



CONFORMAÇÃO DE JUNÇÕES NÃO SIMÉTRICAS EM TUBOS DE PAREDE FINA UTILIZANDO ELASTÔMERO

Márcio Flávio Torres D'Elia

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica
marcioftd@hotmail.com

Lindolfo Araújo Moreira Filho

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica
lindolfo@mec.ita.br

Hazim Ali Al-Qureshi

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica
hazim@mec.ita.br

***Resumo.** Este trabalho consiste na modelagem matemática da carga utilizada para a conformação mecânica de junções não simétricas em tubos de parede fina utilizando elastômero, que foi feita a partir da Teoria do Limite Superior (Upper Bound Theory) ou, como costuma ser conhecida, Método da Energia. Esta técnica consiste na determinação das parcelas de energia envolvidas durante o processo de conformação de modo a se obter a carga necessária para a mesma. Isto é obtido utilizando-se uma descrição da geometria de deformação do processo por meio de um campo de velocidades cinematicamente admissível, fazendo com que as cargas necessárias para a implantação do mesmo constituam um limite superior para a solução real. A determinação dessa carga é muito útil na definição dos equipamentos necessários para o processo.*

***Palavras-chaves:** Conformação, Tubos, Junções, Elastômeros*

1. INTRODUÇÃO

A conformação mecânica dos metais utilizando elastômeros constitui um dos processos mais antigos de se trabalhar esse tipo de material. Cabe a Adelph Delkescamp o pioneirismo na utilização desse processo, quando há aproximadamente um século ele se utilizou de blocos de borracha para cortar e cisalhar chapas metálicas. Posteriormente esta técnica passou a ser empregada também para furação, flangeamento e outras operações similares.

Com o desenvolvimento de elastômeros sintéticos, como o poliuretano, avotano e uretano, essa técnica recebeu um grande impulso, pois a borracha natural se danificava facilmente ao penetrar em furos ou ao ser forçada contra canto vivo, sendo que esses novos materiais são mais duráveis, apresentando maior resistência ao esmagamento e abrasão, maior dureza e boa resistência a óleos e solventes.

Aplicações de elastômeros na conformação de junções obtidas a partir de tubos de parede fina têm sido estudadas por Al-Qureshi e Moreira Filho, (1984, 1986, 1987, 1994,2000). Foi

verificado que, devido à simplicidade e ao baixo custo do ferramental, essa técnica apresenta algumas vantagens em relação a outros processos (convencionais) tais como hidráulico, conformação por explosão e fundição.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Os processos de conformação mecânica utilizando elastômero apresentam alto grau de complexidade no que tange a relacionar tensões e deformações em um corpo real. Tal fato advém da dificuldade de se obter soluções exatas para os sistemas de equações diferenciais (ordinárias, parciais, lineares, não-lineares) que descrevem o processo. Neste trabalho será feito uma modelagem matemática com base na Teoria do Limite Superior (Upper-Bound Theory), Al-Qureshi (1984), que é um método baseado na energia aplicada ao sistema, útil para a definição do ferramental e dos equipamentos necessários ao processo, uma vez que é capaz de fornecer uma estimativa da força total de conformação.

A força total de conformação requerida pelo balanço de energia envolvido no processo é definida a seguir, sendo constituído das seguintes parcelas:

$$\dot{W}_e = \dot{W}_i + \dot{W}_a + \dot{W}_b \quad (1)$$

onde $\Rightarrow \dot{W}_e$ é a energia externa aplicada ao sistema; \dot{W}_i é a energia devido à deformação interna do material do tubo; \dot{W}_a é a energia devido às perdas por atrito (tubo-matriz); \dot{W}_b é a energia aplicada ao elastômero.

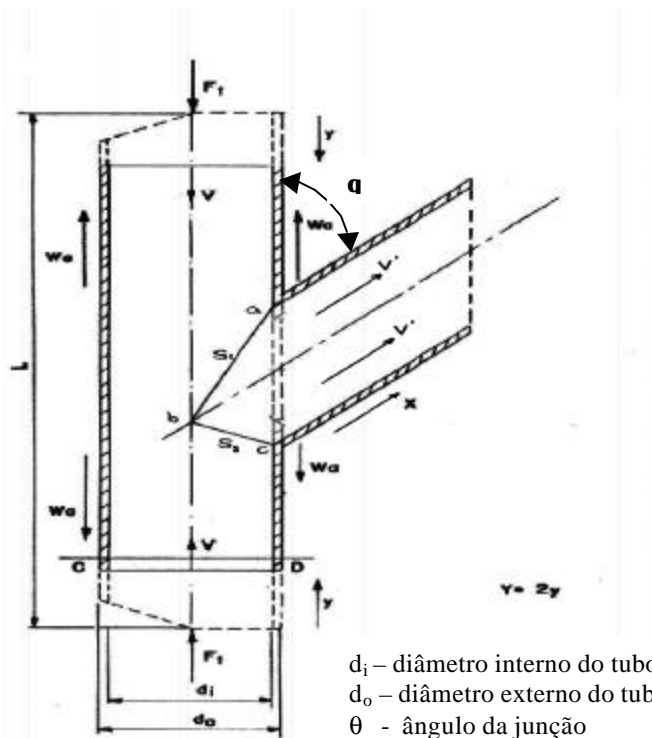


Figura 1 – Campo de Velocidade – Modo de Deformação.

2.1 Energia devido à deformação interna do material do tubo

A deformação interna do material do tubo, ocorrerá somente nas superfícies de descontinuidade S_1 e S_2 , sendo sua energia definida como:

$$\dot{W}_i = \int_S V^* \tau dS \quad (2)$$

Analisando a superfície S_1 , e assumindo o modo de deformação, Fig. 1, pode-se obter a descontinuidade de Velocidade (V^*): $V^* = 2V \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$ (3)

Analisando, agora, a área (ab) onde ocorre o cisalhamento, tem-se que é uma seção elíptica vazada com os seguintes semi-eixos:

$$\text{maiores: } \frac{d_o}{2 \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} \text{ e } \frac{d_i}{2 \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{menores: } \frac{d_o}{2} \text{ e } \frac{d_i}{2} \quad (4)$$

onde d_o e d_i são, respectivamente, o diâmetro externo e interno do tubo.

Analisando a superfície S_2 , pode-se obter a descontinuidade de Velocidade (V^*):

$$V^* = 2V' \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) \quad (5)$$

Analisando, agora, a área (bc) onde ocorre o cisalhamento, tem-se que é uma seção elíptica vazada com os seguintes semi-eixos:

$$\text{maiores: } \frac{d_o}{2 \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \text{ e } \frac{d_i}{2 \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{menores: } \frac{d_o}{2} \text{ e } \frac{d_i}{2} \quad \text{resultando em uma área total (ab,bc) dada}$$

por:

$$S_T = \frac{\pi}{8} \left[\frac{1}{\cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} + \frac{1}{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right] (d_o^2 - d_i^2) \quad (6)$$

Analisando, agora, a área (bc) onde ocorre o cisalhamento, tem-se que é uma seção elíptica vazada com os seguintes semi-eixos:

$$\text{maiores: } \frac{d_o}{2 \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \text{ e } \frac{d_i}{2 \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{menores: } \frac{d_o}{2} \text{ e } \frac{d_i}{2} \quad \text{resultando em uma área total (ab,bc) dada}$$

$$\text{por: } S_T = \frac{\pi}{8} \left[\frac{1}{\cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} + \frac{1}{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right] (d_o^2 - d_i^2) \quad (7)$$

Assumindo que o material do tubo é suposto isotrópico, rígido e perfeitamente plástico, escoando de acordo com o critério de Von Mises ($\tau = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}}$) e que as deformações são planas,

De posse desses dados, a energia devido à deformação interna do material do tubo é:

$$\dot{W}_i = \int_{S_1} t V^* dS_1 + \int_{S_2} t V^* dS_2 = \frac{\bar{\sigma} p}{4\sqrt{3}} \left[V \cot g\left(\frac{q}{2}\right) + V' \operatorname{tg}\left(\frac{q}{2}\right) \right] (d_o^2 - d_i^2) \quad (8)$$

2.2. Energia devido à perdas por atrito

A parcela de energia devido a perdas por atrito é representada por:

$$\dot{W}_a = \int_S \tau V dS \quad (9)$$

Admitindo que a tensão de cisalhamento envolvida no processo seja menor que a tensão de escoamento em cisalhamento do material, Avitzur (1977), e constante, material do tubo é suposto isotrópico, rígido e perfeitamente plástico, escoando de acordo com o critério de Von

Mises, deformações são planas, tem-se: $\tau = m\tau_0$, $0 \leq m \leq 1 \Rightarrow \tau = m \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}}$ --- onde m é o fator de atrito considerado constante.

Utilizando agora a hipótese de que a espessura do tubo permanece constante durante todo o processo ($X=Y$), a área total de contato entre a matriz e o tubo será dada por:

$$S_{Ta} = \int_S dS = \pi d_0 L \quad (10)$$

De posse desses dados, a energia devido a perdas por atrito é expressa da seguinte forma:

$$\dot{W}_a = \frac{\pi}{\sqrt{3}} m d_0 L \bar{\sigma} V \quad (11)$$

2.3 Energia aplicada ao elastômero

A energia utilizada durante o processo de compressão da barra de elastômero é expressa:

$$\dot{W}_b = F_b V \quad \text{onde } F_b \text{ é a força aplicada à barra de elastômero} \quad (12)$$

A barra de elastômero está sujeita a três etapas de deslocamento ($Y_T = Y_1 + Y_2 + Y_3$), com isso, é conveniente dividirmos a força F_b em três partes, sendo cada parte correspondente a um deslocamento, ou seja, F_1 corresponde ao deslocamento Y_1 e assim por diante. Logo,

$$F_b = F_1 + F_2 + F_3 \quad (13)$$

2.3.1 Determinação da força F_1

A força F_1 deve-se ao deslocamento da barra de elastômero para preencher a folga entre ela e o tubo, porque os diâmetros externo da barra de elastômero e interno do tubo são padronizados e dificilmente coincidem. Essa folga pode ser expressa, através do seu volume, sendo que para este caso, é correto dizer que o volume de elastômero deslocado será igual ao volume para se preencher a folga, portanto:

$$Y_1 = L \frac{(d_i^2 - d_E^2)}{d_i^2} \Rightarrow F_1 = A_0 E_f \frac{Y_1}{L} \quad (14)$$

onde A_0 é a área da seção inicial da barra de elastômero e E_f , é o seu módulo de elasticidade aparente, representados respectivamente por: $E_f = E_0(1 + 2s^2)$, Moreira Filho (1998), onde E_0 é o módulo de elasticidade inicial em compressão, determinado experimentalmente, e s é o fator de forma dado por:

$$s = \frac{A_C}{A_L} \quad A_C \text{ --- superfície carregada, } A_L \text{ --- superfície livre} \quad (15)$$

De posse desses dados foi possível a determinação da força F_1 .

$$F_1 = \frac{\pi d_E^2 E_0}{4} \left(\frac{d_i^2 - d_E^2}{d_i^2} \right) \left[1 + 2 \left(\frac{d_E}{4L} \right)^2 \right] \quad (16)$$

2.3.2 Determinação da força F_2

A força F_2 deve-se ao deslocamento da barra de elastômero durante a compressibilidade da mesma. A variação de volume devido à ação de uma pressão normal é geralmente expressa em termos da compressibilidade volumétrica pela relação:

$$V_C = K.V.P \text{ ou } Y_2 = \frac{4K(L - Y_1)F_T}{\pi d_i^2} \quad (17)$$

onde V_C --- variação de volume da barra de elastômero,

- K --- compressibilidade volumétrica
- V --- o volume inicial da barra de elastômero
- P --- pressão aplicada na barra de elastômero
- F_T --- a força aplica ao elastômero é instantaneamente igual a própria força F_T (carga)
- Y_1 --- deslocamento inicial do elastômero para preenchimento da folga
- Y_2 --- deslocamento do elastômero devido a compressibilidade

$$\text{A força } F_2 \text{ será então: } \Rightarrow F_2 = KE^* F_T \quad (18)$$

onde E^* é módulo de elasticidade aparente (após o preenchimento da folga) que depende do fator de forma que cuja dedução será mostrada posteriormente.

2.3.3 Determinação da força F_3

A força F_3 deve-se ao deslocamento da barra de elastômero para a conformação do domo. Considerando que o volume deslocado para a formação do domo seja igual ao devido ao deslocamento Y_3 , pode-se escrever:

$$V_{Y_3} = \frac{\pi}{4} d_i^2 Y_3, \quad V_D = \frac{\pi}{4} d_i^2 X \quad \Rightarrow \quad X = Y_3 \quad \Rightarrow \quad F_3 = \frac{\pi}{4} d_i^2 E_f \frac{X}{L - Y_2} \quad (19)$$

Calculadas as três parcelas de força que compõem a força F_b , a energia aplicada ao elastômero fica, então, determinada.

2.4 Determinação do módulo de elasticidade aparente

Após o preenchimento da folga o fator de forma não pode mais ser calculado pela equação (19), passando a ser definido pela seguinte relação: $s = \frac{A_C}{A_E}$ (20)

onde $A_C = \frac{\pi}{4} d_i^2$ área sujeita ao carregamento e A_E é a área lateral ou superfície livre ao escoamento.

Por sua vez, o diâmetro interno do tubo pode ser escrito em função do seu diâmetro externo e sua espessura (t), de modo a permitir que, estabelecida uma relação de como varia esta espessura durante a conformação, esta possa ser substituída na equação final. Com isso,

$$d_i = d_o - 2t \Rightarrow A_C = \frac{\pi}{4} (d_o - 2t)^2 = \pi \left(\frac{d_o}{2} - t \right)^2 \quad (21)$$

Observando a geometria da matriz, Fig.1, vê-se que a superfície sujeita ao escoamento não será constante. Essas superfícies são elipses onde o eixo maior varia conforme a posição. Para o cálculo de suas áreas foi necessário dividir a matriz em intervalos que se encontram a seguir.

$$\text{Para } 0 < x \leq x_1: \quad H_1 = \frac{d_o}{2\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{onde } r \text{ é o raio da matriz} \quad (22)$$

$$\text{Com isso, a variação do semi-eixo maior superior no primeiro intervalo é dada por:} \\ g_1 = H_1 - r\text{sen}(\alpha) - t\text{sen}(\alpha) - x\text{tg}(\theta) \quad (23)$$

Substituindo o valor de H_1 e simplificando a expressão acima,

$$g_1 = \frac{d_o}{2\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - (r+t)\text{sen}(\alpha) - x\text{tg}(\theta) \quad (24)$$

Do mesmo modo,

$$R_1 = \frac{d_o}{2\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} \quad (25)$$

Com isso, a variação do semi-eixo maior inferior no primeiro intervalo é dada por:

$$f_1 = R_1 - r\text{sen}(\alpha) - t\text{sen}(\alpha) + x\text{tg}(\theta) \quad (26)$$

Substituindo o valor de R_1 e simplificando a expressão acima,

$$f_1 = \frac{d_o}{2\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} - (r+t)\text{sen}(\alpha) + x\text{tg}(\theta) \quad (27)$$

Para o ângulo α pode-se escrever a seguintes relações:

$$\cos \alpha = \frac{r-x}{r+t} \quad \text{sen } \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \quad (28)$$

$$\text{Para ambos os casos, o valor do semi-eixo menor da elipse é dado por: } b = \frac{d_o}{2} - t \quad (29)$$

Com isso, a área da seção elíptica no primeiro intervalo pode ser escrita como a soma da metade das áreas de duas elipses com o menor eixo comum e com os semi-eixos maiores dados pelas expressões acima, ou seja,

$$A_{E1} = \frac{\pi g_1 b}{2} + \frac{\pi f_1 b}{2} = \frac{\pi b}{2} (g_1 + f_1) \quad (30)$$

Substituindo,

$$A_{E1} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{d_o}{2} - t \right) \left[\frac{\frac{d_o}{\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} + \frac{r}{\text{tg}\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} - 2(r+t)\sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \right] \Rightarrow S_1 = \frac{d_o - 2t}{\left[\frac{d_o}{\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} + \frac{r}{\text{tg}\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)} - 2(r+t)\sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \right]} \quad (31)$$

A expressão acima é válida para $0 < x \leq r - (r+t)\cos(\theta)$.

Para $x_1 < x \leq x_2$, segundo intervalo, tem-se que o valor do semi-eixo maior superior é dado pela mesma expressão determinada para o primeiro intervalo. Logo,

$$g_2 = g_1 \Rightarrow g_2 = \frac{d_o}{2\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - (r+t)\text{sen}(\alpha) - x\text{tg}(\theta) \quad (32)$$

Já o semi-eixo maior inferior, neste intervalo, não varia mais com o ângulo α , de forma que pode ser expresso pela relação: $f_2 = \frac{d_o - 2t}{2\text{sen}(\theta)}$

Do mesmo modo que no primeiro intervalo, as relações para o ângulo α e para o semi-eixo menor da elipse são dadas, respectivamente, por:

$$\text{sen } \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \quad , \quad b = \frac{d_o}{2} - t \quad (33)$$

Utilizando um raciocínio análogo ao do primeiro intervalo, a área da seção elíptica no segundo intervalo pode ser escrita como a soma da metade das áreas de duas elipses com o menor eixo comum e com os semi-eixos maiores dados pelas expressões acima, ou seja,

$$A_{E2} = \frac{\pi g_2 b}{2} + \frac{\pi f_2 b}{2} = \frac{\pi b}{2} (g_2 + f_2) \quad (34)$$

Substituindo os valores e simplificando, a expressão acima fica:

$$A_{E2} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{d_o}{2} - t \right) \left[\begin{array}{l} \frac{d_o - t}{\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - xt\text{tg}(\theta) - \\ -(r+t)\sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \end{array} \right] \Rightarrow S_2 = \frac{d_o - 2t}{\left[\frac{d_o - t}{\text{sen}(\theta)} + \frac{r}{\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - xt\text{tg}(\theta) - (r+t)\sqrt{1 - \left(\frac{r-x}{r+t}\right)^2} \right]} \quad (35)$$

A expressão acima é válida para $r - (r+t)\cos(\theta) < x \leq r + (r+t)\cos(\theta)$.

Para $x_2 < x \leq x_3$, terceiro e último intervalo, o valor do semi-eixo maior superior também não varia com o ângulo α , e pode ser expresso da mesma forma que o semi-eixo maior inferior, ou seja:

$$g_3 = f_3 = \frac{d_o - 2t}{2\text{sen}(\theta)} \quad (36)$$

Para ambos os casos, o valor do semi-eixo menor da elipse é dado por: $b = \frac{d_o}{2} - t$

Analogamente, a área da seção elíptica no terceiro intervalo pode ser escrita como a soma da metade das áreas de duas elipses com o menor eixo comum e com os semi-eixos maiores dados pelas expressões acima, ou seja,

$$A_{E3} = \frac{\pi g_3 b}{2} + \frac{\pi f_3 b}{2} = \frac{\pi b}{2} (g_3 + f_3) \Rightarrow A_{E3} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{d_o}{2} - t \right) \left[\frac{d_o - 2t}{\text{sen}(\theta)} \right] \Rightarrow S_3 = \text{sen}(\theta) \quad (37)$$

A expressão acima é válida para $r + (r+t)\cos(\theta) < x \leq L^*$, onde L^* é a diferença entre os diâmetros externo e interno da matriz. De posse dos fatores de forma para cada intervalo, puderam ser determinados os módulos de elasticidade aparente para os mesmos. Com isso, a força F_2 foi determinada.

2.5 Energia aplicada ao sistema

A energia aplicada ao sistema é:

$$\dot{W}_e = 2VF_T \Rightarrow F_T = \frac{\dot{W}_e}{2V} = \frac{\dot{W}_i + \dot{W}_a + \dot{W}_b}{2V} \quad \text{onde } F_T \text{ é a força total de conformação} \quad (38)$$

3. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O princípio de funcionamento do dispositivo mostrado na figura 2 é bem simples. O equipamento consiste, basicamente, de uma estrutura rígida em forma de quadro. Lateralmente existem, fixados a sua estrutura, dois cilindros hidráulicos com capacidade de 30 toneladas que são acionados simultaneamente durante o processo de conformação.

Na parte central da estrutura tem-se um cilindro, em cujo interior está colocada a matriz propriamente dita, e dois tampões guias, um de cada lado, para garantir um alinhamento perfeito entre os punções e a matriz e, também centralizar a matriz em relação ao cilindro.

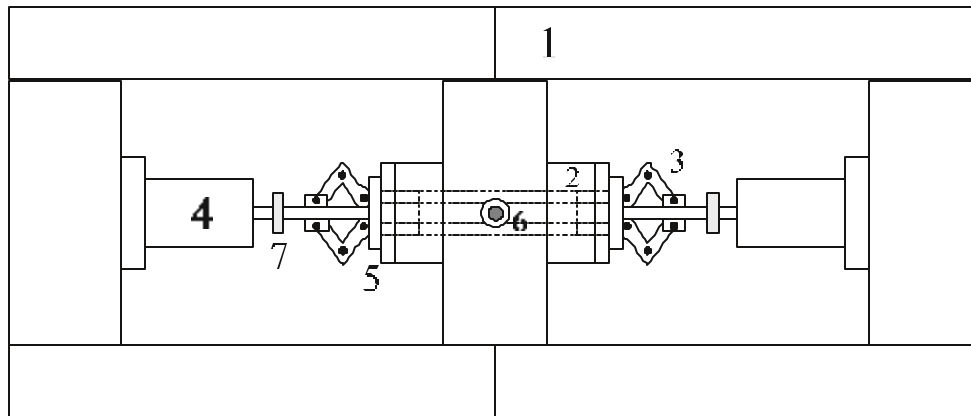


Fig. 2 – Esquema do dispositivo de conformação do processo bilateral.

- 1) Estrutura; 2) Cilindro/ matriz; 3) Punção de duplo estágio;
- 4) Pistão hidráulico 5) Tampão-guia 6) Controle do avanço do domo

A matriz, por sua vez, é bipartida, permitindo a remoção do tubo após a conformação, e tem um diâmetro igual ao diâmetro original do tubo. Os relógios comparadores são usados para verificar o avanço dos punções, bem como o comprimento do domo conformado. Os punções apresentam dois estágios. O primeiro é responsável pela pressurização inicial do elastômero para o preenchimento da folga existente entre o mesmo e o tubo. O segundo pela compressão axial do tubo.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Conforme já foi dito anteriormente, as soluções obtidas através da Teoria do Limite Superior estão sempre majoradas, uma vez que a carga real corresponderá ao campo de velocidade verdadeiro. Este campo, em geral, é desconhecido em todas as suas características e, para efeito de cálculo, deve ser idealizado ou simplificado.

Este trabalho foi feito com o intuito de gerar uma modelagem matemática para o caso de conformação mecânica de junções mais genérica possível. É válido ressaltar que a Teoria do Limite Superior já foi utilizada anteriormente, por Moreira et al (1994,1998), e os resultados experimentais obtidos para a carga de conformação, para ambos os casos, foram bem semelhantes com os previstos por esse método, o que demonstra a confiabilidade do mesmo.

REFERÊNCIAS

- Al-Qureshi, H. A, Moreira Filho, L. A., Automation of elastomer technique for tube forming. In: SACAM 2000 – CONFERENCE ON APPLIED MECHANICS, 2000, Durban, South Africa. p.659-664.
- Avitzur, B., Metal Forming: Processes and Analysis, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Deli, 1977.
- Moreira Filho, L. A . and Al-Qureshi,H. A ., “Unconventional Tee Forming on Metal Tubes”, Proc. Sensors and Controls for Automated Manufacturing and Robotics , ASME, pp 123-135, December, 1984
- Moreira Filho, L. A . and Al-Qureshi, H. A ., “Elastomer Forming of Cross Junction”, Int. Journal of Machine Tool & Manufacture, Vol. 26, No. 4, 1986

- Moreira Filho, L. A . e Al-Qureshi, H. A ., “Utilização de Elastômero na Conformação de Junções”, IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM 87, pp 1025-1028, Florianópolis, S.C., Dezembro, 1987
- Moreira Filho, L. A ., Menezes, J. C. and Al-Qureshi, H. A ., “Analysis of Unconventional Tee Forming on Metal Tubes”, J. Mater. Process. Technol., Vol. 45, pp 383-388, 1994
- Moreira Filho, L. A., Modelagem Teórica e Automação de Processos de Conformação de Junções em Tubos Metálicos de Parede Fina, Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1998.

FORMING OF NON- SYMMETRICAL JUNCTION ON THIN WALLED TUBES USING ELASTOMER

Abstract. *This paper describes the mathematical modeling of the stress used in the mechanical forming of non-symmetrical junctions on thin walled tubes using elastomer rod. This modeling was performed using the Upper Bound Theory or as it is called, The Energy Method. This method consists of determining the energy parcels involved during the forming process as a means to obtain the necessary stress. This is obtained using a description of the deformed geometry of the process by means of a Kinematically admissible velocity field, in such a way that the necessary stress reaches its maximum limit for the real solution. The determination of this stress is very useful to help define the equipment needed for the process.*

Keywords: *Forming, Tubes, Junction, Elastomer*