

AVALIAÇÃO DA SOLDABILIDADE DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO CONTENDO 11% DE CROMO ¹

Temístocles de Sousa Luz ²

Jesualdo Pereira Farias ³

Valtair Antônio Ferraresi ⁴

Resumo

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma baixa soldabilidade (comparados com os austeníticos), pois a sua solda é caracterizada por ductilidade e tenacidade baixas. Estes problemas de soldabilidade têm limitado, até recentemente, a aplicabilidade destes aços em estruturas soldadas. Com o desenvolvimento de novos materiais e técnicas de fabricação, é necessário para a sua inserção no mercado produtivo um estudo detalhado da soldabilidade para garantir a sua viabilidade comercial. Neste trabalho procurou-se avaliar a soldabilidade do aço inoxidável ferrítico contendo 11% de cromo, realizando um estudo de sua microestrutura pré e pós-soldado, bem como a avaliação da tenacidade ao impacto na região da zona afetada pelo calor (ZAC). Para esse estudo foram utilizados dois materiais, um tratado termicamente em forno tipo BOX e outro tratado em forno contínuo. Os materiais caracterizam-se pela composição química similar, mas estrutura diferenciada, em função do processo final de tratamento térmico utilizado. Os resultados mostraram que o tipo de tratamento interfere nas propriedades mecânicas medidas.

Palavras-chave: Aço inoxidável ferrítico; Soldagem; Tenacidade ao impacto; ZAC.

EVALUATION OF THE WELDABILITY OF STAINLESS STEEL FERRÍTICO WITH 11% CHROMIUM

Abstract

Currently the development of new materials happens fast because of the technological advance. However, for insertion these materials in the actually business, many studies are necessary to guarantee commercial viability. For metallic materials, as the stainless steel, the metallurgic study is the most significant. Amongst these studies, the evaluation of welded region these alloys are a very important. Thus, the aim of this work was evaluate the weldability of ferritic stainless steel with 11% Cr content and treatments in two furnaces (BOX and continuous). Evaluated the microstructure as received (parent metal) and heat affected zone (HAZ). Also was evaluated the impact toughness (Charpy-V) of the both regions (parent metal and HAZ). In the study was evidenced influence of the treatment in mechanical properties measurements

Key words: Ferritic stainless steel; Welding; Charpy-V; HAZ.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² Prof. Msc. - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Mecânica - Av. Fernando Ferrari, 514 - Campus Universitário de Goiabeiras - CEP 29060-970 – Vitória – ES – Brasil – Fone: (27) 4009 2185 - tluz@ct.ufes.br

³ Prof. Dr. - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem. Fortaleza/CE. CEP: 60488-760 – Fone (85) 33669600 – jpf@secrel.com.br

⁴ Prof. Dr. - Universidade Federal de Uberlândia, Av. João naves de ávila, 2160 - campus santa mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148. – valtairf@mecanica.ufu.br

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma baixa soldabilidade (comparados com os austeníticos), pois a sua solda é caracterizada por ductilidade e tenacidade baixas além de sensibilidade à corrosão intergranular. Trincas de solidificação também podem ocorrer na zona fundida (ZF).^(1,2) Estes problemas de soldabilidade têm limitado, até recentemente, a aplicabilidade destes aços em estruturas soldadas. De uma maneira geral, a fragilização da solda é mais intensa em aços com maiores teores de cromo e intersticiais e a sensibilidade à corrosão intergranular é maior com maiores teores de intersticiais e menores teores de cromo. Em soldas com teores de cromo em 12% constataram-se baixos níveis de alongação e baixa resistência ao impacto. Em função disso, essas soldas são revenidas por longos períodos de tempos a temperaturas na faixa de 700 °C a 750°C. Com isso é possível se conseguir maiores valores de alongação, no entanto a resistência ao impacto ainda permanece baixa em função dos teores de ferrita delta, que podem atingir valores na ordem de 20 a 30%. A principal razão desse fenômeno é a tendência que a ferrita delta tem de formar estruturas grosseiras pela recristalização. É possível diminuir o problema da estrutura grosseira pela adição de titânio e molibdênio, através do efeito de nucleação que os mesmos possuem o que poderia aumentar um pouco a resistência ao impacto.^(1, 3, 4)

A estrutura ferrítica, dependendo da composição da liga, poderá proporcionar o crescimento de grão adjacente à zona fundida, na zona afetada pelo calor (ZAC). Este crescimento de grão é gerado pelos picos de temperatura atingidos nessas áreas, na ausência de austenita nesses níveis de temperatura.⁽⁵⁾ Observando um diagrama de fases para um aço ferrítico com baixo teor de cromo (Figura 1), pode-se verificar que o mesmo é passível de regiões austeníticas na ordem de 1200 °C, sendo esse fator, no caso do diagrama, resultado dos elementos intersticiais, como no caso o carbono. Durante a soldagem, a região adjacente à zona fundida atinge essas temperaturas e pode, durante o resfriamento, gerar, não só uma estrutura grosseira (grãos crescidos), como também outras estruturas frágeis, como é o caso da martensita e da bainita, mesmo o material apresentando baixos teores de carbono. Observando o diagrama, mesmo para teores abaixo de 0,2% de carbono, a região $\delta + \gamma$ ainda é presente para temperaturas abaixo de 1000 °C (Figura 1).

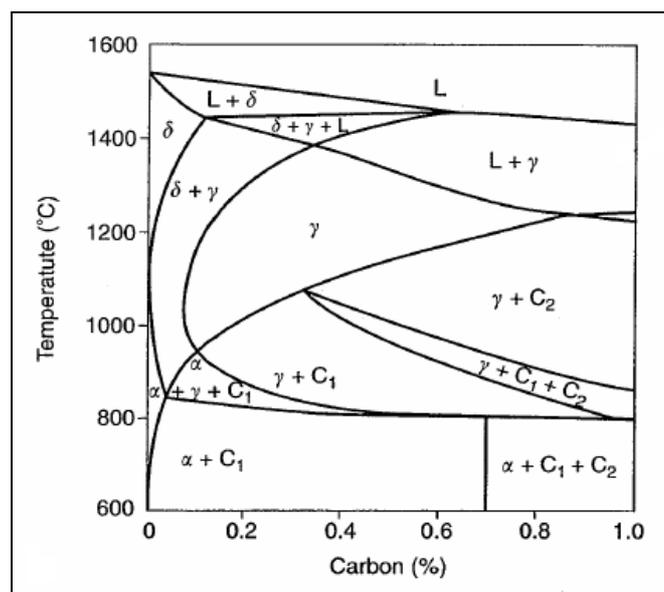


Figura 1 – Diagrama de equilíbrio para aço inoxidável ferrítico com 13% Cr⁽⁵⁾.

Recentemente desenvolveu-se uma classe de aços ferríticos com maior controle dos elementos componentes da liga, o qual possibilitou um ganho relativo em suas características mecânicas. A Tabela 1 mostra a composição básica para esse tipo de aço. Observa-se que os teores de Ni estão na ordem de 0,4% em massa. Esse melhor controle garantiu a alguns aços, níveis de tenacidade a fratura compatíveis aos aços carbonos estruturais, quando submetidos à soldagem, como é o caso do aço F12N apresentado na Figura 2⁽⁶⁾. Através desses teores apresentados, em particular o níquel, a presença de austenita em temperaturas elevadas é constatada, diminuindo, para essas ligas, o efeito de crescimento de grão acentuado na região adjacente à zona fundida (ZAC).

Tabela 1 – Composição química do aço Usinox F12N. ⁽⁶⁾

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Ni
%	0,02	0,5	0,6	11	0,4

No presente trabalho avaliou-se a soldabilidade do aço inoxidável ferrítico experimental com 11% de cromo, realizando um estudo de sua microestrutura pré e pós-soldado e através da avaliação da tenacidade ao impacto na região atacada termicamente (ZAC).

O aço inoxidável em estudo é um aço inoxidável com um teor médio de 11% Cr que já é utilizado em larga escala na indústria e em produtos acabados em todo o mundo. Este atende à designação européia 1.4003 incluída na especificação EN 10088-2, que agrega aços inoxidáveis planos e longos. Também é certificado pela ASTM A240 UNS S41003. Foi desenvolvido para fornecer uma alternativa superior ao aço carbono e outros materiais com baixa resistência à abrasão/corrosão. Também é uma opção econômica de substituição aos aços inoxidáveis convencionais onde as condições de corrosão não justificam a especificação de um aço mais nobre.⁽⁷⁾

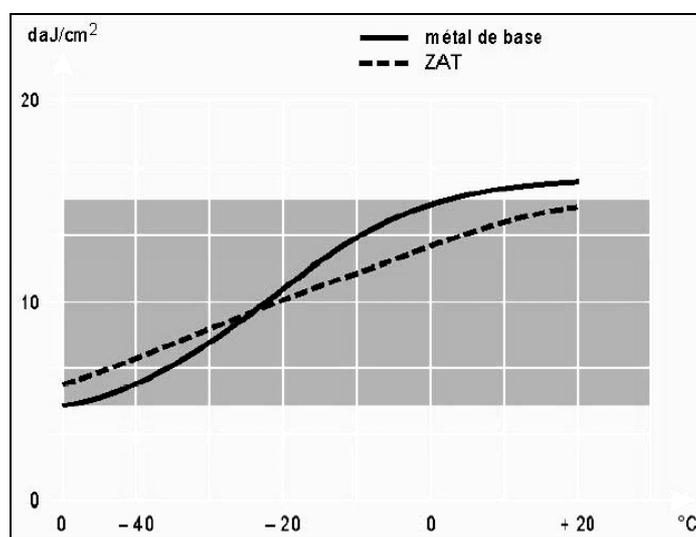


Figura 2 – Característica de tenacidade para o aço F12N ⁽⁶⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo, o material foi submetido a dois tratamentos térmicos, um em forno tipo BOX e outro em forno contínuo. Os materiais caracterizam-se pela composição similar (Tabela 2), mas estrutura diferenciada, em função do processo final de tratamento térmico utilizado.

Segundo o fabricante, no processo em forno BOX, o tratamento térmico do produto é passível de um maior controle, com o intuito de minimizar as heterogeneidades da estrutura no material, proporcionando uma estrutura mais equiaxial, eliminando assim os indícios da laminação. Já no processo contínuo esse controle já não é tão intenso,

podendo, em alguns casos, haver resquícios da laminação. Em função disso é possível se ter materiais de uma mesma fornada com características dissimilares.

A Tabela 2 mostra a composição química do aço em estudo. Pode-se verificar que ambos os aços apresentam similaridade em suas composições, principalmente com relação aos teores de cromo e níquel.

Para a análise metalográfica, as amostras foram submetidas a um polimento seqüencial iniciando-se com lixas de granulação 220 até a granulação de 1200. Em seguida foram polidas com pastas de diamante, iniciando-se com granulação de 6 µm e terminando com 0,25 µm. As amostras foram submetidas seqüencialmente ao um ataque químico pelo reagente Vilella's (1 g de ácido pícrico, 5 ml de ácido clorídrico e 100 ml de etanol). Foram realizadas diversas análises utilizando o microscópio ótico, tanto antes da soldagem como após a soldagem.

Foram também confeccionados corpos de prova chapu-V conforme a norma ASTM E23-04. Confeccionou-se 5 corpos de prova para cada condição estudada. Assim avaliou-se o material como recebido nas temperaturas de 0 °C, -10 °C e -20 °C. A região termicamente afetada (ZAC) também foi avaliada nas temperaturas citadas. Para a avaliação da ZAC as soldagens foram realizadas em duas energias impostas (1,4 kJ/mm e 2,2 kJ/mm) para os dois materiais em questão (BOX e contínuo). Essas energias foram escolhidas em função dos modos de transferência metálica observada para o arame tubular utilizado.^(8,9)

Tabela 2 – Composição química dos aços utilizados para análise

Elemento	Composição (% em massa)	
	BOX	Contínuo
C	0,014	0,013
Co	0,01	0,02
Cr	11,0	11,0
Mn	0,60	0,60
N	0,013	0,014
Ni	0,38	0,37
O	0,0029	0,0024
P	0,020	0,018
Si	0,47	0,45
Ti	0,009	0,010
V	0,03	0,04
W	0,05	0,05

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades Mecânicas

Todo material foi submetido a uma análise de suas propriedades mecânicas. A Tabela 3 apresenta esses resultados. Têm-se nessa tabela, o limite de escoamento do material, o limite de resistência, alongamento e a dureza padrão, dada em Brinell.

Tabela 3– Propriedades mecânicas para o aço experimental

Material	Limite de escoamento.	Limite de Resistência	Alongamento	Dureza
	(MPa)	(MPa)	(%)	HRB
BOX	330,6	480,1	37,0	83
Contínuo	294,6	413,3	39,2	79

Muito embora se possa notar a semelhança na composição química do material em análise (Tabela 2), é possível verificar a diferença nas propriedades mecânicas, verificando-se as melhores características do tratamento em BOX em relação ao material tratado em forno contínuo.

3.2 Análise Metalográfica

O material, como recebido, foi submetido a uma análise metalográfica, utilizando o microscópio ótico com o acoplamento de um sistema digital capaz de capturar digitalmente as imagens da ocular. Tanto o sistema digital como ótico, foram calibrados preliminarmente, utilizando para tanto padrões fornecidos pelo fabricante do equipamento.

3.2.1 Aço P410D tratado em forno tipo BOX

O aço como recebido apresenta um tamanho de grão ABNT na ordem de 12. O mesmo se caracteriza por grãos ferríticos. Os grãos apresentaram-se com certo direcionamento, similar ao bandeamento resultante da laminação do aço. Em função da característica do processo de tratamento térmico pós-laminação, esse tipo de estrutura não era esperada. Pela Figura 3 é notada a presença dessas bandas de deformação.

Pelo processo de tratamento térmico a que foi submetido esse se esperava uma granulometria mais homogênea, permitindo uma qualidade otimizada do material. Teoricamente isso garantiria uma maior equiaxialidade dos grãos proporcionando assim uma melhoria em suas propriedades mecânicas como a resistência mecânica e tenacidade à fratura.

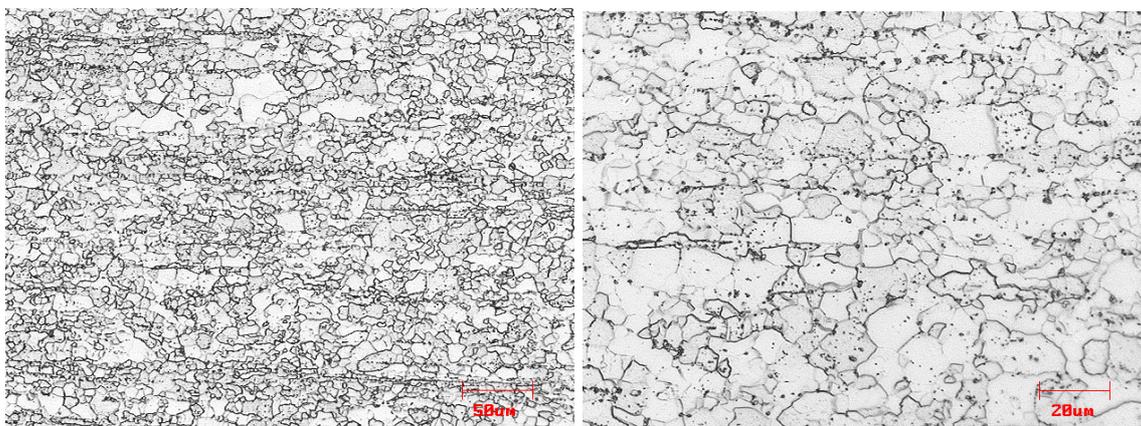


Figura 3 – Aço tratado em forno tipo BOX, como recebido (ataque vilella's).

3.2.2 Aço P410D tratado em forno tipo contínuo

O aço como recebido apresenta um tamanho de grão ABNT na ordem de 10. O mesmo fenômeno de bandeamento foi observado, com maior intensidade que no material tratado em forno tipo BOX. Para esse tipo de tratamento térmico, no entanto, tais fenômenos são passíveis de ocorrer no aço, em função de sua não homogeneidade térmica.

A Figura 4 retrata a microestrutura desse material tratado em forno contínuo. É nítida a presença do direcionamento dos grãos. Observando com mais detalhe as Figuras 3 e 4 nota-se que elas se diferem em tamanho de grão, sendo verificado um maior tamanho de grão para o material tratado em forno contínuo. Esse fator pode ser de grande relevância nas características mecânicas do material.

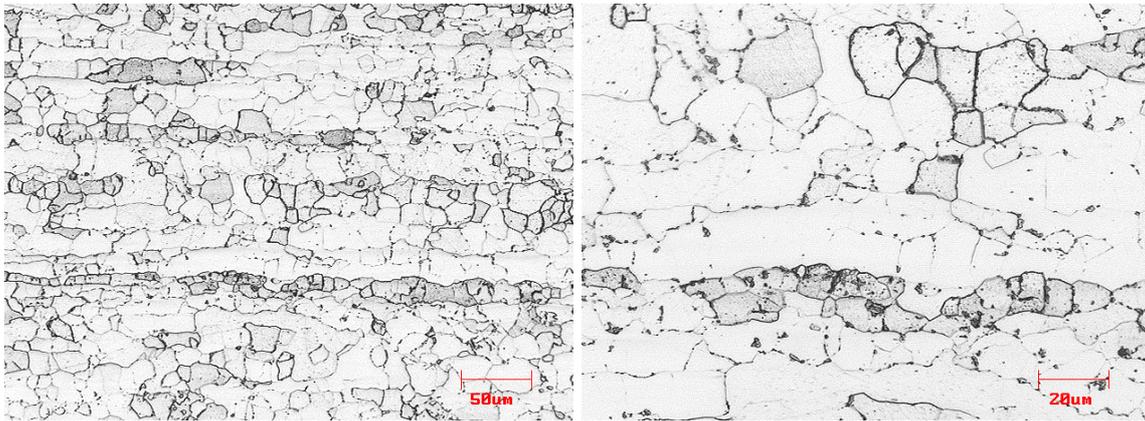


Figura 4 – Aço tratado em forno tipo contínuo, como recebido (ataque vilella's).

3.3 Ensaio de Charpy

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do ensaio de tenacidade ao impacto para os dois materiais (tratado em forno tipo BOX e em forno contínuo) no estado como recebido. O material foi ensaiado em três níveis de temperatura. Pelos resultados, o material tratado em forno BOX apresenta-se superior ao material tratado em forno contínuo, levando em consideração à tenacidade ao impacto.

Os valores mostrados na Tabela 3 apresentam-se em J, ou seja, colocando-se um fator de correção segundo a Equação 1⁽¹⁰⁾, obtêm-se esses valores em J/cm².

$$E = \frac{(E_1 - E_2) \cdot 9,81}{S} \quad (1)$$

Na equação, E_1 e E_2 são as energias potenciais, inicial e final do pendulo, respectivamente, e S a área transversal da seção abaixo do entalhe. Assim, para os valores apresentados na Tabela 3 é necessário aplicar o fator de 2,5. Logo, valores como 50 J, por exemplo, seriam equivalentes a 125 J/cm². Deste prisma pode-se verificar que os valores médios adquiridos em ambos os testes, mostrados nesta tabela, apresentam-se superiores aos observados na literatura⁽⁶⁾.

Tabela 4 – Resultado da avaliação do metal de base

Tipo de tratamento	Temperatura (°C)	Média (J)	J/cm ²	Desv. Padrão (J)
BOX	-20	70,6	176,5	14,1
	-10	81,4	203,5	17,6
	0	82,2	205,5	10,5
Contínuo	-20	47,6	119,0	4,9
	-10	52,2	130,5	10,2
	0	50,2	125,5	5,4

Observando os resultados mostrados pelas Figuras 3 e 4, verifica-se que o metal de base tratado em forno tipo BOX apresenta um tamanho de grão menor que o apresentado pelo material tratado em forno contínuo, isso proporciona uma elevação na tenacidade do material. Isso explica o melhor resultado para o material tratado em forno tipo BOX, o que também pôde ser observado nos valores apresentados na Tabela 3, a qual mostra que os limites de escoamento e de resistência são superiores para o material tratado em forno tipo BOX.

A Tabela 5 mostra os resultados da análise de variância (nível de significância). São observados os valores obtidos com a análise de variância multifatorial, abordando cada variável independente (tipo de tratamento e temperatura de ensaio). Através dos valores

apresentados nessa tabela, levando em consideração o nível de significância de 5%, é possível afirmar que, estatisticamente os dois materiais avaliados apresentam-se distintos, tomando como referência suas características medidas, mediante a variável dependente (energia absorvida ao impacto).

A temperatura de ensaio não se mostrou estatisticamente influente nas características do material. Nota-se uma correlação de 0,1432 para a variável temperatura de ensaio. Com isso constata-se que, para o nível de significância de 5%, a temperatura não apresentou influência significativa na tenacidade ao impacto para esse material. Com isso, pode-se afirmar que a temperatura de transição dúctil-frágil para esse material encontra-se a temperaturas mais baixas de -20°C.

Tabela 5 – Resultado da ANOVA para o teste de Charpy-V no metal como recebido.

Variável	p
Tratamento térmico	0,0000
Temperatura de ensaio	0,1432
Interação	0,5104

A Figura 5 mostra graficamente os resultados da análise de variância, conforme citado na Tabela 5. Embora se perceba a variação do valor médio de energia absorvida ao impacto para os dois tipos de material, quando se minimiza a temperatura de ensaio, essa minimização não foi relevante estatisticamente falando para um nível de significância de 5%.

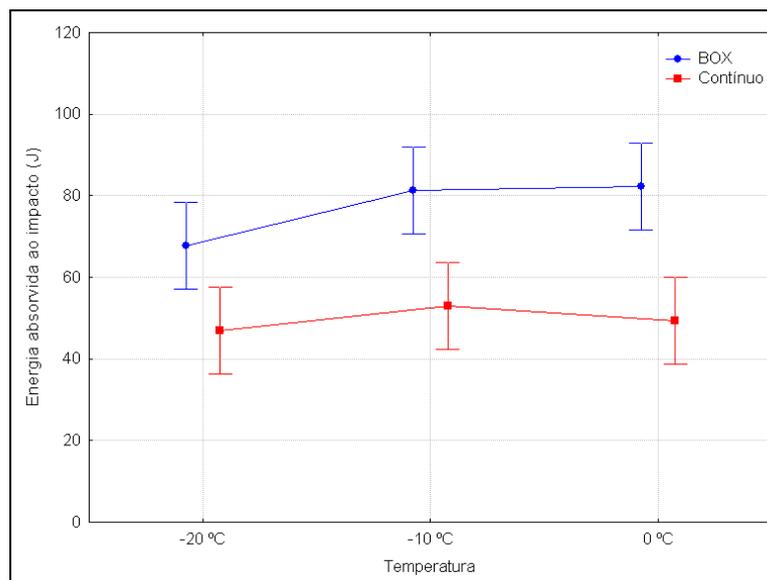


Figura 5 – Efeito da temperatura de ensaio e do tipo de tratamento sofrido pelo metal de base sobre a tenacidade ao impacto.

De um modo geral observa-se que o material tratado em forno tipo BOX apresenta uma melhor tenacidade ao impacto que o material tratado em forno contínuo, quando analisado estatisticamente. No entanto comparando-se esses valores aqui obtidos com os mostrados na literatura,⁽⁶⁾ verifica-se que este material (tratado em forno contínuo) mesmo com valores obtidos abaixo dos valores obtidos com o material tratado em forno tipo BOX, apresenta patamar similar ou superior aos materiais de mesma classe existentes no mercado.^(11, 12)

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com a realização dos ensaios para os corpos de prova citados. De um modo geral observa-se grande variação nos resultados mostrados. Nota-se que mesmo havendo uma grande dispersão dos resultados existem algumas tendências marcantes nesses resultados. Os valores médios de energia absorvida

ao impacto para o material tratado em forno tipo BOX se apresentam superiores aos resultados mostrados pelo tratamento em forno contínuo, bem como pode ser notado a variação desses valores com a variação da temperatura de ensaio. Possivelmente alguns desses efeitos sejam mascarados pelos altos desvios padrões apresentados.

Tabela 6 – Resultado da avaliação da ZAC

ZAC	Energia	Temperatura (°C)	Média (J)	J/cm ²	Desv. Padrão (J)
BOX	Baixa	-20	35,5	88,6	26,30
		-10	59,5	148,8	35,29
		0	49,2	122,9	21,48
	Alta	-20	26,4	66,1	16,42
		-10	39,0	97,5	21,99
		0	35,2	88,0	11,65
Contínuo	Baixa	-20	10,4	26,1	11,08
		-10	6,3	15,8	1,53
		0	53,1	132,9	31,26
	Alta	-20	23,8	59,6	31,54
		-10	9,7	24,2	2,52
		0	36,1	90,4	41,11

Essa grande variação no resultado pode ser resultado da diferença microestrutural dentro da própria ZAC. Foi observado que na região adjacente ao metal fundido, uma região de microestrutura não homogênea, similar ao que cita Kuo⁽¹³⁾ (ZAC de granulação grosseira e uma ZAC mais refinada). Tem-se nessa região uma microestrutura mais grosseira na adjacência da região fundida (ZAC-GG) e uma região posterior de grão mais refinado (ZAC-GF) (Figura 6). Essa característica da microestrutura gerada poderá ser um fator preponderante na não homogeneidade do resultado dos testes realizados pelo ensaio de Charpy-V.

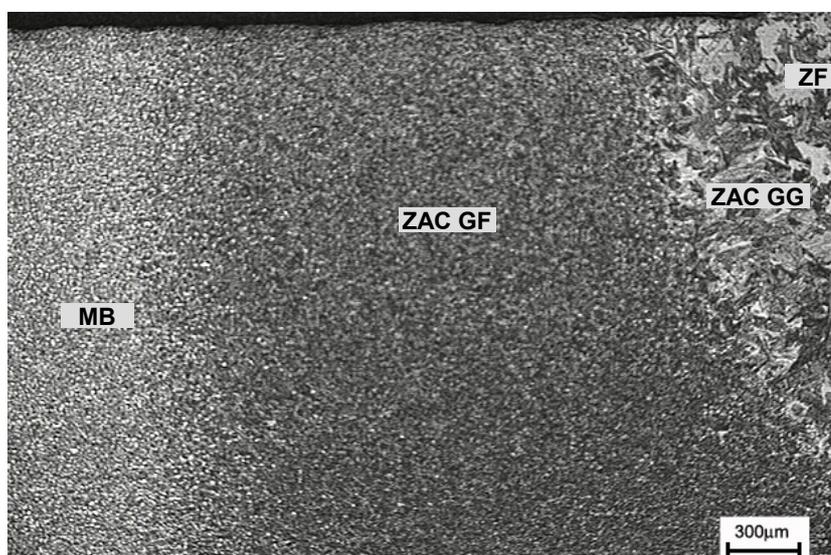


Figura 6 – Solda realizada com metal tratado em forno tipo BOX, soldada com arame experimental da classe AWS EC 409 em baixa energia.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das probabilidades geradas pela análise de variâncias. Os resultados mostram que existe uma relação entre o tipo de tratamento térmico sofrido pelo metal de base e a tenacidade ao impacto na ZAC gerada, bem como a temperatura em que foi realizado o ensaio.

A Figura 7 apresenta o efeito mais detalhado, tanto da temperatura de ensaio quanto do tipo de tratamento térmico sofrido pelo metal de base (tratamento em forno tipo

BOX ou contínuo) sobre a energia absorvida durante o ensaio de impacto. O aporte térmico da soldagem não causou efeito marcante sobre a energia absorvida ao impacto para a região da ZAC. No entanto, observa-se que para o metal tratado em forno tipo BOX esse efeito se mostra proeminente. Com o aumento da energia, para o metal tratado em forno tipo BOX, observa-se uma minimização nos níveis de energia. Para o material tratado em forno contínuo essa variação não se mostra tão acentuada. Estatisticamente este efeito não se mostra relevante devido aos elevados valores nos desvios.

Tabela 7 – Resultado da ANOVA para o teste de Charpy-V na ZAC gerada

Variável	p
Tratamento térmico	0,0080
Energia de soldagem	0,2261
Temperatura de ensaio	0,0147
Tratamento térmico x Energia de soldagem	0,2317
Tratamento térmico x Temperatura de ensaio	0,0371
Energia de soldagem x Temperatura de ensaio	0,4631

Nota-se ainda o efeito marcante que a temperatura -10°C proporcionou nos dois materiais. Essa Figura mostra que há uma minimização dos níveis de energia absorvida ao impacto com a diminuição da temperatura de ensaio. No entanto, nota-se um efeito contrário nos dois tipos de tratamento. Supõe-se que para o material tratado em forno tipo BOX, a região frágil se apresenta para níveis de temperatura inferiores a -20°C . Já para o material tratado em forno contínuo, essa região estaria posicionada em temperaturas entre -10°C e 0°C . Assim o ponto em que haveria mudanças no mecanismo de fratura estaria defasado de em pelo menos 10°C para os tratamentos utilizados.

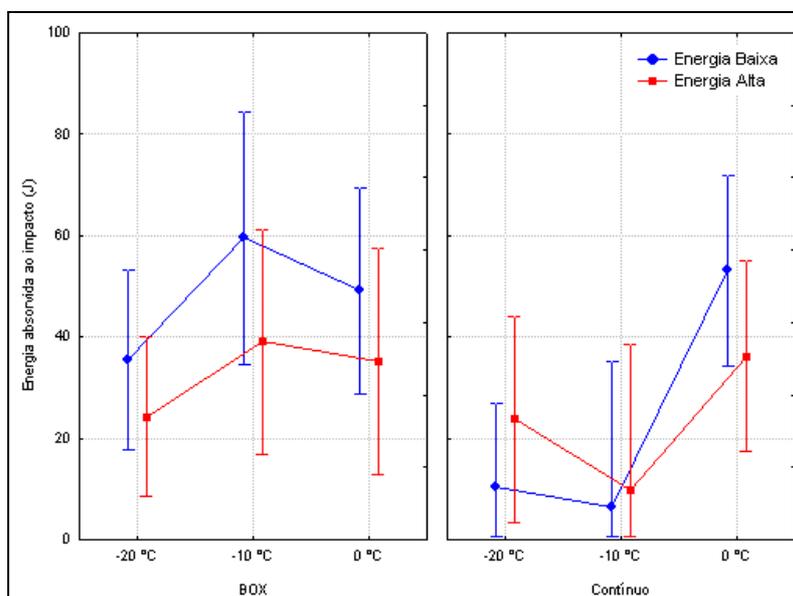


Figura 7 – Efeito da interação das variáveis (tipo de tratamento térmico, energia de soldagem e temperatura de ensaio) sobre a tenacidade ao impacto na região da ZAC.

3.4 Avaliação da Região Fraturada

Fazendo uma análise mais minuciosa pode-se verificar que a presença fases alinhadas à direção da fratura, podendo tais fases ser resultado dos resquícios da laminação. É possível que a variabilidade dos resultados seja devido a essas fases, as quais podem ter mascarado a tendência gerada pela temperatura.

As Figuras 8, 9, 10 e 11 retratam essas estruturas. Observa-se que tanto o metal tratado em forno BOX quanto contínuo apresentaram o mesmo tipo de formação.

Observando as Figuras 7 e 8 tem-se uma região adjacente à fratura gerada pelo ensaio Charpy de um corpo de prova de aço tratado em forno tipo BOX, cujos valores de energia foram 4 J e 8J respectivamente. As Figuras 9 e 10 retratam as mesmas regiões para o aço tratado em forno contínuo com energias de 4J e 3J respectivamente. Possivelmente, tais fases possam ter influenciado esses resultados.

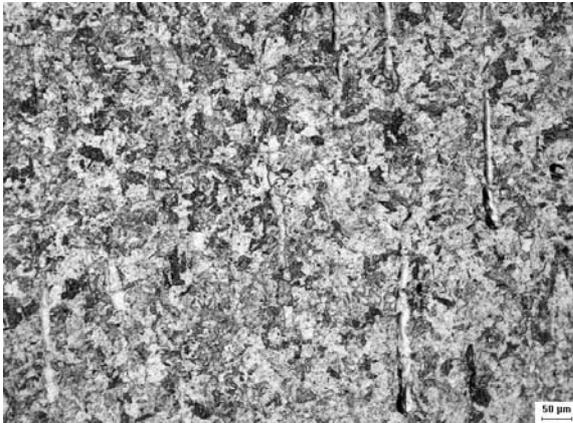


Figura 7 – Aço P410D tipo BOX, energia de resistência ao impacto de 4J e -20°C.

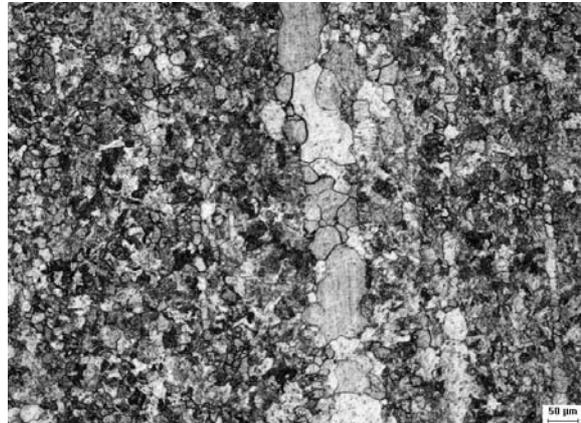


Figura 8 – Aço P410D tipo BOX, energia de resistência ao impacto de 8J e -20°C.

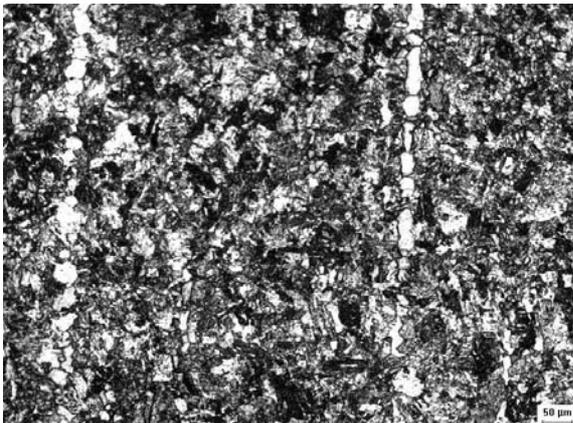


Figura 9 – Aço P410D (forno contínuo), energia de resistência ao impacto de 4J e -20°C.

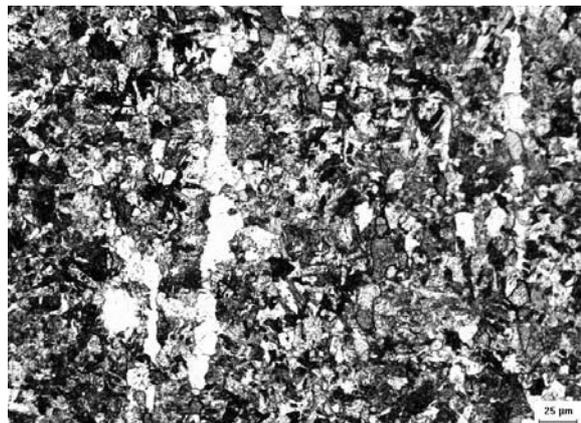


Figura 10 – Aço P410D (forno contínuo), energia de resistência ao impacto de 3J e -20°C.

Tais presenças de fases alongadas podem ser conseqüências de um tratamento térmico ineficiente para a recuperação do material após a sua laminação. Possivelmente não se teve tempo suficiente para que tais presenças fossem eliminadas por total ou também uma temperatura inadequada para o tempo em permanência no forno.

4 CONCLUSÕES

Com base nas análises acima se chega às seguintes conclusões:

- O aço tratado em forno tipo BOX se apresenta superior ao aço tratado em forno contínuo no que diz respeito tanto às propriedades mecânicas quanto à tenacidade ao impacto;
- O aço tratado em forno contínuo como recebido, embora apresente características inferiores ao aço tratado em forno tipo BOX, mantém-se em patamar superior aos aços de mesma classe no que diz respeito à propriedades mecânicas e tenacidade ao impacto;
- Ocorre grande variabilidade na tenacidade ao impacto na região da ZAC;
- A ZAC gerada em baixa energia de soldagem proporciona uma maior tenacidade ao impacto para o material tratado em forno tipo BOX;

- A variabilidade dos resultados da tenacidade ao impacto na ZAC pode ser resultado da presença de fases alongadas na região avaliada;
- A Temperatura dúctil-frágil na ZAC está defasada em pelo menos 10 °C entre os dois tipos de tratamento realizado para o material estudado

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU, UFC, UFES e ACESITA pelo apoio laboratorial e ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

REFERENCIAS

- 1 PECKNER, D.; BERNSTEIN, I. M.: Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill, New York, 1977.
- 2 SEDRICKS, A. J.: Corrosion of Stainless Steel. 2nd ed. New York: Wiley-Interscience Publications, 1996.
- 3 FOLKHARD, E.: Welding Metallurgy of Stainless Steels, Springer-Verlag Wien, New York. 1985.
- 4 AWS: Welding Handbook, Vol. 4, American Welding society. Eight edition, Miami, 1998.
- 5 LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J.: Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2005
- 6 ACELOR GROUP: Acier inoxidable ferritique à 11 % de chrome pour constructions soudées. Document UGINE & ALZ - Réf. n° 303, 2005.
- 7 ACESITA: Manual técnico do aço P410D, <www.acesita.com.br> acesso em 09 de janeiro 2004
- 8 LUZ, T. S.; RODRIGUES, C. A. L.; FARIAS, J. P.; FERRARESI, V. A.: Análise da transferência metálica do arame tubular em comparação ao arame sólido, III CONEM, Para, Belém, 2004.
- 9 LUZ, T. S.; FERRARESI, V. A.; BALSAMO, P. S.S., Análise da transferência metálica do arame tubular com proteção gasosa, 3º COBEF, Joinville, Santa Catarina, 2005.
- 10 VARNAUSKAS, V.; RUDZINSKAS, V.; ČERNAŠĚJUS, O.: Influence of Covering Components of Welding Electrodes on Chemical Composition and Mechanical Properties of Fused Metal, Materials Science (Medžiagotyra), Vol. 10, No. 1, 2004.
- 11 AZOM: Stainless Steel - Grade 3CR12 <<http://www.azom.com>> acesso em 12 de maio de 2004.
- 12 SUGARTECH: Use of 3CR12 in the Sugar Industry <<http://www.sugartech.co.za>>, acesso em 08 de agosto de 2003.
- 13 KOU, S.: Welding Metallurgy. 2ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.