

ESTUDO DO PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR CLINCHING

Márcio Bradani Tenório, marciobt@ufpr.br¹
Sérgio Fernando Lajarin, espanhol@gmail.com¹
Manolo Lutero Gipiela, manolo.gipiela@pr.senai.br²
Paulo Victor Prestes Marcondes, marcondes@ufpr.br¹

¹Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 CEP 81531-990, Curitiba/PR.

²Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná, Faculdade de Tecnologia, Rua Senador Accioly Filho, 298 CEP 81310-000, Cidade Industrial, Curitiba/PR.

Resumo: Na indústria metal mecânica em geral, existe a necessidade constante de unir chapas metálicas. Existem diversas maneiras de fazer a união mecânica dessas chapas, algumas desmontáveis como as feitas por parafusos, porcas e pinos; e algumas permanentes como as feitas por solda, colagem adesiva e rebite. Além disso, um método que vem ganhando espaço na indústria, principalmente automobilística, é a união por clinching. Esse método consiste em unir chapas por meio da deformação plástica local sem uso de nenhum elemento adicional de união, apenas por meio da ação de um punção que deforma as chapas contra uma matriz provocando o entrosamento entre elas. Neste trabalho o método de união por clinching foi estudado por meio de experimentos práticos e computacionais utilizando-se o método dos elementos finitos. Foi analisada a influência de duas geometrias de ferramenta e dois materiais, sendo um aço de baixo carbono e uma liga de alumínio. Os resultados foram comparados e foi observado que a simulação computacional é uma ferramenta viável para a definição da ferramenta e dos parâmetros de processo, pois os resultados ficaram próximos aos obtidos na prática.

Palavras-chave: clinching, conformação plástica, união por deformação, chapa metálica.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria metal mecânica em geral, é muito comum a necessidade de unir componentes feitos de chapas metálicas. O setor automotivo, por exemplo, tem a necessidade de unir componentes feitos de chapas para montar a carroceria de veículos. O setor aeronáutico tem a necessidade de unir chapas, principalmente de alumínio, na montagem das aeronaves. Na linha branca, há necessidade de unir chapas de aço de baixo carbono que compõe eletrodomésticos dos mais variados, além de outros setores como de estruturas metálicas, embalagens e outros diversos.

A união de componentes de chapas pode ser feita por meio de algum processo de união permanente como, por exemplo, soldagem e rebite; ou por algum tipo de união desmontável, feita por parafuso, porca, prisioneiro, pino entre outros. Uma técnica de união que vem ganhando espaço na indústria é a união por deformação plástica. Groche *et al.* (2014) fizeram uma revisão sobre essa técnica e apresentam as diversas variações existentes. A mais comum, é conhecida como união por *clinching*. Segundo Varis (2006) ela surgiu na década de 1980 em uma indústria automotiva na montagem de chassis. A técnica consiste em unir chapas a frio por meio da ação de um punção que deforma plasticamente as chapas contra uma matriz. A deformação produz uma região de travamento (*interlock*) que une as chapas ficando com a aparência de uma solda ponto, veja Fig. (1a). Mori *et al.* (2013) citam as principais vantagens dessa técnica: (i) permite unir uma vasta quantidade de materiais incluindo metais com não metais; (ii) menores distorções, fragilização e tensão residual; (iii) alta repetibilidade de processo e controle de qualidade simples, e (iv) ambiente de trabalho seguro.

Assim como acontece nos diversos processos de conformação plástica, a eficiência na união por *clinching* é dependente de uma ferramenta bem projetada e da definição adequada dos parâmetros de processo. Paula *et al.* (2007) investigaram a influência de algumas parâmetros geométricos na ferramenta de *clinching*. Verificaram que mudanças na conicidade e diâmetro do punção, espessura do canal e diâmetro da matriz, forma e profundidade podem prejudicar a espessura de entrosamento e de pescoço da junta abotoada. Lajarin e Tenório (2015) usaram simulação computacional para estudar a influência da geometria da ferramenta de *clinching*, de parâmetros de processo e ferramenta na resistência da junta. Os autores concluíram que o formato da matriz e as escolhas corretas da folga entre punção e matriz, da profundidade da matriz e espessura de fundo influenciam muito no entrosamento entre as chapas e afeta a sua resistência ao arrancamento.

Ampliar o conhecimento sobre o processo de união por *clinching* é importante para ampliar a sua utilização na indústria. Esse trabalho tem como objetivo analisar resultados obtidos por simulação computacional e comparar com resultados experimentais práticos e verificar a viabilidade do uso computacional na definição da geometria e dos parâmetros de processo e ferramenta apropriados, reduzindo a necessidade de testes práticos que na maioria das vezes carecem de tempo e alto custo.

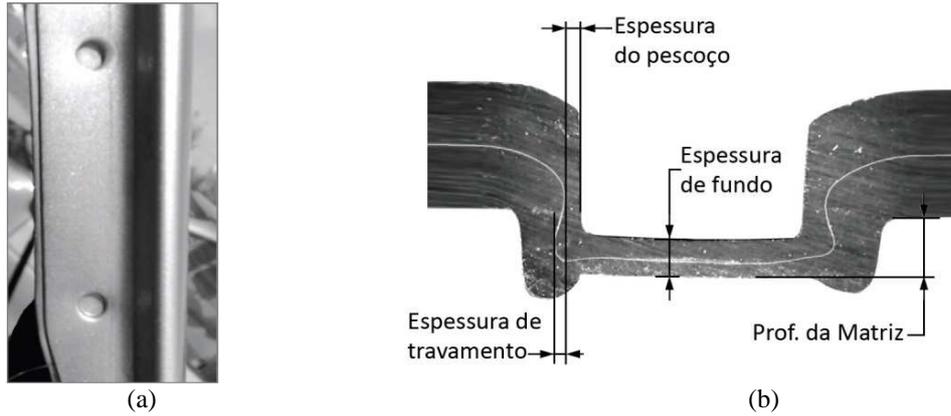


Figura 1. Abotoamento mecânico: (a) Chapas unidas (fonte: Mucha, 2011), (b) vista em corte.

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

Foram escolhidos dois materiais distintos para os experimentos de união mecânica por *clinch*ing. O primeiro é um aço de baixo carbono com matriz ferrítica (ARC05 - EN 10130). O ARC05 é um material projetado para aplicações em estiramento e embutimento profundo, mas tem vasta aplicação na indústria da linha branca, automotiva, coberturas e entre outras. O segundo material é a liga de alumínio (ABNT 5052F), conhecido comercialmente como alumínio naval, sendo também um material largamente utilizado e de grande disponibilidade comercial.

Na Tab (1) são apresentadas algumas propriedades mecânicas dos materiais e na Fig. (2) as curvas tensão versus deformação.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos aços estudados.

Material	Espessura (mm)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência máxima (MPa)	Along. Unif. (%)	Along. Total (%)	Módulo de elasticidade (GPa)	Cofic. de Poisson
Aço ARC05 (EN 10130)	1,5	176	280	24,2	39,3	206	0,3
Liga de AL ABNT 5052F	1,5	90	151	8,2	9,4	72*	0,32*

*Informação de catálogo de fornecedor

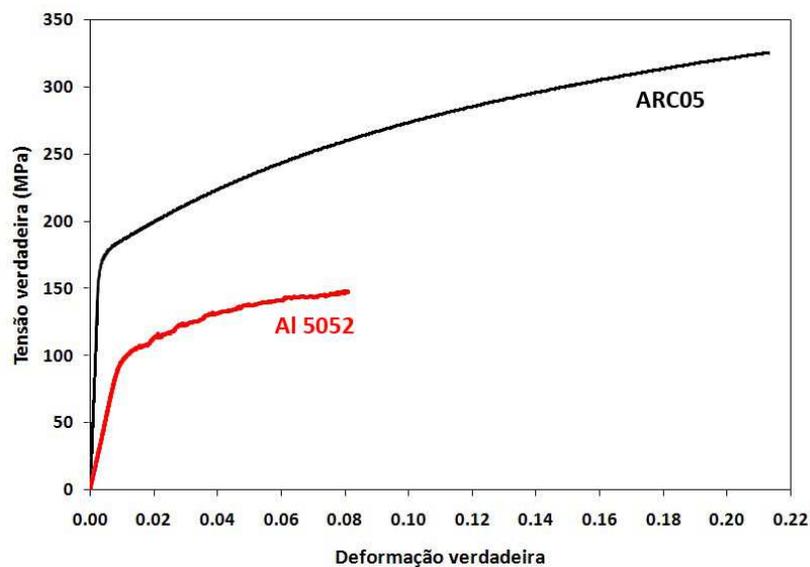


Figura 2. Curvas tensão x deformação verdadeira dos materiais usados.

2.2. Procedimento experimental

2.2.1 Experimentos práticos

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos por meio da simulação computacional usando métodos dos elementos finitos, foram conduzidos experimentos práticos de união por *clinch*ing. Foram fabricadas duas matrizes e um punção em aço ferramenta para trabalho a frio VC131, posteriormente foram temperados e revenidos, resultando em uma dureza média de 60 HRC. As geometrias das matrizes e do punção foram escolhidas a partir do trabalho de Lajarin e Tenorio (2015). A matriz (A), ilustrada na Fig. (3a) possui um canal circunferencial profundo, estreito com e com parede formando um ângulo de 70°. A matriz (B), Fig. (3b) tem canal com perfil quadrado. Ambas tem Ø10 mm e profundidade de 1,65 mm. A folga entre punção e matriz é de 1,3 mm por lado, a espessura de fundo após o ensaio foi de 1,4 mm.

A matriz e o punção foram adaptadas e montadas em um porta-ferramenta de puncionamento construído e utilizado por Gipiela (2013) e, posteriormente o porta-ferramenta foi montado em uma máquina de ensaio uniaxial de tração, conforme Fig. (4a) e (4b).

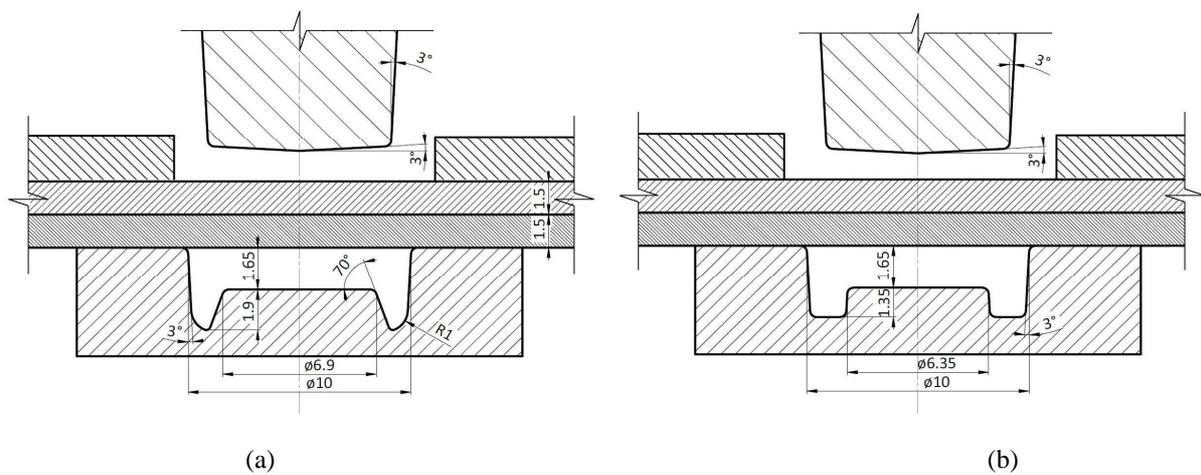


Figura 3. Geometrias das ferramentas de *clinch*ing, em (a) matriz com canal estreito com ponta arqueada em (b) canal quadrado.



Figura 4. Equipamento de ensaios de *clinch*ing; em (a) porta-ferramenta, em (b) máquina de ensaio uniaxial de tração e em (c) dispositivo para ensaio de arrancamento.

2.2.2 Experimentos computacionais

O estudo da união por clinching descrito na seção anterior com duas geometrias e dois materiais diferentes foi realizado também por meio de simulações numéricas usando o aplicativo comercial ABAQUS com abordagem dinâmica explícita. Devido as ferramentas serem cilíndricas foi construído um modelo axissimétrico para redução de tempo computacional. O punção, matriz e prensa-chapas foram considerados componentes rígidos e as chapas deformáveis com malha de elementos sólidos quadriláteros com quatro nós e integração reduzida (CAX4R) (ABAQUS, 2012). Para manter a boa qualidade da malha sobre grande deformação na região do *clinching*, foi utilizada uma técnica de malha adaptativa que combina análises Lagrangiana e Euleriana.

Na Fig. (4) pode ser visto o malhamento das chapas. Foram definidos 10 elementos ao longo da espessura. Na região de maior deformação foram definidos elementos com 0.08 mm na horizontal, porém fora da região de deformação os elementos aumentam gradualmente na horizontal até atingir 1 mm.

Os materiais foram definidos por meio da densidade de $7.8E-9 \text{ Ton/mm}^3$ (equivalente a 7800 kg/m^3). O regime elástico foi caracterizado pelo módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson informados na Tab (1). O comportamento em regime plástico foi definido pela curva de tensão x deformação verdadeira em regime plástico extrapolado pela equação de Hollomon $\sigma=K\varepsilon^n$.

As interações de contato no modelo foram definidas aos pares e obedecem ao algoritmo de penalidade (*Penalty contact method*), que apesar de menos preciso que o algoritmo de cinemática (*Kinematic contact method*) é mais abrangente no tratamento de condições de contato (ABAQUS, 2012). Foi definido um atrito com coeficiente de 0,1.

As simulações foram realizadas em três passos (*steps*), no primeiro o punção se desloca empurrando as chapas contra a matriz, produzindo o *clinching*; no segundo passo as ferramentas sólidas são afastadas e por fim, no terceiro passo é simulado o arrancamento onde as chapas são puxadas pelas extremidades em sentidos opostos.

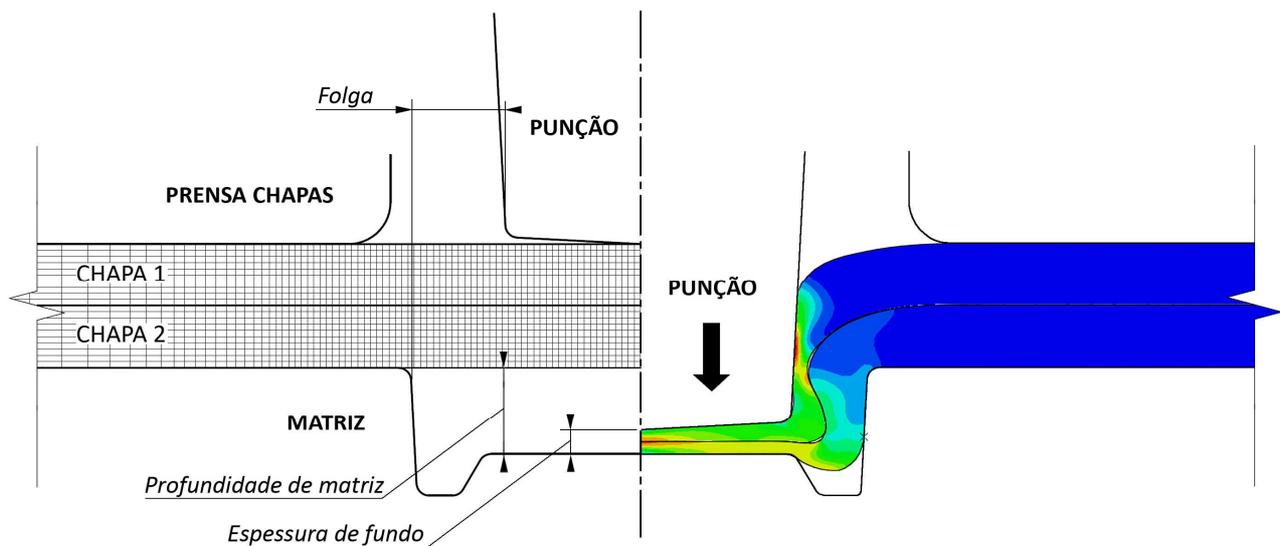


Figura 5. Modelo computacional da ferramenta do *clinching*.

3. RESULTADOS

Na Fig. (6) é mostrado o perfil da seção da junta obtida no experimento prático em comparação com a simulação computacional para o aço ARC05 e para a liga de Al5052F utilizando a matriz (A). O perfil da seção da junta simulada computacionalmente foi semelhante ao verificado no experimento prático.

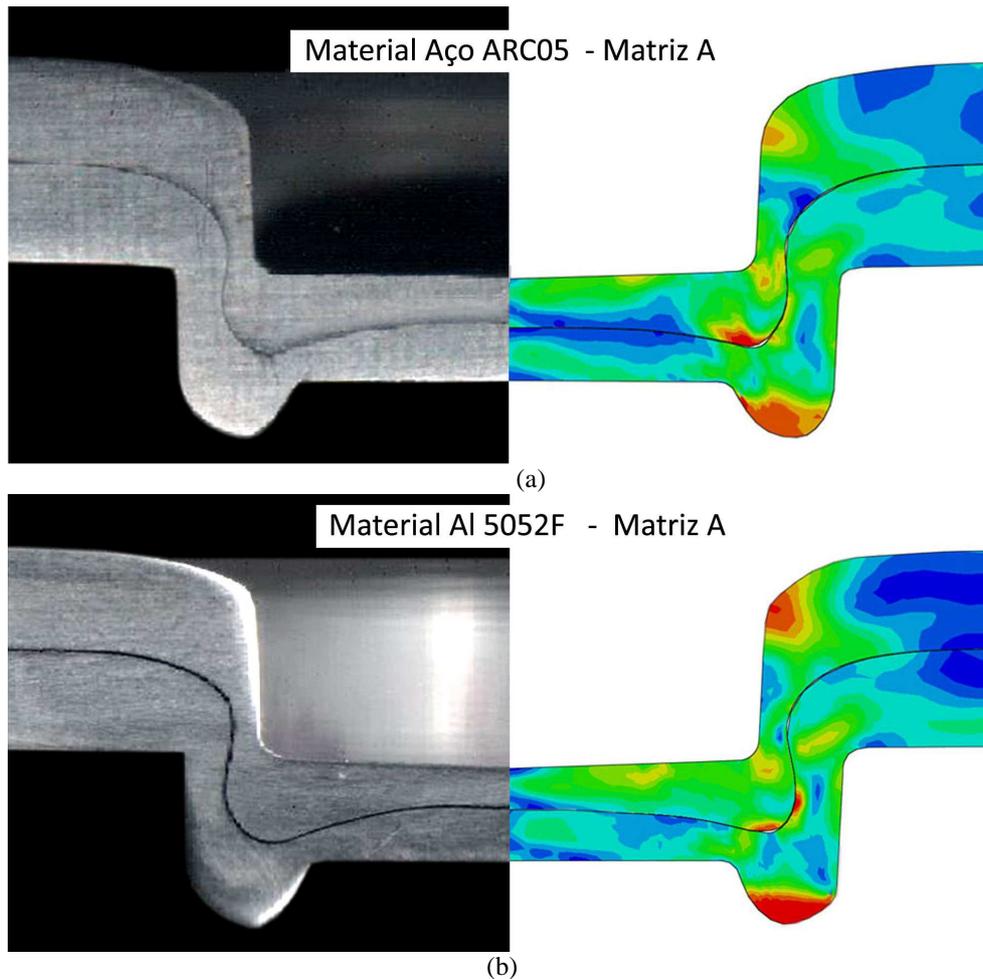


Figura 6. Comparação do perfil de *clenching*: experimentos práticos versus simulação; em (a) aço ARC05, em (b) a liga de Al5052F, ambos com a matriz A.

Na fig. (7) é apresentada a curva de variação da força aplicada durante o ensaio do *clenching* com o aço ARC05 e com a liga de alumínio 5052F. O punção se desloca empurrando as chapas contra a matriz e após 1,65 mm de deslocamento as chapas encostam no fundo da matriz, fazendo com que a força aumente ainda mais, pois o material é forçado a escoar para o canal da matriz. Pode ser observado que para ambos os materiais os resultados práticos e computacionais foram muito próximos. Na matriz (a) com o aço ARC05 a força máxima na simulação atingiu 56000 N e no experimento prático 53000 N. Na matriz (a) com a liga de alumínio 5052F a força máxima atingiu 34000 N na simulação e 20000 N no experimento prático.

Após a etapa de união das chapas, os corpos de prova foram submetidos ao teste de arrancamento axial. A Fig. (6) mostra os resultados da força máxima durante a etapa de arrancamento com o aço ARC05 e com a liga de alumínio 5052F. Para as amostras de aço ARC05 unidas utilizando a matriz (A), a resistência máxima foi de 868 N e 920 N, respectivamente, entre o experimento prático e a simulação. Para as amostras unidas utilizando a matriz (B), obteve-se força máxima de 751 N e 738 N, respectivamente para o experimento prático e a simulação.

Os resultados de força máxima no arrancamento com o ARC05 mostrou que o modelo computacional conseguiu simular com bastante proximidade os resultados práticos, com diferenças de 6% e 1,7% para as matrizes (A) e (B), respectivamente.

Pode ser observado ainda que a resistência ao arrancamento com a matriz (A) foi maior do que com a matriz (B), em torno de 16%. Devido aos parâmetros de processo serem os mesmos, esse resultado foi influenciado exclusivamente pela geometria da matriz, mostrando que a escolha de uma geometria adequada para a matriz pode afetar significativamente a resistência da junta.

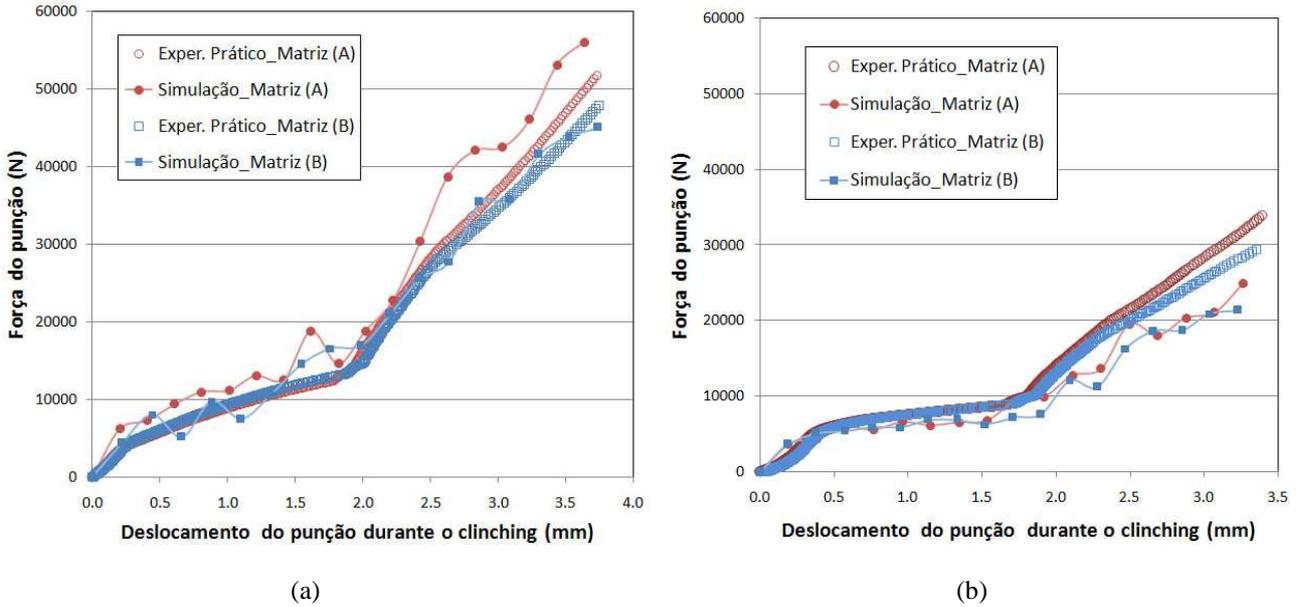


Figura 7. Resultado da força do punção durante o *clinch*ing, em (a) material aço ARC05 e em (B) Al 5052F.

Na Fig. (8) são apresentados os resultados da força máxima no arrancamento do alumínio 5052F. Para a matriz (A), se obteve força máxima de 874 N e 769 N, respectivamente, entre o experimento prático e a simulação. Para a matriz (B), obteve-se força máxima de 832 N e 705 N, respectivamente para o experimento prático e a simulação. Os resultados indicaram também que a força de entrosamento das chapas de alumínio na matriz (A) foi superior à da matriz (B), tanto no experimento prático como no computacional. Esses resultados indicam que a geometria da matriz (A) proporcionou uma união entre as chapas com melhor entrosamento do que a matriz (B).

Diferente do que ocorreu com o ARC05, a diferença na força máxima no arrancamento obtida na prática e a simulada computacionalmente foi maior, 12% utilizando a matriz (A) e 15% utilizando a matriz (B).

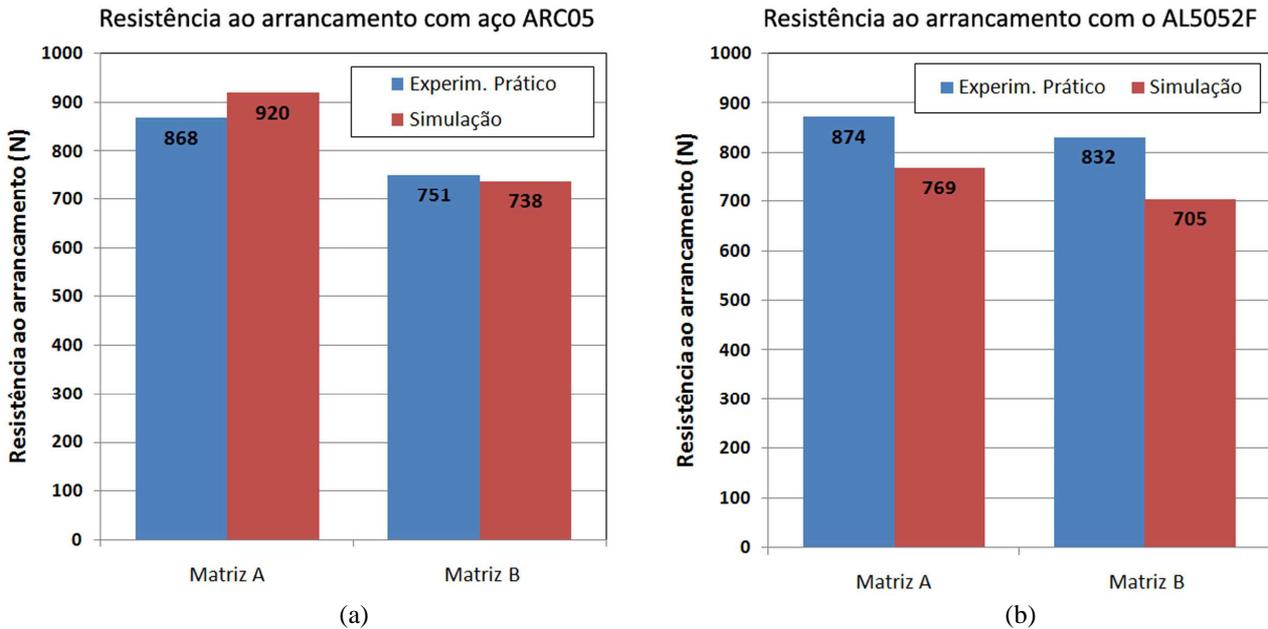


Figura 3. Resultado da força máxima no arrancamento prático versus simulação, em (a) com o aço ARC05 e em (b) com a liga de alumínio 5052F.

4. CONCLUSÃO

O método dos elementos finitos e o aplicativo comercial ABAQUS podem ser usados para simular o processo de *clinch*, usando um modelo axissimétrico. A definição da geometria e os parâmetros da ferramenta ideal podem ser investigadas computacionalmente reduzindo os custos e o tempo com testes práticos. Nos experimentos computacionais versus práticos os seguintes resultados foram observados:

- O perfil da junta simulada computacionalmente ficou semelhante a obtida nos experimentos práticos;
- A força registrada durante o deslocamento do punção ficou muito próxima, tanto para a liga de alumínio quanto para o aço ARC05;
- A força máxima no arrancamento com o ARC05 apresentou resultados próximos, com diferenças de 6% e 1,7% para as matrizes (A) e (B), respectivamente. Com a liga de alumínio a diferença foi maior, 12% utilizando a matriz (A) e 15% utilizando a matriz (B).
- A força exigida na união por *clinch* nos dois materiais ensaiados foi próxima até o deslocamento do punção de 1,65 mm. A partir dessa profundidade as chapas atingem o fundo da matriz e começam a escoar para o canal, com isso a força exigida aumenta proporcionalmente à resistência mecânica de cada material.

5. REFERÊNCIAS

- ABAQUS, Inc. ABAQUS Theory Manual, version 6.12, 2012
- Gipela, M. L., 2013, “Estudo da expansão de furos e conformabilidade de chapas de aço multifásico CPW800”, Tese de doutorado, Pós Graduação em Eng. Mecânica, UFPR.
- Groch et al., 2014, “Joining by forming - A review on joint mechanisms, applications and future trends”, J. Mater. Process. Tech., Vol. 214, No. 10, pp. 1972-1994.
- Lajarin, S. F., Tenorio, M. B., 2015 “Simulação por elementos finitos da influência da geometria de ferramenta na união por clinching”, 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Salvador, Bahia, Brasil.
- Mucha, J., KASCAK, E., SPISAK, E., 2011, “Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements”, ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING, Vol. XI, No. 1.
- Paula, A.A., et al., 2007, “Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, pp. 352-357.
- VARIS, J., 2006, “Economics of clinched joint compared to riveted joint and example of applying calculations to a volume product”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 172, pp. 130-138.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.

STUDY OF JOINING PROCESS BY CLINCHING

***Abstract:** In the metalworking industry in general, there is a constant need to join sheet metal. There are several ways of mechanically joining these sheets, some of which are detachable like those made by screws, nuts and bolts; and some permanent ones such as those made by welding, adhesive bonding and rivet. In addition, a method that has been gaining space in the industry, mainly automobile, is the union by clinching. This method consists of joining sheets by means of the local plastic deformation without the use of any additional element of union, only by means of the action of a punch that deforms the sheets against a matrix causing the intermixing between them. In this work the clinching method was studied by means of practical and computational experiments using the finite element method. The influence of two tool geometries and two materials was analyzed, being a low carbon steel and an aluminum alloy. The results were compared and it was observed that the computational simulation is a viable tool for the definition of the tool and the process parameters, since the results were close to those obtained in practice.*

***Keywords:** clinching, plastic forming, bonding by deformation, sheet metal.*