

União de Chapas na Indústria Automobilística Pelo Processo de *Clinching* Versus Processo de Solda Ponto

Union of sheet metal in the automotive industry for clinching process versus spot welding

Leandro Dias Machado¹

Charles Satlher Teixeira¹

Thawara Medina Celli Paes²

Horácio Guimarães Delgado Junior^{1,2,4}

Alexandre Alvarenga Palmeira³

Roberto de Oliveira Magnago^{1,4}

Palavra chave:

Clinching,
solda a ponto,
Cisalhamento,
Arrancamento

Resumo:

O presente trabalho objetiva comparar a união de chapas processo de *clinchning* versus processo de solda ponto por resistência elétrica, onde foi realizado ensaios de resistência a arrancamento e cisalhamento de corpos de prova unidos por ambos processos. A caracterização metalográfica demonstrou que a estrutura da chapa, tanto da união por *clinchning* quanto por Solda a Ponto por Resistência Elétrica, apresentou variações significativas somente na região próxima a união, conforme era esperado. A união obtida por *clinchning* foi de 27% do valor de F_{AMM} (Força de Arrancamento Máxima Média) da união Solda a Ponto por Resistência Elétrica. A resistência ao cisalhamento da união por *clinchning* foi de 40% do valor da resistência ao cisalhamento da união por Solda a Ponto por Resistência Elétrica. Em ambos os ensaios a união por Solda a Ponto por Resistência Elétrica mostrou ser mais resistente garantindo assim melhor união.

Abstract:

This paper aims to compare the process of joining plates clinching process versus spot welding, which was performed resistance assays pullout and shear specimens joined by both processes. The metallographic characterization showed that the structure of the plate, both by the union and by clinching point for spot welding, showed significant changes only in the region close to unity, as expected. The union obtained by clinching was 27% of the union F_{AMM} (Average Pullout Force) spot welding. The shear strength of the union by clinching was 40% of the shear strength of the union by the spot welding. In both trials the union by the spot welding proved more resistant thus ensuring better union.

Keywords:

Clinching,
Spot welding,
Shear,
Pullout

¹ Fundação Osvaldo Aranha - UniFOA

² Universidade Federal Fluminense - UFF

³ Universidade de São Paulo - EEL/USP - Lorena, São Paulo

⁴ Universidade do Estado Rio de Janeiro - UERJ

1. Introdução

A união das chapas que compõem a carroceria de um veículo é realizada através de processos de soldagem, sejam eles MIG/MAG, TIG, resistência elétrica, etc. Dentre todos, este último, resistência elétrica, possui uma grande aplicação, em função de permitir uma boa qualidade da união entre as partes, o mesmo pode ser automatizado e/ou robotizado, além de sua simplicidade, facilidade de utilização, grande capacidade de reprodutibilidade da característica da união, e grande facilidade de reprodutibilidade.

O presente trabalho procura discutir os diversos aspectos associados à utilização do processo de *clinking* comparando ao processo de solda ponto por resistência elétrica onde seu uso se destaca na indústria automobilística.

2. Processo de Soldagem por Resistência

Para realizar uma solda a ponto, que é uma subclassificação de soldagem por resistência, duas chapas ou mais, são colocadas sobrepostas, sendo pressionadas por eletrodos para garantir um bom contato elétrico [1]. A Figura 1 mostra a sequência básica de um ciclo de soldagem a ponto. Sendo F_E a força de soldagem e I_S a corrente de soldagem. O tempo compreendido entre as fases 1 e 6 chama-se tempo de soldagem. Na etapa 1, os eletrodos iniciam o processo de descida para que as chapas sejam pressionadas. As chapas devem ser pressionadas de tal forma que ocorra um bom assentamento e evite problemas como expulsão de metal fundido da zona de solda, este processo ocorre na etapa 2. Na etapa 3, os eletrodos são mantidos sobre pressão e a corrente de soldagem é liberada, inicia-se então o processo de formação do ponto de solda. Na etapa 4, o ponto de solda já formado, a corrente de soldagem é desligada, porém os eletrodos são mantidos sobre pressão para que o ponto de solda solidifique sob pressão. Após a solidificação do ponto de solda, a força de soldagem aplicada pelos eletrodos é desligada até a aber-

tura total dos eletrodos, esse processo ocorre nas etapas 5 e 6 [2].

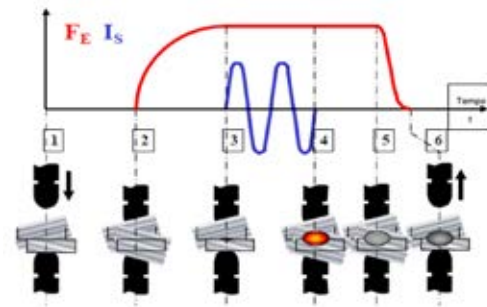


Figura 1: Soldagem por resistência elétrica

Após a conclusão do ciclo de soldagem, um ponto de solda deverá ter sido formado, como mostrado na Figura 2. O ponto de solda e a região da solda devem ter algumas características. Tais como apresentar um diâmetro mínimo especificado por norma, bem como uma profundidade de penetração na área soldada. A endentação é a uma impressão deixada pelos eletrodos na chapa durante o processo de soldagem, sendo desejável que ela seja a mínima possível [3 e 4].

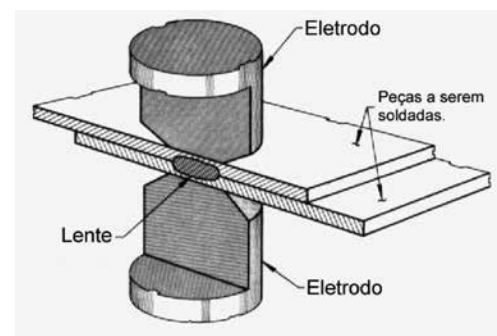


Figura 2: Características do ponto de solda

2.1. Processo de união de chapas por conformação - *clinking*

Segundo a Tox® Pressotechnik [5], o processo de União de Chapas por Conformação a Frio (UCCF), também conhecido como *clinking* ou Ponto Tox® é o processo que utilizando dos regimes elástico/plástico de cada material, pela ação da conformação, resultará na união das chapas, por engastamento com propriedades de resistência a destacamento e cisalhamento, com repetibilidade e controle. No elemento ocorre o encruamento do material devido à deformação plástica imposta pela ferramenta. O encruamento aumenta a resis-

tência do material da chapa nos locais onde o ponto é mais solicitado (não há fatores que causam concentração de tensão em torno do elemento) [6].

A Figura 3, a seguir, mostra seções transversais do elemento de junta cilíndrico realizado por este processo [7].

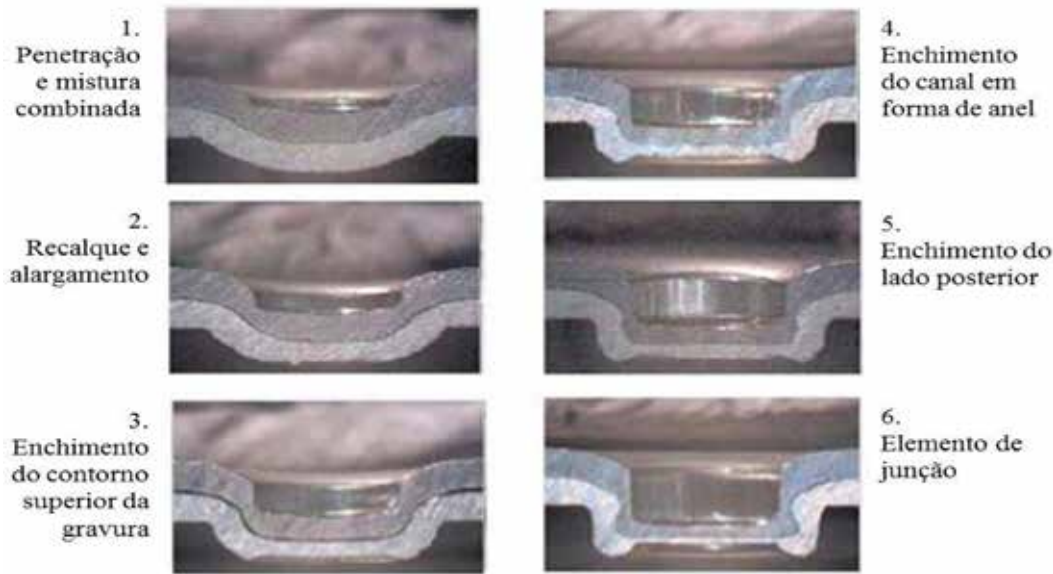


Figura 3: Seções transversais de junta cilíndrico

2.2. Procedimento Experimental

Os ensaios experimentais de *clinking* e solda a ponto por resistência elétrica foram efetuados com o material Aço B53 3106 ES 0,67mm, com revestimento galvanizado. A superfície da folha é uniforme e apresenta boa capacidade de proteção. Além disso, o revestimento galvanizado é isento de chumbo, apresenta boas características anti corrosão e previne fratura na camada galvânica quando em esforço. Este material é utilizado para fabricação de elementos de carroceria de veículos automotores.

Com intuito de comparar os dois processos apresentados, tomamos por base o diâmetro do ponto de união *clinking* determinado pela TOX® e utilizamos a medida de 6 mm para união de chapas pelo processo de soldagem por resistência elétrica. O corpo de prova utilizado nos ensaios de destacamento (arrancamento) e cisalhamento para os dois processos de união de chapas segue o mesmo padrão para os ensaios de UCCF (União de Chapas por Conformação a Frio) [5, 8 e 9], conforme *lay-out* apresentado na Figura 4.

Foram realizados dois principais tipo de ensaios: Arrancamento (tração) e cisalhamen-

to, seguindo a orientação da TOX [5], foram ensaiados 5 corpos de prova para cada tipo de processo. Os ensaios estáticos dos materiais foram realizados no laboratório do UniFOA, na máquina universal de tração EMIC DL 10000, capacidade máx. de 100 kN, na temperatura de 23°C e velocidade de deslocamento de 5mm/min, seguindo a recomendação de condição quase estática definida por Lin et. al. [10] e Lee et. al. [11].

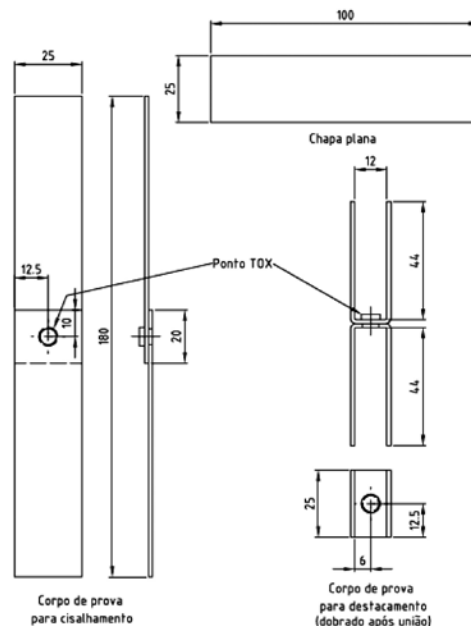


Figura 4: Lay-out do corpo de prova

3. Resultados e Discussões

3.1. Análise Metalográfica

Nas Figuras 5 e 6, a seguir, é apresentada a macrografia do ponto *Clinching* atacado com reagente de Iodo á 4 minutos, podemos observar que na formação da união, as regiões claras (D) são a estrutura sem alteração, as regiões mais escuras (A, B e C), onde o material sofre maiores deformações plásticas ocorre o encruamento dos grãos aumentando a dureza e a resistência da união.

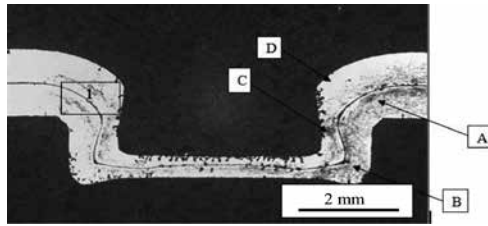


Figura 5: Macrografia de um ponto *clinch*

Na micrografia (Figura 6), podemos observar as linhas de concentração de tensões regiões encruadas (B, C), e os contornos de grãos da união (A, D) regiões sem alteração da estrutura do material.

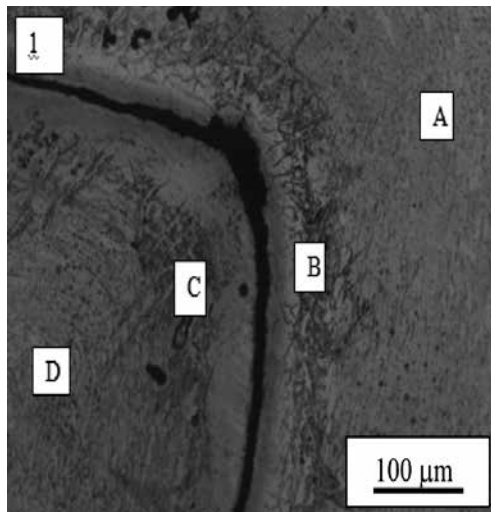


Figura 6: Micrografia de um ponto *clinch*.

Na macrografia do ponto de Solda por Resistência Elétrica atacado com reagente de Iodo á 4 minutos (Figura 7), podemos observar a região de fusão do material (a), a zona térmica afetada do ponto (b) e o metal de base (c).

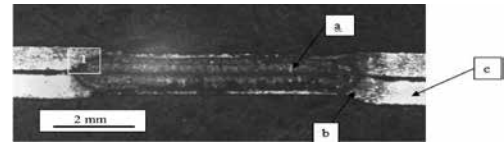


Figura 7: Macrografia de um ponto de Solda por Resistência Elétrica.

Na micrografia do ponto de Solda por Resistência Elétrica (Figura 8), podemos observar na região de fusão do ponto (A), uma mudança do tamanho dos contornos de grãos provocados pelo aumento da temperatura e resfriamento rápido, na zona térmica afetada pelo calor (B) a mudança da estrutura do material, e na região (C) os contornos de grãos do metal de base sem alteração da estrutura do material.

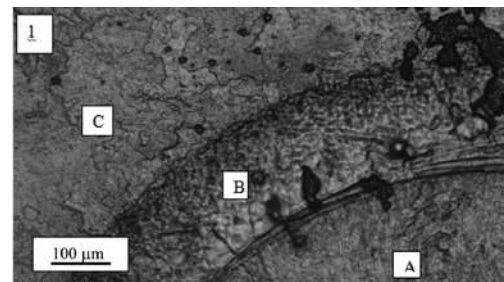
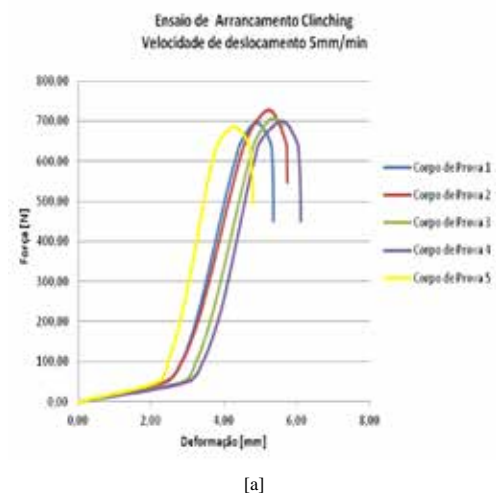
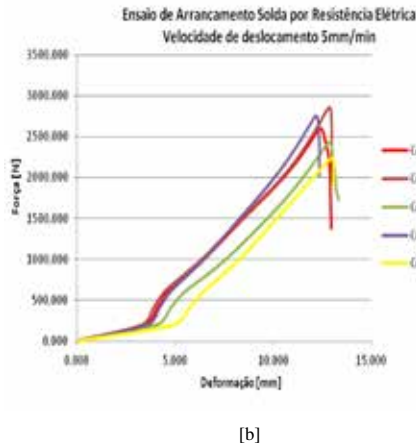


Figura 8: Micrografia de um ponto de Solda por Resistência Elétrica.

3.2. Ensaios de Arrancamento Clinching X Solda Ponto por Resistência Elétrica

No ensaio de arrancamento do *clinch* foi utilizado uma célula de carga com capacidade de 5 kN, assim como no de Solda por Resistência, os quais apresentaram os seguintes resultados (Figura 9).



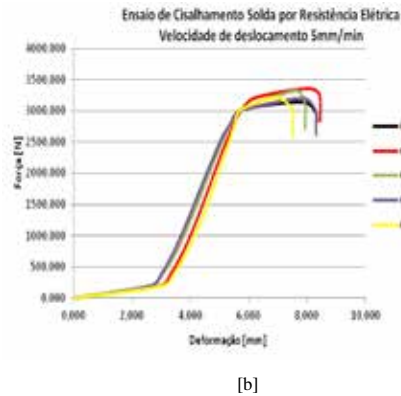
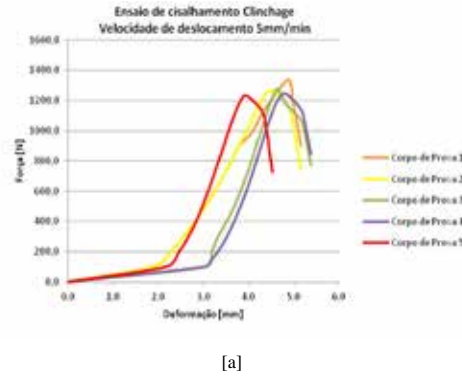
[b]
Figura 9: Resultados dos ensaios de arrancamento

Podemos observar que a união por conformação a frio diâmetro de 6 mm apresentaram Força de Arrancamento Máximo Médio (F_{AMM}) de 700 N com uma deformação de 5mm, a união obtida por solda a ponto por resistência elétrica, com mesmo diâmetro, apresentou F_{AMM} aproximadas de 2.900N com uma deformação de 13mm. Sendo assim a F_{AMM} da união por *clinch*ing foi de 27% do valor de F_{AMM} da união Solda a Ponto por Resistência Elétrica.

3.3. Ensaio de Cisalhamento Clinching X Solda a Ponto por Resistência Elétrica

Assim como no ensaio anterior, nos ensaios de cisalhamento *Clinching* foram utilizados uma célula de carga com capacidade de 5kN, e no de Solda a Ponto por Resistência Elétrica uma célula de carga com capacidade de 10 kN, os quais apresentaram os seguintes resultados Figura 10.

Nos resultados dos ensaios de cisalhamento Figura 10, podemos observar que a união por conformação a frio diâmetro 6mm apresenta força de cisalhamento média de 1.270N a deformações de 4,7mm, e a Solda por Resistência Elétrica do mesmo diâmetro força de ruptura média de 3.250N a deformações de 6mm. A resistência ao cisalhamento da união por *clinch*ing foi de 40% do valor da resistência ao cisalhamento da união por Solda a Ponto por Resistência Elétrica.

[b]
Figura 10: Resultados dos ensaios de cisalhamento.

4. Conclusões

A caracterização metalográfica demonstrou que a estrutura da chapa, tanto da união por *clinch*ing quanto por Solda a Ponto por Resistência Elétrica, apresentou variações significativas somente na região próxima a união. A união obtida por solda a ponto por resistência elétrica apresentou F_{AMM} aproximadas de 2.900N com uma deformação de 13mm. Sendo assim a F_{AMM} da união por *clinch*ing foi de 27% do valor de F_{AMM} da união Solda a Ponto por Resistência Elétrica. Com relação aos resultados dos ensaios de cisalhamento a união por solda a ponto por resistência elétrica apresentou força de ruptura média de 3.250N a deformações de 6mm. A resistência ao cisalhamento da união por *clinch*ing foi de 40% do valor da resistência ao cisalhamento da união por Solda a Ponto por Resistência Elétrica. Em ambos os ensaios a união por Solda a Ponto por Resistência Elétrica mostrou ser mais resistente garantindo assim melhor união.

5. Referencias

- [1] Intermachinery Comércio Ltda. Manual de Soldagem por Resistência a Ponto. São Paulo – 2003.
- [2] AWS (Americam Welding Society), Welding Handbook. Vol 1 e 2. USA, 2002
- [3] Agashe, S.; Zhang, H. Selection of Schedules Based on Heat Balance in Resistance Spot Welding. Welding Journal, Jul. 2003, p. 179 S – 183S.
- [4] Zhou, M; Zhang, H.; Hu, S. J. Relationships Between Quality and Attributes of Spot Welds. Welding Journal, April 2003, p. 72S – 77S.
- [5] TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG, Training TOX - Technology, SU 80.0804.01, p. 1–44, [entre 2000 e 2011].
- [6] CARBONI, M.; BERET TA, S.; MONNO, M. Fatigue behaviour of tensile-shear loaded clinched joints. Engineering Fracture Mechanics, Milano, v. 73, n. 2, p. 178 – 190, 2006.
- [7] 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 Struct, 2003. v. 41, n 8, p. 691-709, 2003.
- [8] ZHOU, M.; HU, S. J.; ZHANG, H. Critical Specimen Sizes for Tensile-Shear Testing of Steel Sheets. Welding Research Supplement, p. 305 – 312, Sept. 1999.
- [9] Mucha J.: Up to date metal sheet joining methods (Clinching) (in Polish), Mechanik, Vol. 80, No. 11, 2007, pp. 932–939.
- [10] LIN, S. H.; PAN, J.; TYAN, T.; PRASAD, P. A general failure criteria for spot welds under combined loading conditions. International Journal of Solids and Structures, v. 40, p. 5539–5564, 2003.
- [11] LEE, Y. L.; WEHNER, T. J.; Lu, M. W.; MORRISETT, T. W.; PAKALNINS, E. Ultimate Strength of Resistance Spot Weld Subject to Combined Tension and Shear. Journal of Testing and Evaluation, v. 26, p. 213 – 219, May 1998.