

ESTUDO DAS TENSÕES RESIDUAIS EM JUNTAS SOLDADAS DE AÇO ARBL BIFÁSICO USADO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

¹D. S. Barbato, ¹M. P. Cindra Fonseca, ¹A. S. Marques Jr., ¹T. C. Chuvas, ¹J.M. Pardal

²J. R. Berretta

Rua Passo da Pátria, 156, Bl. D, Sala 302, São Domingos, Niterói – RJ – Brasil

CEP: 24210-240 – e-mail: mcindra@vm.uff.br

¹UFF – Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC, Niterói - RJ

²IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo - SP.

RESUMO

Uma das formas de redução de peso nos veículos automotores é através da utilização de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), que possibilita o uso de chapas de menores espessuras. Considerando que o surgimento de tensões residuais é intrínseco ao processo de soldagem, este estudo faz uma avaliação das tensões residuais geradas em juntas soldadas pelos processos de soldagem TIG e LASER, comparando-as. As tensões residuais foram medidas por difração de raios X, usando um equipamento portátil, com radiação $CrK\alpha$, pelo método da dupla exposição. Foi avaliada ainda a influência do tratamento de shot peening, aplicado após a soldagem, no desempenho em ensaios de dobramento realizados para ambas as condições de soldagem e as juntas soldadas a TIG apresentaram maior estabilidade das tensões compressivas após o dobramento. A análise metalográfica por microscopia óptica complementou a caracterização das juntas soldadas.

Palavras-chave: Aço ARBL bifásico, tensões residuais, soldagem TIG e LASER, difração de raios-X.

INTRODUÇÃO

Novos aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) têm sido desenvolvidos para atender a demanda da indústria automobilística por materiais resistentes de baixo custo⁽¹⁾. A microestrutura destes aços é constituída principalmente por uma matriz ferrítica com ilhas de martensita e representa uma excelente escolha para aplicações onde elevada resistência à tração e alta ductilidade são necessárias⁽²⁾. Pequenas quantidades de outras fases ou microconstituintes (como bainita, austenita retida e perlita) podem estar presentes no material. Apresentando teor de carbono próximo a 0,1%, obtém-se nestes aços limite

de resistência em torno de 600MPa, e o limite de escoamento típico é de 310 a 345MPa⁽³⁾.

As tensões residuais são tensões internas auto-equilibradas existentes nos materiais em condições de temperatura uniforme e sem carregamento externo, sendo originadas durante os processos de fabricação ou por esforços sofridos ou realizados pelo material. O desenvolvimento de tensões residuais nas construções soldadas é intrínseco ao processo de soldagem e é função dos parâmetros utilizados na execução do cordão de solda, tais como: geometria da junta, número de passes, composição química dos metais de base e de adição, e de outros fatores pertinentes ao processo de soldagem⁽⁴⁾.

O presente trabalho apresenta uma análise das tensões residuais geradas processo de soldagem a LASER e TIG autógeno, ambos com argônio (Ar) como gás de proteção. Ensaio de dobramento e análise metalográfica por microscopia óptica completaram a caracterização das juntas soldadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado foi um aço ARBL USI-RW-600DP, com 4mm de espessura, produzido pela Usiminas. A composição química do material está apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do aço (em % de peso).

| C | Si | Mn | P | S | Al | Cu | Nb | V | Ti | Cr | Ni |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,0522 | 0,98 | 1,19 | 0,014 | 0,001 | 0,040 | 0,001 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,07 | 0,02 |

O material foi soldado pelo processo automatizado a LASER e pelo processo manual TIG (GTAW) autógeno, ambos sob proteção de Argônio (Ar). As tabelas 2 e 3 mostram os parâmetros para a soldagem a LASER (juntas 1 e 2) e TIG (juntas 3 e 4).

Tabela 2. Parâmetros da soldagem a LASER.

| Potência (W) | LASER Sólido (Nd: YAG) | | Velocidade (mm/min) | Foco | Vazão Ar (ℓ/min) |
|--------------|------------------------|---------------|---------------------|------|------------------|
| 3300 | Condução | Diâmetro (mm) | 600 | -0,5 | 16 |
| | Fibra Óptica | 1,0 | | | |

Tabela 3. Parâmetros da soldagem TIG.

| Corrente CC (A) | Tensão (V) | Vel. (mm/min) | Vazão Ar (ℓ/min) |
|-----------------|------------|---------------|------------------|
| 163 | 12 | 140 | 10 |

O tratamento mecânico superficial por *shot peening* foi aplicado em toda superfície das juntas soldadas, conforme especificado pela norma SAE J442⁽⁵⁾, padrão Almen, grau II, tipo A, com cobertura de 100% da área jateada.

Para o ensaio de dobramento foram confeccionados 2 corpos de prova (A e B), de cada amostra, conforme a norma AWS D1.1.

As tensões residuais foram medidas por difração de raios X, usando um equipamento portátil (Fig. 1), que opera pelo método de dupla exposição com tensão de 25kV e corrente de 1,5mA e radiação $\text{CrK}\alpha$, no metal de solda (MS) e no metal base (MB). As medições foram realizadas antes e após o tratamento por *shot peening* e ensaios de dobramento.



Figura 1. Analisador portátil de tensões por difração de raios X: (1) Unidade de controle de tensão e corrente; (2) Tubo de raios X; (3) Colimador; (4) Amostra analisada.

As amostras para análise metalográfica foram retiradas das juntas soldadas e do metal de base, preparadas pelo procedimento usual e atacadas com Nital a 2%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tensões residuais foram analisadas em todas as amostras, na região central do cordão de solda, nas direções longitudinal (L) e transversal (T). As amostras 1 e 2 foram soldadas pelo processo a LASER e as amostras 3 e 4 foram obtidas pela soldagem TIG. O resultado das medições após a soldagem pode ser observado na Tab. 5 e na Fig. 2. De cada junta soldada foram fabricados 2 corpos de prova para o ensaio de dobramento.

Tabela 5. Tensões residuais após soldagem.

| Juntas | Tensões Residuais (MPa) | |
|---------|-------------------------|-----|
| | L | T |
| LASER 1 | 330 | 140 |
| LASER 2 | 300 | 160 |
| TIG 3 | -260 | -90 |
| TIG 4 | -250 | -80 |

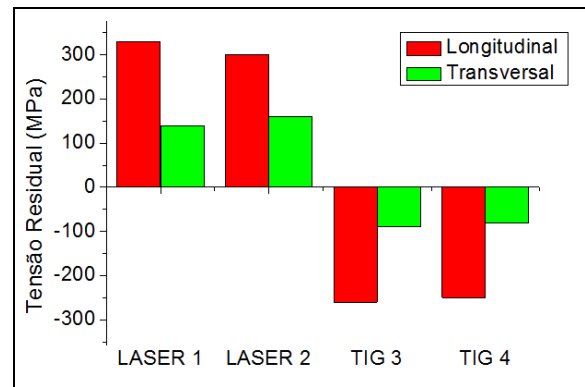


Figura 2. Tensões residuais após soldagem.

Observando-se a Fig. 2, pode-se verificar que as tensões residuais geradas no processo de soldagem a LASER são trativas enquanto que no processo TIG foram compressivas em todas as juntas, apresentando valores mais elevados na direção longitudinal (330MPa para soldagem LASER e -260MPa para soldagem TIG).

Os cp's obtidos das juntas soldadas 1 (LASER) e 3 (TIG) foram submetidos ao tratamento de *shot peening* e as tensões residuais foram novamente medidas, no topo do cordão de solda. Os resultados estão apresentados na Tab. 6 e na Fig. 3.

Tabela 6. Tensões residuais antes do dobramento.

| Com <i>shot peening</i> (MPa) | | | Sem <i>shot peening</i> (MPa) | | |
|-------------------------------|------|------|-------------------------------|------|-----|
| cp | L | T | cp | L | T |
| 1A | -60 | -80 | 2A | 150 | 90 |
| 1B | -120 | -120 | 2B | 140 | 60 |
| 3A | -400 | -360 | 4A | -160 | -80 |
| 3B | -300 | -260 | 4B | -150 | -80 |

A Fig. 3a mostra que o jateamento introduziu tensões residuais compressivas, atingindo magnitudes de -120MPa na soldagem a LASER e -400MPa na soldagem TIG. Verifica-se também que as tensões residuais dos cp's sem *shot peening* são trativas nos cp's de soldagem LASER e compressivas na soldagem TIG, porém de menor magnitude do que as encontradas nas juntas após a soldagem (Fig. 3b). Este alívio pode ter sido provocado pelo corte durante a fabricação dos corpos de prova.

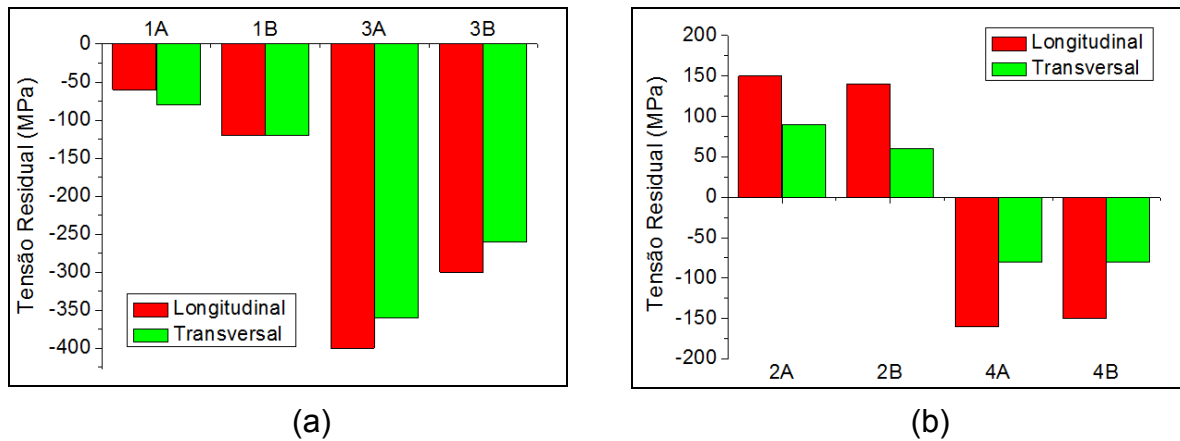


Figura 3. Tensões residuais antes do dobramento: (a) com *shot peening* e (b) sem *shot peening*.

A análise das tensões residuais após o ensaio de dobramento foi realizada no topo do cordão de solda (lado côncavo do dobramento). Os resultados (Tab. 7), mostram que os cp's soldados a LASER e jateados apresentaram um alívio das tensões residuais superficiais compressivas (-25MPa em média) e nos cp's sem *shot peening* ocorreu um aumento das tensões residuais trativas. Os resultados podem ser observados na Tab. 7 e na Fig. 4a.

O comportamento das tensões residuais introduzidas pelo *shot peening* nos cp's soldados pelo processo TIG foi semelhante daquele ocorrido nos cp's soldados a LASER, porém a magnitude das tensões residuais compressivas existentes antes do dobramento foi diminuída após o ensaio em proporções bem menores (Tab. 7 e Fig. 4b).

Tabela 7. Tensões residuais após ensaio de dobramento.

| Corpos de prova com <i>shot peening</i> (MPa) | | | Corpos de prova sem <i>shot peening</i> (MPa) | | |
|--|--------------|-------------|--|--------------|-------------|
| cp | Longitudinal | Transversal | cp | Longitudinal | Transversal |
| 1A | -30 | -20 | 2A | 180 | 160 |
| 1B | -40 | -10 | 2B | 250 | 230 |
| 3A | -300 | -260 | 4A | -100 | -40 |
| 3B | -220 | -310 | 4B | -120 | -50 |

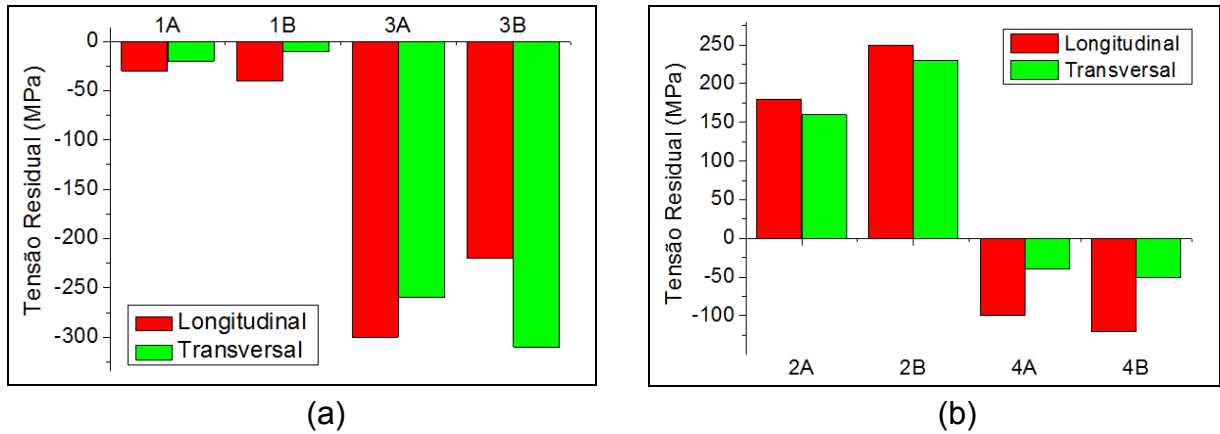


Figura 4. Tensões residuais após dobramento: (a) com *shot peening* e (b) sem *shot peening*.

Através da análise microestrutural, por microscopia óptica, foi observado que o metal de base é constituído por ilhas de martensita dispersas em matriz ferrítica (poligonal) Fig.5, conforme esperado.

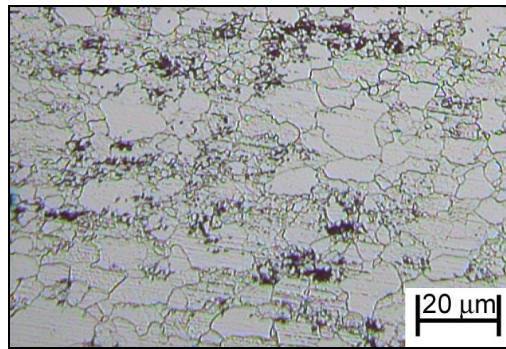


Figura 5. Microestrutura do metal de base.

Verifica-se na Fig. 6a que a ZTA de grãos finos é constituída predominantemente por ferrita poligonal. Observa-se ainda a transição das fases presentes no metal de base para a predominância da fase ferrítica (poligonal, acicular e com segunda fase alinhada) no cordão de solda (Fig. 6b).

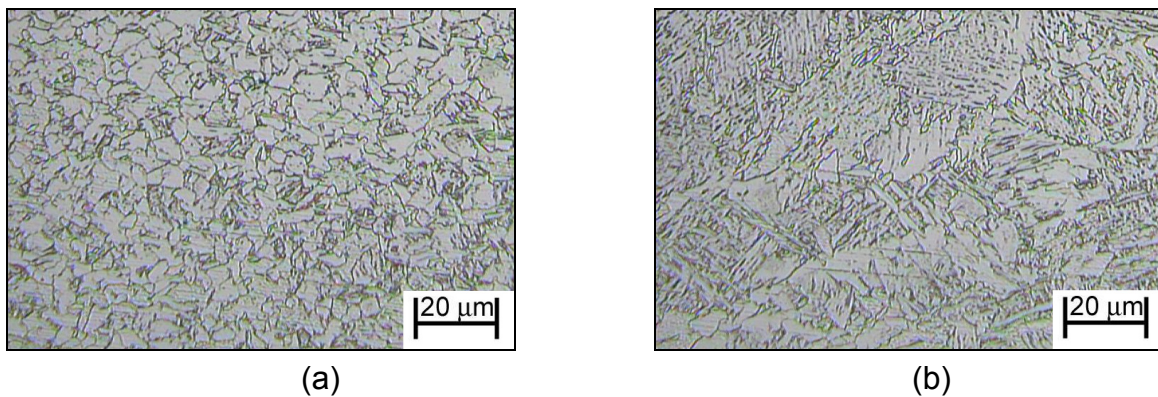


Figura 6. Soldagem LASER: (a) ZTA e (b) Cordão de solda.

Nas microestruturas do processo TIG observa-se na Fig.7a um considerável crescimento de grão na ZTA. Na Fig.7b, apesar de existir grãos grosseiros de ferrita poligonal, verifica-se a provável formação nos contornos de ferrita acicular.

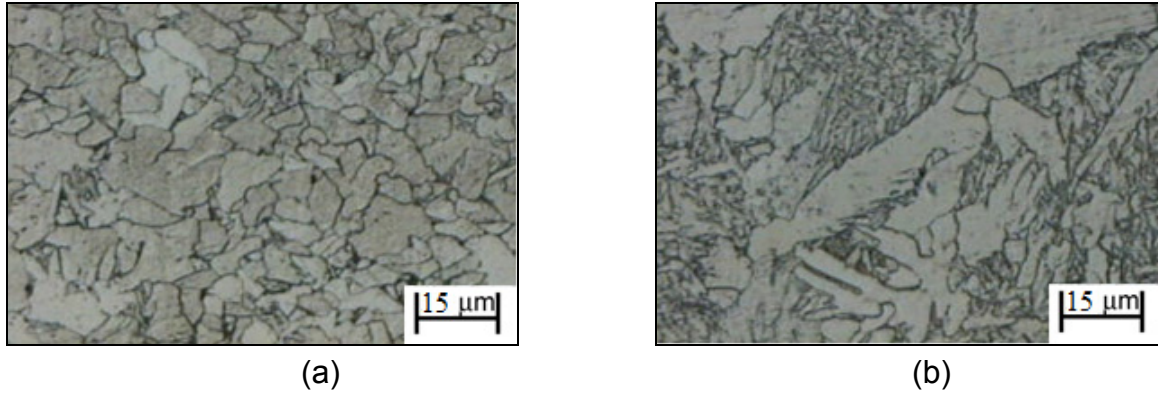


Figura 7. Soldagem TIG: (a) ZTA e (b) Cordão de solda.

CONCLUSÕES

O presente trabalho, em que as tensões residuais geradas nos processos de soldagem a LASER e TIG de um aço ARBL bifásico foram analisadas e comparadas com o comportamento das tensões após jateamento e dobramento, permite as seguintes conclusões:

1. O estado de tensões residuais superficiais resultantes da soldagem a LASER é trativo e de elevada magnitude em todas as direções, principalmente no sentido longitudinal, atingindo valores de 330MPa. Contudo, para a soldagem TIG os valores de tensão residual pós soldagem são compressivos em ambas as direções e com magnitudes mais elevadas também no sentido longitudinal (-260MPa). Essa diferença no estado de tensões residuais pode estar relacionada com os processos de soldagem e seus parâmetros diferenciados.
2. O tratamento superficial de *shot peening*, mesmo de baixa intensidade, produz tensões residuais compressivas, que se mantêm mais estáveis, inclusive após o ensaio de dobramento, para a soldagem TIG.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Capes e à Faperj pelo apoio financeiro e à Empresa Trumpf, pela soldagem a LASER das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. XUAN LIANG; JUN LI; YINGHONG PENG. Effect of water quench process on mechanical properties of cold rolled dual phase steel microalloyed with niobium. **Materials Letters A** 62, pp. 327–329, 2008.
2. ROCHA, R.O.; MELO, T.M.F.; PERELOMA, E.V.; SANTOS, D.B. Microstructural Evolution at the Initial Stages of Continuous Annealing of Cold Rolled Dual-Phase Steel. **Materials Science and Engineering A** 391, pp. 296–304, 2005.
3. CINDRA FONSECA, M.P.; SANTOS COSTA, W.; SANTOS CHAVES, F.R.; PARDAL, J.M.; MARQUES JUNIOR, A.S. Estudo das Propriedades Mecânicas e Tensões Residuais em Juntas Soldadas de Aço ARBL Bifásico Usado na Indústria Automobilística. In 8º CIBIM8, Cusco, Peru, 2007. **Anais**.
4. CINDRA FONSECA, M.P. **Evolução do Estado de Tensões Residuais em Juntas Soldadas de Tubulação durante Ciclos de Fadiga**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
5. Norma SAE J442. **Test strip, holder and gage for shot peening**. January 1995.

STUDY OF RESIDUAL STRESSES IN WELDED JOINTS OF DUAL PHASE HSLA STEEL USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

One way of weight reduction in automotive vehicles is through the use of high strength and low alloy (HSLA) steels, which enables the use of small thickness plates. Whereas the appearance of residual stresses is intrinsic to the welding process, this study evaluates the residual stresses generated in welded joints obtained by TIG and LASER welding processes and comparing them. Residual stresses were measured by X-rays diffraction technique, using a portable device with $CrK\alpha$ radiation applying the double exposure method. It also evaluates the influence of shot peening treatment applied after welding, in the bend tests conducted for both welding conditions and TIG welded joints showed higher stability of compressive stresses after welding. The metallographic analysis by optical microscopy complemented the welded joints characterization.

Key-words: Dual-phase HSLA steel, residual stresses, TIG and LASER welding, X-ray diffraction.