

ESTUDO DAS TENSÕES RESIDUAIS GERADAS NA SOLDAGEM A LASER DE UM AÇO IF

Maria Cindra Fonseca, mcindra@vm.uff.br
Jeferson Saulo Penna de Assis, pennadeassis@ig.com.br
Tatiane de Campos Chuvás, chuvás@vm.uff.br
Juan M. Pardal, juanpardal@vm.uff.br
Wallace P. dos Reis, wallsoad@gmail.com

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica / PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, Bl. D, Sala 302, CEP 24210-240, São Domingos, Niterói-RJ.

Resumo: Os aços Interstitial Free (IF) foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a estampabilidade dos aços empregados na indústria automobilística, fabricados pelo processo de laminação a frio, com o emprego de recozimento contínuo. Estes aços, de desenvolvimento recente, ainda são pouco estudados e carecem de mais pesquisas sobre seu comportamento em relação aos processos de fabricação neles empregados. A soldagem dos aços IF nas aplicações no setor automotivo é crítica, pois além de gerar campos de tensões elevados, apresenta ainda a característica de, durante o processo, destruir a sua microestrutura. O presente trabalho teve como objetivo analisar as tensões residuais geradas no processo de soldagem a laser, sem metal de adição, em um aço IF, a influência do tratamento de shot peening nas tensões residuais e a caracterização microestrutural da junta soldada por microscopia ótica. As tensões residuais superficiais foram medidas por difração de raios-X pelo método da dupla exposição, usando um equipamento portátil, com radiação $CrK\alpha$. Após a soldagem das amostras as tensões residuais presentes no centro do cordão de solda, em alguns pontos, apresentaram-se superiores ao limite de escoamento do metal de base, o que pode ser deletério para a vida em serviço do componente soldado. Após o tratamento por shot peening, observou-se a introdução de tensões residuais compressivas na superfície que são benéficas ao material. Na análise feita por microscopia ótica, o metal de base do aço IF apresentou uma microestrutura característica de grãos de ferrita. Na zona termicamente afetada (ZTA) houve o crescimento de grão ferrítico da microestrutura, como consequência do aporte térmico, produto do processo de soldagem.

Palavras-chave: aço IF; tensões residuais; difração de raios-X; soldagem a LASER

1. INTRODUÇÃO

Peças com alta exigência de estampabilidade, cada vez mais frequentes nas últimas décadas, motivaram o desenvolvimento de chapas finas com teores ultra baixos de carbono, ou seja, os aços IF (*Interstitial Free*).

Os aços IF foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a estampabilidade dos aços, principalmente quando se emprega recozimento contínuo no processamento de tiras laminadas a frio. A produção dos aços IF pode ser feita segundo três concepções diferentes: aços IF estabilizados ao titânio (IF-Ti), ao nióbio (IF-Nb) ou com uma combinação de titânio e nióbio (IF Nb-Ti ou Ti-Nb) como estabilizantes. Os mecanismos de estabilização desses três tipos de aço diferem ligeiramente entre si. Nos aços IF estabilizados ao titânio, o Ti combina com o N e S antes do C, para formar compostos como TiN, TiS, TiC e $Ti_4C_2S_2$ (Meira, 2006).

Estes aços têm grande aplicação na indústria automobilística e, portanto, a necessidade de geração de conhecimentos sobre o seu processamento e o comportamento com relação aos processos de fabricação utilizados é de grande importância (Narayanasamy & Sathiya Narayanan, 2005; Rizzi et al, 2009).

A utilização da soldagem a laser implica em menor aporte térmico e conseqüentemente, mínimas zonas termicamente afetadas e processos com maior velocidade. As distorções são reduzidas a um grau mínimo, e os retrabalhos de pós-soldagem são eliminados na maioria dos casos.

Quando o feixe de laser toca a superfície de metal, a energia concentrada aquece rapidamente a área atingida, fundindo e vaporizando metal, a pressão resultante acaba perfurando a superfície formando uma cavidade ou núcleo, cheio de vapor superaquecido em seu interior e cercado de material fundido. Deslocando-se a cavidade ou núcleo ao longo da superfície forma-se o cordão de solda. Os cordões de solda resultante são de aproximadamente 1,2 a 1,5 mm de largura (Kavamura, 2007).

O desenvolvimento de tensões residuais nas construções soldadas é intrínseco do processo de soldagem (Cindra Fonseca, 2000). Elas são funções de diversas variáveis, relacionadas aos parâmetros utilizados na execução do cordão de solda, geometria da junta, número de passes, composição química dos metais de base e de adição, e de outros fatores pertinentes ao processo de soldagem (Wanab & Nguyen, 1994). As tensões residuais influenciam o comportamento das uniões soldadas em relação à fratura, de modo que o conhecimento das mesmas é de fundamental importância para segurança de toda estrutura (Okamura & Taniguchi, 1982).

O *shot peening* pode ser definido como um tratamento mecânico superficial a frio, que tem por característica introduzir tensões residuais superficiais compressivas conferindo aos materiais um aumento na resistência à fadiga mecânica e resistência à corrosão.

O presente trabalho teve como objetivo analisar as tensões residuais após o processo de soldagem em um aço IF (*Interstitial Free*) e após o tratamento de *shot peening*. Também foi realizada a caracterização microestrutural por microscopia óptica da junta soldada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado é um aço IF zincado, em forma de chapa, produzido pela Usiminas, com a espessura de 1,8mm, cuja composição química está apresentada na Tabela 1.

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

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	N
0,004	0,020	0,120	0,010	0,008	0,040	0,070	0,002

As amostras foram retiradas e cortadas sem preocupação com o sentido da laminação, pois não se tem registros anteriores referentes ao sentido de laminação e corte.

O corte foi realizado através de uma guilhotina hidráulica, obtendo peças com dimensões de 150 x 200mm, e em seguida, soldadas pelo processo de soldagem a laser, totalizando 4 amostras (Figura 1).

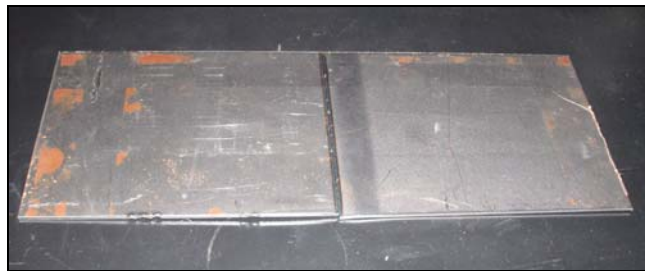


Figura 1. Amostra estudada.

As amostras foram soldadas a laser. No processo de soldagem a laser, a distância entre as peças a serem soldadas deve ser menor que 1,0mm para que o feixe incida sobre a superfície e ao incidir sobre uma superfície, uma fração do laser é absorvida pelo material e outra é refletida.

A soldagem a laser consistiu na passagem de duas peças que seriam unidas por uma esteira, com espaçamento entre as peças de aproximadamente 1,0mm. Antes de chegar à fonte de calor, a região do bisel passou por dois rolos *Souka* (Figura 2), estes rolos prensaram as extremidades da chapa de modo que a deformação causada preencheu o espaço entre as duas peças. O processo foi realizado em atmosfera de gás Hélio com uma vazão de 100ℓ/mim e velocidade de 4,0m/s. Foram produzidas 4 amostras soldadas, conforme mostrado na Figura 3.

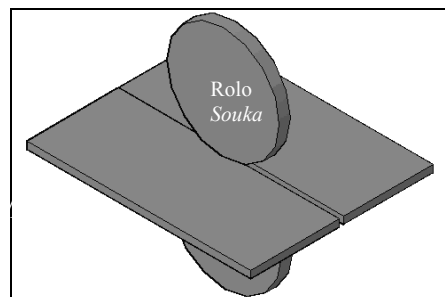


Figura 2. Esquema dos Rolos *Souka* deformando a região do bisel.

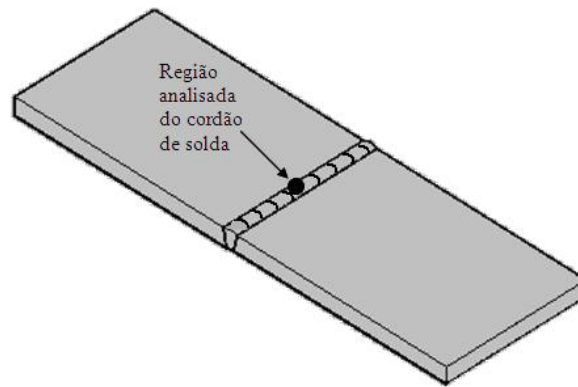


Figura 3. Amostra soldada, com indicação do local de medição das tensões residuais.

Após a soldagem, foram medidas e analisadas as tensões residuais no cordão de solda das amostras soldadas nas direções, longitudinal (L) e transversal (T), tanto na superfície como na raiz da solda. A fim de verificar a influência de tratamentos mecânico de jateamento no comportamento das tensões residuais presentes na junta, as amostras foram submetidas a um tratamento de *shot peening* e as tensões foram analisadas novamente. A medição das tensões residuais foi realizada por difração de raios-X, com um equipamento portátil, pelo método de dupla exposição, com 25kV e 1,5mA, usando radiação $CrK\alpha$ (Figura 4).

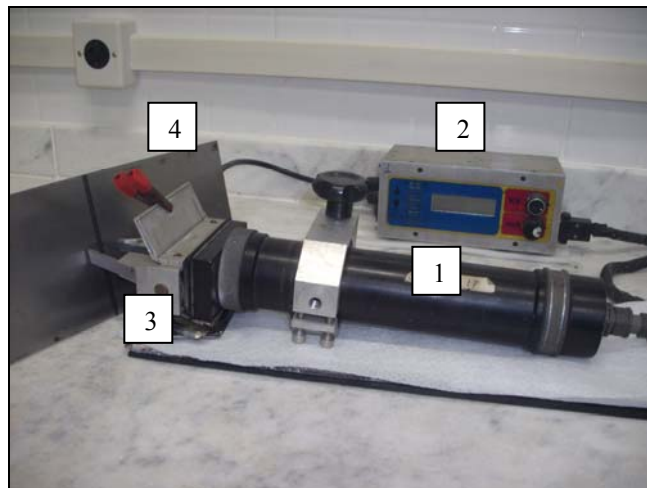


Figura 4. Analisador portátil de tensões por difração de raios-X, composto de (1) tubo de raios-X com radiação $CrK\alpha$; (2) unidade de controle da tensão e corrente; (3) colimador; (4) amostra analisada.

Após a análise das tensões residuais, foram retiradas amostras para microscopia óptica, a fim de conhecer as modificações microestruturais ocorridas na junta soldada e nas vizinhanças da mesma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Tensões Residuais

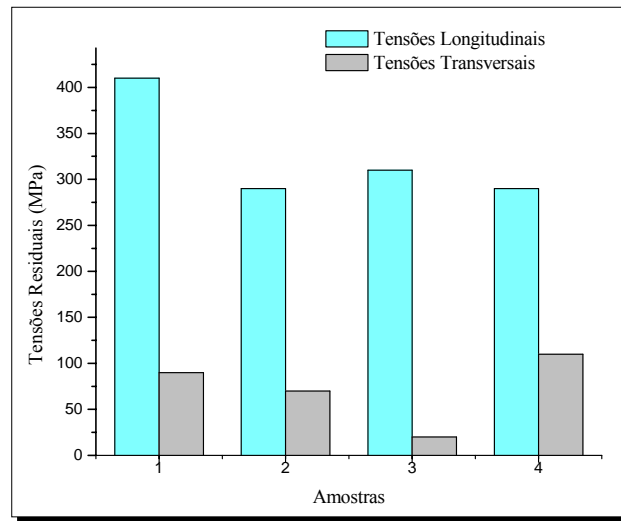
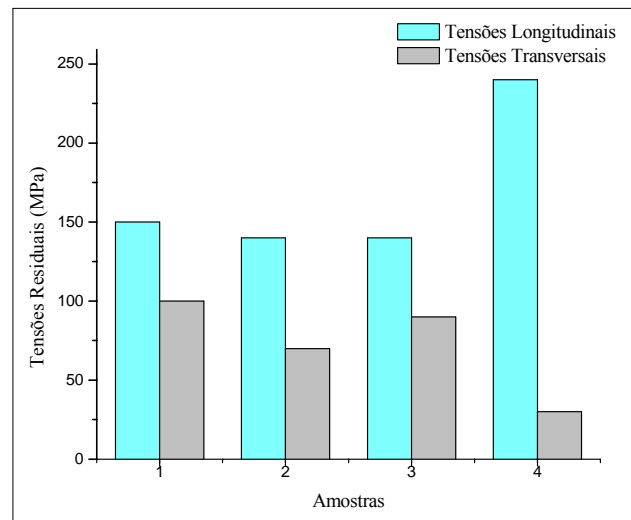
As tensões residuais foram medidas nas quatro amostras, em ambos os lados no centro do cordão de solda, sendo denominado como "A" o lado da superfície da solda, e "B" o lado da raiz. Após a soldagem as tensões foram medidas em duas direções, Longitudinal (L) e Transversal (T) e os valores estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 e nas Figuras 5 e 6. Em todos os pontos analisados as tensões foram trativas.

Tabela 1. Tensões residuais longitudinais medidas nas amostras estudadas após a soldagem (MPa).

Amostra	1	2	3	4
Superfície (AL)	410	290	310	290
Raiz (BL)	150	140	140	240

Tabela 2. Tensões residuais transversais medidas nas amostras estudadas após a soldagem (MPa).

Amostra	1	2	3	4
Superfície (AT)	90	70	20	110
Raiz (BT)	100	70	90	30

**Figura 5. Tensões residuais na superfície da junta soldada.****Figura 6. Tensões residuais na raiz da junta soldada.**

Analisando os resultados apresentados nas figuras 5 e 6 observa-se que as tensões seguem um padrão em que as tensões longitudinais, tanto na superfície do cordão (no lado “A”) quanto no lado da raiz (“B”), são maiores que as transversais, atingindo o valor máximo de cerca de 400MPa em tração no metal de solda.

Considerando que o limite de escoamento do material de base é de cerca de 300MPa, as tensões geradas pelo processo de soldagem superam este valor em alguns pontos, o que pode abreviar a vida em serviço do componente soldado, quando da superposição das tensões residuais e aplicadas.

As tensões residuais longitudinais na superfície da solda, lado “A”, são maiores que as tensões longitudinais na raiz da solda, lado “B”. As tensões residuais transversais em ambos os lados possuem médias bem semelhantes. As tensões geradas no lado da raiz do cordão de solda podem ser desconsideradas em relação às tensões residuais da superfície do cordão.

Após as análises das tensões residuais geradas pelo processo de soldagem as amostras passaram pelo tratamento de *shot peening*, com o intuito de introduzir tensões residuais compressivas nas mesmas. O jateamento promoveu a inversão da natureza das tensões residuais superficiais, tornando-as compressivas em todos os pontos medidos. Os valores das tensões compressivas geradas pelo jateamento estão apresentados nas Tabelas 7 e 8 e nas Figuras 7 e 8.

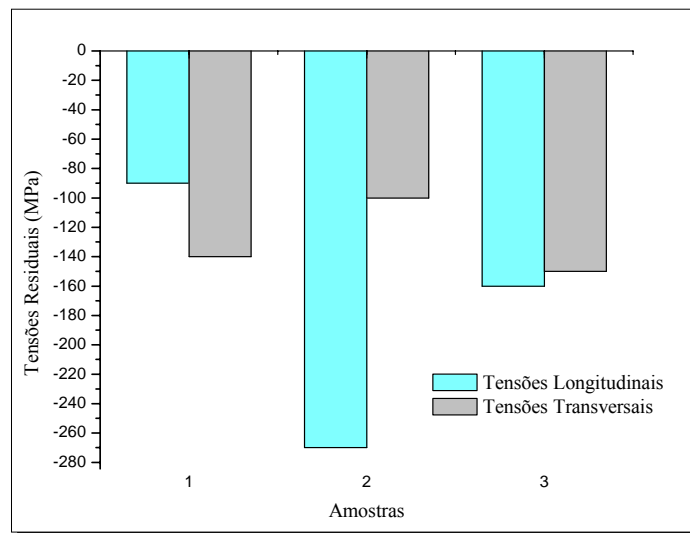
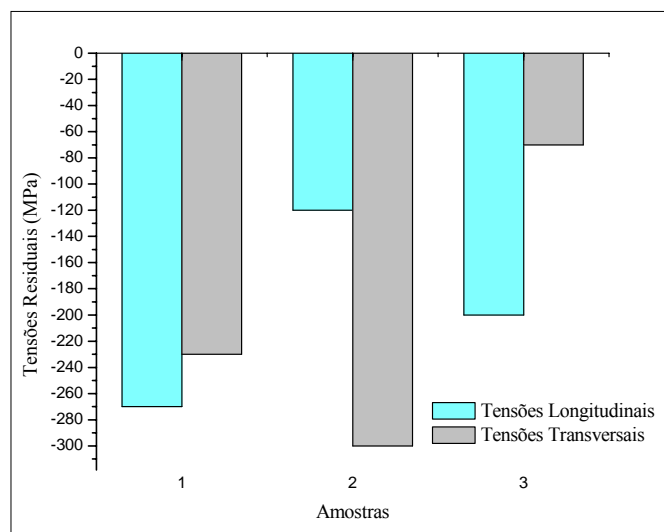
A amostra 1 não foi submetida ao tratamento de *shot peening*, pois dela foram retiradas as amostras para caracterização da microestrutura por microscopia óptica.

Tabela 7. Tensões residuais longitudinais medidas nas amostras estudadas após o *shot peening*.

Amostra	Tensões residuais longitudinais (MPa)		
	2	3	4
Superfície (AL)	-90	-270	-160
Raiz (BL)	-270	-120	-200

Tabela 8. Tensões residuais transversais medidas nas amostras estudadas após o *shot peening*.

Amostra	Tensões residuais transversais (MPa)		
	2	3	4
Superfície (AT)	-140	-100	-150
Raiz (BT)	-230	-300	-70

Figura 7. Tensões residuais na superfície da junta soldada após o *shot peening*.Figura 8. Tensões residuais na raiz da junta soldada após o *shot peening*.

3.2. Microscopia óptica

As modificações microestruturais ocorridas na junta soldada foram caracterizadas, após a medição das tensões residuais, por microscopia óptica. A Figura 9 apresenta a microestrutura do metal de base do aço IF exibindo característicos grãos de ferrita. Não foi percebida a presença de colônias de perlita na microestrutura, demonstrando desta maneira o baixo teor de carbono da liga.

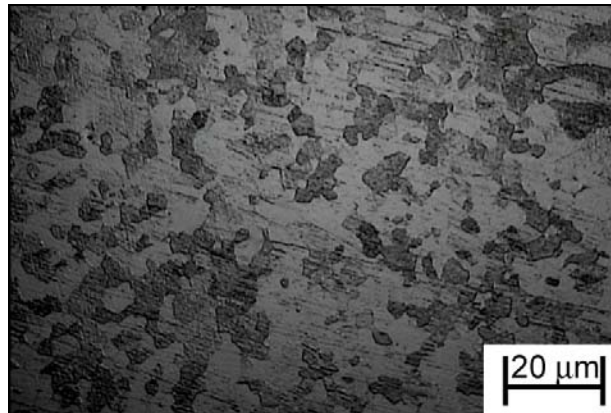


Figura 9. Microestrutura do metal base.

As Figuras 10 e 11 apresentam as microestruturas da zona termicamente afetada (ZTA) em ambos os lados da junta soldada. Nestas figuras denota-se uma faixa muito estreita onde se manifestou o crescimento de grão ferrítico da microestrutura como consequência do aporte térmico, produto do processo de soldagem. Porém, a ZTA é relativamente estreita, aproximadamente 50 μ m, devido ao processo de soldagem empregado.

Assim como nas Figuras 10 e 11, na Figura 12, na micrografia correspondente ao metal de solda, ficou evidenciada a presença de micropites na microestrutura, o que provavelmente foi devido ao processo de lixamento das amostras, com água contendo cloro.

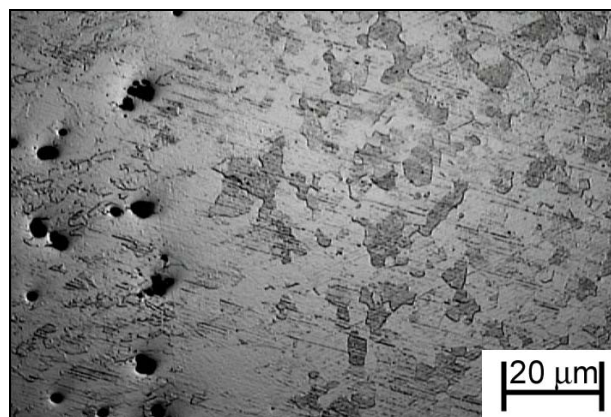


Figura 10 - Microestrutura da ZTA do lado direito do cordão de solda.

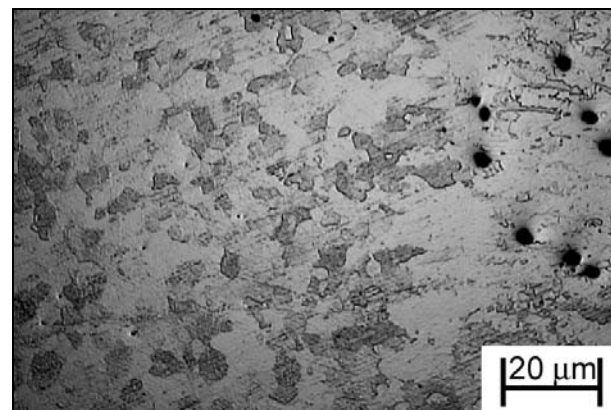


Figura 11 - Microestrutura da ZTA do lado esquerdo do cordão de solda.

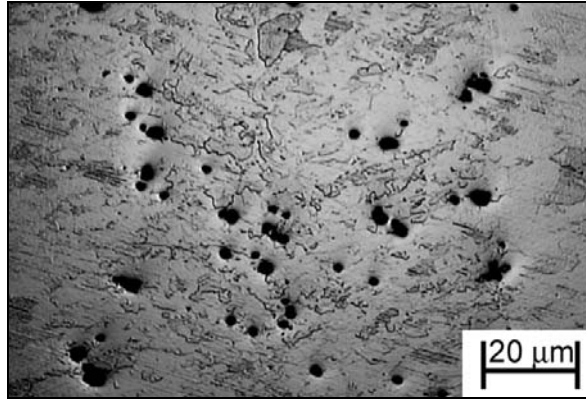


Figura 12 - Microestrutura do centro do cordão de solda.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho, que teve como objetivo a análise das tensões residuais geradas no processo de soldagem a laser de um aço IF (*Interstitial Free*) permite chegar às seguintes conclusões:

1. As tensões residuais geradas pelo processo de soldagem no centro do cordão de solda são, em alguns pontos, superiores ao limite de escoamento do metal de base (~400MPa), o que pode ser altamente deletério para a vida em serviço do componente soldado.
2. As tensões residuais longitudinais são mais elevadas em magnitude do que as tensões transversais.
3. As tensões geradas no lado da raiz do cordão de solda podem ser desconsideradas em relação às tensões residuais da superfície do cordão, sempre mais elevadas.
4. As regiões correspondentes ao metal de solda apresentam inúmeros micropites, provavelmente como produto do ataque do reagente. Este curioso fato pode indicar que a resistência à corrosão do metal de solda seja inferior à do metal de base.
5. Com a aplicação de tratamento superficial de jateamento, *shot peening*, mesmo que de baixa intensidade foi possível modificar a natureza das tensões residuais tratativas geradas na soldagem das juntas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa Ferrolene, pelas amostras soldadas e ao CNPq, à Capes e à Faperj, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Cindra Fonseca, M. P., 2000, “Evolução do Estado de Tensões Residuais em Juntas Soldadas de Tubulação durante Ciclos de Fadiga”. Tese D. Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ.
- Meira, R. R., 2006, “Efeito da Variação das Condições de Encharque nas Propriedades Mecânicas do Material IF Processado no Recozimento Contínuo da Usiminas”, Tese de Doutorado, UFMG, Belo Horizonte-MG.
- Narayanasamy R., Sathiya Narayanan C., 2005, Forming limit diagram for interstitial free steels Part I, *Materials Science and Engineering A* 399 pp. 292–307.
- Nguyen T.N., Wahab, M.A., 1996, “The Effect of Residual Stresses on Fatigue of Butt Joints”, *Welding Journal*, pp.55s-61s.
- Okumura T., Taniguchi C., 1982, *Engenharia de Soldagem e Aplicações*.
- Rizzi, P., Bellingeri, S., Massimino, F., Baldissin, D., Battezzati, L., 2009, “Microstructures in laser welded high strength steels”, *The 13th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials*.

7. DIREITOS AUTORAIS

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



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

RESIDUAL STRESS ANALYSIS IN LASER WELDED JOINTS OF IF STEEL

Maria Cindra Fonseca, mcindra@vm.uff.br
Jeferson Saulo Penna de Assis, pennadeassis@ig.com.br
Tatiane de Campos Chuvas, chuvas.tatiane@gmail.com
Juan M. Pardal, juanpardal@vm.uff.br
Wallace P. dos Reis, wallsoad@gmail.com

UFF – Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica / PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, Bl. D, Sala 302, CEP 24210-240, São Domingos, Niterói-RJ. E-mail: mcindra@vm.uff.br

***Abstract:** The Interstitial Free Steels (IF) were developed with the aim of improving the steel stampings of employees in the automobilistic industry, manufactured by the process of cold lamination, with the continuous annealing. These recent developed steel are still poorly studied and require further research on their behavior in relation to manufacturing process them employees. The welding of IF steel for applications in the automotive sector is critical, as well as generate fields of high residual stress, still has the characteristic that, during the process, destroy their microstructure. The aims of this work are to analyze the residual stresses generated in the process of laser welding without the metal addition in a IF steel, the influence of shot peening treatment in the residual stress and the microstructure characterization by the optical microscopy. The superficial residual stresses were measured by X-ray diffraction by double exposure method, using a portable apparatus with CrK α radiation. After the welding the residual stress show in the sample weld center, in some places, showed higher them yield strength of base metal. After the shot peening treatment observed the introduction of compressive residual stress on the material surface. The microstructure analysis was carried out by light optical microscopy on the weld bead and base metal. In the heat affected zone (HAZ) was noticed the increase of ferrite grains as the result of heat input in welding process.*

***Keywords:** IF Steel; Residual stresses; X-ray diffraction; Laser welding.*