

PROJETO DE UM RECIPIENTE COMPOSTO DE ALTA CAPACIDADE PARA EXTRUSÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO: CÁLCULO DA CONSTRUÇÃO REAL⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovnitchii⁽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 sob temperaturas elevadas e altas pressões específicas. As exigências das novas tecnologias revelam a necessidade de se aplicar pressões de 1000MPa e temperaturas de 500°C. Como já são conhecidas, 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.

O presente trabalho apresenta uma metodologia de cálculo para um recipiente real de alta capacidade para extrusão de ligas de alumínio, composto de cinco buchas encaixadas uma dentro da outra. Este estudo é uma conclusão do trabalho “Projeto de um Recipiente Composto de Alta Capacidade para Extrusão de Ligas de Alumínio”, apresentado no 1º Encontro de Ferramentas Moldes e Matrizes.

Para o recipiente composto de cinco buchas foi estabelecida uma seqüência da utilização das equações teóricas apresentadas no trabalho anterior. Em seguida elaborou-se uma tabela que mostra o desenvolvimento do cálculo de maneira simples e clara, e por fim, foram determinados todos os valores reais de funções para cada bucha do recipiente, incluindo as grandezas de interferência de encaixamento.

Palavras chaves: extrusão, recipiente composto, alta pressão.

(1) 2º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes 21 a 23 de setembro de 2004 – 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

Devido a projeção futura do aumento da capacidade das prensas para extração das ligas de alumínio, e a necessidade de tratar as novas ligas de difícil deformação, as exigências para os recipientes, assim como os componentes mais carregados, serão mais severas.

As novas construções dos recipientes são compostas de corpos fabricados de multielementos, ou seja, as buchas encaixadas uma dentro da outra com tolerâncias que garantam o funcionamento seguro e dimensões mínimas.

Em conformidade com o procedimento geral publicado em [1], são feitas as seguintes considerações quanto aos cálculos dos recipientes reais:

1. As pressões específicas em toda a altura do recipiente são constantes e iguais às pressões no pistão. Na realidade, a distribuição de pressões é muito complicada, maior pressão surge no topo do pistão e menor próximo a matriz.
2. As tensões provocadas pelo atrito na superfície interna do recipiente não serão consideradas.
3. Consideram-se as temperaturas em cada bucha constantes. Na realidade, apesar de ter o isolamento térmico, há um gradiente de temperatura de dentro para fora bastante significativo.

Considerando as suposições acima, o cálculo da resistência do recipiente assemelha-se ao do cilindro de parede grossa carregado pela pressão interna [2].

Como foi notado em [1] nas construções reais de recipientes, quando a geometria de buchas separadas é ditada pelas condições de fabricação fica difícil controlar a variação dos diâmetros de cada bucha. Além disso, as buchas podem ser fabricadas a partir de diversos tipos de aços, que possuem propriedades mecânicas distintas, e por esta razão podem ter os coeficientes de segurança diferentes.

Nestes casos, os cálculos de resistência em conformidade com a metodologia apresentada no trabalho [1] são bastante trabalhosos. Durante o desenvolvimento de novas construções, quando é necessário avaliar as variações da mesma construção, o volume de trabalho aumenta intensamente.

Quando todos os dados iniciais para o cálculo do recipiente composto são determinados, o cálculo da sua resistência pode ser apresentado em tabela, como é mostrado a seguir.

Cálculo da construção real do recipiente com o diâmetro interno máximo possível

O recipiente apresentado na figura 1 é composto de cinco buchas fabricadas de materiais cujas características estão apresentadas na tabela 1. A temperatura de trabalho não supera 450°C.

Tabela 1. Dados para o cálculo da resistência do recipiente composto.

Indicação do Nº da bucha	Característica do aço	Limite garantido da tensão de escoamento sob 450°C (MPa)	Temperatura de recozimento	Coefficiente de segurança, [n]
1	Com alta plasticidade	750,00	470°	1,7
2	Com dureza elevada	780,00	500°	1,3
3	Com dureza elevada	780,00	500°	1,3
4	Com dureza elevada	780,00	500°	1,3
5	Com alta resistividade	1000	570°	1,1

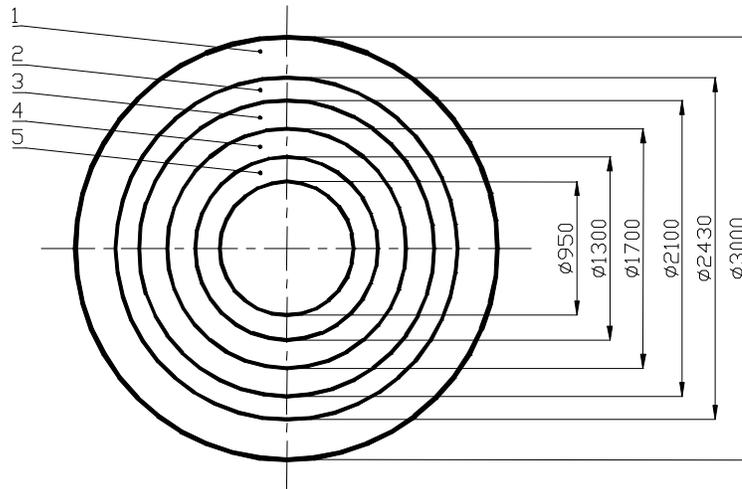


Figura 1 - Esquema para o cálculo do recipiente composto.

A metodologia do cálculo tem que propor os diagramas do estado de tensão do recipiente depois da montagem e no carregamento pela pressão de trabalho.

As pressões máximas específicas podem ser determinadas utilizando a expressão (6) do trabalho [1]:

$$\frac{p_{ini}}{[\sigma]_i} = \frac{\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} (3 + K_i^2) + (1 - K_i^2) \sqrt{3 + K_i^4 - 3 \left(\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} \right)^2}}{3 + K_i^4}$$

onde: i – o número de ordens de bucha;
 p_{ini} – pressão interna da bucha “ i ”;
 p_{xi} – pressão externa da bucha “ i ”;

$$K_i = \frac{d_{ini}}{d_{ei}} \text{ – coeficiente de espessura do material da bucha } i;$$

$$[\sigma]_i = \frac{\sigma_{esi}}{[n]_i} \text{ – tensão de tração admissível do material da bucha } i.$$

O cálculo está apresentado pela tabela 2. Nas linhas horizontais de 1 até 7 da tabela, descrevem-se os valores que dependem somente de fatores geométricos do recipiente e das buchas separadas. Para se iniciar corretamente o cálculo é necessário preencher também as colunas ligadas com o número de buchas. Depois se calcula os valores de 8 até 17 linhas para a 1ª coluna. É assim que determina-se as pressões específicas da superfície interna da bucha durante o carregamento, o qual tem a pressão externa $p_{ex1}=0$, determina-se então a razão $p_{ex2}/[\sigma]_2$ a qual é descrita na linha 8 da tabela. Na mesma seqüência preenchem-se outras colunas. A pressão interna de ultima (quinta) bucha (linha 17) vai ser uma pressão máxima para todo o recipiente, considerando as tensões admissíveis para cada bucha.

A partir da linha 18 até a 23, usando a fórmula (20) do trabalho [1]:

$$\Delta p_{ini} = p_{in} \frac{1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{ex}}\right)^2}{1 - K^2} \left(\frac{d_{in}}{d_{ini}}\right)^2$$

determina-se os valores da variação das pressões específicas entre as buchas durante o carregamento do recipiente pela pressão inversa ($-p_{in}$).

As pressões de contato entre as buchas no recipiente descarregado são colocadas na linha 24.

A montagem do recipiente se inicia a partir da colocação da bucha 4 acima da bucha 5. Depois a bucha 3 é instalada sobre o conjunto de buchas (4+5), etc. Para determinação dos valores de diferenças de diâmetros internos e externos (responsáveis sobre a redistribuição de tensões nas buchas), considerando a ordem de montagem, é necessário retirar seguidamente as buchas do recipiente descarregado, começando da primeira, e deixar na montagem somente duas buchas (4+5). Ou por outras palavras, a determinação de interferência começa-se pela primeira operação de montagem. A operação de retirada “imaginável” das buchas realiza-se na seguinte sucessão:

- no diâmetro d_{in1} aplica-se a pressão ($-p_{in}$);
- usando a fórmula (22) do trabalho [1], determina-se a variação de pressão de contato entre as buchas.

Os valores da variação das pressões são apresentados na linha 25. Subtraindo a variação das pressões causada pela ($-p_{in}^I$) pelas pressões do estado inicial, obtém-se, para a primeira bucha, $p_{n1}^{II}=0$; ou seja, a primeira bucha foi retirada da montagem. Para as demais buchas montadas, a pressão entre elas é apresentada na linha 26. A operação de montagem dessas consiste no encaixamento seqüencial de cada bucha, uma dentro da outra, até restarem somente as duas últimas buchas (4+5). A pressão de contato entre elas foram apresentadas na linha 30. Na linha 32 são determinados os valores de interferência em conformidade com a fórmula (24) do trabalho [1].

Os módulos da elasticidade são iguais para todos os materiais:

$$E=2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

Na linha 33 é descrita a determinação da diferença de temperatura entre as buchas em montagem, considerando um ajuste com interferência de aproximadamente 1mm para cada 1000mm do diâmetro. O coeficiente da expansão linear do material empregados nessas buchas pode ser considerado como semelhante ao aço comum, ou seja, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$.

A determinação de tensões no recipiente sob o carregamento são realizadas nas linhas de 34 até 46. No recipiente descarregado as tensões são obtidas nas linhas de 47 a 55. Os diagramas de tensões radiais, tangenciais e equivalentes para ambos os casos de carregamento são apresentados na figura 2.

É necessário notar que durante o funcionamento, a bucha 5 pode ser trocada por outra nova, que será instalada no corpo do recipiente com interferência δ a qual é obtida pela fórmula do Gadolin [2] :

$$\delta = \frac{1064 \cdot 2 \cdot 1300 \cdot 0,8997}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,466 \cdot 0,8122} = 3,14 \text{ mm}$$

A diferença das temperaturas para instalação da nova bucha 5 é:

$$\Delta T^{\circ} = \frac{3,14 \cdot 10^6}{12 \cdot 1300} + 83,3^{\circ} \cong 285^{\circ} \text{C}$$

A deformação do diâmetro da bucha 5 durante a expansão radial provocada pela pressão interna p_{in} é determinada considerando as dimensões de todo o recipiente:

$$\Delta G_r = -670,8 \text{MPa}$$

$$\Delta G_t = 670,8 \cdot \frac{1,1003}{0,8997} = 830,0 \text{MPa}$$

$$\Delta_{i5} = \frac{950}{2,1 \cdot 106} (830 + 0,3 \cdot 670,8) = 4,67 \text{mm}$$

Para a montagem do recipiente foram determinados os valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Características da montagem do recipiente.

Buchas	Interferência (mm)	Diferença das temperaturas do aquecimento durante a montagem (°C)
1	3,22	193
2	4,08	295
3	2,77	219
4	0,82	136
5 (removível)	-	-

Conclusões

- Foi elaborada a teoria de cálculo dos recipientes compostos de multielementos (buchas) que possibilitará o desenvolvimento da construção bem otimizada;
- Foi apresentado o cálculo analítico de um recipiente para a prensa com capacidade máxima de 12000ton, o que possibilitou de observar que esta construção pode ser real para a carga citada;
- As pressões de extração são limitadas por 670MPa, valor muito superior a extração de mistura das ligas de alumínio;
- É necessário considerar que a deformação da bucha interna durante o funcionamento alcança o valor de 4,67mm;
- A metodologia do calculo apresentado pode ser facilmente convertida num algorítmico para computacional;

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". In 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 28-30 de outubro de 2003, São Paulo/SP, pp. 141-149.
- [2] Timoshenko S.P., Goodier J. N., "Theory of Elasticity". 3ª ed. N.J. MacGraw – Hill. Book Co, Inc. 1970, p110.

DESIGN OF A CONTAINER COMPOUND FOR HIGH CAPACITY USING TO EXTRUSION ALLOY ALUMINUM: CALCULATION OF THE REAL CONSTRUCTION ⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovnitchii ⁽²⁾

Alan M. Ramalho ⁽³⁾

Apóstolos J. Sideris Júnior ⁽⁴⁾

Abstract

The containers are the parts most loaded of the extrusion devices used in the horizontal hydraulics presses. These devices works under high temperatures and high specific pressures. The new technology of extrusion requires pressures up to 1000MPa and temperatures of 500°C. As known, when the weight of the container surpasses the value of 100Ton increase enough the difficult of design to containers used in the horizontal presses of high capacity.

The present work shows the methodology to calculation of a container that can be used to extrusion of aluminum alloys. The contains are fabricated with five rings fitting one into of the other. This study is a conclusion of a work (DESIGN OF A CONTAINER COMPOUND FOR HIGH CAPACITY USING TO EXTRUSION ALLOY ALUMINUM), has been already showed at the 1^o Meeting of Tools Molds and Matrices.

Was established an equations sequence to calculate the compound container fabricated with five rings. It was elaborated a table to show the sequence logic of the calculation this way simple and clear. Finally, using equations, were determined all the numeric values for each rings of the container, including the interference between rings.

Key words: extrusion, compound recipient, high pressure.

(5) 2^o Meeting of Integrate Net Manufacturer of Tool, Molds and Matrixs, September 21, 22 and 23 of 2004 – 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) Pos Graduating in Science Engineering of Materials at Sector de Materials Superhard, do Laboratory of Materials Advanced, University North Fluminense Staten.

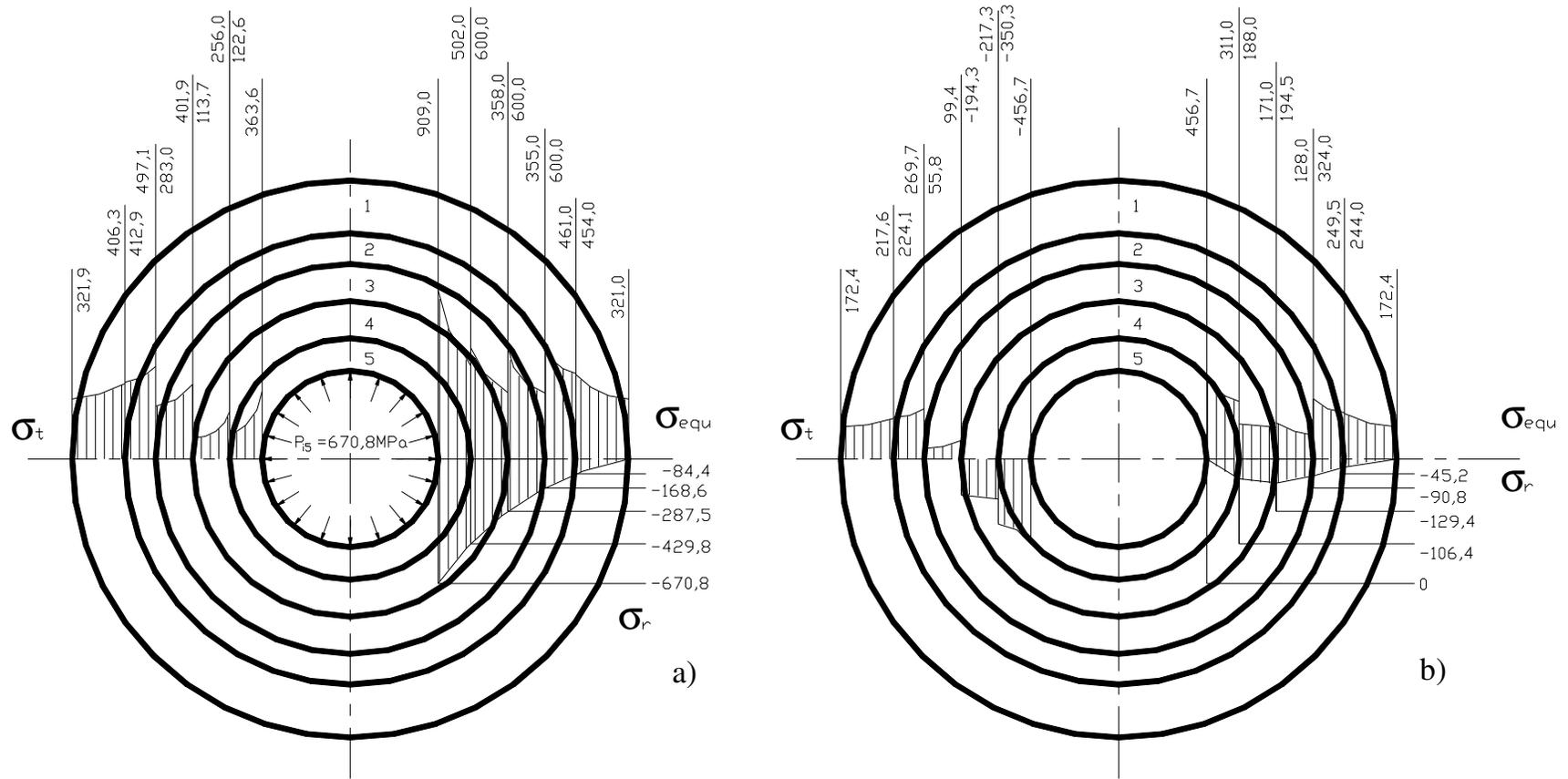


Figura 2. Diagramas de tensões (MPa) calculadas em recipientes quando ele é:
a) carregado com pressão interna de 670,8 MPa;b) montado (sem carregamento).

Tabela 2. Seqüência de cálculo do recipiente composto:

Expressão geral:		Valores Numéricos				
		Bucha 1	Bucha 2	Bucha 3	Bucha 4	Bucha 5
1	d_{ini}	2430	2100	1700	1300	950
2	d_{exi}	3000	2430	2100	1700	1300
3	K_i^2	0,656	0,747	0,655	0,585	0,534
4	$1 - K_i^2$	0,344	0,253	0,345	0,415	0,466
5	$3 + K_i^2$	3,656	3,747	3,655	3,585	3,534
6	K_i^4	0,430	0,558	0,429	0,342	0,285
7	$3 + K_i^4$	3,43	3,558	3,429	3,342	3,285
8	$\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i}$	0	0,1407	0,2811	0,4791	0,4728
9	$3 \left(\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} \right)^2$	0	0,059	0,237	0,687	0,671
10	$3 + K_i^4 - 3 \left(\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} \right)^2$	3,430	3,499	3,192	2,655	2,614
11	$(1 - K_i^2) \sqrt{3 + K_i^4 - 3 \left(\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} \right)^2}$	0,637	0,473	0,616	0,676	0,763
12	$\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} (3 + K_i^2)$	0	0,527	1,027	1,718	1,671
13	$(1 - K_i^2) \sqrt{3 + K_i^4 - 3 \left(\frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} \right)^2} + \frac{p_{exi}}{[\sigma]_i} (3 + K_i^2)$	0,637	1,000	1,643	2,344	2,424
14	$\frac{p_{ini}}{[\sigma]_i}$	0,1857	0,2811	0,4791	0,7163	0,7379
15	σ_{esi} , MPa	750,0	780,0	780,0	780,0	1000,0
16	$[\eta]_i$	1,65	1,3	1,3	1,3	1,1
17	p_{ini} , MPa	84,4	168,6	287,5	424,8	670,8
18	$\left(\frac{d_{ini}}{d_{ex1}} \right)^2$	0,656	0,490	0,321	0,1878	0,1003
19	$1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{ex1}} \right)^2$	0,344	0,510	0,679	0,8122	0,8997
20	$\left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}} \right)^2$	0,1523	0,2046	0,3123	0,5340	1,00
21	$1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{in1}} \right)^2$	0,8472	0,7954	0,6877	0,4660	0

22	$\left[1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{ex1}}\right)^2\right] \cdot \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2$	0,05256	0,1043	0,2121	0,4337	0,8997
23	$\Delta p_{ini} = p_{inn} \frac{1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{ex1}}\right)^2}{1 - K^2} \cdot \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2$	39,2	77,8	158,1	323,4	670,8
24	$p_{ini}^I = p_{ini} - \Delta p_{ini}$	45,2	90,8	129,4	106,4	0
25	$\Delta p_{ini}^I = \frac{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{in1}}\right)^2} \cdot p_{ini}^I$	452	42,4	36,7	24,9	0
26	$p_{ini}^{II} = p_{ini}^I - \Delta p_{ini}^I$	0	48,4	92,7	81,5	0
27	$\Delta p_{ini}^{II} = \frac{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{in2}}\right)^2} \cdot p_{ini}^{II}$	--	484	41,8	28,4	0
28	$p_{ini}^{III} = p_{ini}^{II} - \Delta p_{ini}^{II}$	--	0	50,9	53,1	0
29	$\Delta p_{ini}^{III} = \frac{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{in3}}\right)^2}$	--	--	50,9	34,5	0
30	$p_{ini}^{IV} = p_{ini}^{III} - \Delta p_{ini}^{III}$	--	--	0	18,6	0
31	$1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{exi}}\right)^2$	0,8997	0,8472	0,7954	0,6877	--
32	$\delta = \frac{2p_i d_{ini} \left[1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{exi}}\right)^2\right]}{E \left[1 - \left(\frac{d_{inn}}{d_{ini}}\right)^2\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{ini}}{d_{exi}}\right)^2\right]} \text{mm}$	3,22	4,08	2,77	0,82	--
33	$\Delta T^{\circ}C = \frac{\delta \cdot 10^6}{12 \cdot d_{ini}} + 83,3^{\circ}C$	193	245	219	136	--
34	$\sigma_{ini}^r = -p_{ini}$	-84,4	-168,6	-287,5	-429,8	-670,8
35	$\frac{1}{1 - K_i^2}$	2,907	3,953	2,899	2,410	2,146
36	$2 \frac{1}{1 - K_i^2}$	5,814	7,906	5,798	4,820	4,292
37	$\frac{1 + K_i^2}{1 - K_i^2}$	4,814	6,906	4,798	3,820	3,292

38	$2 \cdot \frac{1+K_i^2}{1-K_i^2}$	3,814	5,906	3,798	2,82	2,292
39	$\frac{1+K_i^2}{1-K_i^2} p_{ini}$	406,3	1164,4	1639,4	1641,8	2208,3
40	$2 \frac{1}{1-K_i^2} p_{exi}$	0	667,3	977,5	1385,8	1844,7
41	σ_{ini}^t	406,3	497,1	401,9	256,0	363,6
42	$\sigma_{ini}^{equ} = \sqrt{(\sigma_{ini}^t)^2 - \sigma_{ini}^t \cdot \sigma_{ini}^r + (\sigma_{ini}^r)^2}$	454,0	600,0	600,0	600,0	909,0
43	$2 \frac{k_i^2}{1-k_i^2} p_{ini}$	321,9	995,8	1091,9	1212,0	1537,5
44	$\frac{1+k_i^2}{1-k_i^2} p_{exi}$	0	582,9	808,9	1098,3	1414,9
45	σ_{exi}^t	321,9	461,0	395,0	358,0	502,0
46	$\sigma_{exi}^{eq} = \sqrt{(\sigma_{exi}^t)^2 - \sigma_{exi}^{2t} \cdot \sigma_{exi}^r + (\sigma_{exi}^r)^2}$	321,9	412,9	283,0	113,7	122,6
47	$\sigma_{ini}^r = -p_{ini}^l$	-45,2	-90,8	-129,4	-106,4	0
48	$\frac{1+k_i^2}{1-k_i^2} p_{ini}^l$	217,6	627,1	620,9	406,4	0
49	$2 \frac{1}{1-k_i^2} p_{exi}^l$	0	357,4	526,5	623,7	456,7
50	$\sigma_{ini}^t \cdot (b)$	217,6	269,7	944	-217,3	-456,7
51	$\sigma_{ini}^{eq} = \sqrt{(\sigma_{ini}^t)^2 - \sigma_{ini}^t \cdot \sigma_{ini}^r + (\sigma_{ini}^r)^2}$	44,0	324,0	194,5	188,0	456,7
52	$2 \frac{k_i^2}{1-k_i^2} p_{ini}^l$	172,4	536,3	491,5	300,0	0
53	$\frac{1+k_i^2}{1-k_i^2} p_{exi}^l$	0	321,2	435,7	494,3	350,3
54	$\sigma_{exi}^t \cdot (b)$	172,4	224,1	55,8	-194,3	-350,3
55	$\sigma_{exi}^{eq} = \sqrt{(\sigma_{exi}^t)^2 - \sigma_{exi}^t \cdot \sigma_{exi}^r + (\sigma_{exi}^r)^2}$	172,4	249,5	128,0	178,0	311,0

