

REGIME DE TEMPERATURA DO RECIPIENTE COMPOSTO DA PRENSA DE 5000ton PARA EXTRUSÃO¹

*Guerold S. Bobrovnitchii*²

*Alan M. Ramalho*³

*Apóstolos J. Sideris Júnior*⁴

Resumo

No presente trabalho, é realizado um estudo experimental da distribuição de temperatura em um recipiente composto de multielementos com 370 mm de diâmetro interno, instalado numa prensa horizontal de 5000ton para a extrusão à quente de ligas de alumínio. O objetivo desta análise é o de estabelecer a influência das tensões térmicas sobre a resistência do recipiente a fim de melhorar sua qualidade e vida útil. É apresentada uma metodologia de cálculo que considera as tensões térmicas permitindo determinar, de uma forma simples, os parâmetros necessários para uma seleção mais criteriosa dos materiais componentes do recipiente e com isso atingir o objetivo proposto neste estudo. Foi confirmada a existência de um gradiente de temperatura de 150°C por metro de espessura, relevante para a metodologia proposta.

Palavras-chave: Extrusão; Temperatura; Alta pressão.

¹ *3º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes 10 a 12 de agosto de 2005 – São Paulo – SP.*

² *Prof. Titular do Setor de Materiais Superduros, do Laboratório de Materiais Avançados, da Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

³ *Doutor em Engenharia de Ciências dos Materiais pelo Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

⁴ *Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.*

INTRODUÇÃO

Os grandes recipientes compostos de multielementos (buchas) utilizados nas prensas para extrusão à quente apresentam resistência mecânica dependente dos seguintes fatores: pressões aplicadas na conformação; regime de temperatura durante o funcionamento; construção e massas dos elementos empregados. Esta resistência causada pelo carregamento mecânico (pressão), pode ser calculada utilizando diferentes metodologias (Bobrovnitchii et al., 2003, p. 141-149; Bobrovnitchii et al. 2004, p. 237-246), já o estado de tensão provocado pelo campo de temperatura exige cálculos bastante complexos.

O regime de temperatura, em grau significativo, do processo de extrusão de produtos a partir de ligas leves, depende da temperatura do recipiente e do tarugo, em geral entre 350^oC a 450^oC .

Nos recipientes compostos, geralmente utilizam-se elementos de aquecimento instalados em perfurações especiais no corpo do recipiente próximo à bucha interna. Sendo assim, as fontes de calor (elementos de aquecimento e o tarugo aquecido) ficam próximas à superfície interna do recipiente. A perda de calor ocorre na superfície externa através do suporte e das secções transversais das extremidades.

A partir disto, pode-se propor que a temperatura em diferentes pontos do recipiente terá valores diferentes (Panamarev, 1952, p. 11-28). Isto também é justificado por uma observação no elemento analisado.

A não uniformidade do campo de temperatura provoca efeitos básicos, os quais devem ser levados em consideração nos projetos de novos recipientes e durante a sua exploração. São eles:

- as diferenças de temperatura entre as buchas internas e externas do recipiente causam tensões térmicas. Para grandes recipientes este efeito pode ser bastante significativo;
- a temperatura apresentada pelas buchas varia individualmente, portanto as exigências à resistência térmica dos materiais dos quais elas foram fabricadas podem ser também diferentes.

Para estudar gradientes de temperatura nos grandes recipientes utilizados em prensas de extrusão de alta potência, será necessária a medição da temperatura em diferentes pontos e uma posterior avaliação da influência desses gradientes sobre o estado de tensão. Espera-se com isto, melhorar a resistência e vida útil dos recipientes.

METODOLOGIA

As medições de temperatura foram realizadas num recipiente com diâmetro interno de 370mm instalado numa prensa hidráulica horizontal de 5000Ton (Fabricante: UZTM - Rússia). Foram usados 111 termopares de cromel-alumel, previamente calibrados, sendo 93 estacionários e 18 de ponto. A temperatura nos pontos foi medida após a extrusão de uma liga de alumínio, quando então foram

retirados do recipiente a matriz e o pistão. As medições da temperatura foram realizadas em três sessões: nas secções transversais das extremidades do recipiente; na direção da geratriz na superfície externa e em 18 pontos na superfície interna da bucha interna. Um ponto fixo do termopar permanente que sempre é utilizado para controlar o processo é mostrado na sessão parcial (fig. 1). As localizações dos pontos de medição também são apresentadas.

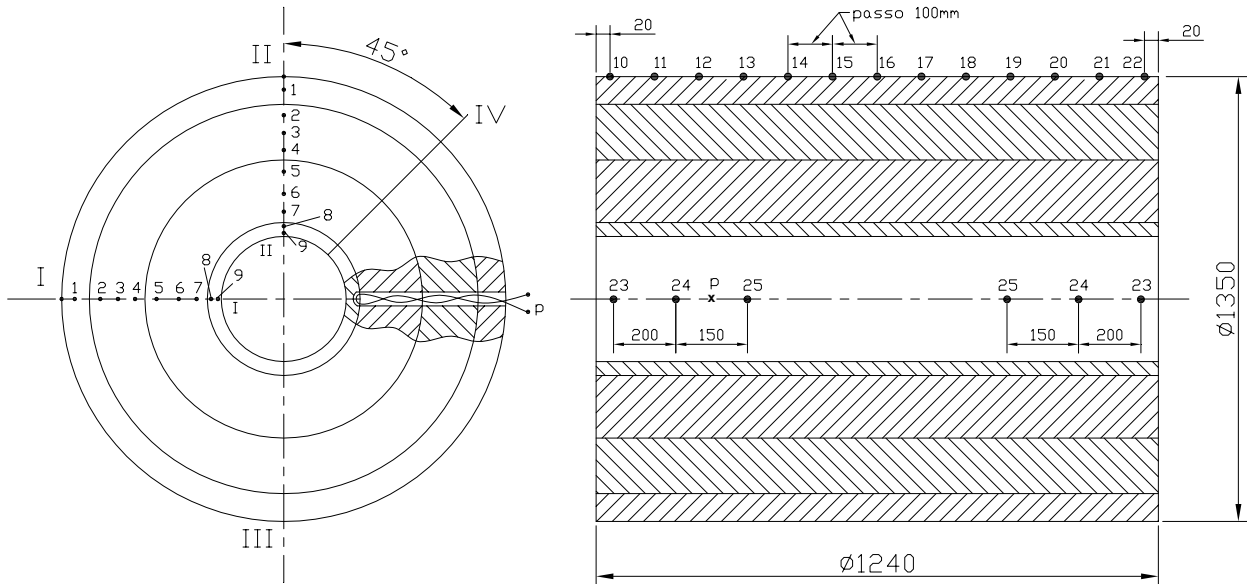


Figura 1. Localização dos 111 pontos de medição no recipiente da prensa de 5000Ton. X – ponto da instalação do termopar permanente (p).

As medições foram realizadas por três vezes. Para medição nos pontos 23, 24 e 25 foram utilizados suportes especiais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições realizadas pelos termopares são apresentadas na Tabela 1. Durante o estudo, o termopar permanente apresentou valores de temperatura de 396^oC a 410^oC.

Analisando os resultados obtidos, pode-se notar que o campo de temperatura possui uma não uniformidade bastante brusca, com um gradiente de temperatura de 250^oC.

A secção transversal da extremidade do lado da matriz aquece-se mais do que a da outra extremidade, em torno de 40^oC a 80^oC, além disso, ocorre uma maior diferença de temperatura. Já nas buchas internas do recipiente, na direção das buchas externas, a temperatura apresenta-se quase homogênea.

A comparação da distribuição das temperaturas em sessões diferentes, mostra que as partes (zonas) superiores do recipiente (sessão II-II) são aquecidas mais intensamente do que as outras (de 30^oC a 50^oC). Ao longo do comprimento

do recipiente a temperatura apresenta uma distribuição não uniforme. A diferença de temperatura entre secções intermediárias e extremidades atinge valores entre 40°C e 70°C .

É importante notar que a temperatura na superfície interna do recipiente, próxima à zona de deformação, é menor do que a temperatura medida pelo termopar permanente instalado no mesmo lugar, o qual controla o regime de temperatura do recipiente. Esta diferença atinge valores entre 80°C e 120°C .

Há um gradiente de temperatura ao longo do raio (diferença de temperatura entre a superfície interna e externa) igual àquela medida pelo termopar permanente, da ordem de 80°C .

Para uma primeira avaliação, pode ser considerado em média um gradiente de temperatura igual a 150°C por metro de espessura da parede do recipiente composto.

Os resultados obtidos permitem fazer prévias recomendações em relação às tensões térmicas nos recipientes. Nota-se que os recipientes das prensas horizontais para extrusão possuem cilindros curtos de espessura grossa. A análise geral teórica do campo de temperatura e tensões térmicas neste corpo representa um problema extremamente complexo, visto que ele ainda não foi resolvido e, provavelmente, em geral não pode ser solucionado de forma definida.

Para uma análise aproximada, pode-se aproveitar o método clássico da teoria da elasticidade, o qual propõe a solução do problema sob as seguintes suposições:

- a) O recipiente (cilindro de parede grossa) tem comprimento infinito;
- b) As extremidades do recipiente são livres;
- c) O campo de temperatura possui eixo simétrico;
- d) As superfícies interna e externa são livres de forças complementares.

A suposição (a) neste caso não pode ser cumprida, mas se for trocado o cilindro com comprimento infinito por um de comprimento limitado, não tão grande, consegue-se aproximar os cálculos para condições reais, como é notado em (Tsiklis, 1976, p. 431).

Já a suposição (b) é obedecida sem nenhum problema.

O item (c), para os recipientes das prensas horizontais, não pode ser obedecido, como seguem os dados experimentais obtidos. Entretanto, o desvio em relação ao eixo simétrico do campo não é tão grande, podendo então ser desprezado.

A suposição (d) é válida no caso de ausência de pressão interna. A solução para o recipiente com presença de pressão interna (estado de trabalho) pode ser obtida considerando as tensões equivalentes inferiores ao limite de escoamento do material da bucha.

É necessário atentar para a questão do cálculo clássico ser obtido para um cilindro monolítico e, o recipiente para a extrusão possuir uma construção de multielementos (multi-buchas). Mas, na primeira aproximação é possível desprezar a resistência térmica de contato das superfícies do elemento e

considerar que todas as buchas possuem as mesmas propriedades físicas. Neste caso, a solução clássica pode ser tomada como básica.

Em conformidade com esta solução, a temperatura em cada bucha para um raio ρ pode ser calculada:

$$T = T_{in} - \Delta T \left(1 - \frac{\ln \frac{\rho}{R}}{\ln k} \right) \quad (1)$$

Onde: R - raio externo do recipiente

T_{in} - temperatura na superfície interna do recipiente

ΔT - gradiente da temperatura entre as superfícies interna e externa do recipiente.

$K = \frac{r}{R}$ - coeficiente de espessura de parede do recipiente

As tensões térmicas em cada bucha de raio ρ são:

De compressão:

$$\sigma_r = \frac{E\alpha\Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \frac{1}{\ln K} \left[-\ln \frac{\rho}{R} - \frac{K^2}{1-K^2} \left(1 - \frac{R^2}{\rho^2} \right) \ln K \right] \quad (2)$$

De tração:

$$\sigma_t = \frac{E\alpha\Delta T \cdot 1}{2(1-\mu) \cdot \ln K} \left[-1 - \ln \frac{\rho}{R} - \frac{K^2}{1-K^2} \left(1 + \frac{R^2}{\rho^2} \right) \ln K \right] \quad (3)$$

Onde: E - módulo de elasticidade do material do recipiente;

μ - coeficiente de Poisson;

α - coeficiente de expansão térmica linear.

Supondo $\rho = r$ (onde r é o raio interno do recipiente), então pode-se obter para a superfície interna as seguintes relações:

$$\sigma_r^{in} = 0$$

$$\sigma_t^{in} = \frac{E\alpha\Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \frac{1}{\ln K} \left(1 + \frac{2}{1-K^2} \cdot \ln K \right) \quad (4)$$

Para $\rho = R$ (onde R é o raio externo do recipiente), então pode-se obter para a superfície externa as seguintes relações:

$$\sigma_r^{\text{ex}} = 0$$

$$\sigma_t^{\text{ex}} = \frac{E\alpha\Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \frac{1}{\ln K} \left(1 + \frac{2K^2}{1-K^2} \cdot \ln K \right) \quad (5)$$

A partir das fórmulas 4 e 5 conclui-se que as tensões radiais nas superfícies interna e externa são iguais a zero, atingindo valores menores na metade da espessura. As tensões tangenciais na superfície interna aumentam gradativamente a partir de valores negativos até atingirem valores positivos já na superfície externa (Figura 2).

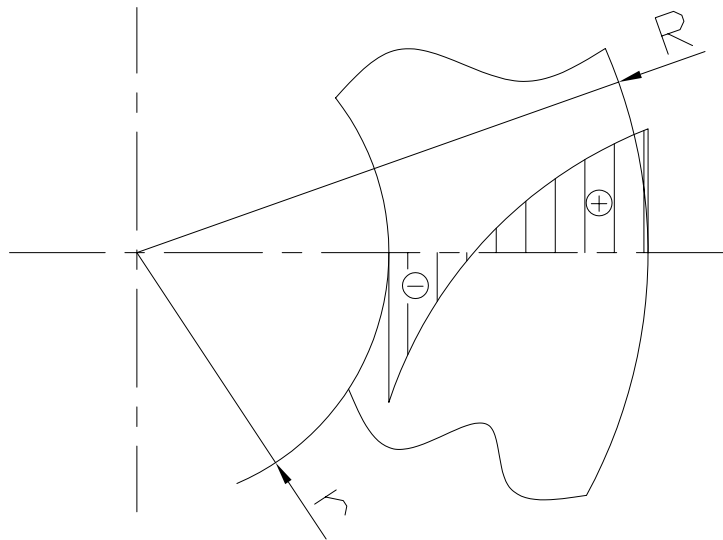


Figura 2. Distribuição das tensões tangenciais térmicas ao longo da espessura do recipiente.

Essas tensões têm grande importância para a resistência do recipiente, pois os aços utilizados em sua fabricação possuem os seguintes parâmetros: $E = 2,1 \times 10^5$ MPa; $\mu = 0,3$; $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}$ e $k = 0,4$. Com bases nestes valores obtém-se:

$$\sigma_t^{\text{in}} = -2,0\Delta T^\circ\text{MPa}$$

$$\sigma_t^{\text{ex}} = 1,0\Delta T^\circ\text{MPa}$$

Como pode ser observado, nos experimentos foi descoberto que o gradiente de temperatura por metro de espessura da parede do recipiente é, em média, de 150°C . Então, para cada metro de espessura da parede, as tensões térmicas apresentam um valor aproximado:

Para a superfície interna (r) é de 300 MPa;

Para a superfície externa (R) é de 150 MPa.

É evidente que as altas tensões térmicas devem estar obrigatoriamente incluídas nos cálculos dos recipientes.

CONCLUSÕES

- O conhecimento do campo de temperatura permite considerar, com uma análise diferente, as exigências aos materiais para a construção dos recipientes;
- Atualmente, as exigências para a seleção dos materiais utilizados na construção dos recipientes são as mesmas para todas as buchas. Entretanto, como mostram os resultados, o campo de temperatura apresenta valores e efeitos diferentes em cada região da peça. A temperatura da bucha externa, por exemplo, não supera 330°C. Conseqüentemente, pode ser vantajosa a utilização de um diferente material para cada bucha. Com isto, para as buchas internas podem ser utilizados materiais mais resistentes ao calor e com propriedades mecânicas menos severas e, para as buchas externas, materiais mais resistentes do ponto de vista mecânico e, com propriedades térmicas que permitam suportar temperaturas entre 300^oC a 350 °C;
- No caso da utilização do mesmo material para todas as buchas, é racional considerar diferentes níveis de tensões admissíveis em função do gradiente de temperatura atuante em cada bucha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Bobrovnitchii G. S., Ramalho A. M., Sideris Júnior A. J., “Projeto de um Recipiente Composto de Alta Capacidade para a Extrusão de Ligas de Alumínio”. 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 28-30 de outubro de 2003, São Paulo/SP, p. 141-149;
- 2 Bobrovnitchii G. S., Ramalho A. M., Sideris Júnior A. J., “Projeto de um Recipiente Composto de Alta Capacidade para a Extrusão de Ligas de Alumínio: Cálculo da Construção Real”. 2º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 21-23 de setembro de 2004, São Paulo/SP, p. 237-246;
- 3 Panamarev S. D., Cálculo de cilindros com consideração da mudança das propriedades do material sob aquecimento. Mensageiro dos engenheiros e técnicos. N1, p. 11-28, 1952;
- 4 Tsiklis. Técnica dos estudos físico-químicos sob altas pressões. Moscou. Ed. Química. p. 431. 1976.

Tabela 1. Distribuição da temperatura do recipiente da prensa de 5000 ton.

Local	Ponto da secção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Matriz	I - I	260	255	195	200	310	320	325	320	330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280	325	370
	II - II	285	290	250	260	295	300	310	320	325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290	325	370
	III - III	255	210	180	260	255	260	260	270	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	320	320
Pistão	I - I	260	260	170	150	270	255	290	255	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260	290	310
	II - II	290	295	220	245	280	285	295	280	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280	310	325
	III - III	250	250	200	190	240	240	250	240	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	290	335
Superfície	I - I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280	280	295	300	310	310	310	300	300	295	290	290	250	-	-	-	
	II - II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280	280	300	320	330	330	325	325	320	310	290	290	280	-	-	-	
	IV - IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280	260	295	300	315	320	320	300	300	295	290	290	250	-	-	-	

REGIMEN OF TEMPERATURE IN CONTAINERS COMPOSED USED IN HIGH CAPACITY EXTRUSION PRESSES ¹

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

Abstract

The present work accomplishes a study of temperature distribution in containers composed with multielements (370 mm of internal diameter) installed in a horizontal press of 5000Ton to the hot extrusion process of aluminum alloys. The objective this analysis is establishing the influence of thermal stresses on the resistance of containers in order to improve its quality and timelife. The work presents a calculation methodology for thermal stresses which allows to determine, of a simple way, the necessary parameters to a discerning selection of the components materials of container and to reach the objective proposed this study. The tests confirmed the existence of a temperature gradient of 150°C.

Key-words: Extrusion; Temperature; High pressure.

¹ 3^o Meeting of Integrate Net Manufacturer of Tool, Molds and Dies, August 10, 11 and 12 of 2005 – São Paulo – SP.

² Prof. Titular of Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.

³ Doctor Science in Engineering of Materials at Sector Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.

⁴ Undergraduate Engineering student of Materials at Sector Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.