

INFLUENCIA DO APORTE TÉRMICO NO REVESTIMENTO (CLADDING) DE AÇO INOXIDÁVEL SUPER AUSTENÍTICO POR MEIO DO PROCESSO GTAW NO AÇO ASTM A516 GRAU 70

SUPER AUSTENITIC STAINLESS STEEL CLADDING BY GTAW: TECHNOLOGICAL ASPECTS, MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE

da Cruz Junior, E.J*

IFSP Campus Itapetininga, Av. João Olímpio de Oliveira 1561, 18202-000, Itapetininga/SP, Brasil

dacruz.eli@ifsp.edu.br

Varasquim, F.M.F.A

IFSP Campus Itapetininga, Av. João Olímpio de Oliveira 1561, 18202-000, Itapetininga/SP, Brasil

franciscomateus@ifsp.edu.br

da Costa Faustino, A

IFSP Campus Itapetininga, Av. João Olímpio de Oliveira 1561, 18202-000, Itapetininga/SP, Brasil

francisco.mateus@ifsp.edu.br

Santos, G.A.;

IFSP Campus São Paulo, Rua Pedro Vicente 625,01109-010, São Paulo/SP, Brasil givanildo@ifsp.edu.br

Ventrella, V.A.

UNESP Campus Ilha Solteira, Av. Brasil Sul 56, 15385-000, Ilha Solteira/SP, Brasil vicente.ventrella@unesp.br

* autor correspondente

RESUMO

O processo de revestimento (cladding) é utilizado como forma de diminuir os custos relacionados a fabricação, uma vez que um material mais nobre como o aço inoxidável super austenítico é depositado sobre um material menos nobre, como aços baixo carbono. Soldagens por arco elétrico têm sido utilizadas para o revestimento com aços inoxidáveis, em especial o processo GTAW. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do aporte térmico no revestimento de aço inoxidáveis super austenítico sobre aço baixo carbono. Foram avaliadas 3 condições. Do ponto de vista macroscópico, os cordões apresentaram boa aderência ao metal base e o aumento do aporte térmico permitiu um cordão com diluição maior. As microestruturas para as zonas termicamente afetas foram similares, observou-se a formação de bainita resultante das condições de resfriamento. Para todas condições foram observados aumentos na microdureza na região de interface entre revestimento/metal base, corroborando o que foi abservado nas microestruturas.

Palavras-chave: Aço Inoxidável super austenítico, Aço baixo carbono, cladding, caracterização microestrutural, microdureza

ABSTRACT

The cladding process is used to lower manufacturing costs by depositing a more corrosion-resistant material such as super austenitic stainless steel onto a less expensive material like low carbon steel. Electric arc welding, particularly the GTAW process, is commonly used for cladding with stainless steels. This study aims to assess how heat input affects the cladding of super austenitic stainless steel on low carbon steel. Three different conditions were evaluated. From a macroscopic standpoint, the weld beads exhibited good adhesion to the base metal, and an increase in heat input resulted in greater dilution of the weld bead. The microstructures of the heat-affected zones were similar, with the formation of bainite due to the cooling conditions. In all conditions, an increase in microhardness was observed in the interface region between the coating and base metal, supporting the observations made in the microstructures.

Keywords: Super austenitic stainless steel, Low carbon steel, cladding, microstructural characterization, microhardness.

INTRODUÇÃO

Setores industriais como química, papel e celulose, óleo e gás e offshore exigem materiais com alta resistência a corrosão, por exemplo aços inoxidáveis austeníticos (1). Devido ao alto custo desses materiais, a sua utilização em grandes estruturas e equipamentos é cara e muitas vezes economicamente inviável. Uma alternativa é utilizar um aço carbono para a fabricação do equipamento, e revesti-lo com uma fina camada de aço inoxidável. Esse processo é conhecido como cladding (2).

O processo de revestimento (cladding) é uma das melhores maneiras de melhorar as propriedades superficiais de componentes mecânicos, por meio da deposição de um material de resistência superior sob um material base (3,4).

Soldagens por arco elétrico têm sido utilizadas para o revestimento com aços inoxidáveis, tendo como uma das principais vantagens o baixo custo dos equipamentos (5,6). O processo GTAW (gás tungsten arc welding) é um dos mais utilizados pela indústria de óleo e gás, por sua capacidade de gerar camadas com melhor qualidade e livres de defeitos (7).

Os aços inoxidáveis representam uma importante classe de materiais de engenharia, e são conhecidos por sua boa resistência a corrosão devido ao seu alto teor de cromo. Dentre os aços inoxidáveis, um dos mais utilizados são os aços inoxidáveis austeníticos, que contêm uma quantidade significativa de cromo e níquel, ou manganês, suficiente para estabilizar a microestrutura de austenita (12).

Uma nova geração de aços inoxidáveis auteníticos, com resistência a corrosão superiores, conhecidos como aços inoxidáveis superausteníticos tornaram-se um importante ramo no desenvolvimento de aços de alto desempenho. Eles têm substituído os aços inoxidáveis austeníticos convencionais, principalmente em aplicações offshore, indústria de óleo e gás e química, devido à sua combinação de resistência e desempenho à corrosão (13).

1816

Para que o processo de revestimento com aços inoxidáveis superausteníticos seja bem sucedidos, além dos desafios tecnológicos relacionados ao processo GTAW (anteriormente citados), têm se os desafios relacionados ao material. Uma das maiores limitações dos aços inoxidáveis austeníticos, é que na faixa de temperatura de 500 a 800 °C, podem precipitar carbonetos de cromo, levando a um fenômeno chamado de sensitização. A sensitização é um empobrecimento de cromo nas regiões adjacentes aos carbonetos de cromo precipitados, podendo resultar em corrosão intergranular (14).

A aplicação do revestimento de aços inoxidáveis superaustníticos por meio do processo GTAW demanda um controle dos parâmetros de soldagem bem como das temperaturas envolvidas no processo. Uma das formas de controlar-se os parâmetros de deposição/soldagem é controlando o aporte térmico. O aporte térmico pode ser calculado utilizando a relação apresentada na Equação 1 (17).

$$AT = \eta \times \frac{V \times I}{v_s}$$
 Equação 1

Onde V é a tensão do arco, I é a corrente de soldagem, η é a eficiência do arco e ν_s é a velocidade de avanço. A eficiência do arco é a proporção de calor que é transferida a peça.

Considerando que um estudo mais detalhado possibilitará a definição de parâmetros de soldagem/deposição, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do aporte térmico no revestimento de aço inoxidáveis super austenítico (AISI 904L) sobre aço baixo carbono (ASTM A516 Grau 70), por meio da macro, microestrutura e microdureza de forma a alcançar um revestimento com propriedades adequadas e livre de defeitos, ampliando a aplicação do processo, principalmente na indústria óleo e gás.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se como metal base chapas de aço carbono ASTM A516 Grau 70 nas dimensões 150 x 150 mm e 3/4" de espessura, um aço baixo carbono bastante aplicado na produção de vasos de pressão. Para o revestimento, o consumível AWS ER385 (AISI 904L) foi utilizado. A escolha da baixa quantidade de carbono no consumível, visa prevenir a formação de carbonetos de cromo que podem levar a sensitização da camada revestida.

Para as deposições foi desenvolvido um sistema composto de uma inversora GTAW (Balmer MB 180 TIGP), uma mesa CNC bidimensional (Tekno mecatrônica) e um alimentador de arames automático (IMC Soldagem). A trajetória de execução do revestimento, a velocidade de soldagem/deposição e a velocidade de alimentação do arame foram controladas por meio de um Arduino. A Figura 1 apresenta o sistema de revestimento desenvolvido.





Foi utilizado eletrodo de tório tungstênio AWS EW7H2 com 1.6 mm de diâmetro, ângulo de 90°, com distância da chapa de 1.5 mm. O arame (metal de adição) foi o AWS ER385 (AISI 904L) e como gás de proteção argônio, com vazão de 15 l/min.

Inicialmente fez-se um cordão único de deposição onde foram avaliadas 2 condições, variando as velocidades de soldagem em 300 e 500 mm/min. A velocidade de alimentação do arame para ambas condições foi de 0,5 m/min. Os demais

parâmetros (corrente e tensão) foram mantidos constantes. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de deposição utilizados e o aporte térmico calculado.

Amostras	Tensão de Soldagem [V]	Corrente de Soldagem [A]	Velocidade de Soldagem [mm/min]	Aporte Térmico [J/mm]
DP500	30	180	500	530
DP300	30	180	300	885

Tabela 1 – Condições de revestimento

Após a deposição, os corpos de prova foram cortados transversamente e embutidas em resina epóxi. Para revelar a macro e microestrutura utilizou-se Nital 2%. A caracterização macro e microestrutural se deu por microscopia óptica em um microscópio Zeiss AxioLab.A1 acoplado a uma câmera digital ZEISS modelo Axiocam ERc 5s, sincronizado a um analisador de imagens AxioVision Rel. 4.8 e por um estéreo microscópio ZEISS Stemi DV4. Pelas macrografias, calculou-se a diluição dos revestimentos. Os testes de microdureza Vickers foram realizados no metal base, na zona termicamente afetada (ZTA) e na camada depositava utilizando um durômetro EMCO TEST Duravision com uma carga de 1 gf.

De posse dos resultados referentes as amostras DP300 e DP500, foi realizado mais um ensaio de deposição (condição DP300), porém com 3 cordões e uma sobreposição de 40% entre os cordões. Foram feitas as análises macro e microestruturais, bem como microdureza.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As macrografias para as amostras DP500 e DP300 são apresentadas na Figura 2.





Para ambas as condições é possível observar 3 regiões distintas: metal base, ZTA e revestimento. O aumento no aporte térmico impactou na extensão da ZTA, onde para a amostra DP300 (maior aporte térmico) a ZTA foi maior.

A quantidade de material depositado foi maior para condição DP300, uma vez que pra essa condição a taxa de deposição de material (relação entre as velocidades de alimentação do arame e de soldagem).

Ainda pelas macrografias foi possível determinar as taxas de diluição dos revestimentos, onde para as condições DP500 e DP300 foram de aproximadamente 18 e 25% respectivamente, mostrando a influência do aporte térmico.

Conforme observado nas macrografias, o aporte térmico afetou a extensão da ZTA, porém as microestruturas resultantes foram similares. Para ambas condições é possível observar a formação de bainita na ZTA, resultante das condições de resfriamento (3,4). As micrografias para as amostras DP500 e DP300 são apresentadas na Figura 3 e Figura 4 respectivamente.



Figura 3 – Micrografia da amostra DP500

Figura 4 – Micrografia da amostra DP300



Pela macroestrutura do revestimento observa-se que a taxa de diluição para o revestimento foi de aproximadamente 23%. É possível observar na ZTA os 3 cordões de revestimento. O revestimento apresentou defeitos, não observados quando se fez apenas 1 cordão, como trincas e inclusões. A macroestrutura do revestimento, feito na condição DP300 é apresentada na Figura 5.



Figura 5 – Macroestrutura para o revestimento

A Figura 6 apresenta a micrografia para o revestimento. A microestrutura da ZTA foi similar àquelas observadas para as condições DP500 e DP300. Ainda é possível observar a transição entre os cordões do revestimento (linha adicionada na micrografia).



Figura 6 – Macroestrutura para o revestimento

A Figura 7 apresenta as micrografias com os valores médios de microdureza para cada uma das regiões para todas amostras ensaiadas.



Figura 7 – Macroestrutura com valores de microdureza

Não houveram variações significativas nas microdurezas das ZTAs. A microdureza da ZTA foi superior à do MB, visto que houve formação de bainita nessa região. O aporte térmico afetou a microdureza dos revestimentos, onde com o aumento do aporte térmico aumentou-se as microdurezas.

As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP

CONCLUSÕES

- Para todas as condições, houve uma boa aderência do revestimento ao metal base, mostrando a viabilidade do processo e validando o aparato experimental.
- O aporte térmico afetou a macroestrutura, onde, para maiores aportes térmicos resultaram em uma taxa de diluição maior.

- Para todas as condições houve formação de bainita na ZTA, resultado em uma microdureza maior.
- O aporte térmico afetou a microdureza dos revestimentos, onde com o aumento do aporte térmico aumentou-se as microdurezas.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), FAPESP pelo apoio ao projeto de pesquisa processo nº 2023/16993-0

REFERÊNCIAS

(1) SARAVANAN, S.; RAGHUKANDAN, K.; SIVAGURUMANIKANDAN, N. Pulsed Nd: YAG laser welding and subsequent post-weld heat treatment on super duplex stainless steel. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 25, p. 284–289, jan. 2017.

(2) KUMAR, M.; SINGH, J.; AMRINDER SINGH UPPAL. Improvement in corrosion resistance of AISI 316L stainless steel weld cladding using GTA remelting technique. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 3224–3228, 1 jan. 2022.

(3) MURKUTE, P.; PASEBANI, S.; ISGOR, O. B. Production of corrosion-resistant 316L stainless steel clads on carbon steel using powder bed fusion-selective laser melting. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 273, p. 116243, nov. 2019.

(4) ASLAM, M.; SAHOO, C. K. Numerical and experimental investigation for the cladding of AISI 304 stainless steel on mild steel substrate using Gas Metal Arc Welding. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 37, p. 378–387, maio 2022.

(5) LI, C. et al. Microstructures and mechanical properties of stainless steel clad plate joint with diverse filler metals. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 2, p. 2522–2534, 1 mar. 2020.

(6) PRAKASH PASUPULLA, A. et al. Characterization and analysis of TIG welded stainless steel 304 alloy plates using radiography and destructive testing techniques. **Materials Today: Proceedings**, v. 51, p. 935–938, 1 jan. 2022.

(7) HOU, Z. et al. Microstructure and Mechanical Performances of Stainless Steel Cladding by Twin-Electrode GTAW. **MATERIALS TRANSACTIONS**, v. 62, n. 7, p. 995–1000, 1 jul. 2021.

(8) KANEMARU, S. et al. Study for TIG–MIG hybrid welding process. Welding in the World, v. 58, n. 1, p. 11–18, 22 ago. 2013.

(9) FA. HEDAIAT et al. Long-term oxidation behaviour and thermal stability of heat-resistant stainless steel claddings deposited on AISI 316 stainless steel by the GTAW process. **Surface & Coatings Technology**, v. 424, p. 127605–127605, 1 out. 2021.

(10) RODRIGO STOHLER GONZAGA; WERLEY, F.; PAYÃO, C. Microstructural characterization of the transition zone between a C–Mn steel pipe and a 70%Ni30%Cu alloy cladding welded by HW-GTAW. **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, v. 192, p. 104433–104433, 1 ago. 2021.

(11) UNGETHÜM, T. et al. Analysis of metal transfer and weld geometry in hot-wire GTAW with indirect resistive heating. **Welding in the World**, v. 64, n. 12, p. 2109–2117, 3 set. 2020.

(12) KUMAR DAS, A. Recent developments in TIG torch assisted coating on austenitic stainless steel: A critical review. **Materials Today: Proceedings**, v. 57, p. 1846–1851, 2022.

(13) MATIAS, J. V. S. et al. Behavior of a superaustenitic stainless steel weld cladding deposited by the gas metal arc welding process. **Materials Today Communications**, v. 34, p. 104978, 1 mar. 2023.

(14) LI, W. et al. Promotion of pitting corrosion at hydrogen-enriched α/γ phase boundaries in austenitic stainless steel weld joints. Acta Materialia, v. 227, p. 117728–117728, 1 abr. 2022.

(15) HADEN, C. V. et al. Wire and arc additive manufactured steel: Tensile and wear properties. **Additive Manufacturing**, v. 16, p. 115–123, ago. 2017.

(16) JOÃO V.S. MATIAS et al. Microstructure and corrosion properties of the AISI 904L weld cladding obtained by the electro slag process. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, p. 5151–5164, 1 nov. 2021.

(17) YOUSEFIEH, M.; SHAMANIAN, M.; SAATCHI, A. Influence of Heat Input in Pulsed Current GTAW Process on Microstructure and Corrosion Resistance of Duplex Stainless Steel Welds. Journal of Iron and Steel Research International, v. 18, n. 9, p. 65–69, set. 2011.