

Estudo sobre soldagem de revestimento utilizando o processo laser cladding**Study on coating welding using the laser cladding process**

DOI:10.34117/bjdv6n9-051

Recebimento dos originais: 08/08/2020

Aceitação para publicação: 03/09/2020

Adriano Carlos Francisco

Cascadura Industrial SA

Av. Sargento Silvio Hollenbach, 501, Rio de Janeiro - RJ - Brasil

E-mail: adrianofr@terra.com.br

Ana Isabel de Carvalho Santana

UEZO – LABEM

Av. Manuel Caldeira e Alvarenga, 1203, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

E-mail: isabelcarvalho.uezo@gmail.com

Monica Costa Rezende

UEZO – LABEM

Av. Manuel Caldeira e Alvarenga, 1203, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

E-mail: monica_crezende@hotmail.com

RESUMO

A abordagem deste trabalho apresenta uma aplicação altamente eficaz, aliada a características únicas do processo de soldagem de revestimento por Laser. Tecnologias inovadoras são constantemente empregadas em vários ramos da indústria, mas principalmente no segmento de óleo e gás. Tal aplicação contribui para o aumento da produtividade de captação e processamento do petróleo. Dentre essas tecnologias, destaca-se o processo de soldagem de revestimento por laser cladding, sendo hoje uma ferramenta indispensável em virtude das vantagens em relação aos demais processos de recobrimento. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a realização de uma solda pelo processo laser cladding, utilizando o aço médio carbono AISI/SAE 4140 como substrato e pó de Inconel 625 como revestimento. Diversas análises foram realizadas para avaliar o material soldado, como caracterização macro e microestrutural, medidas de dureza e testes eletroquímicos. Os resultados mostraram que a solda realizada não apresentou defeitos de qualquer natureza. As microestruturas encontradas nas diferentes regiões da solda produziram valores adequados de dureza, sendo dispensável qualquer tratamento térmico pós soldagem. Os testes eletroquímicos destacaram-se com relação à investigação no meio ácido, onde observou-se que a corrente galvânica em meio de HCl 0,1 mol/L é aproximadamente dez vezes maior que no meio neutro de cloreto.

Palavras-chave: Laser cladding, Inconel 625, AISI/ SAE 4140, ensaios eletroquímicos, caracterização microestrutural.

ABSTRACT

The approach of this work presents a highly effective application, combined with unique characteristics of the laser coating welding process. Innovative technologies are constantly employed in various branches of industry, but mainly in the oil and gas segment. Such application contributes to increase the productivity of oil capture and processing. Among these technologies, the cladding laser coating welding process stands out, being today an indispensable tool due to the

advantages in relation to other coating processes. In this context, the present work aims to perform a welding by laser, using a medium carbon steel as substrate and Inconel 625 powder as coating. Several analyzes were performed to evaluate the welded material, such as macro and microstructural characterization, hardness measurements and electrochemical tests. The results showed that the weld performed was without any kind of defect. The microstructures found in the different regions of the welded joint produced adequate hardness values, being unnecessary any post welding heat treatment. The electrochemical tests stand out in relation to the investigation in the acid environment, where it was detected that the galvanic current in 0.1 mol/L HCl is approximately ten times higher than in the neutral chloride environment.

Keywords: Laser Cladding, Inconel 625, AISI/SAE 4140, electrochemical tests, microstructural characterization.

1 INTRODUÇÃO

A produção de petróleo no Brasil tem aumentado expressivamente nos últimos anos, graças ao início da exploração nos campos profundos do pré-sal. Com isso, o desenvolvimento de novas tecnologias tem sido essencial, principalmente pela exposição dos equipamentos a condições severas de operação como alta pressão e ambientes oxidantes ou corrosivos. Nos componentes metálicos a corrosão é muito acelerada, portanto o estudo da corrosão em diferentes meios é primordial para obtenção de melhor performance e maior vida útil.

A fabricação de componentes maciços a partir de ligas metálicas resistentes à corrosão ou abrasão pode ser inviabilizada economicamente devido aos elevados custos destes materiais. A redução ou total eliminação dos efeitos da oxidação pode ser conseguido com menor custo a partir de técnicas de recobrimento para proteção superficial. Ligas à base de Ni são extensivamente usadas recobrando materiais mais baratos e menos nobres, como os aços médio carbono. A superliga Inconel 625 é uma das mais utilizadas para esse fim.

As técnicas de recobrimento frequentemente adotadas são thermal spray, solda TIG e laser cladding. Essa última destaca-se por apresentar várias vantagens em relação às demais, como perfeita adesão entre substrato e recobrimento com um mínimo de diluição e pequena extensão da Zona Termicamente Afetada (ZTA). Além disso, o processo é mais facilmente controlado e produz menor incidência de porosidade [1, 2]. Alguns trabalhos foram conduzidos para avaliar o processo laser cladding com diferentes materiais [3-10]. FESHARAKI et al. [3], fizeram uma comparação entre os processos laser cladding e TIG, utilizando respectivamente pó e vareta de Inconel 625 como revestimentos em substrato de Inconel 738. A principal diferença segundo os autores foi a diluição 7,5% para laser cladding e 30% para TIG. E ainda, as medidas de dureza na ZTA foi 420 HV e 360 HV para laser e TIG, sendo que aplicando o processo TIG foram observadas várias trincas na interface entre substrato e recobrimento. Em outro trabalho desses autores [4], com os mesmos

materiais, foi avaliada a evolução da corrosão a quente, a 900°C. Os resultados mostraram que o processo laser cladding apresentou melhor desempenho, explicado pela menor espessura da camada de corrosão e pela interrupção do crescimento desta camada após 28 h de ensaio. Também foi observada formação de maior quantidade da camada NiCr₂O₄, a qual age como eficiente barreira anticorrosiva.

A avaliação do comportamento frente às características de corrosão envolvendo recobrimentos metálicos foi feita em alguns trabalhos [11-15]. JIMÉNEZ et. al. [12], apresentou estudos sobre a eficiência destas barreiras anticorrosivas depositadas por laser cladding. Segundo os autores, a tendência termodinâmica de um material à oxidação eletroquímica em um meio corrosivo é um parâmetro determinado através do potencial a circuito aberto (OCP). YAO et. al. [13] apresentaram estudos sobre o comportamento corrosivo em solução NaCl a 5% em diferentes temperaturas. De acordo com as condições experimentais demonstradas pelos autores, potenciais abertos de super 13Cr e P110 mudam negativamente com o aumento da temperatura, acelerando assim a reação catódica e anódica.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar soldagem por laser cladding com adição na forma de pó de Inconel 625 recobrindo o substrato composto pelo aço AISI/SAE 4140. Diferentes tipos de análises foram conduzidos para avaliar as características macro e microestruturais, propriedade mecânica e a resistência à corrosão por meio de testes eletroquímicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

O material utilizado como substrato foi um aço AISI/SAE 4140, constituído por uma barra redonda laminada com diâmetro de 101,50 mm. Após recebida, a barra foi submetida a tratamento térmico de têmpera e revenimento a 540°C por 4h. Para o revestimento foi usada a superliga Inconel 625 na forma de pó, com granulometria de -150 +53 µm. As composições químicas dos materiais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química dos materiais (% em peso):

Material	Teor dos Elementos									
Substrato	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
	0,390	0,230	0,870	0,011	0,003	1,020	0,210	0,020	0,032	0,010
	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B	Mg	Fe
	0,028	0,001	0,003	0,007	ND	0,002	0,004	0,001	ND	97,1

Revestimento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
	0,035	0,42	0,35	0,009	0,002	20,209	9,054	64,08	0,03	0,043
	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B	Mg	Fe
0,007	3,967	0,015	0,034	0,075	0,03	0,153	0,001	0,011	1,43	

2.2 MÉTODOS

A operação de soldagem foi realizada pelo processo laser cladding automatizado, com o equipamento Laserline GmbH, modelo LDF4000-60 de 4KW. A fonte foi do tipo Diodo Laser, com lasers semicondutores (Fiber Lasers). O substrato foi pre-aquecido entre 260 e 300°C. Na sequência, o substrato soldado foi submetido à usinagem na superfície do revestimento e ao ensaio por líquido penetrante. A Figura 1 apresenta fotografias do material soldado.

Amostras foram retiradas da peça soldada para diferentes tipos de análises. A caracterização macro e microestrutural foi realizada a partir dos procedimentos metalográficos usuais, como embutimento a frio, lixamento, polimento e ataque químico, sequencialmente. Para a etapa de polimento foi utilizada pasta de diamante de 1 e 3 µm. O ataque químico foi feito em duas etapas, devido à solda dissimilar. Para atacar o substrato foi utilizado o regente Nital com concentração de 3% HNO₃. Para o revestimento, utilizou-se a solução Água Régia, na proporção 3:1 (HCl:HNO₃). A caracterização microestrutural foi realizada com auxílio de microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MO usado foi da marca Olympus, modelo BX51M, instalado no laboratório LABEM – UEZO. O MEV da marca Jeol, modelo JSM 6490LV, instalado no Laboratório Didático de Biologia e Microscopia da UEZO. O microscópio foi operado com voltagem de aceleração de 20kV e as imagens obtidas no modo Elétrons Secundários.

Medidas de dureza em escala Vickers foram realizadas em microdurômetro da marca Wilson Hardness, modelo 402 MVD, instalado na empresa Cascadura. A carga utilizada foi de 300 g. O espaçamento entre as indentações foi de 0,20 mm. Foi estabelecido um perfil de dureza que abrangeu todas as regiões de interesse, conforme a Figura 2.

Os testes eletroquímicos consistiram na medida do potencial de circuito aberto (OCP – Open Circuit Potential) da liga de níquel e do substrato em diferentes meios eletrolíticos (NaCl 3,5%, NaCl 0,1 mol/L e HCl 0,1 mol/L). A célula eletroquímica utilizada para os ensaios foi uma célula convencional de três eletrodos. Para medida do OCP foi usado eletrodo de referência (Calomelano), contra eletrodo (platina) e eletrodo de trabalho (Inconel e metal base). O OCP foi avaliado durante o período de uma hora (3600 segundos). O valor do potencial foi utilizado para a definição do anodo e do catodo dos ensaios galvânicos. Para realização dos ensaios galvânicos, foi usado eletrodo de referência (Calomelano), eletrodo de trabalho (metal base) e eletrodo sensível (Inconel). O potencial

e a corrente galvânica foram monitorados por um período de 6 h, utilizando a técnica ZRA (Zero Resistance Ammeter). As medidas galvânicas, através das quais foi possível obter os valores de potencial e corrente galvânica, foram realizadas tendo como base a norma ABNT NBR 15613-5 de 2016. As análises foram realizadas em duplicatas. Todos os ensaios foram conduzidos utilizando um potenciostato/galvanostato da AUTOLAB, modelo PGSTAT 302N.

Figura 1: Fotografias do material: a) após soldagem, b) após usinagem e aplicação de revelador (ensaio de líquido penetrante).

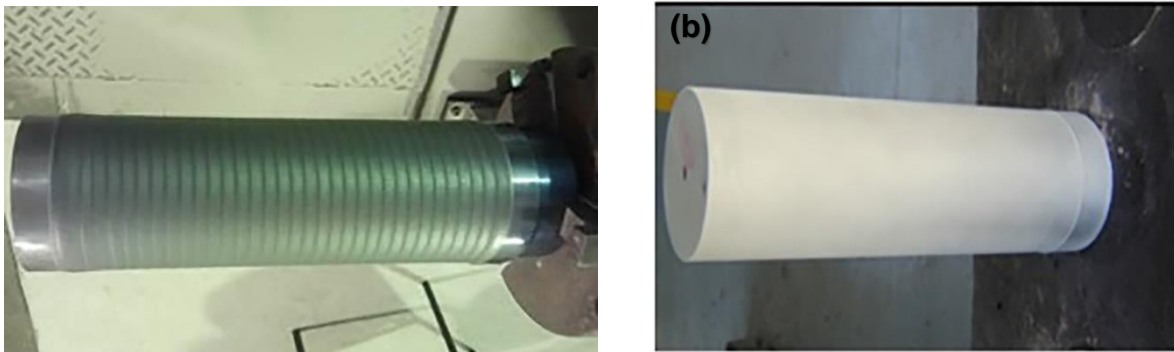
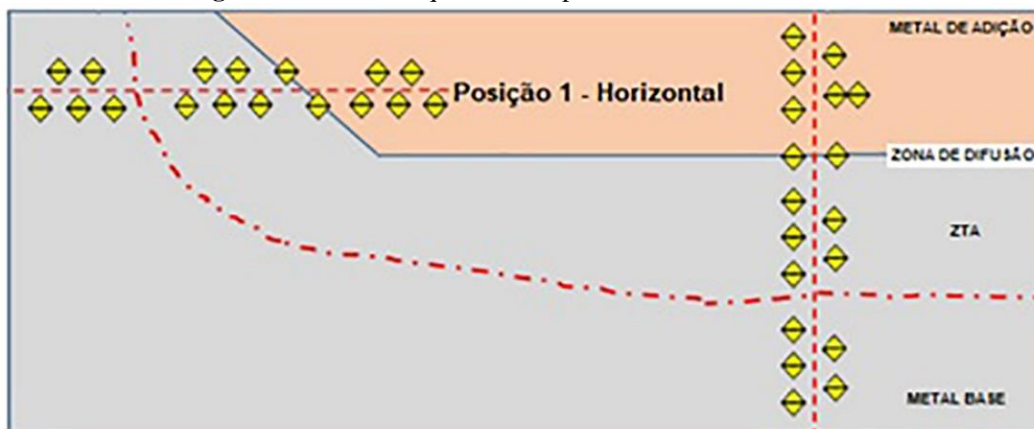


Figura 2: Desenho esquemático do perfil de medidas de dureza.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO MACRO E MICROESTRUTURAL

A imagem da Figura 3 apresenta a macrografia da região soldada na qual é possível observar o substrato (MB – metal base) e o revestimento (MA - metal de adição). Pela Figura, verifica-se que não foi evidenciada a presença de trincas, poros, falta de fusão ou outro defeito macroscópico decorrente da operação de soldagem. A espessura do revestimento após usinagem final foi de 1 mm e a ZTA de 1 mm, aproximadamente. A diluição da solda foi de aproximadamente 2%.

Figura 3: Macrografia da seção transversal apresentando as diferentes regiões do material soldado.



A microestrutura do metal base é mostrada na Figura 4. Pelas imagens, observa-se que a microestrutura é formada por uma matriz ferrítica com grãos de perlita, bainita e martensita. Com maior aumento, é possível observar as lamelas da perlita bem delineadas, como destacado na Figura 4 (b). A microestrutura encontrada no metal base está de acordo com a condição do material como recebido, um aço médio carbono microligado, que foi temperado e revenido.

A Figura 5 apresenta imagens da ZTA. As transformações microestruturais na ZTA foram pouco evidentes nas análises microscópicas realizadas, com exceção da evolução do tamanho de grão. Sendo assim, a microestrutura da ZTA também apresentou as fases ferrita, perlita, bainita e martensita revenida. A diferença na caracterização entre o substrato e a ZTA pode ser observada especialmente ao comparar a dureza dessas regiões, mostrada posteriormente. Esse aumento na dureza justifica-se pela formação de bainita e martensita, decorrente da alta taxa de resfriamento do processo de soldagem por laser.

Observa-se na Figura 6, a microestrutura do revestimento. Nas imagens, é possível verificar características microestruturais distintas. Na região de diluição (~2%), é possível observar o crescimento epitaxial dos grãos, como observado em destaque na Figura 6 (b). Nesta região verifica-se diferentes morfologias de grão, os quais apresentam-se colunares, equiaxiais e dendríticos. A região do Metal de Solda apresentou matriz austenítica e formação de grãos colunares, estrutura celular e dendrítica. Essa microestrutura é típica da região fundida.

Pelas imagens observa-se que as dendritas estão posicionadas em orientações verticais e horizontais, ou seja, em duas direções. Abioye *et al.* [5], descreve esta ocorrência ou fenômeno, pelo fato de o metal de base se comportar nesta interface como dissipador de calor, ou seja, o crescimento dessas dendritas irá ocorrer alinhadas ao máximo gradiente térmico presente nesta região. Neste caso, apresenta-se no sentido vertical, perpendicular à base. Já a outra direção de crescimento dendrítico, crescimento colunar horizontal, ocorre próximo à superfície do metal de solda, proporcionado principalmente pela mudança na direção do fluxo de calor. Também observa-se intensa precipitação de finos particulados, especialmente nos contornos interdendríticos. De acordo

com a literatura, esses particulados podem ser carbeto de nióbio/ molibdênio ou fase Laves. A fase γ'' , mesmo presente, não pode ser visualizada no MEV.

A microestrutura encontrada no revestimento foi a mesma reportada em vários outros trabalhos que utilizaram o processo de soldagem a laser e a superliga à base de Ni [3-8]. A diferença está apenas nos tamanhos e espaçamentos das dendritas. No entanto, pouca alteração se observa no comportamento mecânico resultante.

Alguns trabalhos reportaram a comparação de outros métodos de revestimento, como em [1-3, 8-9]. Nesses estudos, os pesquisadores citaram que o processo laser cladding é o mais eficiente para refinamento da microestrutura, visto a geração de alta de resfriamento. Consequentemente, a dureza obtida por esse processo é maior. De acordo com ABIOYE *et al.* [5] ALVES *et al.* [11], a modificação da superfície dos componentes para proteção contra a corrosão é um campo muito crítico. Entre as várias técnicas de revestimento para modificação superficial de metais ferrosos contra corrosão, o revestimento a laser oferece grandes vantagens sobre outras técnicas convencionais, conforme citam MAHMOOD *et al.* [10].

Figura 4: Micrografia do metal base obtida em MO: a) 50 X; b) 500 X.

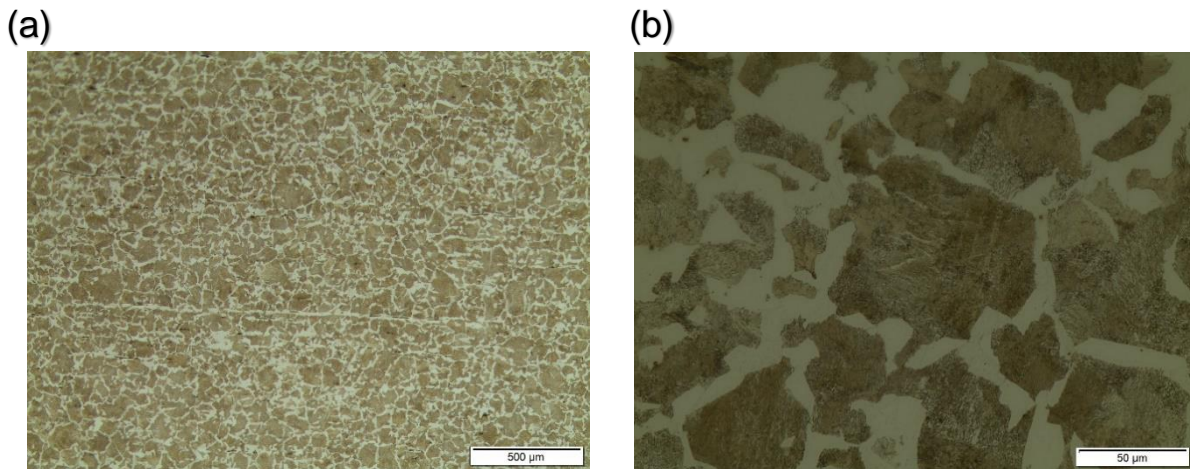


Figura 5: Micrografia da ZTA obtida em MEV, modo Elétrons Secundários.

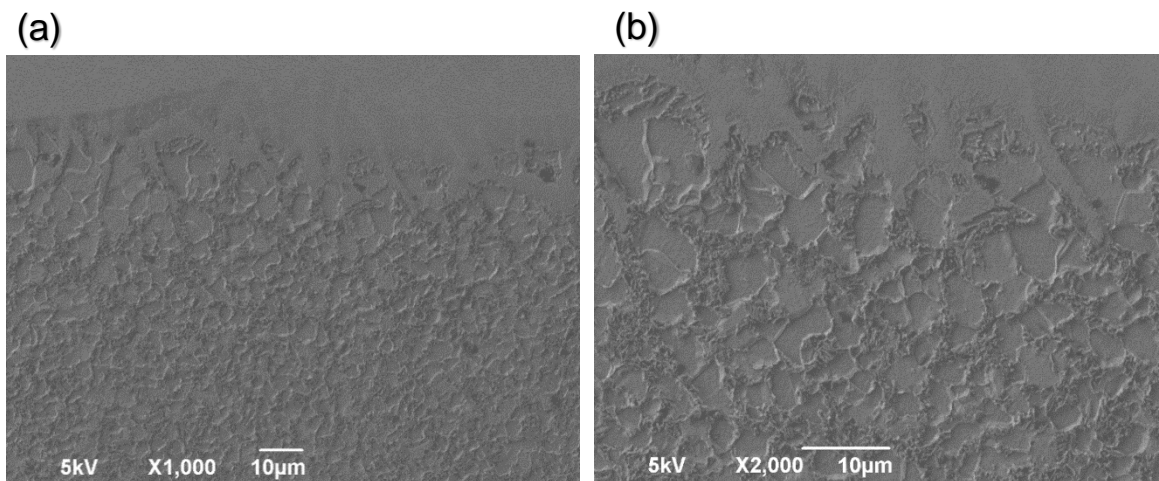
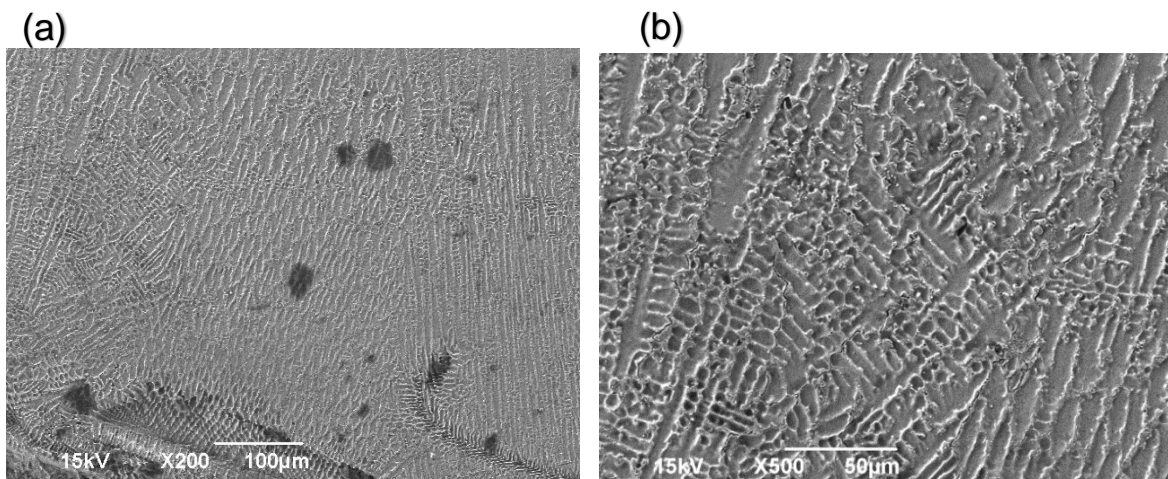


Figura 6: Micrografia do revestimento obtida em MEV, modo Elétrons Secundários.



3.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Os resultados de dureza são mostrados na Figura 7. Observa-se que não há diferença significativa comparando-se os perfis de dureza, ou seja, medidas com relação às orientações predeterminadas (vertical e horizontal). O mapeamento de dureza, mostrou que ocorre um significativo aumento de dureza na ZTA, comparando-se com a dureza do metal base. A dureza no substrato foi de 220 HV e na ZTA de 334 HV, em média. Na região de diluição a média de dureza foi de 252 HV e no recobrimento foi de 235 HV.

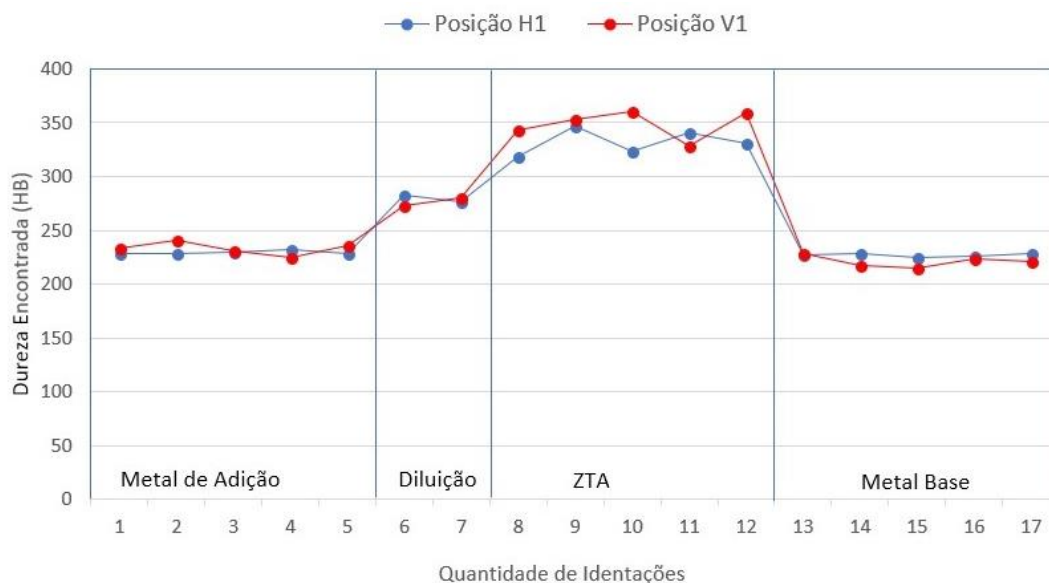
Esse aumento de dureza está associado às alterações microestruturais, conforme descrito no item de caracterização microestrutural. Como observado, há formação de martensita, decorrente da alta taxa de resfriamento do processo de soldagem. No entanto, o valor de dureza alcançado na ZTA encontra-se ainda dentro do limite aceitável, dispensando tratamento térmico pós soldagem.

O fato da dureza do revestimento ser muito similar à dureza do Metal Base, sendo ainda um pouco mais elevada, é muito vantajoso. Isso porque a camada de revestimento além de produzir elevada resistência à corrosão, não prejudica o uso em aplicações que sejam exigidos os níveis de dureza do Metal de Base.

A alta dureza do revestimento era esperada, não só pela característica relativamente refinada da microestrutura, mas pelo fato do Inconel 625 ser uma liga endurecível por solução sólida e precipitação da fase γ' . A concentração de elementos químicos em solução na matriz austenítica, como Mo e Nb, é um fator principal na determinação da dureza. Os resultados de FENG *et al.* [7], também utilizando laser cladding com pó de Inconel 625 em um aço martensítico, mostraram que a dureza do revestimento foi em média 262 HV. Essa medida se aproxima da encontra no presente estudo, 235 HV. Os autores afirmaram que a alta dureza foi decorrente também de segregações de Nb e Mo na microestrutura.

LIU *et al.* [9], usando o processo laser cladding com pó à base de Fe-Cr para reparar uma engrenagem de aço AISI/SAE 4140, encontraram valores de dureza similares aos do presente trabalho na região da ZTA, em média 350 HV. No entanto, os resultados de dureza no revestimento foram muito diferentes. Os pesquisadores mediram no revestimento dureza entre 413 e 524 HV, equivalente ao dobro da dureza medida neste estudo. A explicação para a alta dureza seria o intenso refinamento da microestrutura pela soldagem em multicamadas. Embora essa opção de revestimento seja mais apropriada para resistência ao desgaste, não melhora as características com relação à corrosão.

Figura 7: Gráfico apresentando o perfil de dureza.



3.3 TESTES ELETROQUÍMICOS

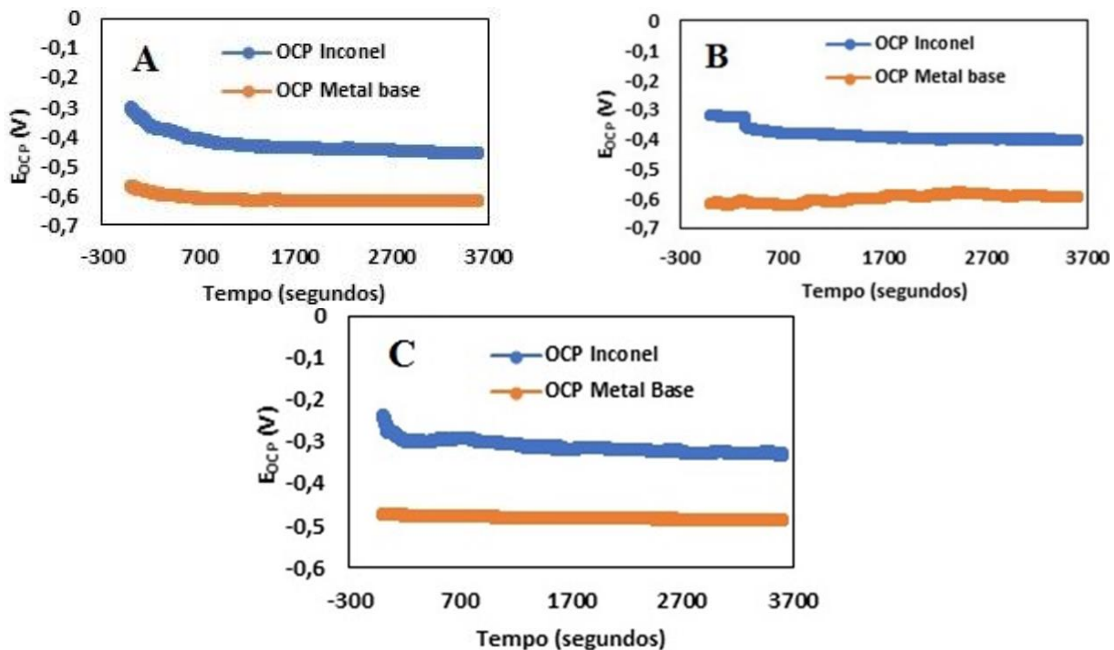
A medida da evolução do potencial de circuito aberto para o revestimento Inconel 625 e o metal base, AISI/SAE 4140, nos diferentes meios eletrolíticos, pode ser observada na Figura 8. É possível observar que tanto nas duas diferentes concentrações de NaCl (3,5% e 0,1 mol/L) como em meio de HCl 0,1 mol/L, o Inconel 625 apresenta o potencial mais nobre em comparação com o substrato. Um comportamento semelhante foi observado por Zhang, G. A. et al (2014), ao avaliar o Potencial de Circuito Aberto (OCP) dos metais em uma junta soldada níquel-aço baixa liga.

A partir dos potenciais de circuito aberto nos diferentes meios, foi realizada a escolha do anodo e do catodo para a obtenção das medidas de potencial e corrente galvânica. A liga Inconel 625 foi conectada ao catodo (eletrodo sensível) e o metal base foi conectado ao anodo (eletrodo de trabalho) do potenciostato.

Os resultados obtidos nos ensaios galvânicos encontram-se representados na Figura 9 (potencial galvânico) e Figura 10 (corrente galvânica) mostradas abaixo. Através destes ensaios foi possível verificar o efeito do meio eletrolítico sobre a corrosão galvânica da junta soldada em caso de exposição do metal de base e do metal de adição ao mesmo meio oxidante. Observa-se que em meios com maior concentração de íons cloreto (NaCl 3,5%), o potencial galvânico é deslocado para potenciais menos nobres (mais catódicos), em meio ácido (HCl 0,1 mol/L) o potencial é deslocado para regiões mais nobres (mais anódicas). Esse comportamento segue o mesmo perfil observado para o potencial de circuito aberto.

Verifica-se que os valores apresentados pelo potencial galvânico se encontram mais próximos dos valores de potencial de circuito aberto do metal base. Um comportamento semelhante foi observado por WANG *et al.* [14]. Esse comportamento pode ser um indicativo que os processos corrosivos predominantes sobre o metal base promovem uma maior influência sobre o potencial do par galvânico. Em todos os meios estudados o potencial galvânico medido nos tempos iniciais (aproximadamente 1600 s) se encontra bem próximo do que OCP do metal de base. Entretanto com o aumento do tempo de ensaio, se verifica que o potencial se desloca para valores ainda mais negativos. Esse comportamento pode sugerir que os produtos de corrosão formados sobre a superfície passam a exercer influência sobre o potencial galvânico.

Figura 8: Evolução do potencial de circuito aberto para o Inconel e o metal base imersos em meio aerado de: a) NaCl 3,5%; b) NaCl 0,1 mol/L; c) HCl 0,1 mol/L.



A Figura 10 apresenta a corrente galvânica medida para o par Inconel-aço (junta soldada) nos diferentes meios citados anteriormente. É possível observar que a corrente galvânica segue um perfil similar ao potencial galvânico. Não foram observadas diferenças significativas na corrente galvânica comparando os meios NaCl 3,5% e NaCl 0,1 mol/L. No entanto para tempos mais longos, verifica-se que a corrente galvânica em NaCl 3,5% apresenta valores mais elevados. Contudo a principal diferença pode ser verificada em meio ácido. Observa-se um aumento expressivo da corrente galvânica (cerca de dez vezes maior) quando o par galvânico está em contato com este meio oxidante. Esse comportamento mostra que o meio oxidante é extremamente relevante para situações onde possa ser formado um par galvânico.

Figura 9: Potencial galvânico da junta soldada (Inconel-aço) nos meios eletrolíticos – HCl 0,1 mol/L, NaCl 0,1 mol/L e NaCl 3,5%.

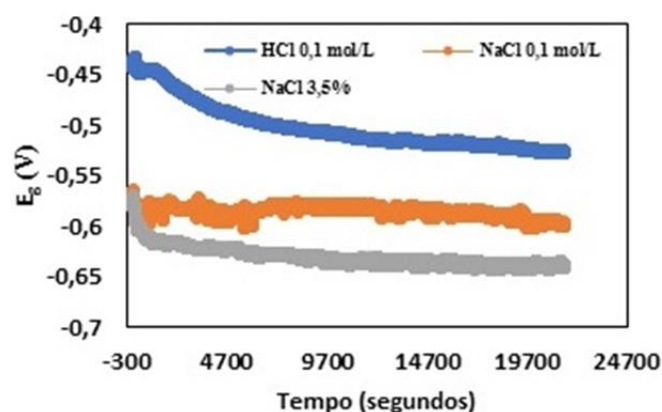
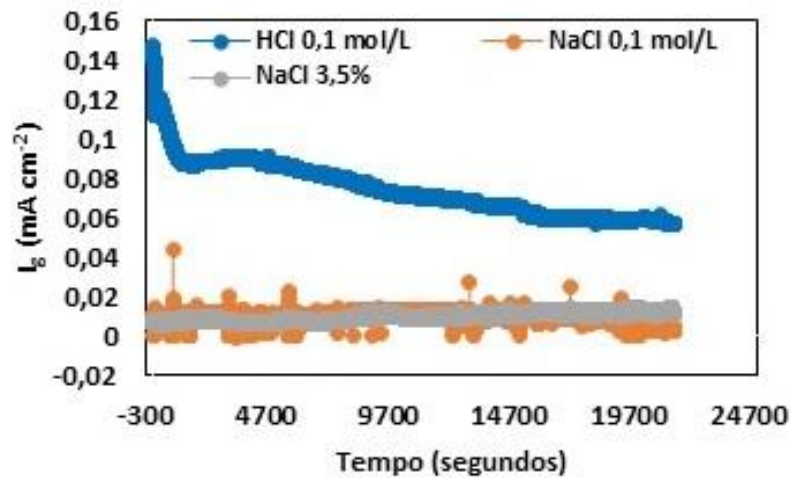


Figura 10: Corrente galvânica da junta soldada (Inconel-aço) nos meios eletrolíticos – HCl 0,1 mol/L, NaCl 0,1 mol/L e NaCl 3,5%.



4 CONCLUSÕES

Uma soldagem por laser cladding foi realizada nesse estudo e algumas informações importantes são consideradas:

- Foi possível realizar a solda com alta qualidade, estando isenta de defeitos, com ZTA muito pequena (1 mm) e espessura de revestimento (1 mm).
- As microestruturas observadas foram compatíveis com o esperado para os materiais utilizados. Sendo que a alteração da microestrutura na ZTA provocou um aumento da dureza, em média 334 HV. Esse Resultado é considerado muito satisfatório, por descartar a necessidade de se realizar um tratamento térmico de alívio de tensão posterior a soldagem.
- O potencial galvânico do par liga Inconel-aço em todos os meios avaliados esteve mais próximo da medida de potencial do metal menos nobre. A corrente galvânica não mostrou diferenças significativas ao comparar os meios NaCl 3,5% e NaCl 0,1 mol/L. Entretanto em meio ácido a diferença é extremamente significativa, observou-se que a corrente galvânica em meio de HCl 0,1 mol/L é aproximadamente dez vezes maior que no meio neutro de cloreto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Cascadura pelo suporte fornecido para realização deste trabalho. Agradecimentos também são prestados à FAPERJ, instituição que tem contribuído para o desenvolvimento da pesquisa no estado do Rio de Janeiro.

REFERENCIAS

- [1] STAICU, A.R., “Review of the Laser Cladding Technology”, *Metalurgia*, v. 64-5, pp. 36-40, Jun. 2012.
- [2] WOOD, G.; HAMRE, D. “Laser Cladding Process - Fundamentals and Applications”. *Welding Journal*, v. 97, pp. 32-35, Aug. 2018.
- [3] FESHARAKI, M. N., RAZAVI, R. S., MANSOURI, H. A., JAMALI, H., “Microstructure investigation of Inconel 625 coating obtained by laser cladding and TIG cladding methods”, *Surface & Coating Technology*, v. 353, pp. 25-31, Nov. 2018.
- [4] FESHARAKI, M. N., RAZAVI, R. S., MANSOURI, H. A., JAMALI, H., “Evaluation of the hot corrosion behavior of Inconel 625 coatings on the Inconel 738 substrate by laser and TIG cladding techniques”. *Optics & Laser Technology*, v. 111, pp. 744-753, Apr. 2019.
- [5] ABIOYE, T. E., MCCARTNEY, D. G., CLARE, A. T., “Laser cladding of Inconel 625 wire for corrosion protection”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 217, p. 232-240, Mar. 2015.
- [6] ZANZARIN, S. “*Laser Cladding with Metallic Powders*”. Tese de D.Sc., University of Trento, Italy, 2015.
- [7] FENG, K.; CHEN, Y.; DENG, P.; LI, Y.; ZHAO, H.; LU, F.; LI, R.; HUANG, J.; LI, Z., “Improved high-temperature hardness and wear resistance of Inconel 625 coatings fabricated by laser cladding”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 243, pp. 82-92, May 2017.
- [8] VERDI, D.; GARRIDO, M. A.; MÚÑEZ, C. J.; POZA, P., “Mechanical Properties of Inconel 625 Laser Cladded Coatings: Depth Sensing Indentation Analysis”, *Materials Science & Engineering: A*, v. 598, pp. 15-21, Mar. 2014.
- [9] LIU, H.; HU, Z.; QIN, X.; WANG, Y.; ZHANG J.; HUANG, S., “Parameter optimization and experimental study of the sprocket repairing using laser cladding”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 91, pp. 3967-3975, Aug. 2017.
- [10] MAHMOOD, K.; STEVENS, N.; PINKERTON, A. J.; “Laser Clad Corrosion Protection for Mild and Harsh Environments”, *Surface Engineering*, v. 28, pp. 576-585, Jun. 2012.
- [11] ALVES, L. M. “*Análise de métodos para identificação de tipos de corrosão e de substâncias corrosivas através de ruído eletroquímico*”. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2017.
- [12] JIMÉNEZ, Y.S. et al., “Interpretation of open circuit potential of two titanium alloys for a long time immersion in physiological fluid”, *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, v. 2(51), pp. 197-204, 2009.
- [13] YAO, X.; TIAN W.; WU, L., “Effects of Temperature on Galvanic Corrosion Behaviors of Super 13Cr and P110 Steel Couples in NaCl Solution”, *Advanced Materials Research*, v. 103, pp. 829-833, Sep. 2014.

[14] WANG, Z. Z.; LI, Y. Y.; ZHANG, G.A., “Inhibitive effects of inhibitors on the Galvanic corrosion between N80 carbon steel and 13Cr stainless steel under dynamic supercritical CO₂ conditions”, *Corrosion Science*, v. 146, pp. 121-133, Jan. 2019.

[15] ZHANG, G. A.; YU, N.; YANG, L. Y.; GUO, X. P., “Galvanic corrosion behavior of deposit-covered and uncovered carbon steel”, *Corrosion Science*, v. 86, pp. 202-212, Sep. 2014.