CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE SOLDA TIG DE ELEMENTOS FILTRANTES PARA TELAS PREMIUM

Maia, M.B.*; Kakizaki, D. Y.*; Bagnato, O. R.*

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais, João Pessoa, Paraíba Brasil;

Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Divisão Adjunta de Tecnologia, Campinas, São Paulo, Brasil

* E-mails:mbraz998@gmail.com

RESUMO

As Telas Premium são dispositivos de separação de areia e petróleo, cuja geometria é obtida por solda TIG. O objetivo deste trabalho é caracterizar mecanicamente e microestruturalmente da solda TIG em Telas Premium. Componentes do tipo AISI 304-AISI 316L e AISI 316L-AISI 316L foram soldados pelo processo TIG. Amostras foram preparadas metalograficamente para análise microestrutural e de ferritoscopia, além de ensaios de microdureza e de tração. Alguns corpos de prova foram solubilizados. As análises microestruturais demonstraram a presença das diferentes regiões características de solda por fusão, além da presença de austenita e ferrita. A presença de defeitos na solda foi pequena. Foi possível observar o crescimento de grãos em amostras solubilizadas e dissolução de fases secundárias e diminuição de ferrita. Os ensaios de tração e de microdureza demonstraram que as amostras solubilizadas apresentaram menor resistência à tração, maior ductilidade e menor dureza quando comparadas a amostras não solubilizadas.

Palavras-chave: Tela Premium, Soldagem TIG, Ensaios mecânicos, Microestrutura.

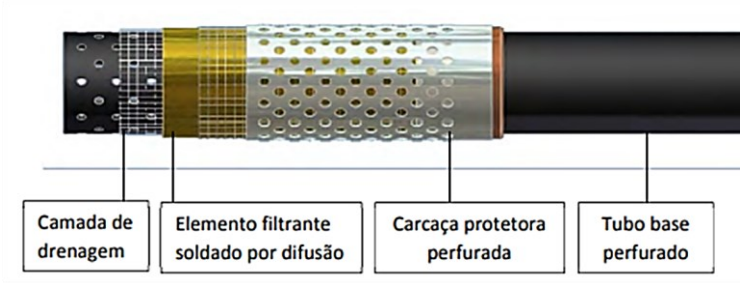
INTRODUÇÃO

Entre os desafios a serem enfrentados na produção de petróleo, destaca-se a dificuldade de lidar com as diferentes composições de reservatórios petrolíferos. No Brasil, há a presença de diversos reservatórios arenosos, o que pode originar prejuízos causados pela abrasividade das partículas, já que

equipamentos convencionais transportam não só hidrocarbonetos de interesse, mas também areia. Nesse sentido, as Telas Premium foram desenvolvidas, no Brasil, pelo CNPEM com o objetivo de otimizar a separação entre areia e petróleo (1).

As Telas são fabricadas com aço inoxidável da série 300, aços austeníticos que possuem grande importância para a indústria, devido à combinação de propriedades como elevada resistência à corrosão, grande resistência mecânica e boa soldabilidade (2). As Telas Premium são compostas por 4 componentes principais, vistos na figura 1.

Figura 1: Componentes das Telas Premium (1)



A particularidade deste produto tecnológico (Telas Premium) reside nos dois tipos de soldagens utilizadas para garantir a união de todos os seus elementos: a soldagem por difusão a vácuo, presente no elemento filtrante, e a soldagem TIG (Tungsten inert gas), responsável por unir o elemento filtrante aos demais componentes da Tela Premium.

Soldagem TIG

A soldagem TIG consiste na manutenção de um arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio e a peça, possibilitando a fusão do material, utilizando gás inerte para proteção das peças e um metal de adição para formação da junta. A solda TIG é vantajosa por permitir a soldagem de quase todos os tipos de materiais metálicos e produzir soldas de alta qualidade, pois permite um melhor controle do fluxo de calor e menor distorção após a solidificação. Contudo, o processo de solda TIG possui diversas variáveis que devem ser consideradas

na sua execução, o que torna necessário analisá-las para produção de soldas de forma eficiente (3).

Fatores que afetam a soldagem TIG

Uma das principais desvantagens dos processos de soldagem à arco elétrico, dentre eles o processo TIG, é a formação de um gradiente de temperatura, que origina diversas regiões com distintas condições metalúrgicas ao longo do material. A zona fundida (ZF) consiste na região de maior pico de temperatura e é onde a fusão obrigatoriamente ocorre durante a solda. A zona termicamente afetada (ZTA) é uma região que sofre apenas transformações microestruturais devido à proximidade com a fonte de calor. O metal base (MB) é a região não afetada pelo arco elétrico (4).

Diante disso, é inerente à solda por fusão a possibilidade de formação de heterogeneidades e defeitos na região da junta, o que pode originar um acúmulo de tensões residuais que afeta propriedades mecânicas. Fatores como a velocidade de resfriamento, pico de temperatura e o tipo de metal base determinam as propriedades da solda, já que diferentes microestruturas podem ser formadas diante dos possíveis fenômenos de crescimento de grão na ZTA, mudanças de fase, porosidades, micro segregações, precipitação de fases secundárias, contração volumétrica pela diferença de densidade entre a poça de fusão e a fase sólida, trincas (à quente ou à frio) entre outros (5).

Além disso, é vital considerar as variáveis do processo de soldagem. Um dos fatores importantes na soldagem TIG consiste no tipo de corrente utilizada na soldagem, pois pode originar diferentes perfis de solda. O aumento do valor de corrente utilizada no processo, por exemplo, também aumenta o tamanho das dendritas e o espaçamento interdendrítico na região do cordão de solda, pois uma maior quantidade de calor recebida permite mais tempo para o crescimento interdendrítico devido à menor velocidade de resfriamento (6).

Dessa forma, este trabalho tem o objetivo de realizar a caracterização microestrutural e mecânica da soldagem TIG do aço inoxidável da série 300 do elemento filtrante das Telas Premium.

METODOLOGIA

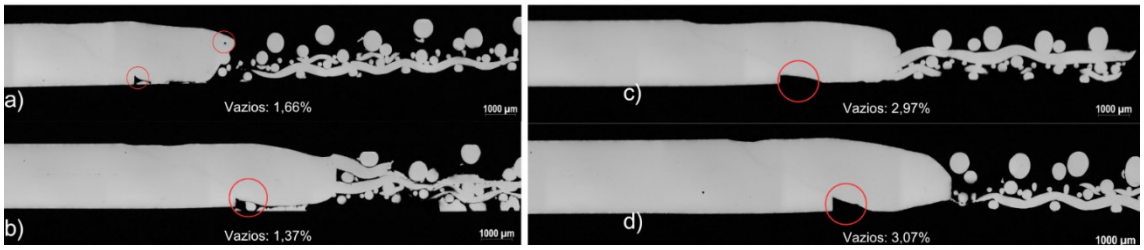
Para estudo da solda e fabricação dos corpos de prova, foram soldadas i) chapa de aço AISI 304 com elemento filtrante de aço AISI 316L (chapa-tela); ii) elemento filtrante com elemento filtrante (tela-tela), seguindo os parâmetros da Tabela 2. A soldagem TIG foi realizada com a máquina de solda Dynasty 300DX (Miller), com eletrodo de tungstênio de 1,6 mm de diâmetro, com corrente contínua e adição de vareta de aço AISI 316 com 1,2 mm de diâmetro e sem chanfro entre as superfícies. O gás argônio foi utilizado como gás de proteção com uma vazão de 6 L/min. Foram utilizadas uma corrente de 60 A, tensão de 12V e uma vazão de 6 L/min.

Algumas amostras foram aquecidas em forno tipo mufla a 1080 °C por 10 minutos e resfriadas em água para o tratamento de solubilização. Para análise microestrutural, as peças soldadas foram preparadas metalograficamente conforme a norma ASTM E3-01.

As microscopias foram feitas por meio dos microscópios do grupo UMA. Inicialmente, as análises microestruturais foram realizadas em um microscópio óptico modelo Axio Observer.Z1m (Zeiss). A microestrutura também foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura modelo JSM-5900LV (JEOL). Utilizou-se um ferritoscópio modelo Feritscope FMP30 (Fischer), com o objetivo de quantificar a ferrita presente. Os ensaios de tração foram realizados na máquina universal de ensaios do grupo UMA, conforme a norma ASTM A370-23. Para o ensaio, utilizou-se uma máquina universal de ensaios modelo DL-3000 (Emic), com célula de carga de 5 kN, velocidade de ensaio de 0,5 mm/min. A medida de microdureza das amostras foi realizada com um microdurômetro modelo LM 100AT (Leco). As medidas foram realizadas com uma carga de 0,2 kgf, com um tempo de carga de 15 segundos e um espaçamento de 250 μm entre as indentações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, as análises microestruturais foram feitas com auxílio do microscópio óptico e sem ataque químico, expostos na figura 2, na qual é possível perceber a presença de poros em baixa proporção. Também se observa falta de preenchimento em todas as amostras chapa-tela, indicando que a solda não possuiu penetração suficiente para preenchimento total. A quantificação de porosidades e de regiões de fusão incompleta, considerando apenas a região da solda, está indicada na figura.



Figuras 2.a, 2.b, 2.c e 2.d: Soldas chapa-tela sem ataque químico

Após o ataque químico (figuras 3.a a 3.d), percebem-se diferenças cruciais entre os dois tipos de soldagem utilizadas na Tela Premium. Observam-se junções da soldagem por difusão, com uma interface delimitada entre os arames do elemento filtrante e microestrutura uniforme (figura 3.e, assim como as juntas de soldagem TIG, que possuem diferentes regiões microestruturais devido ao gradiente de temperatura inerente à soldagem por fusão (figuras 3.f e 3.g).

A figura 9.f apresenta três regiões distinguíveis da solda TIG na chapa: o MB, que apresenta a microestrutura de grãos equiaxiais típica de um aço austenítico com presença de ferrita. A ZTA, que representa uma área de crescimento de grãos devido à temperatura suficientemente alta para a ocorrência de recristalização dos grãos. Por fim, a ZF, caracterizada pelo crescimento dendrítico devido ao gradiente negativo de temperatura na interface com o líquido e a segregação de solutos, que reduz a temperatura do líquido. Na solda com o elemento filtrante, a ZTA é menor se comparada à ZTA da chapa, o que pode ser justificada pela menor área dos fios da tela, que exige um menor aporte térmico para a solda.(3)

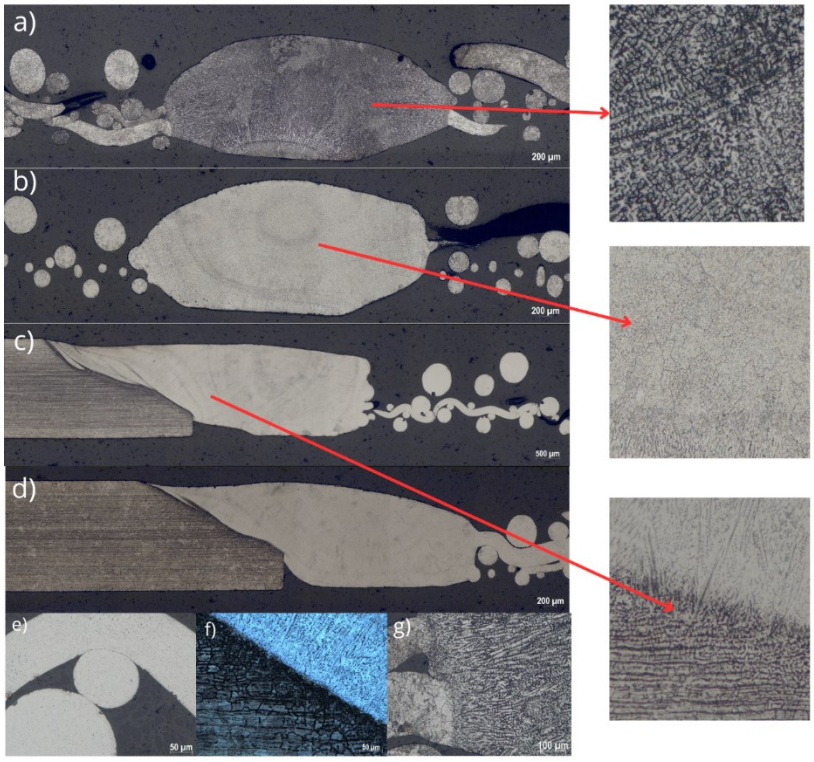
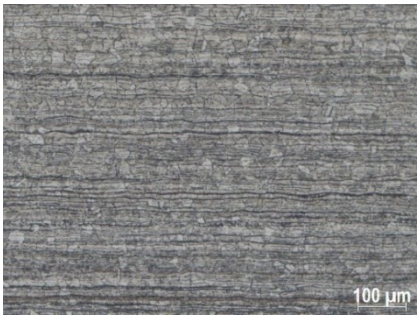


Figura 3: a) Solda tela-tela não solubilizada; b) Solda tela-tela solubilizada; c) Solda tela-chapa não solubilizada; d) Solda tela-chapa solubilizada; e) Solda por difusão; f) Zonas térmicas da solda da chapa; g) Zonas térmicas da solda da tela

Durante o resfriamento, o calor se dissipa de forma gradual da fronteira da ZF até o seu centro. A nucleação e crescimento de grãos na ZF se dá, sobretudo, pelo crescimento epitaxial, no qual a nucleação de novos grãos ocorre com a mesma orientação da ZTA. Nessa nucleação, não são necessários energia de ativação ou super-resfriamento, já que o líquido se solidificou sobre um substrato já existente, sem formação de novas superfícies. A solidificação prossegue pelo crescimento competitivo dos grãos, que favorece o crescimento de cristais orientados ao maior gradiente de temperatura estabelecido. A imagem 9.c evidencia como a ZF está solidificada com uma continuidade de grãos da ZTA (7).

Ademais, é válido comparar as microestruturas das soldas solubilizadas, que apresentam nítidas mudanças de microestrutura. Devido à elevada temperatura e ao período de tempo usados para a solubilização, os grãos do MB apresentaram crescimento, como pode ser visto ao comparar as figuras 4 e 5.

Esse crescimento altera propriedades mecânicas, o que foi observado em ensaios mecânicos posteriores (8).



Figuras 4: MB não solubilizado

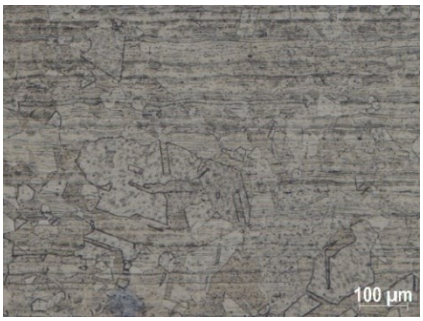


Figura 5: MB solubilizado

Além disso, é visível que o processo de solubilização foi capaz homogeneizar a ZF, pois observa-se a presença de grãos austeníticos com uma pequena presença de dendritas na amostra solubilizada. Isso contrasta com a amostra não solubilizada, que possui uma grande presença de dendritas, onde se localizam os solutos rejeitados pela fase sólida devido à menor solubilidade do soluto na fase sólida, o que ocorre pelas condições de resfriamento, que estão fora do equilíbrio termodinâmico (3).

As imagens de microscopia eletrônica possibilitam a visualização das fases presentes de forma mais precisa e a estrutura dendrítica da ZF. A Figura 6 explicita a presença de ferrita na matriz austenítica na microestrutura da ZF. A imagem b) possui uma indentação do ensaio de microdureza.

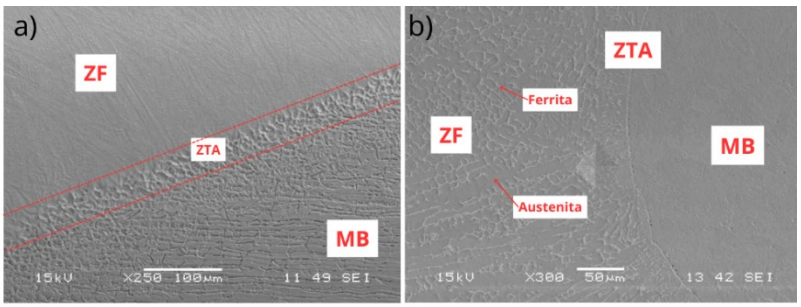


Figura 6: a) Solda na chapa b) solda na tela

A análise com o ferritoscópio proporcionou não só a quantificação da fase ferrita presente nas amostras, mas também a comprovação de que o tratamento térmico de solubilização foi efetivo. Ao comparar a porcentagem de ferrita nas regiões de amostras solubilizadas com regiões de amostras não solubilizadas

(figura 7), percebe-se um maior percentual de ferrita em amostras não solubilizadas, o que significa que a austenita é a fase predominante pós-solubilização, o principal objetivo deste tratamento térmico.

Nota-se uma maior quantidade de ferrita na região da solda, o que é justificado pelo processo de solidificação da zona fundida, que pode favorecer a precipitação de uma certa quantidade de ferrita devido ao aporte térmico seguido de resfriamento durante a soldagem (9).

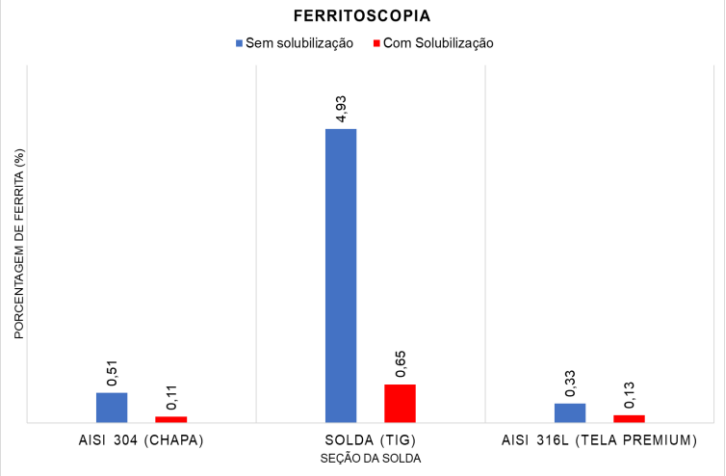


Figura 7: Quantidade de ferrita em diferentes regiões da solda

As curvas tensão-deformação apontam a eficiência da solda, já que o limite de resistência à tração obtido foi muito próximo ao limite de resistência à tração da tela, a região onde a falha do corpo de prova ocorreu. Ao comparar os gráficos obtidos para amostras solubilizadas e amostras não solubilizadas, é visível que o processo de solubilização modificou as propriedades mecânicas para as amostras chapa-tela (figura 8) e tela-tela (figura 9), uma vez que houve redução do limite de resistência à tração. Isso pode ser justificado pelo aumento do tamanho de grão após a solubilização. Além disso, constata-se que as amostras solubilizadas apresentam maior alongamento, o que também é condizente com a explicação anterior. Com o crescimento de grãos, há maior possibilidade de movimentação de discordâncias, o que favorece a ductilidade do material (8).

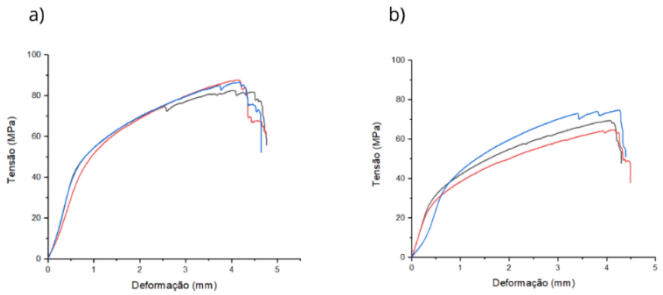


Figura 8: Curvas tensão-deformação de amostras chapa-tela a) não solubilizada; b) amostra solubilizada

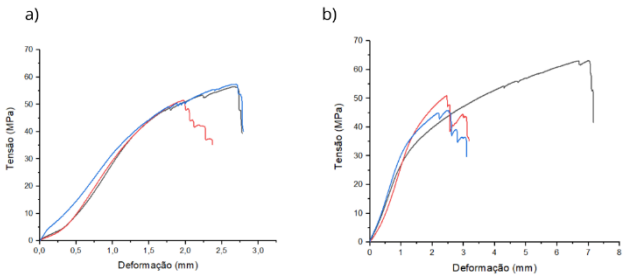
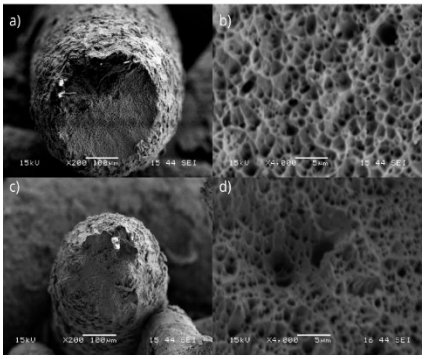


Figura 9: Curvas tensão-deformação de amostras tela-tela a) não solubilizada; b) amostra solubilizada

As superfícies de fratura dos corpos de prova tracionados foram analisadas com auxílio do MEV. Em uma análise macroscópica anterior, foi possível perceber que as fraturas ocorreram majoritariamente na região da tela, próximo ao cordão de solda, mas sem ocorrência de fratura na ZF, o que indica a capacidade da solda em realizar uma união eficiente entre as superfícies.

Tanto amostras solubilizadas quanto amostras não solubilizadas apresentaram o perfil de fratura dúctil, o que é compatível com o esperado para o aço inoxidável. Esse tipo de fratura ocorre com quantidade considerável de deformação plástica, e o mecanismo pelo qual o material falha consiste na nucleação e coalescimento de microcavidades, que podem ser visualizadas nas figuras 10.b e 10.d. Nesse sentido, a amostra possui uma superfície de fratura taça-cone, devido ao formato característico da fractografia, originando uma estrutura similar a uma taça (figura 10.a) que é complementar à outra face da fratura, similar a um cone (figura 10.c). (8)



Figuras 10.a, 10.b, 10.c e 10.d: Superfícies de fratura

Para cada amostra, as medidas de dureza foram realizadas em regiões que englobam as diferentes áreas da solda (ZF, ZTA e MB), com o objetivo de avaliar a influência das microestruturas nos valores de dureza encontrados. Ao analisar as amostras não solubilizadas, é possível perceber uma nítida variação de dureza ao longo da amostra. Devido às transformações de fases que ocorrem na ZTA, é perceptível que a dureza nessas regiões diminui em relação ao MB e à ZF, já que, geralmente, crescimento de grãos ocorrem nessa região. Grãos menores justificam uma maior dureza em comparação a materiais de grãos grosseiros, enquanto a ZF possui uma estrutura dendrítica que apresenta maior dureza. (8)

A solubilização resultou em uma diminuição significativa na dureza da chapa de aço AISI 304. Sabe-se que a fração de ferrita presente em um aço austenítico é função do aporte térmico dado ao metal no momento da soldagem, o que pode ser revertido com a solubilização. Como as amostras solubilizadas possuem austenita como fase predominante, a redução de sua dureza pode ser justificada pela menor quantidade de ferrita (que atua como um agente de aumento da resistência mecânica do MB e da ZF) presente na amostra, que é concomitante à efetiva dissolução de carbonetos, fases de dureza mais elevada.

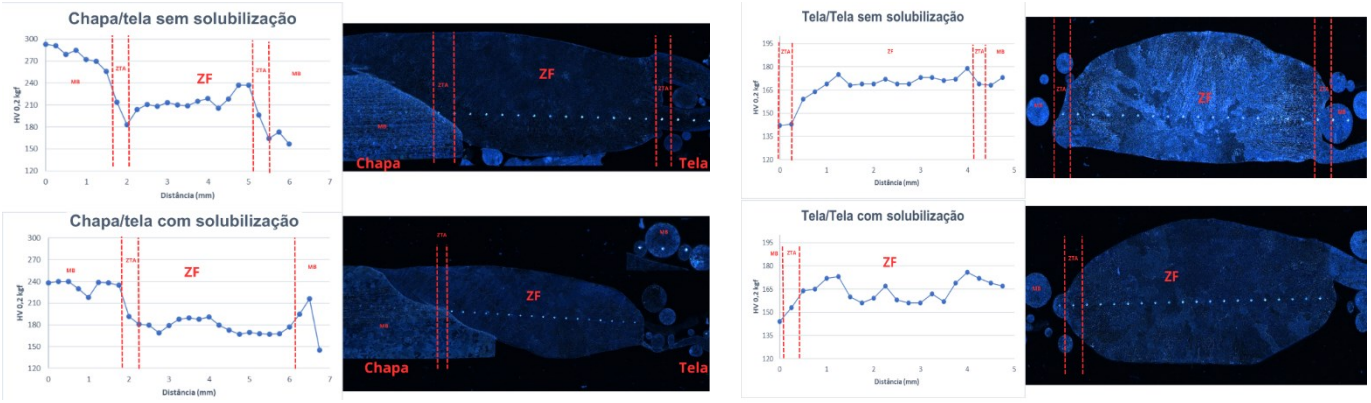


Figura 11: a) Ensaio de dureza em amostra chapa/tela; b) Ensaio de dureza em amostra tela/tela

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos forneceram uma efetiva caracterização mecânica e microestrutural da solda TIG para elementos filtrantes de Telas Premium. A microestrutura observada aponta a eficiência da união pela quantidade mínima de defeitos volumétricos. Foi possível comparar os efeitos da solubilização nas soldas, concluindo-se que o tratamento térmico foi eficiente, o que foi confirmado pela análise de ferritoscopia. No que tange às propriedades mecânicas, concluiu-se que a solda promoveu uma união satisfatória, já que as falhas mecânicas não ocorreram na ZF. Ao comparar amostras solubilizadas com não solubilizadas, percebeu-se uma redução da resistência mecânica e aumento da ductilidade, resultados que vão ao encontro da análise microestrutural feita previamente. A análise fractográfica também permitiu a visualização de uma fratura dúctil. Por fim, as medidas de dureza revelam a redução de dureza da ZTA em comparação ao MB e à ZF, o que foi mais acentuado após a solubilização.

REFERÊNCIAS

(1) Rosales, Marcio Jose; Bagnato, Osmar; Tocalino, Samuel; Achoa, Andrea; Erlandsen, Sigurd. QUALIFICAÇÃO DE TELAS PREMIUM PRODUZIDAS NO BRASIL , p. 2229-2239. In: *68º Congresso da ABM*, São Paulo, 2013. ISSN: 2594-5327 , DOI 10.5151/2594-5327-23214

(2) VASHISHTHA, Himanshu, TAIWADE, Ravindra V., SHARMA, Sumitra, *et al.* Effect of welding processes on microstructural and mechanical properties of

dissimilar weldments between conventional austenitic and high nitrogen austenitic stainless steels. *Journal of Manufacturing Processes*, 2017, vol. 25, p. 49-59. doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.10.008

(3) ASM METALS HANDBOOK. Welding, Brazing and Soldering. Materials Partk, Ohio: ASM International, v. 6, 1992.
(4) MARQUES, Paulo Villani. *Soldagem-fundamentos e tecnologia*. Editora UFMG, 2005.
(5) YAN, Jun, GAO, Ming, et ZENG, Xiaoyan. Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding. *Optics and Lasers in Engineering*, 2010, vol. 48, no 4, p. 512-517. doi.org/10.1016/j.optlaseng.2009.08.009
(6) OGUNDIMU, E. O., AKINLABI, E. T., et ERINOSHO, M. F. Effect of welding current on mechanical properties and microstructure of tig welding of type-304 austenite stainless steel. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2019. p. 032022. doi.org/10.1088/1742-6596/1378/3/032022
(7) CAMPBELL, Flake C. (ed.). *Phase diagrams: understanding the basics*. ASM international, 2012.
(8) CALLISTER, William D. et RETHWISCH, David G. Fundamentals of materials science and engineering. London: Wiley, 2000.
(9) SRIBA, Amina, VOGT, Jean-Bernard, et AMARA, Sif-Eddine. Microstructure, micro-hardness and impact toughness of welded austenitic stainless steel 316L. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2018, vol. 71, p. 2303-2314. doi.org/10.1007/s12666-018-1362-4

ABSTRACT

The Premium sand screens are petroleum and sand separation devices, whose geometry is obtained by TIG welding. The objective of this work is to characterize mechanically and microstructurally TIG welding in Premium sand screens. Components of type AISI 304-AISI 316L and AISI 316L were welded by the TIG process. Samples were prepared metallographically for microstructural analysis and ferritoscopy, as well as for microhardness and tensile tests. Some specimens were solubilized. Microstructural analyses showed the presence of different regions characteristic of fusion welding, besides the presence of austenite and ferrite. The presence of defects in the weld was insignificant. It was possible to observe the grain growth in solubilized samples and dissolution of secondary phases and decrease of ferrite. The tensile and microhardness tests showed that the solubilized samples presented lower tensile strength, higher ductility and lower hardness when compared to non-solubilized samples.

Keywords: Premium sand Screen, TIG welding, Mechanical tests, Microstructure