

Os dados da tabela revelam que há possibilidade de facilitar tanto a fabricação dos segmentos do segundo anel quanto a operação de consolidação, não mudando as características de trabalho dos recipientes.

5. CONCLUSÃO

- A geometria inicial da folga entre os segmentos do anel segmentado influi essencialmente na mudança do estado de tensão dos recipientes compostos com anel segmentado durante o processo da consolidação;
- Existe uma única forma da folga capaz de garantir o fechamento simultâneo da junção em toda a espessura. Esta forma é apresentada pela expressão analítica;
- Em folgas de formas variáveis a junção pode começar a se fechar, em alguns casos, a partir de qualquer raio, ou de dentro para fora e vice-versa.

6. REFERÊNCIAS

- Bobrovnitchii, G.S., Ramalho, A.M., Monteiro, S.N., 1996, “Modernização da Construção de Recipientes Compostos de Prensas para Extrusão a Quente”, Anais da Conferencia Sobre Tecnologias de Equipamentos, COTEQ-96, RJ., Brasil pp. 381-384.
- Bobrovnitchii, G.S., Ramalho, A.M., Monteiro, S.N., 1997, “Particularidades dos Recipientes Compostos Segmentados e Inteiriços Usados para Geração de Alta Pressão”, Anais do 2º Congresso. Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, SP., Brasil, pp. 582-590.
- Fuchs, F.F, 1968, “Princeton Function – Pressure Vessel for Forming Apparatus”, US Patent, Nº 3379043, CLI 72-56.
- Khvostentsev, L.G., 1980, “Dispositif Pour Le Création de Hantes Pressions, Demand de Brevet D’invention (França), Nº 7930493, Nº de Publicações 2442657, “Listes” Nº 26.
- Spain, I.L., 1980, “Ultra Pressure Apparatus e Technology”, 1 ed., vol. 1, N.J, Spain, I.L., Paauwe, J., (ed), High Pressure Tecnology, p. 746.
- Venkatesan, P.S., 1970, “Design and Constrution of Multiring Apparatus for Use at High Pressure”, Rev. Sci. Instr., V 42, Nº 3, pp. 377-380.

$$p'_{3f} = \frac{m \cdot E_2}{4\pi r_3^2} \int_{r_3}^r \left[\frac{r^2 + r_3^2}{r \left(A + \ln \frac{r}{r_2} \right)} + \frac{r_3^2}{r} - r \right] dt(r) \quad (12)$$

$$p'_{4f} = \frac{m \cdot E_2}{2\pi} \int_{r_3}^r \left\{ C \left[C + \frac{E_3(1-K_3^2)}{E_2} \right] + \frac{\ln \frac{r}{r_2} + A + 1}{r \left(A + \ln \frac{r}{r_2} \right)} + \frac{C \cdot r}{r_3^2 \left(A + \ln \frac{r}{r_2} \right)} - r \right\} dt(r) \quad (13)$$

$$\text{onde: } C = \frac{(1 - \mu_3)K_3^2 + 1 + \mu_3 - \frac{E_3}{E_2}(1 - K_3^2)(1 - \mu_2)}{2}$$

4. CÁLCULO DA CONSOLIDAÇÃO DO NÚCLEO DO RECIPIENTE COMPOSTO COMUM E COM ANEL SEGMENTADO

Como é conhecido da teoria da elasticidade, o estado de tensão e a resistência mecânica de qualquer anel dentro de um recipiente depende de pressões de contato nas superfícies interna e externa (Spain, 1980).

Para comparar as construções do recipiente foi feito o cálculo comparativo das pressões de contato entre o segundo e o terceiro anel para quatro situações.

Na tabela 1 são mostrados os resultados dos cálculos da consolidação (montagem) do recipiente composto com as dimensões $r_1=175\text{mm}$; $r_2=250\text{mm}$; $r_3=250\text{mm}$ e características: $E_1=E_2=E=2 \cdot 10^5 \text{MPa}$; $\mu_1=\mu_2=\mu_3=0,3$. O segundo anel é dividido por seis segmentos.

São observadas as seguintes situações:

- O segundo anel é inteiriço;
- As junções são totalmente abertas;
- Fechamento de junção de fora para dentro para variações da folga;
- Fechamento da junção de dentro para fora para a variação da folga;

Tabela 1. Resultados do cálculo para a do consolidação do núcleo do recipiente composto.

Nº	Tipo da folga	Pressão, MPa	
		P_{2i}	P_{3i}
1	O anel inteiriço	74,0	127,0
2	As junções totalmente abertas	253,0	126,8
3	Fechamento da junção de fora para dentro:		
	$t(r) = \text{const} = 0,5\text{mm}$	128,0	76,0
	$t(r) = a - br$	244,0	126,8
	$t(r_3) = 0,5\text{mm}$	245,0	127,0
	$t(r_3) = 1,0\text{mm}$	246,0	127,2
4	Fechamento da junção de dentro para fora:		
	$t(r) = br$	212,0	173,0
	$t(r_2) = 0,5\text{mm}$	213,0	173,0
	$t(r_2) = 1,0\text{mm}$	214,0	173,0

$$p_{3i} = \frac{t_0(r_2)}{r_3 \frac{2\pi}{E_2} \cdot A}; \quad (6)$$

Neste momento a folga entre os segmentos será expressa por:

$$t(r) = t(r_3) - t(r_2) \cdot \frac{A + \ln \frac{r}{r_2}}{A}; \quad (7)$$

Para determinar as pressões de contato entre os anéis nesta construção é necessário analisar o momento quando a junção entre os segmentos fecha-se do raio r_2 até o raio r , ($r_2 < r < r_3$).

Em conformidade com suposição acima citada, a parte fechada da junção do anel é analisada como o anel separado inteiriço. Das condições do conjunto das deformações dos elementos da construção no sentido radial pode se obter a seguinte expressão para as pressões de contato (de junção) entre elementos do recipiente composto no momento quando as junções são fechadas totalmente.

Entretanto, no último ponto do fechamento, $r = r_3$, as tensões tangenciais são iguais a zero:

$$p_{2f} = \frac{m \cdot E_2}{\pi} \int_{r_2}^r \frac{r dt(r)}{(A+1)r^2 + (A-1)r_2^2} \quad (8)$$

$$p_{3f} = \frac{m \cdot E_2}{2\pi \cdot r_3} \int_{r_2}^r \frac{(A+1)r^2 - (A-1)r_2^2}{(A+1)r^2 + (A+1)r_2^2} \cdot dt(r) \quad (9)$$

$$p_{4f} = \frac{m \cdot E_3}{4\pi \cdot r_3} (1 - K_3^2) \int_{r_2}^r \left[\frac{(A+1)r^2 - (A-1)r_2^2}{(A+1)r^2 + (A-1)r_2^2} \cdot (B - \ln r) + 1 \right] dt(r) \quad (10)$$

onde: $B = \frac{E_2}{E_3} \cdot \frac{(1 - \mu_3)K_3^2 + 1 + \mu_3}{1 - K_3^2} - \mu_2 + \ln r_3;$

E_3 e μ_3 - módulo de elasticidade e coeficiente do Poisson do material do terceiro anel.

r_3 e K_3 - Raio interno e coeficiente da espessura do terceiro anel, correspondente.

3.2. A junção começa a se fechar de fora para dentro

Por este caso, tem-se que:

$$p'_{2f} = \frac{m \cdot E_2}{2\pi r_2} \int_{r_3}^r \frac{dt(r)}{A + \ln \frac{r}{r_2}} \quad (11)$$

O fechamento simultâneo da junção em toda a superfície lateral ocorrerá se a diminuição da folga no raio livre (corrente) no momento da aplicação p_{2i} for igual à folga inicial neste raio, $t_{i3}(r)$. A pressão do fechamento da junção neste caso é dada por:

$$p_{3i} = \frac{t_{i3}(r)}{\frac{2\pi}{m} \frac{r_3}{E} \left(A + \ln \frac{r_3}{r_2} \right)} \quad (4)$$

Como conseqüência, a folga entre os segmentos para o fechamento simultâneo em toda a espessura da folga deve ser igual a:

$$t_{i3}(r) = \frac{t(r_3) \left(A + \ln \frac{r}{r_2} \right)}{A + \ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (5)$$

Esta dependência é apresentada na figura 3. As junções para quais a função $t(r)$ estão situando abaixo da curva $t_{i3}(r)$ começam a se fechar de dentro para fora (II). As junções para as quais $t(r)$ fica acima da curva $t_{i3}(r)$ vão se fechar de fora para dentro (I). Daqui segue que, sob $t(r)=const$, o fechamento das junções de fato começa de fora para dentro.

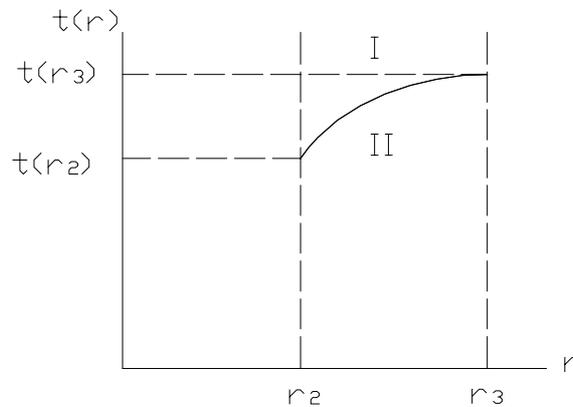


Figura 3. Raio do início do fechamento das junções em dependência da configuração das junções: I, II – regiões do fechamento de fora para dentro e de dentro para fora respectivamente.

3. FECHAMENTO DAS JUNÇÕES

3.1 A junção começa a se fechar de dentro para fora

Para análise desta situação é necessário colocar uma limitação complementar sobre a função $t(r)$. Admitindo-se que o fechamento da junção ocorre de forma monotona, de r_2 à r_3 , a junção começará a se fechar para a pressão dada por:

Para solução do problema do cálculo é necessário fazer a seguinte suposição: a parte fechada do anel segmentado deforma-se como anel independente inteiro e a parte aberta (folga aberta) como o anel independente segmentado. Por outras palavras, ambas as partes do anel segmentado deformam-se não influenciando uma sobre outra, ou seja, na junção das partes aberta e fechada do anel ocorre a ruptura dos deslocamentos.

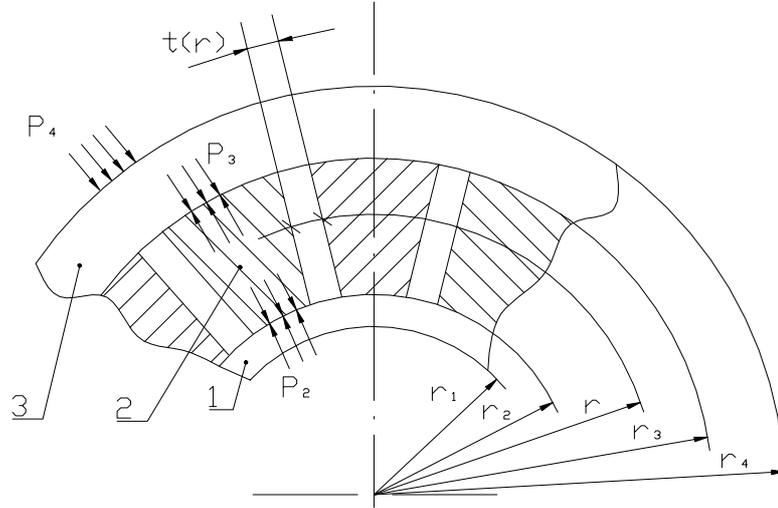


Figura 2. Núcleo do recipiente com anel segmentado cujas junções são totalmente abertas antes do início da montagem.

No momento do fechamento da junção, em qualquer ponto livre, a grandeza da diminuição total da folga neste ponto Δt é igual a grandeza da folga inicial $t(r)$, $\Delta t = t(r)$

$$\Delta t = \frac{2\pi}{m} \cdot \frac{r_3 p_{3i}}{E_2} \left(\ln \frac{r}{r_2} + A \right) \quad (2)$$

onde: $A = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{(1 - \mu_1) + (1 + \mu_1) K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu_2$

p_{3i} - a pressão na superfície externa do anel segmentado no momento do início do fechamento das junções;

$E_1; \mu_1$ - características da elasticidade do primeiro anel;

$K_1 = \frac{r_1}{r_2}$ - coeficiente de espessura do primeiro anel;

μ_2 - coeficiente de Poisson do anel segmentado.

Da fórmula (2) segue que no caso da constância da folga no sentido do raio, sob $t(r) = const$, o fechamento da junção começa do lado de fora. A pressão do início do fechamento da junção neste caso é igual a:

$$p_{3i} = \frac{t(r)}{\frac{2\pi}{m} \cdot \frac{r_3}{E_2} \left(A + \ln \frac{r_3}{r_2} \right)} \quad (3)$$

As vantagens desta construção são alcançadas na plenitude se as superfícies laterais dos segmentos do anel segmentado são feitos de tal maneira que sob a pressão máxima aplicada, as junções fecham-se, mas em toda a superfície das junções as tensões de contato serão iguais a

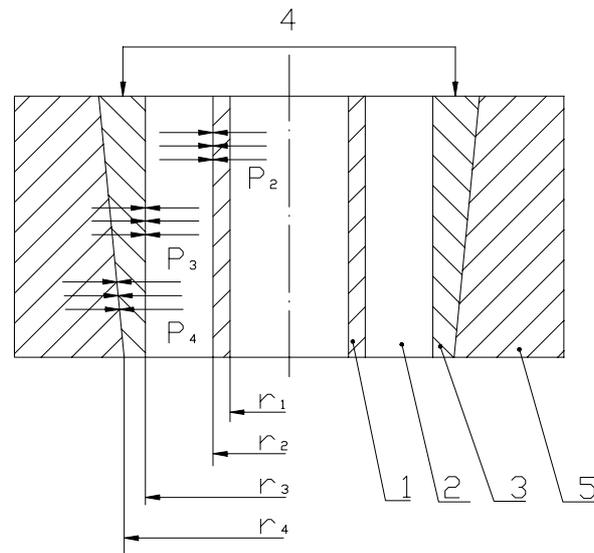


Figura 1. Recipiente composto com o segundo anel segmentado depois da montagem.

zero. Para isto a folga entre os segmentos antes da montagem do recipiente deve ter a seguinte grandeza (Bobrovitchii *et al*, 1996):

$$t(r) = \frac{2\pi}{m} r_2 \frac{p_2}{E_2} \ln \frac{r}{r_2}; \quad (1)$$

Onde: r - o raio corrente;

r_2 - o raio interno do anel segmentado;

m - número dos segmentos do anel segmentado;

p_2 - a pressão na superfície interna do anel segmentado durante funcionamento;

E_2 - módulo da elasticidade do anel segmentado.

O perfil das junções, mostrado na Eq.1, para a maioria dos casos da fabricação dos recipientes não pode ser feito considerando as exigências da construção ou condições da fabricação. Em alguns casos é necessário a existência da folga entre os segmentos, a qual é diferente do valor calculado em conformidade com a Eq.1.

Como o anel segmentado muda o estado de tensão de cada elemento do recipiente tanto durante a montagem (consolidação) quanto sob carregamento interno pela pressão de trabalho vale a pena avaliar a dinâmica do fechamento das junções durante a montagem do recipiente.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para análise é formada a construção do recipiente com o anel segmentado, cujas junções até o início da montagem são totalmente abertas (figura 2). Sob a ação da pressão da consolidação aplicada na superfície externa do anel segmentado, as junções gradualmente fecham-se e, em determinado momento, a folga em todos os pontos entre superfícies laterais dos segmentos desapareça.

ALGUNS COMENTÁRIOS SOBRE O CÁLCULO DOS RECIPIENTES COMPOSTOS COM ANEL SEGMENTADO

Guerold Seerguevitch Bobrovnitchii

Alan Monteiro Ramalho

Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: alan@uenf.br

Resumo

Basicamente os recipientes compostos são utilizados para extrusão de metais, compactação de pós e fabricação de materiais superduros. A construção do tipo composto permite a geração de pressões maiores do que as características mecânicas dos materiais conhecidos. O primeiro anel ou o segundo pode ser feito seccionadamente. Os cálculos mostram que este tipo de construção do recipiente apresenta algumas vantagens. Para utilização mais racional do recipiente com anel segmentado, no presente trabalho é feita uma análise teórica da influência das folgas entre as partes do anel segmentado sobre o estado de tensão durante a montagem do recipiente. As correlações obtidas permitem determinação da geometria e as dimensões da folga inicial, bem como pressões de contato entre os anéis, nas condições de montagem do recipiente. Verificou-se que a eliminação das folgas durante a montagem pode ocorrer tanto de fora para dentro quanto de dentro para fora.

Palavras Chaves: Alta pressão, Recipiente composto.

1. INTRODUÇÃO

Existem muitas tecnologias que tratam os materiais por alta pressões e, em alguns casos, simultaneamente com temperatura elevada. Estes parâmetros criam nos dispositivos-ferramentas um estado de tensão e deformação no qual nenhum material conhecido não pode resistir (Venkatesan, 1970).

Para superar o estado crítico foram desenvolvidos os métodos de consolidação dos elementos dos dispositivos. Entre eles está o ajustamento com aperto para os chamados recipientes compostos feitos de vários anéis ou buchas (Spain, 1980; Fuchs, 1968).

O anel interno, ou o segundo, destes recipientes pode ser feito segmentado (Spain, 1980). Os recipientes compostos, com um anel segmentado, têm algumas vantagens em comparação com as construções tradicionais, feitas de muitos anéis ou consolidadas pelo enrolamento da fita de aço de alta resistência (Bobrovnitchii *et al*, 1996). Entre elas distinguem-se duas mais importantes: a possibilidade do aumento da pressão admissível do trabalho e o desenvolvimento do recipiente com grande diâmetro interno (Bobrovnitchii *et al*, 1997; Khvostantsev, 1980).

Comumente o recipiente composto com anel segmentado possui um núcleo 4 feito de 1-2-3 anéis, um deles é segmentado 2 e um suporte 5 feito de vários anéis encaixados um dentro do outro com ajuste. A construção simples é apresentada na figura 1.