

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR CLINCHING UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Anderson Avelar de Paula

Haroldo Béria Campos

Maria Teresa Paulino Aguilar

Antônio Eustáquio de Melo Pertence

Paulo Roberto Cetlin

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31270-901, pertence@ufmg.br

Resumo. A junção mecânica localizada de chapas tem sido objeto de interesse das indústrias, principalmente da automobilística, por apresentar vantagens se comparada aos processos convencionais de união de chapas. Uniões por rebites e parafusos necessitam de furação, criando concentradores de tensão e possibilidade de variação da pressão de contato e mesmo as uniões por solda a ponto apresentam alterações das propriedades do material devidas a aquecimentos. O processo de junção de chapas por deformação mecânica a frio, denominado clinching, assemelha-se a um processo de estampagem. Nele duas chapas que serão unidas são prensadas por um punção contra uma matriz rígida, sem nenhum aquecimento, forçando o material a fluir para as bordas da matriz. Esse processo, no entanto, é localizado, pois o punção possui um pequeno diâmetro e, como resultado, obtém-se um ponto de união entre os materiais. No presente artigo foram feitas análises computacionais utilizando o software comercial Deform 2D[®]. Inicialmente foi feita uma avaliação da geometria das matrizes, para um melhor entendimento do processo de união e os melhores resultados obtidos foram submetidos a novas simulações para o levantamento da força necessária para o arrancamento das chapas considerando-se esforços puramente perpendiculares ao plano das chapas.

Palavras-chave: chapas, junção mecânica, clinching, simulação, elementos finitos.

1. INTRODUÇÃO

O processo de junção de chapas por deformação mecânica a frio, denominado *clinching* na literatura internacional ^(1,2,3), assemelha-se a um processo de estampagem. Nele duas chapas que serão unidas são prensadas por um punção contra uma matriz rígida, sem nenhum aquecimento, forçando o material a fluir para as bordas da matriz. Esse processo, no entanto, é localizado, pois a matriz superior possui um pequeno diâmetro e, como resultado, obtém-se um ponto de união entre os materiais. A geometria desse ponto pode ser variada, acarretando mudanças no fluxo do material e na forma final da junção. A Figura (1), representando o ponto final de uma das simulações feitas para esse trabalho, mostra uma junção desse tipo em corte esquemático em que se vê a chapa em recalque e as matrizes superior e inferior. A junção mecânica localizada tem sido objeto de interesse das indústrias, principalmente a automobilística, por apresentar vantagens se comparada aos processos convencionais de união de chapas. Como se sabe, chapas podem ser unidas através de rebites, parafusos ou solda, sendo a última geralmente uma solda por pontos, mais adequada esses casos.

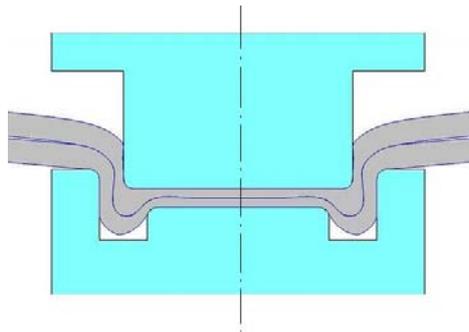


Figura 1. Vista em corte esquemática de uma junção mecânica localizada.

As desvantagens desses processos referem-se à necessidade de furar as chapas e, portanto, a criação de concentradores de tensão, a possibilidade de variação da pressão de contato e a alteração das propriedades do material devidas a grandes aquecimentos. Portanto, quando possível a sua utilização, a junção mecânica localizada pode representar grandes vantagens e economias para as indústrias.

Mota e Costa ⁽⁴⁾ realizaram um trabalho no qual foi feita a comparação de uniões feitas por *clinch*ing e por solda a ponto em chapas de aço baixo carbono para fabricação de peças automotivas. O diâmetro dos pontos feitos por *clinch*ing foi de 8 mm. Os autores realizaram testes de separação das chapas de duas maneiras, conforme a Fig. (2), presente no trabalho citado. Numa puxaram as chapas com esforços paralelos ao seu plano, ou seja, por cisalhamento. Na outra, denominada destacamento, puxaram as chapas perpendicularmente aos pontos, porém puxando através das extremidades opostas às quais a união foi feita, ocorrendo, com isso, esforços fletores nas junções. Em ambos os modos de separação as forças foram menores para a junção mecânica. Na separação por cisalhamento, no entanto, os valores atingiram os requisitos de projeto para peças não estruturais.

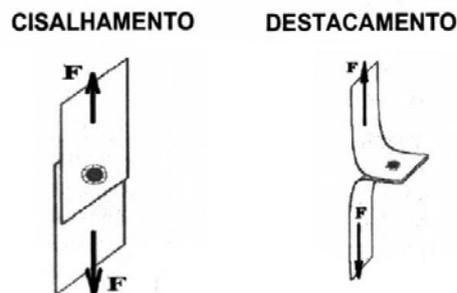


Figura 2. Esquema das duas formas de separação testadas por Mota e Costa (2005).

Malveira et al. ⁽⁵⁾, realizaram um estudo no qual analisaram a distribuição de dureza ao longo de um corte transversal de uma união por *clinch*ing em uma chapa de alumínio 1050. O ponto por eles testado teve o diâmetro máximo no recalque igual a 6,20mm. Eles realmente observaram que a média de durezas no centro do ponto é maior que de suas laterais, já que o material escoava do centro para a folga lateral. Esses autores ainda realizaram testes de tração sob esforços de cisalhamento, como os feitos no trabalho acima citado. Observaram que houve ruptura por rasgamento das chapas situadas do lado do punção em todos os testes, sendo que a carga máxima média para o rasgamento foi de 800 N.

Por sua vez, Varis ^(1,2) apresentou trabalhos a respeito da aplicação do processo de união mecânica como método de junção de aços estruturais de alta resistência, empregados em construção civil. Ele testou uniões com chapas de espessuras e propriedades mecânicas diferentes em ferramentas de formas redondas e quadradas. Os testes foram realizados nas próprias instalações dos fabricantes dos equipamentos. O que o autor intitula *clinch*ing com ferramentas quadradas é um processo que, além de deformar mecanicamente as chapas, insere pequenos cortes nas peças. Esse processo não é comparável, portanto, ao que será analisado no trabalho atual, o que seria o *clinch*ing com ferramentas redondas, no qual não se insere nenhum tipo de corte nas chapas.

Em outro trabalho Varis e Lepistö ⁽³⁾, apresentam um procedimento baseado em testes experimentais e cálculos de volumes de material dentro das matrizes para a seleção de uma combinação apropriada de ferramentas de forma a obter a carga máxima no cisalhamento. O trabalho apresenta vários parâmetros do processo baseados nesse procedimento, como a espessura final das chapas no centro da união e altura da área fletida, para várias combinações de ferramentas. Também foram realizadas simulações de computador para verificar a aplicação do procedimento proposto. Os trabalhos citados têm sido apresentados com geometrias fixas, fornecidas por fabricantes de equipamentos para o processo, variando apenas profundidades e diâmetros das matrizes.

No presente artigo foram feitas análises computacionais utilizando o software comercial Deform 2D[®]. Inicialmente foi feita uma avaliação da geometria das matrizes, para um melhor entendimento do processo de união e os melhores resultados obtidos foram submetidos a novas simulações para o levantamento da força necessária para o arrancamento das chapas considerando-se esforços puramente perpendiculares ao plano das chapas.

2. METODOLOGIA

As simulações foram realizadas utilizando-se o software comercial Deform 2D, versão 8.0, da SFTC (*Scientific Forming Technologies Corporation*). Várias outras simulações foram feitas a partir dessa geometria original com o objetivo de melhorar o perfil de deformações na junção e, portanto, aumentar a força necessária para separá-la. O material das chapas foi o alumínio 1100, cuja curva tensão-deformação já estava previamente definida no programa (limite de escoamento de 40 MPa) e correspondia a uma temperatura de 20°C. A espessura das chapas a serem unidas era de 0,5 mm.

Como o problema é axissimétrico, foi possível a simulação de metade do sistema punção/chapa/matriz. A matriz inferior permaneceu fixa, enquanto o punção superior realizou um movimento de descida a uma velocidade constante de 8 mm /s até que a espessura das duas chapas em conjunto alcance 0,4 mm na região central da união. Para as regiões de contato foram definidos atritos variados. Para o contato chapa/chapa utilizou-se um atrito igual a 0,4 e, para os contatos chapa/matriz superior e chapa/matriz inferior foi definido um atrito igual a 0,12. Isso teve como objetivo reduzir o atrito entre as matrizes e as chapas, para facilitar o fluxo de material. A Figura (3) ilustra o exposto acima.

As matrizes para a aplicação experimental do processo de união foram desenvolvidas considerando-se o melhor perfil de deformações na junção obtido na simulação numérica. A Figura (4) indica esquematicamente a montagem das matrizes utilizadas. A aplicação experimental foi feita em uma máquina de compressão Kratos de capacidade máxima igual a 500 KN com fundo de escala de 100KN. A carga máxima atingida na aplicação experimental foi de 15 KN. Utilizou-se um sistema de guia para o correto posicionamento das matrizes superior e inferior. A Figura (5) ilustra o exposto acima.

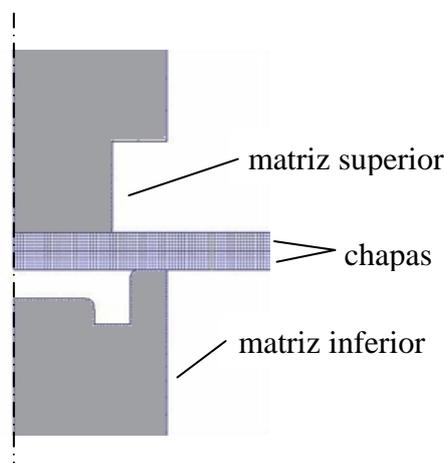


Figura 3. Simulação axissimétrica do sistema matriz/chapas/matriz.

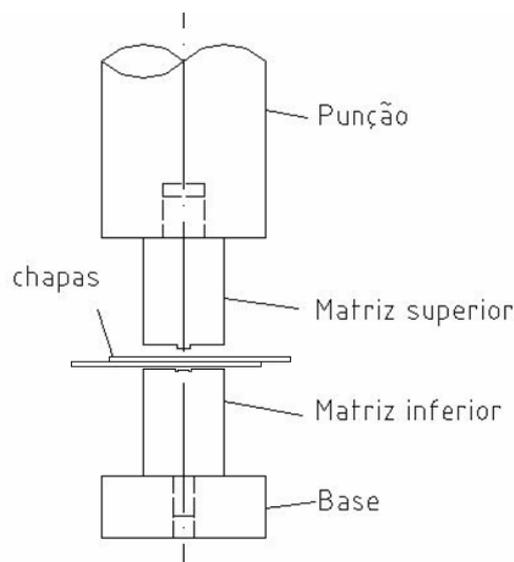


Figura 4. Esquema das matrizes utilizadas.



Figura 5. Indicação da aplicação experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura (6) representa o perfil de deformações encontrado para a simulação do recalque feito originalmente. Nela, pode-se perceber que as chapas não estão bem cravadas uma na outra na região das bordas da junção. Observa-se ainda que o material não preencheu completamente o espaço da matriz inferior (sulco), restando uma região vazia.

Para a simulação do teste de separação das chapas, partiu-se desta geometria final. A direção de movimento do punção foi invertida. Procurou-se evitar o deslocamento horizontal das chapas durante a separação, o que, caso ocorresse, aumentaria a carga na separação, alterando os resultados. Nessa simulação, além dos parâmetros modificados já descritos, foi necessário mudar as condições de contato entre os objetos para que as chapas permanecessem “coladas” nas matrizes. A simulação de separação concentrou os esforços perpendicularmente ao ponto de união evitando, com isso, qualquer flexão nas chapas, o que diminuiria em muito a força de separação.

As cargas encontradas para a separação dessa junta atingiram uma força máxima de 140 N. A partir desses resultados iniciais, partiu-se para a variação da geometria das matrizes com o objetivo de aumentar a indentação das chapas e, conseqüentemente, a carga na separação.

Basicamente as alterações geométricas feitas foram no sentido de alteração da largura e profundidade do sulco da matriz inferior, bem como, da suavização dos raios de suas bordas. Foram também testadas alterações na inclinação da matriz superior em vários graus. Outra alteração da geometria foi a aplicação de um ressalto na ponta da matriz superior de tal forma que forçasse o material a fluir preenchendo todo o sulco. Neste caso não houve alteração na profundidade do sulco, apenas reduziu-se a folga lateral entre matriz inferior e matriz superior, exatamente, a espessura das duas chapas conjuntamente. Isso evitou que a chapa levantasse quando recalçada. Utilizou-se também uma pequena inclinação no matriz superior. A Figura (7) indica a geometria resultante.

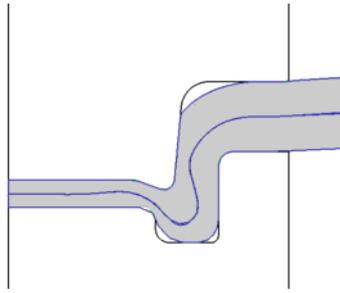


Figura 6. Perfil das chapas na junção feita originalmente.

O pico de força vertical na matriz durante a separação puxando-se pelo centro da junção logo no início do processo de separação foi de 760 N. Logo esta geometria parece ser adequada. Além disso, ela é de fabricação mais fácil, pois possui basicamente linhas retas e arredondamentos nos cantos. A Figura (8) ilustra o ponto de união das chapas de alumínio obtido no processo.

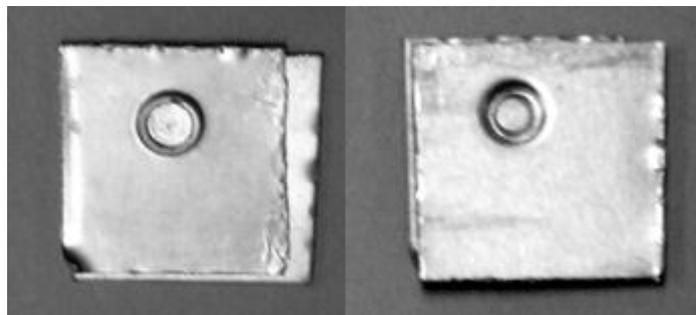


Figura 7. Perfil das chapas na junção com a geometria resultante da matriz superior/inferior.

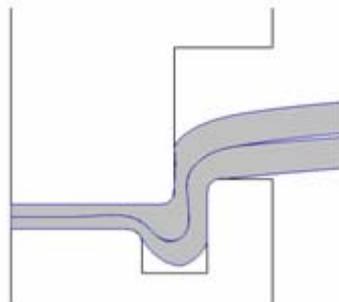


Figura 8. União das chapas de alumínio 1100 pelo processo de *clinching*: vistas inferior e superior.

4. CONCLUSÕES

As geometrias das matrizes possuem grande influência nos níveis de recalque da junção. Foi observado que o diâmetro na ponta do punção deve ser ligeiramente superior ao menor diâmetro da matriz, para que o material seja forçado a formar o recalque. Observou-se ainda, que o sulco da matriz inferior não deve ser muito raso, para evitar que o material seja expulso do recalque, com a tendência de levantar as chapas. O recalque também é influenciado pela largura desse sulco da matriz. Outro fato interessante é que uma ligeira inclinação na ponta da matriz superior parece evitar que haja formação de entalhes na união, o que poderia fragilizá-la. Uma inclinação muito grande, por outro lado, não pareceu justificável e pode, inclusive, diminuir demasiadamente a espessura das chapas no recalque. Viu-se que a adição de um pequeno ressalto na ponta da matriz superior ajuda a melhorar visualmente o recalque, quando os cuidados anteriores são previamente tomados.

As simulações da separação das chapas foram feitas concentrando-se os esforços perpendicularmente às chapas. Os resultados mostraram que há um pico na carga logo do início do

processo. O pico de carga, com a variação da geometria, atingiu-se 760 N, bem maior que os 140 N obtidos na geometria original. Esse pico pode ser, portanto, o parâmetro que indica a resistência à separação de determinado tipo de junta.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa que originou o presente artigo.

6. REFERÊNCIAS

- 1 VARIS, J.P. The suitability of round clinching tools for high-strength structural steel. **Thin-Walled Structures** 40. p.225-238. 2002.
- 2 VARIS, J.P. The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel. **Journal of Materials Processing Technology**. 132. p.242-249. 2003
- 3 VARIS, J.P. LEPISTÖ, J. A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters. **Thin-Walled Structures**. 41. p.691-709. 2003.
- 4 MOTA, C.P.A.; COSTA, N.G. Estudo comparativo entre os processos de união de chapas por Ponto TOX® e solda ponto. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais ABM. Congresso Anual da ABM. **Anais**. Belo Horizonte, 25 a 28 de Julho de 2005. p.2733-2741.
- 5 MALVEIRA, N. EGLAN, S. SCHAEFFER, L. Estudo sobre o processo de junção mecânica para liga de alumínio 1050. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. São Paulo. v.1. n.3. p.22-25. jan. 2005.

THE SIMULATION OF THE CLINCHING OF JOINING METALLIC SHEETS THROUGH THE FINITE ELEMENT METHOD (FEM)

Anderson Avelar de Paula

Haroldo Béria Campos

Maria Teresa Paulino Aguilar

Antônio Eustáquio de Melo Pertence

Paulo Roberto Cetlin

Federal University of Minas Gerais, Department of Mechanical Engineering, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Cep. 31270-901, pertence@ufmg.br

Abstract. *The localized mechanical joining of metallic sheets is of great industrial interest, especially for the car manufacturers. Such joining is advantageous in relation to the conventional sheet joining methods. Rivets and screws demand previous punching of the sheets and lead to harmful stress concentrations, as well as to the possibility of variations in the joining pressures. Welding involves localized heating of the material, which is expensive and conducive to changes in the mechanical properties of the materials. The mechanical joining of sheets, known as “clinching” is similar to a sheet forming operation. The sheets are deformed plastically between rigid punches and dies, without any heating, and the material flows in such a way that a mechanical interference is created and holds the sheets together. The punch and die may be of small diameter, and there is no sheet perforation. The present paper presents an analysis of clinching employing the finite element method (FEM) through the commercial DEFORM 2D software. The usual clinching geometry was analyzed and changes to this geometry are suggested, in order to increase the force necessary to separate the clinched region, considering only efforts perpendicular to this clinched region.*

Keywords: *mechanical joining, clinching, simulation, finite element method.*