

Recebido em 12/2019. Aceito para publicação em 01/2020.

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE CHAPAS DISSIMILARES SOLDADAS COM GAP NO PROCESSO MIG/MAG APLICADA EM CARROCERIAS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

### STUDY OF THE INFLUENCE ON THE MECHANICAL PROPERTIES BETWEEN DISSIMILAR SHEETS WELDED WITH GAP IN THE MIG/MAG PROCESS APPLIED TO BODIES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Rodrigo Otávio Venturini Salamão<sup>1</sup>

Erika Peterson Gonçalves<sup>2</sup>

**Resumo:** A indústria automobilística atualmente aceita, segundo a DIN EN ISO 5817, 2014, que o espaçamento entre juntas soldadas pelo processo MIG/MAG seja de 0,2 mm + 0,07x a espessura do metal de base de menor espessura. Porém, durante a realização do processo, industrialmente, parte da produção deve passar por processos de retrabalho que impactam negativamente tanto no que relaciona aos custos quanto no tempo de produção dos automóveis. O presente trabalho estuda o impacto do espaçamento entre as chapas dissimilares largamente empregadas nas estruturas das carrocerias de automóveis. Estudou-se os aços 22MnB5 (DIN EN 10083-3) produzidos por Hot Stamping e o HX 340 LAD (DIN EN 10346), produzidas por laminação a frio. Corpos de provas submetidos à soldagem MIG/MAG com corrente constante de 128,0 A, velocidade de soldagem constante de 7,6 m.min<sup>-1</sup> e tensão de soldagem constante de 19,1 V em robô para execução da soldagem marca KUKA VKRC4 com seis eixos com uma garantia de repetitividade de 0,06mm. As amostras foram estudadas com espaçamento de 0,12 mm; 0,36 mm; 0,48 mm; 0,60 mm; 0,78 mm além daqueles corpos de prova de controle onde o espaçamento foi nulo. Por meio de ensaios mecânicos em dobramento a 90°, líquido penetrante e macrografia comprovaram que independente dos espaçamentos impostos às juntas soldadas, a integridade das juntas soldadas são mantidas. Os ensaios por líquidos penetrantes realizados após os ensaios de dobramento apresentaram juntas integras sem a presença de trincas e fissuras na região de solda.

**Palavras-chave:** MIG/MAG; chapas dissimilares; espaçamento entre chapas.

**Abstract:** The automotive industry currently accepts, according to DIN EN ISO 5817, 2014, that the joint spacing welded by the MIG / MAG process be 0.2 mm + 0.07x the thickness of the thinner base metal. However, during the industrial process, part of the production must go through rework processes that negatively impact both the costs and the production time of the cars. The present work studies the impact of the spacing between the dissimilar plates widely used in the car body structures. The steels 22MnB5 (DIN EN 10083-3) produced by Hot Stamping and the steels HX 340 LAD (DIN EN 10346) produced by cold rolling were studied. Specimens were subjected to MIG / MAG welding with constant current of 128.0 A, constant welding speed of 7.6 m.min<sup>-1</sup> and constant welding voltage of 19.1 V in robot for KUKA VKRC4 welding, with six axes with a repeatability guarantee of 0.06mm. The samples were studied with spacing of 0.12 mm; 0.36 mm; 0.48 mm; 0.60 mm; 0.78 mm, in addition to those control specimens where the spacing was zero. Mechanical tests on tensile, bending, penetrating liquid and Scanning electron microscopy proved that, regardless of the spacing imposed on welded joints, the mechanical properties are maintained with the breaking of the sheet of lower mechanical strength. The penetrating liquid tests performed after the bending tests showed integral joints without the presence of cracks and clefts in the weld region. Both reported results were confirmed by the microstructural tests performed, where it was observed that the martensite destabilization characteristic of the plates produced by Hot Stamping did not occur.

<sup>1</sup> Engenheiro da Qualidade, Universidade do Vale do Paraíba - Univap, Brasil. E-mail: rodrigo.venturini@ig.com.br.

<sup>2</sup> Doutora em Ciências, Universidade do Vale do Paraíba - Univap, Brasil. E-mail: erika@univap.br.

**Keywords:** MIG / MAG; dissimilar plates; spacing between plates.

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria automobilística, muitas vezes é necessário reduzir o custo de produção dos automóveis, para isto o setor busca, constantemente, por soluções que permitam melhorar a eficiência dos processos produtivos. Uma alternativa é encurtar o tempo de operação. Para este fim, produtividade do trabalho, e, soldagem, no caso deste estudo, o tempo de operação deve ser aumentado (SUBAN; TUSEK, 2001).

A tarefa dos pesquisadores na área de desenvolvimento de processos de soldagem parece ser evidente, ou seja, aumentar a produtividade dos processos de soldagem, mantendo ou mesmo melhorando a qualidade da solda.

As carrocerias de automóveis são produzidas a partir do processo robotizado de junção de chapas dissimilares pela aplicação de soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas).

A produção de juntas de alta qualidade requer muitos fatores (SUNA *et al*, 2017) (por exemplo, tamanho da ranhura, espessura dos materiais (WAHBA; MIZUTANI; KATAYAMA, 2016), distância entre as fontes de calor (CHEN *et al*, 2006) e gás de proteção (SATHIYA *et al*, 2012) (PAN *et al*, 2016).

Apesar das vantagens do processo de soldagem MIG/MAG serem conhecidas, foi identificada em uma planta industrial a ocorrência de uma irregularidade no processo relacionado ao aumento no retrabalho devido à formação de espaçamentos, gap, entre as chapas dissimilares que são soldadas em processos robotizados.

O aumento da automação dos processos de solda acarreta uma série de problemas relacionados à qualidade e repetitividade destes, um deles é a variação dimensional das peças onde muitas vezes apresentam entre as chapas a serem soldadas espaçamentos, “gap’s”, que segundo a norma podem ser de apenas 0,2 mm + 0,07x a espessura do metal de base de menor espessura (DIN STANDARDS, 2014).

O presente trabalho visa avaliar o comportamento da soldagem de juntas sobrepostas, compostas por materiais dissimilares, quando se variam os espaçamentos entre chapas, mantendo constantes os parâmetros estipulados de uso no setor produtivo.

## 2 METODOLOGIA

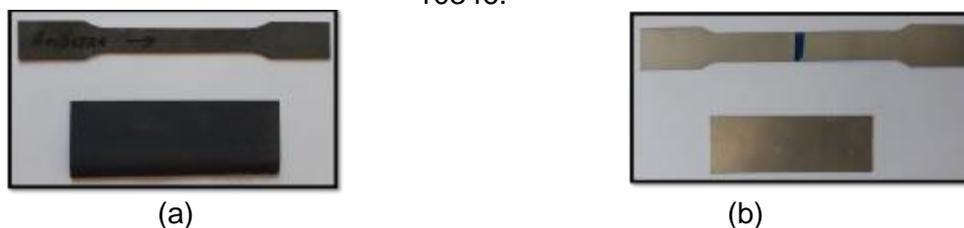
### 2.1 Materiais

O material dos componentes que é o objeto deste estudo é composto por uma junta dissimilar, ou seja, materiais de composição química e propriedades mecânicas diferentes.

Os materiais utilizados são chapas de aço 22MnB5 DIN EN 10083-3 (DIN

STANDARDS, 2007) estampadas a quente pelo processo de *Hot Stamping*, e chapas de aço HX 340 LAD da DIN EN 10346 (DIN STANDARDS, 2015) com tratamento superficial zincado, laminados a frio, Figura 1.

Figura 1 - Chapas usadas para a soldagem da junta dissimilar. a) as chapas Aço 22MnB5 DIN EN 10083-3 estampada à quente. b) as aço HX 340 LAD da DIN EN 10346.



Fonte: Os autores.

## 2.2 Métodos

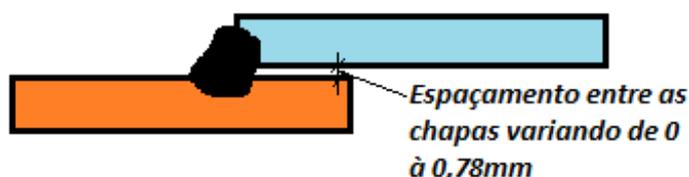
Os CDP's foram confeccionados de modo que após a soldagem, possuísse dimensões de acordo com a norma DIN EN 10002-1 (DIN STANDARDS, 2001).

A metade superior do corpo de prova foi confeccionado em aço HX 340 LAD da DIN EN 10346 (DIN STANDARDS, 2015) com tratamento superficial zincado e a metade inferior foi confeccionado em aço 22MnB5 DIN EN 10083-3 (DIN STANDARDS, 2001) estampadas a quente.

A soldagem foi realizada, aplicando-se corrente de soldagem constante de 128,0 A, uma velocidade de soldagem constante de 7,6 m.min<sup>-1</sup> e uma tensão de soldagem constante de 19,1 V. Para a execução da soldagem foi utilizado um robô (KUKA VKRC4) com seis eixos e garantia de repetitividade de 0,06mm. A soldagem foi realizada em um único passe com juntas sobrepostas com penetração parcial ao longo do cordão.

Os calibres espaçadores (0,00/ 0,12/ 0,36/ 0,48/ 0,56 e 0,78 mm) foram utilizados para garantir espaçamento entre chapas (Figura 2).

Figura 2 - Esquema da junta soldada.



Fonte: Os autores.

A Tabela 1 apresenta os códigos das amostras e os respectivos espaçamentos empregados no processo de soldagem para a avaliação da junta soldada com intuito de

facilitar a sua identificação.

Tabela 1 - Identificação das amostras com relação ao espaçamento imposto na região de solda.

Código da Amostra	Espaçamento (mm)
01	0,0
02	0,12
03	0,36
04	0,48
05	0,60
06	0,78

Fonte: Os autores.

A caracterização dos corpos de prova foi realizada por ensaios de dobramento e macroscopia na região de soldagem.

O ensaio de dobramento foi realizado na máquina de ensaios universal (EMIC, DL 1000) com capacidade de 10 kN, com velocidade constante de deformação de 10mm/min.

Para avaliar a integridade das amostras após o ensaio de dobramento, realizou-se o ensaio por líquido penetrante usando um revelador aquoso (Metal Chek).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A soldagem realizada nos corpos de provas segue prescrições da norma DIN EN ISO 5817 (DIN STANDARDS, 2014), os corpos de provas foram cortados, transversalmente, ao cordão de solda sendo que os valores encontrados na macrografia segue apresentado na Tabela 3. Todos os corpos de provas submetidos ao ensaio de macrografia atendem as especificações da norma DIN ISO 5817 (DIN STANDARDS, 2014), atentando aos valores de gap superiores ao usualmente aplicado.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de macrografia.

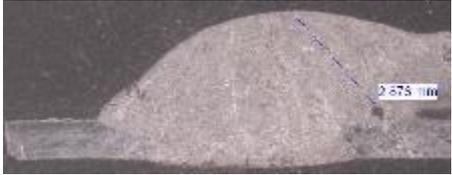
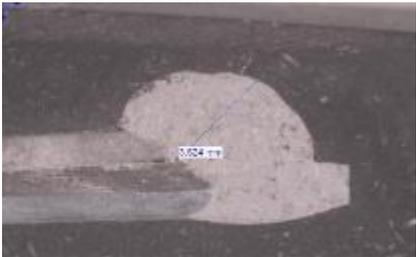
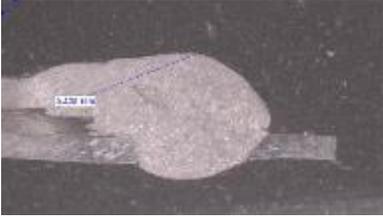
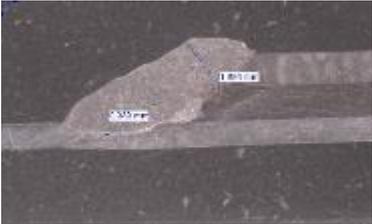
Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
01		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	0,389	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	1,890	$Sn\ 1 \geq 1,05$
		Gap	0	$h \leq 0,40\text{mm}$
Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
02		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	Caldeamento 100%	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	2,876	$Sn\ 1 \geq 1,05$
		Gap	0,12	$h \leq 0,40\text{mm}$
Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
03		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	0,649	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	2,920	$Sn\ 1 \geq 1,05$
		Gap	0,36	$h \leq 0,40\text{mm}$
Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
04		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	0,649	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	3,624	$Sn\ 1 \geq 1,05$
		Gap	0,48	$h \leq 0,40\text{mm}$

Tabela 3 – Continuação

Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
05		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	Caldeamento 100%	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	5,438	$\text{Sn } 1 \geq 1,05$
		Gap	0,60	$h \leq 0,40\text{mm}$
Nº AMOSTRA	FOTO MACRO (8x)	MEDIDA ENCONTRADA	ESPECIFICADO	
06		F1	Caldeamento 100%	$f1 \geq 0,2\text{mm}$
		F2	0,389	$F2 \geq 0,2\text{mm}$
		Tamanho do cordão	20mm	Informativo
		Sn1	1,890	$\text{Sn } 1 \geq 1,05$
		Gap	0,78	$h \leq 0,40\text{mm}$

Fonte: Os autores.

Foi realizado o ensaio de dobramento as amostras 01, 02, 03, 04, 05 e 06. O ensaio teve o intuito de verificar se existem pontos de trincas ou micro trincas existentes após o dobramento a  $90^\circ$ .

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de dobramento para todos os lotes de amostra. Nela estão apresentadas imagens exemplificando as amostras ensaiadas e o referido resultado de presença e/ou ausência de trincas.

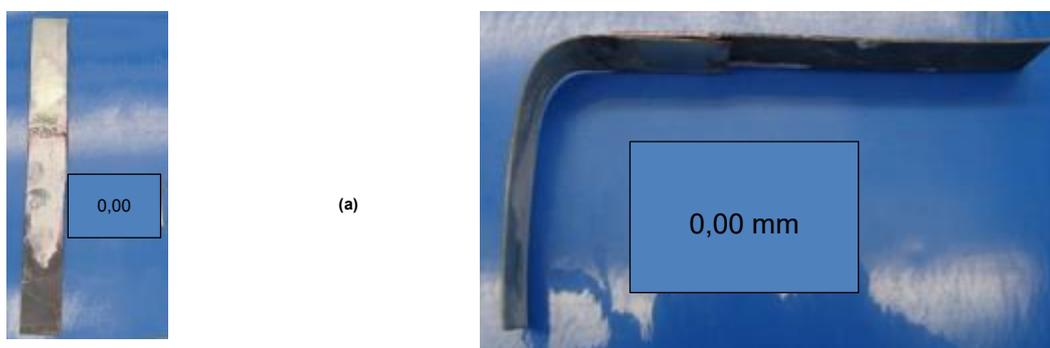
Tabela 4 - Resultados do ensaio de Dobramento.

Número da Amostra	Imagem da Amostra	Imagem do ensaio de Dobramento
<b>Amostra 1: com 0,00mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas
<b>Amostra 2: com 0,12mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas
<b>Amostra 3: com 0,36mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas
<b>Amostra 4: com 0,48mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas
<b>Amostra 5: com 0,60mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas
<b>Amostra 6: com 0,78mm</b> de espaçamento		Ausência de trincas

Fonte: Os autores.

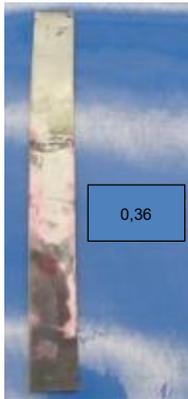
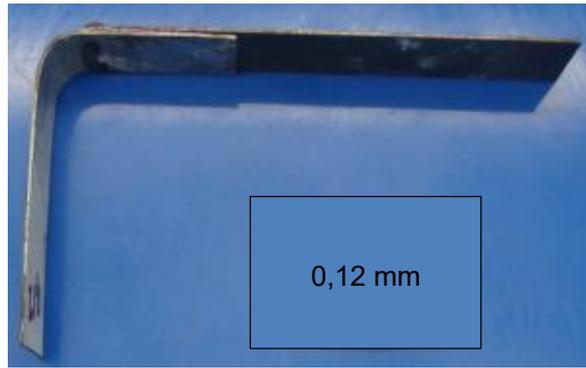
Para todos os lotes ensaiados, independente do espaçamento imposto entre as chapas dissimilares soldadas, não correu trincamento da região de dobramento, o que pode ser verificado pelo ensaio de líquido penetrante, apresentado na Figura 3 resultado corrobora os anteriormente discutidos, ensaio de tração e análise microestrutural.

Figura 3 - Amostras antes e depois do ensaio de dobramento com a aplicação do líquido penetrante.

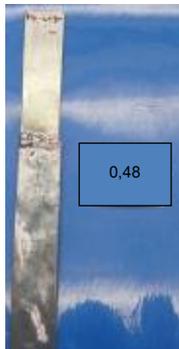
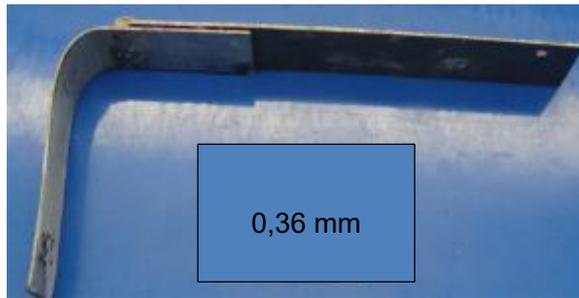




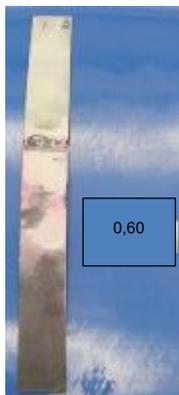
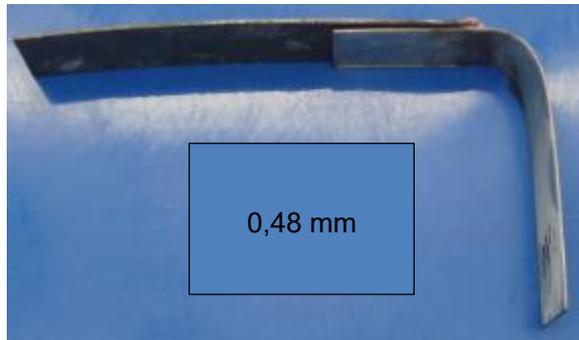
(b)



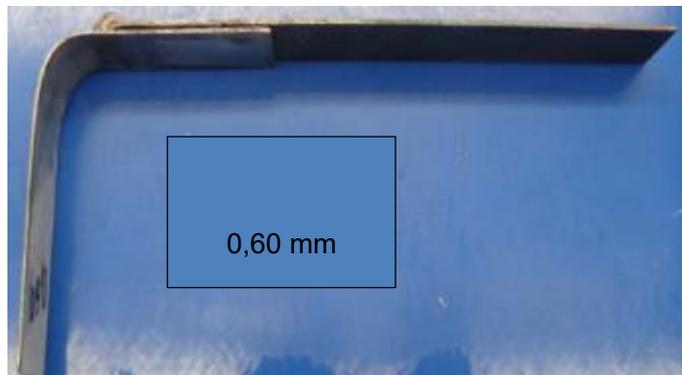
(c)



(d)



(e)





Fonte: Os autores.

Em todos os ensaios realizados com líquido penetrante, tanto antes como depois do ensaio de dobramento, não foi verificado a presença de trincas nas amostras, como pode ser observado na figura 30(a) com o espaçamento de 0mm, na figura 30(b) com espaçamento de 0,12mm, na figura 30(c) com espaçamento de 0,36mm, na figura 30(d) com espaçamento de 0,48mm, na figura 30(e) com espaçamento de 0,60mm e na figura 30(f) com espaçamento final de 0,78mm.

#### 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos através das análises realizadas, pode-se concluir que a utilização de parâmetros de soldagem corretos é importante para não prejudicar as características mecânicas dos componentes soldados.

Nos ensaios de dobramento a 90° realizados nos corpos de provas, não se observou a presença de quaisquer imperfeições e ou trincas, o que foi comprovado pela realização do ensaio por macrografia da superfície da região soldada e pela aplicação de métodos de ensaios não destrutivos por líquido penetrante.

Com o estudo realizado, comprovou-se que é possível ter uma economia muito grande de tempo de trabalho e no retrabalho de solda, se usar espaçamento entre chapas de até 0,78 mm, sendo que atualmente pode ser admitido um espaçamento de no máximo 0,28 mm para chapa com espessura de 0,8 mm.

#### REFERÊNCIAS

CHEN, Y.B. *et al.* Experimental study on welding characteristics of CO<sub>2</sub> laser TIG hybrid welding process. **Sci. Technol. Weld. Join.**, v.11, p. 403–411, 2006.

DIN STANDARDS. DIN EN 10002-1:2001-12. **Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of testing at ambient temperature**; German version EN 10002-1:2001. German: Deutsches Institut für Normung, 2001.

DIN STANDARDS. DIN EN 10083-3:2007. **Steels for quenching and tempering - part 3**: technical delivery conditions for alloy steels. German: Deutsches Institut für Normung, 2007.

DIN STANDARDS. DIN EN 10346:2015-10. **Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming**: Technical delivery conditions. German version EN 10346:2015. German: Deutsches Institut für Normung, 2015.

DIN STANDARDS. DIN EN ISO 5817:2014-06. **Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded)**: Quality levels for imperfections (ISO 5817:2014). German: Deutsches Institut für Normung, 2014.

PAN, Q. *et al.* Effect of shielding gas on laser MAG arc hybrid welding results of thick high-tensile-strength steel plates. **Weld. World.**, v. 60, p. 653–664, 2016.

SATHIYA, P. *et al.* Effect of shielding gases on microstructure and mechanical properties of super austenitic stainless steel by hybrid welding. **Mater. Des.**, v. 33, p. 203–212, 2012.

SUBAN, M.; TUSEK, J. Dependence of Melting rate in MIG/MAG Welding on the type of shielding gas used. **J. Mater. Proc. Tech.**, v.119, p. 185-192, 2001.

SUNA, G.F. *et al.* Investigation on microstructure and mechanical properties of NV E690 steel joint by laser-MIG hybrid Welding. **Mater.Des.**, v. 127, p. 297-310, 2017.

WAHBA, M.; MIZUTANI, M.; KATAYAMA, S. Single pass hybrid laser-arc welding of 25 mm thick square groove butt joints. **Mater. Des.**, v. 97, p. 1–6, 2016.