

EVOLUÇÃO DA FABRICAÇÃO DE JUNÇÕES METÁLICAS UTILIZANDO ELASTÔMEROS

Cristiano Roberto Martins Foli

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias - S.J. Campos – CEP 1228-900. e-mail : foli@ita.br

Hazim Ali Al-Quresh

UFCS – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis - CEP 88.040-900 . e-mail: hazim@pq.cnpq.br

Miguel Ângelo Menezes

Unesp - Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil nº56 – Centro -Ilha Solteira –CEP 15385-000. e-mail : miguel@dem.feis.unesp.br

Lindolfo Araújo Moreira Filho

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias - S.J. Campos – CEP 1228-900. e-mail: lindolfo@ita.br

Resumo: *A fabricação de junções metálicas utilizando elastômeros se desenvolveu muito nos últimos anos. O sucesso processo de conformação é governado pela chamada folga do punção, que controla a relação entre a pressão aplicada no tubo e no elastômero, evitando que durante o processo de conformação possa ocorrer falhas por flambagem ou fratura. Assim a técnica de conformação utilizando elastômeros se desenvolveu através de mecanismos que controlassem esta folga do punção. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a evolução do processo de conformação de junções metálicas utilizando elastômeros, deste o primeiro mecanismo manual de controle da folga que utilizava 50 ciclos de carregamento, até finalmente o equipamento automatizado que controla a folga do punção e utiliza somente um ciclo de carregamento.*

Palavras-chave: *Elastômero, Conformação, Junção Metálica, Folga do Punção e Processo não Convencional.*

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento dos elastômeros sintéticos como o avotano, o uretano e o poliuretano, vários trabalhos foram publicados utilizando a técnica de conformação de metais por elastômero, como estampagem profunda de chapas metálicas, (Al-Qureshi, 1972; Maslennikov, 1956), dobramento e furo de tubos (Derweesh e Mellor, 1969; Al-Qureshi, 1971), e a conformação de junções em “T” de tubo de parede fina. No que diz respeito à conformação de junções utilizando tubos de parede fina, vários trabalhos foram realizados ao longo das últimas décadas (Marreco e Al-Qureshi, 1979; Moreira Filho, 1998), e mais recentemente (Foli et al., 2006; Foli et al., 2005); estudando o comportamento mecânico dos tubos no processo e a influência da anisotropia na força total de conformação de junções em “T”.

A conformação de tubos de parede fina representa uma importante área de aplicação dos elastômeros; devido à sua simplicidade e ao baixo custo do ferramental necessário, o seu emprego pode representar, principalmente na produção em pequena escala e em processos que envolvam operações simultâneas, vantagens sobre outros métodos em uso, tais como, hidráulicos, eletromagnéticos e por explosivos.

Al-Qureshi e outros pesquisadores foram os pioneiros no estudo da conformação de junções utilizando tubos de parede fina, onde foi desenvolvido uma técnica de conformação de tubos (expansão) em dois estágios; no primeiro estágio é aplicada, simultaneamente, ao tubo e ao elastômero, causando a flambagem local (enrugamento do tubo) com a finalidade de proporcionar material adicional para a expansão radial, enquanto no segundo estágio apenas o elastômero é comprimido, eliminado as rugas, resultante da flambagem, por expansão radial do elastômero.

A seguir será apresentada a evolução do processo de conformação de junções metálicas utilizando elastômeros, deste o primeiro mecanismo manual de controle da folga que utilizava 50 ciclos de carregamento, até finalmente o equipamento automatizado que controla a folga do punção e utiliza somente um ciclo de carregamento.

2. PROCESSO UNILATERAL

O processo unilateral de conformação de junções metálicas foi desenvolvido por Marreco e Al-Qureshi (1979), onde se estudava a viabilidade do uso de elastômeros na obtenção de junções em “T” em tubos de parede fina. O mecanismo de conformação, Fig 1, consiste na aplicação gradual de carga ao punção que inicialmente produz apenas compressão do elastômero; dando prosseguimento ao ciclo de carregamento, o segundo estágio do punção faz contato com a parte superior do tubo, resultando em compressão axial simultânea do elastômero e do tubo. O processo de conformação apresentava as seguintes deficiências:

a) O processo era bastante lento sendo necessário cerca de 50 ciclos de carregamento e descarregamento para conformação total;

b) O domo (junção) apresentava uma certa assimetria na extremidade devido à conformação ser feita apenas por um punção, o que acarretava uma variação da espessura, principalmente no raio de concordância da junção, comprometendo o tubo em termos de resistência.

Essa assimetria ocorre porque neste processo a pressão interna do tubo não é igual em todos os pontos, o que equivale dizer que o comportamento do elastômero em termos de transmissão de pressão, não é semelhante à de um fluido, devido a coesão do elastômero. Após o aparecimento dessa anomalia (assimetria do domo), se o ciclo de carga continuar, cada vez o elastômero estará forçando mais um lado do domo, resultando em uma flambagem localizada do lado oposto à aplicação da carga no tubo. Isto diminui sensivelmente a quantidade de material que pode ser enviada em cada ciclo de carga, aumentando então o numero de ciclos para atingir a conformação total.

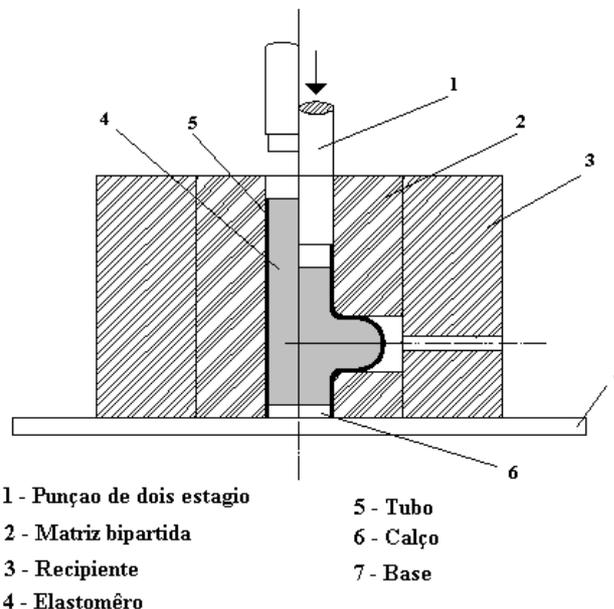
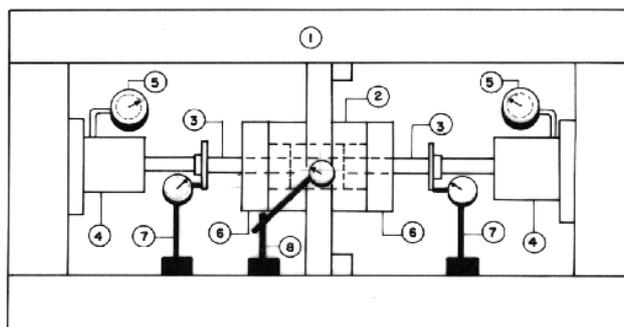


Figura 1. Processo unilateral de conformação de Junção em “T”

3. PROCESSO BILATERAL

Moreira Filho e Al-Qureshi, ao longo da última década, realizaram uma série de trabalhos, visando corrigir os problemas apresentados acima. Assim, Moreira Filho(1984), desenvolveu e construiu um dispositivo que realizava a conformação utilizando dois punções, agindo simultaneamente, que visava não só acelerar o processo, como melhorar a qualidade do produto acabado através da obtenção de uma simetria no domo e uma uniformidade de espessura do tubo, Fig 2.



- | | |
|--|--|
| 1 - Estrutura rígida em forma de quadro | 2 - Cilindro no qual esta contida a matriz |
| 3 - Punção de duplo estágio | 4 - Pistão hidráulico |
| 5 - Manômetro indicador de pressão | 6 - Tampão-guia |
| 7 - Relógio - comparador para controle do avanço do punção | 8 - Relógio - comparador para controle do avanço do domo |

Figura 2. Dispositivo mecânico de conformação (esquema), Moreira Filho (1984)

Para definição (projeto) do ferramental e do equipamento, foi desenvolvido um modelo teórico para o processo, utilizando a teoria do Limite Superior (Upper Bound Theory), para estimar a carga total de conformação.

O processo de conformação se desenvolve perfeitamente se houver uma compressão simultânea entre o elastômero e o tubo.

Com o mecanismo desenvolvido foi possível controlar o fluxo de material em direção à abertura da matriz, existindo um compromisso entre a pressurização inicial dada pelo primeiro estágio e o instante do contato do segundo estágio com a extremidade do tubo, espaço este que é definido como “folga do punção”. Esta folga, deve ser tal que evite tanto a pressurização excessiva do elastômero, responsável pela fratura do domo, como a compressão excessiva que conduz a flambagem local do tubo.

O procedimento de conformação consiste, assim, na aplicação gradual de carga ao punção que inicialmente, produz apenas compressão no elastômero; continuando o ciclo de carregamento, o segundo estágio do punção faz contato com a extremidade do tubo, resultando em compressão axial simultânea do elastômero e do tubo. A operação é interrompida ao ocorrer um determinado incremento de penetração (Δx) do tubo no orifício da matriz. Daí, a carga é então removida e a folga do punção é reajustada dentro de certos limites, sendo que novos ciclos são aplicados até a formação do domo.

Ainda nesta fase de desenvolvimento o processo denominado bilateral apresentava as seguintes desvantagens:

- necessidade de oito ciclos de carga para conformação completa da junção;
- necessidade de desmontagem do dispositivo em cada ciclo de carga para o ajuste do parâmetro denominado “folga do processo”.

4. PROCESSO AUTOMATIZADO

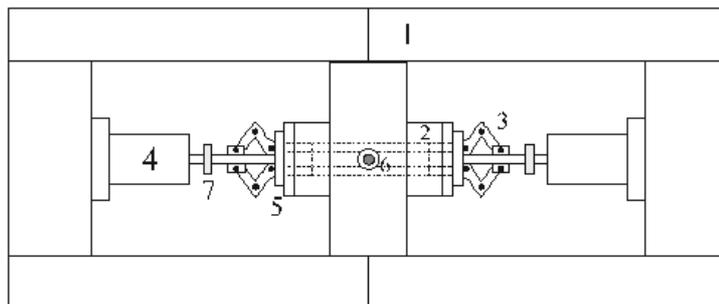
Visando a automatização total do dispositivo de conformação, Moreira Filho e Al-Qureshi, desenvolveram vários outros trabalhos (Moreira Filho e Al-Qureshi, 1985; Moreira Filho e Al-Qureshi, 1986; Moreira Filho e Al-Qureshi, 1995; Moreira Filho e Al-Qureshi, 1997, Moreira Filho et al., 1995; Moreira Filho et. al., 1997).

Moreira Filho (1998), desenvolveu um trabalho onde eram analisados dois modelos teóricos para o processo de conformação de junções em tubos metálicos de parede fina. Enquanto um modelo utilizava a teoria do Limite Superior (Upper Bond Theory), outro empregava o Método dos Blocos (Slab) conjugado com a teoria de cascas.

Neste trabalho também foi desenvolvido e construído um dispositivo que possibilitava a automatização do processo de conformação de junções, Fig 3, através de:

- Acionamento simultâneo dos pistões (punções) utilizando uma única bomba hidráulica.
- Regulagem automática da folga do processo, pois o avanço relativo dos estágios do punção foi automatizado.

Nos primeiros trabalhos desenvolvidos constatou-se que o sucesso da operação, isto é, a conformação sem apresentar falhas (fratura ou flambagem), dependia da aplicação de pressões, tanto no elastômero como no tubo, em proporções adequadas. Isso foi obtido através da chamada “folga do punção”, definida como sendo, $Z=L_1-L_2$, que cresce de ciclo para ciclo de carga. O comprimento L_1 , do primeiro estágio do punção é ajustado automaticamente durante o desenvolvimento do processo, através de um mecanismo de quatro barras, (ver Fig. 3), que mantém uma relação de avanço entre os dois estágios. Conectado este mecanismo à bomba hidráulica, possibilita a transmissão de um avanço diferenciado ao tubo e ao elastômero, ou seja, a regulagem da folga (Z) do processo é feita automaticamente.



- | | |
|---|--|
| 1 - Estrutura rígida em forma de quadro | 5 - Tampão-guia |
| 2 - Cilindro no qual esta contida a matriz | 6 - LVDT - dispositivo para medir o avanço do domo |
| 3 - Sistema de quatro-barras (mecanismo de acionamento dos punções) | 7 - Célula de carga |
| 4 - Pistão hidráulico de acionamento dos punções | |

Figura 3. Esquema do dispositivo de conformação, Moreira Filho (1998)

4.1. Descrição do Equipamento Automatizado

Para conformação dos tubos, Moreira Filho (1998), projetou, construiu e automatizou uma máquina especial de conformação de maneira a se obter um carregamento simultâneo nas duas extremidades do tubo. O equipamento basicamente consiste de uma estrutura rígida em forma de quadro, ver Figs. 3 e 4, onde lateralmente existem dois cilindros hidráulicos, com capacidade de 30 toneladas, que são acionados simultaneamente durante o processo de conformação.

Na parte central da estrutura se tem um cilindro em cujo interior é colocada a matriz propriamente dita (ver Fig. 3), e dois tampões-guia, um de cada lado, onde estão alojados os punções. A matriz é bipartida, permitindo a remoção do tubo após a conformação, tem um diâmetro igual ao diâmetro original do tubo e um furo na lateral em uma de suas partes. Esta matriz foi usinada em aço VC-130-Villares (DIM D3), de alta resistência ao desgaste, e tratada termicamente para uma dureza Rockwell 50-52, sendo que a superfície interna foi retificada.

O recipiente, ou seja, o cilindro, os punções e os tampões foram manufaturados em aço ABNT ou AISI 4340 (VM-40_Villares), e tratado termicamente para uma dureza Rockwell C-43-45. Foi confeccionado um orifício ($\phi=6\text{mm}$) no cilindro para saída de ar e para colocação do dispositivo LVDT, responsável pela monitoração do comprimento (X) do domo conformado, sendo que o centro desse orifício coincide com o centro do furo lateral da matriz.

Quanto aos tampões-guia, eles foram projetados de modo a garantir um alinhamento perfeito entre o punção e a matriz, e ao mesmo tempo centralizar a matriz em relação ao cilindro.

Com relação aos punções, estes apresentam dois estágios, sendo que o primeiro é responsável pela pressurização inicial do elastômero para o preenchimento da folga existente entre o elastômero e o tubo, e o segundo estágio pela compressão axial do tubo. O comprimento do primeiro estágio do punção é ajustado automaticamente durante o desenvolvimento do processo, através de um mecanismo de quatro-barras (ver Fig. 3), que mantém uma relação de avanço entre os dois estágios. Conectando este mecanismo a bomba hidráulica, possibilitando-se a transmissão de um avanço diferenciado ao tubo e ao elastômero, ou seja, a regulação da folga do processo (Z), é feita automaticamente.



1 – Painel de controle.
2 – Conjunto – motor elétrico, bomba hidráulica e reservatório de óleo.
3 – Dispositivo de conformação.

Figura 4. Fotografia do dispositivo de conformação - Processo automatizado, Moreira Filho (1998)

4.2 Processo de Conformação

O processo de conformação desenvolver-se-á perfeitamente se houver uma compressão simultânea entre o elastômero e o tubo. No sentido de se obter tal resultado, se torna necessário à utilização do punção de duplo estágio, Fig. 5, o primeiro para pressurização inicial do elastômero, dando suporte lateral à parede do tubo devido ao preenchimento da folga entre o tubo e o tarugo de elastômero e ao mesmo tempo desenvolvendo forças de atrito para auxiliar a sua compressão axial, executada pelo segundo estágio.

Com este mecanismo foi possível controlar o fluxo de material em direção à abertura da matriz, existindo um compromisso entre a pressurização inicial dada pelo primeiro estágio e o instante do contato do segundo estágio com a extremidade do tubo, espaço este que é definido como “folga do punção”, representada pela relação $Z=L_1-L_2$.

Essa folga (ver Fig. 5), deve ser tal que evite tanto a pressurização excessiva do elastômero, responsável pela fratura do domo, como a compressão excessiva que conduz a flambagem local do tubo, Fig 6. Nas extremidades dos tubos foram introduzidos chanfros, de modo a permitir maior fluxo de material em direção à abertura da matriz, sem produzir flambagem na parte oposta a junção.

O procedimento de conformação consiste, assim, na aplicação gradual de carga ao punção que, inicialmente produz apenas compressão no elastômero; continuando o ciclo de carregamento, o segundo estágio do punção faz contato com a extremidade do tubo, resultando em compressão axial simultânea do elastômero e do tubo.

No dispositivo automatizado por Moreira Filho (1998), se utilizou um mecanismo de quatro barras (ver Fig. 3), cujo funcionamento é baseado na necessidade de avanço relativo do primeiro estágio em relação ao segundo. Quando comprimido, o dispositivo automaticamente ajusta esse avanço relativo, e dispensa a interrupção do ciclo de carga.

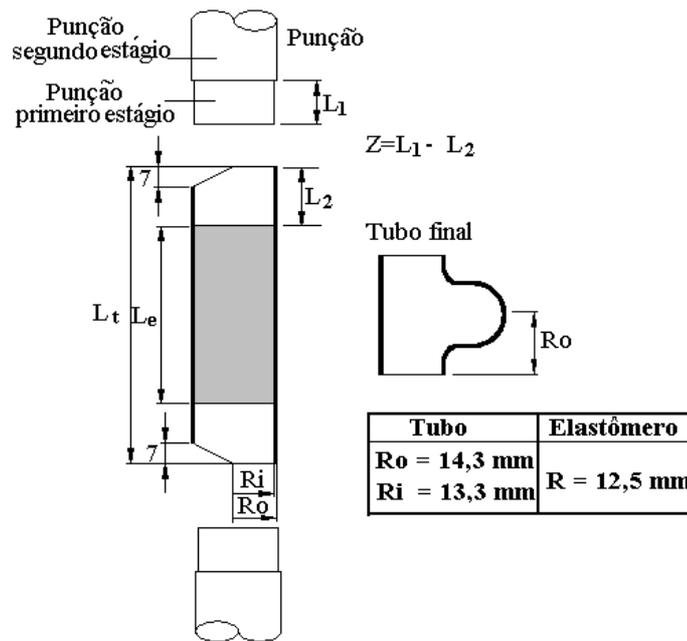


Figura 5. Parâmetros geométricos

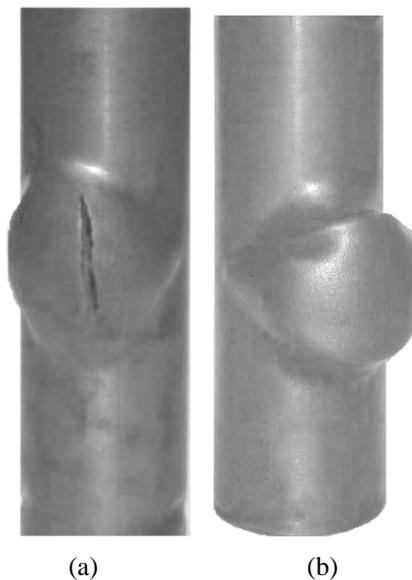


Figura 6. Tipos de falha nos tubos conformados ((a) Falha por tração no domo, (b) Falha por flambagem local)

5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO DE JUNÇÕES EM “T”

Os processos, unilateral e bilateral, discutidos anteriormente apresentavam algumas deficiências tais como:

- o método era bastante lento sendo necessários cerca de 50 ciclos de carregamento e descarregamento para o processo unilateral e cerca de oito ciclos para o processo bilateral;
- o processo unilateral apresentava uma certa assimetria na extremidade, que era devido a conformação ser realizada utilizando apenas um único punção, o que acarretava uma variação na espessura, principalmente na região do raio de concordância da junção. Já o processo bilateral, esse problema foi resolvido através da utilização de dois punções agindo simultaneamente durante a conformação;
- no processo bilateral existia a necessidade da desmontagem do conjunto matriz / tubo/ elastômero, para que a “folga do processo” pudesse ser ajustada a cada ciclo de carga, evitando com isso as falhas possíveis que poderiam ocorrer durante o processo de conformação, o que acarretava uma certa lentidão no processo.

Com o processo automatizado foi desenvolvido e construído dispositivos e acessórios, não só visando acelerar o processo como também melhorar a qualidade do produto acabado.

Uma série de inovações foram introduzidas no equipamento de conformação, tais como:

- regulagem automática da folga do punção, através do mecanismo de quatro-barras, que evita a desmontagem freqüentes do conjunto matriz/tubo/elastômero/;
- monitoração da aplicação de carga aos punções utilizando uma célula de carga;
- monitoração do avanço do domo, empregando um sensor de deslocamento LVDT;
- acionamento simultâneo dos punções empregando um sistema hidráulico construído de pistões, bombas hidráulicas, válvula de vazão, reservatório de óleo e motor elétrico;

Todas as melhorias citadas acima, permite que a conformação da junção em T, seja realizada em apenas um ciclo, sendo que o mesmo foi empregado em tubos de alumínio, cobre e latão.

O componente final com o domo é mostrado (ver Fig. 7), sendo que o comprimento perdido do “T” devido ao domo é cerca de 9,0 mm.

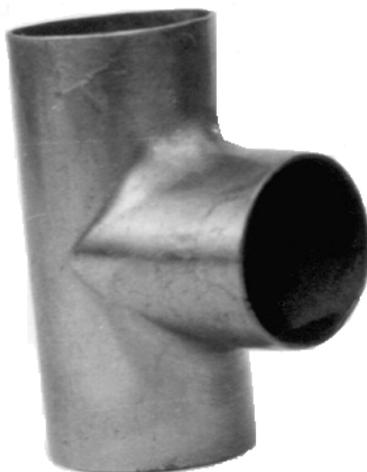


Figura 7. Componente final

6. CONCLUSÃO

O processo no estágio em que se encontra representa uma importante área de aplicação de elastômeros, onde o desenvolvimento do dispositivo de conformação requer uma demanda de ferramental de baixo custo, constituindo-se uma técnica adequada para seguinte situações:

- certas operações que podem ser difíceis ou em outros casos impossíveis de serem feitas por métodos convencionais, poderiam ser facilmente realizadas aplicando-se a técnica de conformação por elastômero;
- em aplicações industriais que envolvam produção em pequena escala, substitui com vantagens as junções obtidas por métodos convencionais.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq pelo suporte financeiro à pesquisa, ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, e a UNESP pelas facilidades.

8. REFERÊNCIAS

- Al-Qureshi, H. A., 1972, “Feasibility of a rubber-forming techniques”, Machinery and Prod. Eng., vol.119, p. 189.
- Al-Qureshi, H.A., 1971, “Factor affecting the Strain Distributions of Thin-walled Tubes using Polyurethane Rod”, Int.J.Mech-SCI., vol 13, pag 403.
- Al-Qureshi, H.A., 1972, “Analytical Investigation of Ram Movement in Piercing Operation with Rubber Pads”, Int.J.Mach.Toos Des. Res., vol 12 p. 229.
- Al-Qureshi, H.A., Mellor P.B., 1967, “Forming and Piercing of Metal Tubes with Polyurethane”, Eng. Materials and design, Nov.
- Derweesh, F.L., Mellor, P.B., 1969, “Maslennikov’s Technique for Forming a Cylindrical Cup”, Proc. 10 th Int. MTDR Conf., p. 499.
- Foli, C. R. M., MENEZES, M.A., MOREIRA FILHO, L. A., 2006, “Influence of the Yielding Criterion on Total Forming Force in Metallic Junctions Using Elastomers”, Journal of Materials Processing Technology., v.179, p.61 - 66,

- Foli, C.R.M., Menezes, M.A., Moreira Filho L.A., 2005 “The Influence of the friction Factor on the Total Forming Force in “T” Metallic Junctions Employing Elastomers”, 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, MG.
- Marreco, D.B. , Al-Qureshi, H.A. ,1979, “Forming of T-Junction on metal Tubes by Elastomer Rod Technique”, Proc.Seven th North American Metal Working Researsh Conf., 13-19, pags 107-13.
- Maslennikov, N.A., 1956, “Deep Drawing of Sheet Metal by Friction Forces”, The Engineers Digest, vol17, p. 336,
- Moreira Filho, L.A., Al-Qureshi, H.A., 1985.Unconventional Tee Forming on Metal Tubes. Journal of Engineering for Industry, Nov.
- Moreira Filho, L.A., Al-Qureshi, H.A., 1986, “Elastomer Forming os Cross Junction”, Int Journal Mach.Toos Desing.
- Moreira Filho, L.A., Al-Qureshi, H.A., Menezes, J.C., 1995, “Analysis of Unconventional Tee Forming on Metal Tubes”,Journal Materials Processing Technology.
- Moreira, Filho L.A., 1984. “Conformação de Junções em tubos de Parede fina Utilizando Elastômero”, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, C.T.A., São José dos Campos, Tese de Mestrado.
- Moreira, Filho, L.A., 1998, “Modelagem Teórica e Automatização de Processo de Conformação de Junções em Tubos de Parede Fina”, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, C.T.A., São José dos Campos, Tese de Doutorado.
- Moreira, Filho, L.A., Al-Qureshi, H.A., 1984, “Sensor And Contros Automated Manufacturing And Robotics”, The Winter Annual Meeting of ASME. Dec., Lousiana, U.S.A.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EVOLUTION OF THE FABRICATING METALLIC JUNCTIONS USING ELASTOMERS

Cristiano Roberto Martins Foli

ITA – ITA – Aeronautic Technological Institute, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias - S.J. Campos – CEP 1228-900. e-mail : foli@ita.br

Hazim Ali Al-Quresh

UFCS – Santa Catarina Federal University, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis - CEP 88.040-900 . e-mail: hazim@pq.cnpq.br

Miguel Ângelo Menezes

Unesp - State University of São Paulo, Av. Brasil nº56 – Centro -Ilha Solteira – CEP 15385-000. e-mail : miguel@dem.feis.unesp.br

Lindolfo Araújo Moreira Filho

ITA – ITA – Aeronautic Technological Institute, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias - S.J. Campos – CEP 1228-900. e-mail: lindolfo@ita.br

Abstract: *The fabricating of metallic junctions using elastomers has been developed much in the last years. The success of the forming process is governed by the so called “process clearance”(punch clearance), which controls the relation between the applied pressured on the tube and the elastomer avoiding that during the forming process can take place failure by buckling or fracture. So, the forming technique using elastomers has been developed through mechanisms that could control this punch clearance. This present paper has as the aim to present the forming process evolution of metallic junctions using elastomers since the first manual mechanism of the clearance control that needed 50 loading cycles, up to finally the automated equipment that controls the punch clearance and need only one loading cycle to form a junction.*

Keywords: *Elastomer, Forming, Metallic Junction, Punch Clearance and Unconventional Process.*