

# ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE UNIÃO DE CHAPAS POR PONTO TOX® E SOLDA PONTO

*Conrado Paixão de Azevedo Mota<sup>(1)</sup>  
Necésio Gomes Costa<sup>(2)</sup>*

## Resumo

Este trabalho visa comparar os processos de união de chapas utilizados nas indústrias automobilísticas: Solda a Ponto e por Ponto TOX®. Chapas de 1,2 mm e 0,8 mm de espessura, foram unidas pelos dois processos. Ensaios de Tração para obtenção da força de cisalhamento e de destacamento foram realizados. Análises micrográficas foram feitas, visando identificar defeitos metalúrgicos e medir a variação de espessuras após a união. Os valores de força de cisalhamento para as chapas unidas por Ponto TOX® foram aproximadamente 50% inferiores aos valores encontrados por Solda a Ponto. Estes resultados viabilizam a substituição da Solda a Ponto por união TOX®. Os resultados dos ensaios de destacamento não foram suficientes para satisfazer os quesitos de projetos, tal resultado poderia ser alcançado com um aumento no número de uniões por Ponto Tox®. Os desvios padrões foram muito altos, sugerindo uma análise da forma com a qual o ensaio foi realizado. Um ensaio diferente poderia concentrar os esforços perpendicularmente ao ponto, causando o destacamento da união por rompimento e não por desencaixe do ponto, como ocorreu nos ensaios efetuados. A redução de espessura na chapa em contato com o punção, no processo de união TOX®, foi de 84%. Esta redução de espessura poderá fragilizar a união, caso partes metálicas infiltrem entre as chapas no momento da execução do ponto, sendo assim necessário a limpeza das ferramentas.

**Palavras-chave:** Ponto TOX®, Solda a ponto; Força de cisalhamento; Força de destacamento.

(1) Engenheiro de Produção Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá em dezembro de 2004.

(2) Professor da Universidade Federal de Itajubá.

(3) 60° Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – 2005.

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o processo de união de chapas mais utilizado na indústria automobilística é a Solda a Ponto. Esta técnica consiste na aplicação de alta intensidade de corrente elétrica num determinado ponto e simultaneamente há a aplicação de uma força durante certo tempo ocorrendo assim a fusão dos materiais e a conseqüente união, (WAINER, 1992). Este processo apresenta algumas desvantagens tais como: sistema de refrigeração complexo; altíssimo consumo de energia elétrica; risco de corrosão; processo insalubre e complexidade no padrão de conformidade dos pontos.

Um processo alternativo de união é o Ponto TOX® . Este processo se dá por meio de uma prensa acionada por um cilindro hidráulico ou pneumático, onde um conjunto de matriz e punção se encarrega de unir as chapas por deformação mecânica. Comparativamente à solda a ponto este processo é mais vantajoso por apresentar maior praticidade. A Tabela 1 apresenta um sumário das principais vantagens e desvantagens deste processo.

Este trabalho tem como objetivo estudar comparativamente os dois processos de união: Solda a Ponto e o Ponto TOX®. A comparação entre estes dois processos foi realizada segundo as propriedades de resistência ao cisalhamento e ao destacamento. Análise metalográfica das regiões de união também foi realizada.

**Tabela 1.** Principais Vantagens e desvantagens da união por Ponto TOX®

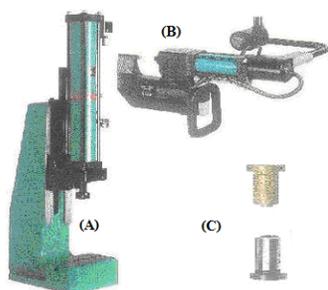
<b>VANTAGENS</b>	Usa mesma rede de ar das pinças de solda a ponto (5-6 Bar). Consumo de energia elétrica em torno de 500 W. O material flui junto ao punção, não causando danos aos tratamentos de chapas (não possibilitando a ocorrência de corrosão). Não afeta o meio ambiente. Não possui sistema de refrigeração. Não insalubre. Maior resistência dinâmica (vibração). Vida útil de ferramenta cerca de até 300.000 pontos de união. É um processo muito mais econômico.
<b>DESVANTAGENS</b>	Menor resistência a esforços estáticos, cerca de 60% da SaP. Ressalto criado pela união. Variações nas chapas podem ocasionar variações na resistência do ponto. É um processo relativamente novo, não tendo assim um histórico de seu funcionamento para ser pesquisado.

(Fonte: Catálogo Toxpressotechnik – 2003/4)

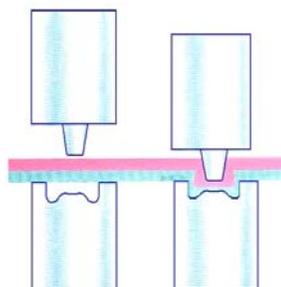
## 2 PROCESSO PONTO TOX®

O equipamento utilizado para o processo TOX® consiste de um alicate ou de uma prensa estacionária que levam um conjunto de matriz e punção para a execução da união. Uma imagem do equipamento e um desenho esquemático da formação da união estão apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

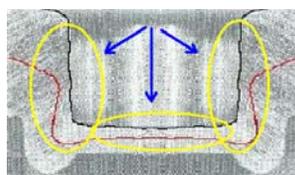
Neste processo, inicialmente o punção deforma mecanicamente as chapas ocorrendo um encruamento da região em que o punção está em contato. Este encruamento faz com que a dureza da região se eleve, aumentando a resistência à deformação nestas partes; o que conseqüentemente dificulta a flambagem das paredes da chapa cravada. Grande parte da resistência ao cisalhamento e destacamento provém desta etapa. A micrografia da união de duas chapas em corte transversal está apresentada na Figura 3. Nesta figura também pode se observar a região que tem maior tendência ao encruamento (regiões dos círculos).



**Figura 1.** Equipamento da TOX®, prensa (a), alicate (b) e conjuntos de punção e matriz (c).



**Figura 2.** Desenho esquemático do Conjunto matriz e punção fixa simulando uma união.



**Figura 3.** Micrografia (50x) com indicação da região encruada (círculos).

O processo de união por Ponto TOX® permite a união de chapas com até 6 mm de espessura cada, no caso de duas chapas, porém é possível realizar a união de mais de duas chapas, podendo elas ainda ser de diferentes composições. A chapa mais grossa deve ser cravada na mais fina e esta não pode ter mais que duas vezes e meia a espessura da mais fina. O mesmo ocorre para chapas mais duras.

O processo apresenta cinco variáveis: a espessura das chapas (parâmetro “e”), a espessura da união (parâmetro “X”), a força de união (parâmetro “F”), o tipo de material das chapas e o diâmetro do conjunto de matriz e punção. As variáveis força e diâmetro do conjunto de matriz e punção são definidas a partir da espessura “e” e do tipo do material, já a espessura da união “X” é usada como forma de controle da união. A Figura 4 apresenta um desenho esquemático da união, onde são mostrados os parâmetros “X” e “e”.

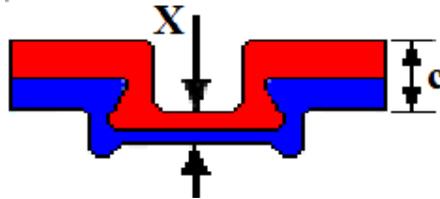


Figura 4. União apresentando os parâmetros de espessuras (“e” e “X”).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Uniu-se pelos processos de Solda a Ponto e Ponto Tox® chapas de aço baixo carbono acalmado ao alumínio, não ligado e não zincado, laminado á frio e com características especiais para estampagem, (equivalente ao EEP-PC da norma NBR 5915), com espessuras de 1,2 e 0,8 mm. Estes materiais foram escolhidos devido serem os mais usados em um determinado automóvel.

Amostras retangulares de 150 x 50 mm e 150 x 80 mm foram cortadas utilizando a tesoura de corte linear da marca Himeca números 30-08 e 30-07 para as faixas de espessura de 0,6 -1,0mm e 0,6 -2,0mm respectivamente. As amostras de 150 x 50 mm foram unidas por um só ponto, enquanto as amostras de 150 x 80 mm foram unidas por dois pontos.

A Toxpressotechnik, fornecedora do processo Tox®, executou as uniões por ponto Tox®. Foi utilizado uma prensa hidro-pneumática modelo CEU15 da Toxpressotechnik com capacidade de 15 toneladas, alimentada por uma rede de 6 Bar de ar comprimido. O conjunto de matriz e punção utilizado foi: Punção A54100 e Matriz BC8018. As amostras soldadas a ponto foram feitas na própria linha de fabricação do automóvel. A Tabela 2 apresenta os parâmetros usados pela Solda a Ponto e pelo Ponto Tox®. A máquina de solda a ponto e o transformador utilizado, são da marca FASE. Os parâmetros das uniões por Ponto Tox®, foram definidos pelo fornecedor segundo o tipo de material das chapas e espessura “e”.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem a ponto e de união por ponto TOX®.

SOLDA A PONTO		PONTO TOX®	
Tempo de encostamento	30 ciclos	Diâmetro do ponto	8 mm
Tempo de pressão	20 ciclos		
Tempo de retenção	5 ciclos		
Tempo de solda	9 ciclos	Força aplicada ao ponto	46 kN
Corrente	9 kA		
Pressão do ar	3 Bar		
Número de impulsos	1	Parâmetro X	0,55 +/- 0,08 mm
Força entre eletrodos	130 a 280 Kgf		

Os Ensaio de Tração foram realizados segundo norma da montadora FIAT, não podendo portanto ser divulgada. A máquina de ensaio de tração utilizada é da marca OTTO WOLPERT-WERKE GmbH com capacidade de 3.000 kN. A Figura 5 apresenta um desenho esquemático da montagem das chapas para sua união, via processo Solda a Ponto e Ponto Tox®. Para cada ensaio foram unidos 5 corpos de prova, totalizando 40 amostras. A velocidade da máquina de tração foi de 10

mm/min e as uniões nos corpos de prova distanciam seus centros pelo menos 15 mm das extremidades das chapas e a distância entre as uniões duplas 30 mm.

Os corpos de prova utilizados na análise metalográfica foram embutidos em resina poliéster, polidos com alumina em suspensão e atacados com Nital a 3%. A Figura 6 apresenta uma imagem dos corpos de prova embutidos para caracterização via Microscopia Óptica. As amostras foram caracterizadas metalograficamente utilizando um Microscópio Óptico da marca Olympus BX60.

Os tamanhos dos pontos gerados nos dois processos de união e a espessura das duas chapas após união por Ponto Tox® (espessura X da Figura 4) foram medidos usando um Estereoscópio Neophot 32 da marca Aus Jena.

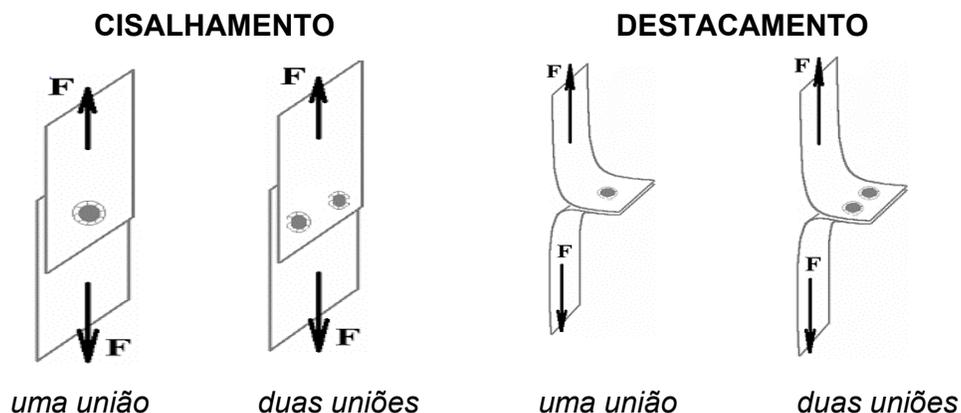


Figura 5. Desenho esquemático da união das chapas para os ensaios de tração.

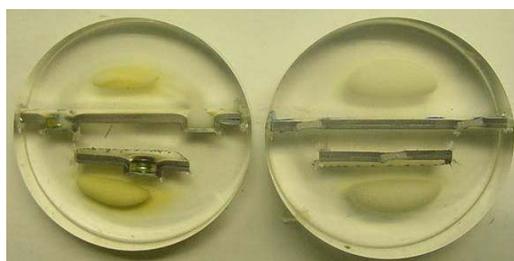


Figura 6. Corpos de prova para análise metalográfica, (diâmetro 5 cm).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de tração com as forças de cisalhamento estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, para os corpos de provas com um ponto de união e dois pontos de uniões, respectivamente. Como pode ser observado nestas tabelas, as uniões por Ponto Tox® apresentaram valores de força de cisalhamento quase metade da união por Solda a Ponto. No entanto, para aplicações como união de ossaturas de capô, tetos e partes internas os valores de força de cisalhamento para união por Ponto Tox® atingiram valores de projeto. Este resultado sugere que para partes não estruturais a substituição da união Solda a Ponto por Ponto Tox® é viável. E que para partes estruturais, tais como montagem de chassi e reforços de suspensão, os quesitos de projeto são superiores aos valores obtidos para a união por Ponto Tox®. Os desvios padrão obtidos nos resultados de força de cisalhamento, tanto para amostras unidas por Ponto Tox® quanto para amostras unidas por Solda a Ponto, sugere uma regularidade nos processos o que pode resultar num padrão de qualidade.

**Tabela 3.** Forças de cisalhamento para os c.d.p. com um ponto de união.

Processo de União	Forças de Cisalhamento [kN]					Média	Resultado da medição [kN]
	1 ponto de união						
Ponto TOX®	3,04	2,93	3,02	2,88	3,07	2,987	2,99 ± 0,08
Solda a Ponto	5,27	5,18	5,72	5,34	5,42	5,384	5,38 ± 0,21

**Tabela 4.** Forças de cisalhamento para os c.d.p. com dois pontos de união.

Processo de União	Forças de Cisalhamento [kN]					Média	Resultado da medição [kN]
	2 pontos de união						
Ponto TOX®	5,98	5,88	5,72	5,85	6,19	5,923	5,92 ± 0,18
Solda a Ponto	9,00	10,89	10,86	10,29	10,99	10,403	10,40 ± 0,83

Observando as Tabelas 3 e 4 podemos ainda afirmar que quando se dobra o número de pontos de união os valores de força de cisalhamento praticamente duplicam-se nos dois processos. Isto sugere que, após uma análise de custo, pode-se utilizar uma proporção de Pontos Tox® para equivaler a resistência de um determinado número de pontos de solda. Esta idéia de proporcionalidade de resistência está relacionada com os resultados do trabalho de Wung e colaboradores, (WUNG, 2000 e 2001), onde uma relação de pontos de solda e a força necessária para cisalhar a união foi definida como parte de seu estudo. Desta forma, com maiores números de uniões por Ponto Tox®, uma mesma resistência que atenda os quesitos dos projetos pode ser obtida, viabilizando a troca dos processos para este tipo de esforço. Contudo, ainda é necessário avaliar o comportamento das uniões nos outros ensaios.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos Ensaios de Tração no que refere aos resultados de força de destacamento de amostras unidas por um e dois pontos, respectivamente. As forças de destacamento das uniões por Ponto Tox® foram inferiores às forças das uniões por Solda a Ponto. Os valores de forças de destacamento encontrados para as amostra unidas com um ponto de solda foram cerca de 68% superiores aos valores encontrados para força de destacamento de amostras unidas pelo processo Tox® . Contudo quando a união foi realizada com dois pontos, esta proporção reduziu para 50%. Estes resultados sugerem que o aumento do número de pontos pode atingir os quesitos de projeto; considerando que os valores encontrados para solda ponto já são utilizados nos processos de fabricação de componentes automobilísticos estruturais e não estruturais.

**Tabela 5.** Forças de destacamento para corpos de prova com uma união.

Processo de União	Forças de Destacamento [kN]					Média	Resultado da medição [kN]
	1 ponto de união						
Ponto TOX®	0,35	0,30	0,40	0,46	0,31	0,363	0,36 ± 0,07
Solda a Ponto	1,21	1,04	1,18	1,20	1,09	1,142	1,14 ± 0,07

**Tabela 6.** Forças de destacamento para corpos de prova com duas uniões.

Processo de União	Forças de Destacamento [kN]					Média	Resultado da medição [kN]
	2 pontos de união						
Ponto TOX®	1,01	1,39	1,53	1,46	1,29	1,337	1,33 ± 0,20
Solda a Ponto	2,74	2,68	2,68	2,87	2,84	2,761	2,76 ± 0,09

Os desvios padrão dos resultados de força de destacamento foram relativamente altos, de 15 a 18% dos valores médios encontrados. Estes resultados sugerem que a forma com que o ensaio de destacamento é realizado pode causar um desvio padrão maior. O destacamento do Ponto Tox® na condição apresentada na Figura 7, ocorre com valores de força inferiores à forma apresentada na Figura 8. Neste último tipo de destacamento as solicitações são perpendiculares ao ponto, uma vez que a carga é igualmente distribuída em toda amostra, não ocorrendo o desencaixe do ponto e sim o rompimento, enquanto que o esforço no primeiro modo de ensaio atua diferentemente, conforme o deslocamento durante o ensaio.

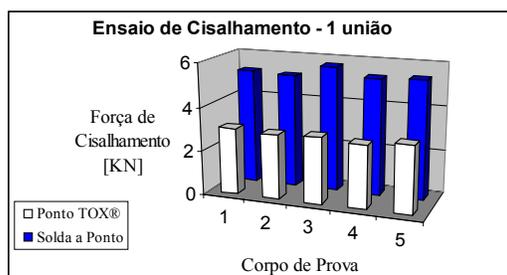


**Figura 7.** Desenho esquemático do ensaio de tração feito neste estudo, mostrando a forma de solicitação mecânica na amostra.

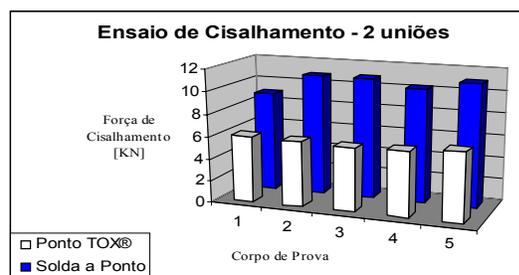


**Figura 8.** Desenho esquemático do ensaio de tração em que a força atua perpendicularmente ao ponto.

As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados dos ensaios de tração para obtenção das forças de cisalhamento e destacamento em forma de colunas para melhor comparação dos resultados, respectivamente. Observa-se que a Solda a Ponto, (colunas em azul), apresenta os valores de força de cisalhamento e destacamento superiores aos resultados encontrados para união Tox® .

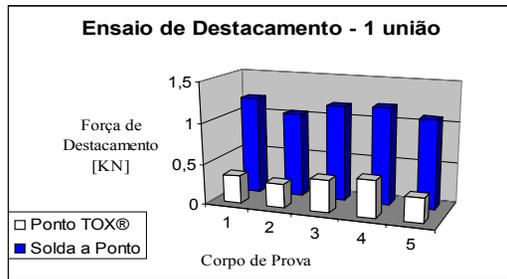


(a)

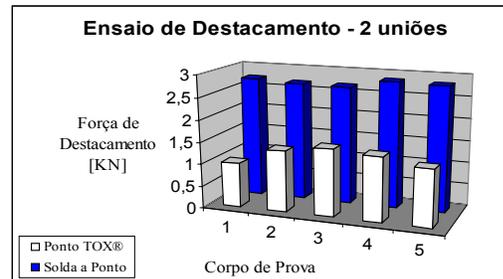


(b)

**Figura 9.** Resultados do Ensaio de Tração, (a) forças de cisalhamento para união com um ponto e (b) forças de cisalhamento para união com dois pontos realizados pelos processos de SaP (coluna azul) e união Tox® (coluna branca).



(a)



(b)

**Figura 10.** Resultados do Ensaio de Tração, (a) forças de destacamento para união com um ponto, (b) forças de destacamento para união com dois pontos, realizados pelos processos de SaP (coluna azul) e união Tox® (coluna branca).

A Figura 11 apresenta a micrografia de uma das amostras unidas por solda ponto. Como pode ser observado há a existência de uma região termicamente afetada. No entanto quando amostras são unidas pelo processo Ponto Tox®, Figura 12, não se observa uma região termicamente afetada, pois não há aquecimento durante a união. Para os dois processo não foi observado defeitos metalúrgicos.



**Figura 11.** Micrografia da união por solda ponto, aumento (25X).



**Figura 12.** Micrografia da união por Ponto Tox®, aumento (50X).

A chapa que fica em contato com o punção na execução do ponto Tox® sofreu uma redução de 84% na sua espessura. A espessura final desta chapa é de 0,2 mm o que é um valor muito pequeno. Uma possível impureza (limalha de aço ou grão de areia) que penetrasse no conjunto que realiza a conformação do Ponto Tox®, poderia se o suficiente para causar o rompimento da chapa que sofre esta redução de espessura, portanto a preocupação com a limpeza do equipamento deve ser de grande importância.

O parâmetro “X” da espessura final da união está de acordo com o intervalo de valores enviado pelo fornecedor do processo Ponto Tox® (Tabela 2) o que garante que o ponto estudado é um ponto padrão.

Não houve a formação de trincas em nenhum dos dois processos. No Ponto Tox® foi verificado o achatamento de grão nas regiões de contato entre as chapas. O encruamento destes grãos acarreta num endurecimento do material nestas áreas, o que reforça a união.

## 5 CONCLUSÕES

Dentro dos estudos, o processo Tox® mostrou viável para substituição do processo de Solda a Ponto em uniões de partes não estruturais. Para partes estruturais é necessário avaliar as propriedades mecânicas quando um maior número de pontos são realizados.

Os valores de força de cisalhamento encontrados para amostras unidas por Processo Tox® utilizando um ou dois pontos de união, foram cerca de 50% inferiores aos valores encontrados para amostra unidas por solda ponto. Estes valores estão abaixo dos quesitos de projeto para peças estruturais. O aumento do número de pontos Tox® pode satisfazer os quesitos para partes estruturais.

Os valores de força de destacamento encontrados para amostras unidas com um ponto pelo Processo Tox® foram cerca de 68% inferiores aos valores encontrados para amostras unidas pelo Processo de SaP. Quando dois pontos foram utilizados, este processo reduziu para cerca de 50%. Tais valores estão abaixo dos quesitos, porém podem ser alcançados com mais pontos de união.

Uma análise dos custos dos processos seria de grande importância, pois assim seria possível avaliar o aumento no número de uniões por Ponto Tox® para alcançar os valores necessários de resistência. É de conhecimento, que sendo um processo mais simples, seu custo tende a ser inferior ao processo de SaP.

Os desvios padrão encontrados para os ensaios de destacamento foram altos, 15-18% dos valores de força de destacamento. Isto sugere um melhor estudo da forma com que o ensaio de destacamento é realizado. O fornecedor do processo de Ponto Tox® indica e realiza o ensaio como mostra a figura 8, diferente da forma com a qual este foi feito neste trabalho.

A redução de espessura encontrada pelo processo Tox® foi de 84%, indicando a possibilidade de uma fragilização caso partes metálicas infiltrem entre as chapas. Uma simples aplicação de ar pressurizado na superfície do conjunto de matriz e punção poderia efetuar a limpeza necessária.

### Agradecimentos

Agradeço ao Eng. Luis Antonio da Silva por todo auxílio, orientação e incentivo, ao Fernando Gomes, Rildo Duarte, Roberta Couto, Paulo Dias, Marcelo Espíndola, Geraldo Sales e Orlando Gomes pela direção e apoio durante todo trabalho, à **Toxpressotechnik** pelos corpos de prova, catálogos e apoio.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 WAINER, E., DUARTE, S. E MELLO, F. 'Soldagem - Processos e Metalurgia'. 1992.
- 2 Catálogos da Pressotechnik (2003/4)-Figuras.
- 3 WUNG, P., WALSH, T., OURCHANE, A., STEWART, W., CHOW, C.L., AND JIE, M., "Failure of Spot Weld under In-plane Static Loading," EXPERIMENTAL MECHANICS, 41, 100-106 (2001).
- 4 CHOW, C.L., JIE, M., AND WUNG, P., "An Analytical Solution for Spotwelded Overlap Sheets," Internal report, University of Michigan at Dearborn (2000).

# COMPARATIVE STUDY BETWEEN TOX® JOINT AND SPOT WELDING FOR PLATES UNION

Conrado Paixão de Azevedo Mota<sup>(1)</sup>  
Necésio Gomes Costa<sup>(2)</sup>

## Abstract

This work aims to compare two processes of joining used in the Automotive industry: Spot Welding and Tox®. Plates of 1.2 mm and 0,8 mm of thickness, were joined by both process. Tensile tests to obtain the shear and detachment force were undertaken. Micrograph analysis aiming to identify any metallurgical problem and to measure the thickness reduction after joining was also carry out. The values of shear force found for the plates joined by Tox® process were approximately 50% inferiors to the values found for the Spot Welding. These results show some viability in changing the Spot Welding process for the Tox®. The detachment forces results were not enough to satisfy the project requirement, although a increasement on the number of Tox® joints could reach the expected result. The standard deviations were too high, between 15-18% of detachment shear force found, suggesting that an analysis of the way the experiments are carried out. A perpendicular solicitation on the sample would cause failure for breakdown instead of a simple displacement of the plates as it occurs during the experiments. When the Tox® process was used, the thickness reduction of the plates was around 84%. The thickness reduction found the plates joined by Tox® process can fragilize the component, in case of having small parts infiltrated between the plates during union process.

**Key-words:** Tox® joint; Spot welding; Shears force; Detachment force.

(1) Engenheiro de Produção Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá em dezembro de 2004.

(2) Professor da Universidade Federal de Itajubá.

(3) 60° Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – 2005.