ed. Escola Superior, Kiev, 1985.
- Metal Forming Handbook, Ed. by Louis Schuller, Ernst Kett, Stuttgart, 1966, p. 356.
- Filho E. B., Conformação Plástica dos Metais. Ed. UNICAMP, 1991, p 386.
- Bobrovnichii Guerold S., Ramalho Alan M., Elevação da Capacidade dos Recipientes Compostos com Anéis Segmentados. Sevent Pan American Congress of Applied Mechanics PACAM VII, Chile, 2002, Vol.1, pp 469-472.
- Bobrovnichii Guerold S., Ramalho Alan M., Monteiro Sérgio N., Nova Construção de Recipiente Composto para os Processos de Extrusão a Quente. 51º Congresso Anual da ABM. 1996, Vol.3, p. 303-312.
- High Pressure Technology. Ed. By Ian Spain and Jac Paauve. Vol.1 e 2, 1978.
- Timoshenko Stephan P., Resistência dos Materiais. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1976.

DESIGN OF A CONTAINER COMPOUND FOR HIGH CAPACITY USING TO EXTRUSION ALLOY ALUMINUM ⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovnitchii ⁽²⁾
Alan M. Ramalho ⁽³⁾
Apóstolos J. Sideris Júnior ⁽⁴⁾

Abstract

The containers are the more loaded parts of the horizontal hydraulic press extrusion devices. They work with high temperatures and high specific pressures. The demands of the new technology reveal the needs to apply pressures up to 1000MPa and temperatures up to 500 C. Is already known that, the difficulties of containers development for the horizontal presses of high capacity increase a lot when the weight of the container overcomes the value of 100Ton. During the project of the new container construction is considered the condition that the equivalent maximum tensions in each ring of the recipient don't overcome the limit of the material yielding, in other words, all the container rings should work in the elasticity. But the practice of the operation of the recipients showed that the rings, which the stresses in internal wall are close to the limit of the yielding, are destroyed quickly in this presented work. As solution of the problem the container construction with five rings fitted one inside the other under adjustment with interference. The dimensional tolerances of the internal diameters and external, for each ring, were calculated under the condition that, after the assembly in the internal wall of the internal ring, appear the negative stress tangents with value approximately equal a half of the acceptable stress of the used steel. For this case and for the favorable conditions of the work of the container materials, the coefficient of wall thickness is limited for:

$$1 > K \geq \frac{\sqrt[4]{3}}{e^{\frac{\sqrt{3}\pi}{4}}}$$

Key words: extrusion composed recipient, rings.

-
- (5) 1º Meeting of Integrate Net Manufacturer of Tool, Molds and Matrixs, October 28, 29 and 30 of 2003 – São Paulo – SP
 - (6) Prof. Titular of Sector de Materials Superhard, Laboratory of Materials Advanced, University North Fluminense Staten.
 - (7) Pos Graduating in Science Engineering of Materials at Sector de Materials Superhard, do Laboratory of Materials Advanced, University North Fluminense Staten.
 - (8) Student of graduate in Metallurgical and Materials Engineering of Laboratory of Materials Advanced, University North Fluminense Staten.