

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DO PROCESSO DE REVESTIMENTO POR FRICÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO SOBRE AÇO-CARBONO EM CENTRO DE USINAGEM COM COMANDO NUMÉRICO

Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, fernandadias.eng@outlook.com

Ítalo Bruno dos Santos, italobsantos@gmail.com

Klaus Higor dos Santos Silva, klaushigor@yahoo.com.br

Pedro Paiva Brito, ppbrito@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte (MG).

Resumo: O processo de revestimento por fricção pode ser considerado um processo de soldagem no estado sólido utilizado para recobrir e/ou reparar materiais superfícies de materiais similares/dissimilares. O revestimento por fricção melhora as propriedades da superfície, aumenta a vida útil dos componentes e estruturas, reduz o desgaste, diminuindo os custos relativos a pausas não programadas e/ou substituição de equipamentos. No presente trabalho investigou-se a influência dos parâmetros do processo de revestimento por fricção, tais como: rotação da haste consumível, velocidade de avanço da haste consumível e rugosidade superficial nas propriedades mecânicas de recobrimentos de aço inoxidável austenítico ABNT 304 depositado sobre aço ao carbono ABNT 1020. Os procedimentos de deposição foram realizados em um centro de usinagem com Comando Numérico Computadorizado (CNC), o que apresenta o potencial para diminuição dos custos e simplificação do processo quando comparado com revestimentos por fricção realizados em máquinas especializadas, que ainda apresentam inserção limitada na indústria em comparação com equipamentos CNC convencionais. Foram utilizadas, como substrato, chapas de aço ao carbono ABNT 1020, com 200 x 100 x 8 mm e hastes consumíveis de aço inoxidável austenítico ABNT 304 com 100 mm de comprimento e 15,4 mm de diâmetro. Após a deposição foram realizadas as caracterizações dos depósitos quanto à geometria do depósito e da zona termicamente afetada (ZTA) e foram submetidas a ensaios de resistência de adesão do depósito.

Palavras-chave: Revestimento por fricção, centro de usinagem CNC, aço inoxidável, aço carbono, adesão.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da modificação das propriedades de superfície de um produto é um campo de pesquisa atrativo para as indústrias de transformação como a automotiva, aeroespacial e de construção naval, que possuem grande interesse em soluções que possam melhorar propriedades de resistência à corrosão, ao desgaste, elevar a dureza superficial de peças, ou propriedades tribológicas específicas (Miyamoto *et al.* 1999).

O processo de Revestimento por Fricção (RF; em inglês: *Friction Surfacing*) é um processo de recobrimento de estado sólido, que permite a união de materiais similares ou dissimilares visando à modificação das propriedades superficiais de um componente, ou o seu reparo. O processo foi desenvolvido efetivamente a partir do início da década de 1990 e tem despertado crescente interesse da comunidade científica desde então, especialmente em virtude da crescente demanda por recobrimentos de elevado desempenho para aplicações consideradas críticas (Gandra *et al.*, 2014). Com efeito, processos de RF têm sido utilizados na produção de lâminas industriais de longa vida, em componentes resistentes ao desgaste e à corrosão e na reabilitação de peças gastas ou danificadas, tais como pontas de pás de turbina e máquinas agrícolas (Macedo *et al.*, 2010).

No processo RF uma haste consumível em movimento de rotação é forçada sobre o substrato a ser revestido, conforme ilustrado na Fig. 1. A fricção entre as superfícies provoca a liberação de calor, o aquecimento dos materiais envolvidos e intensa deformação plástica na ponta da haste. Como consequência, se estabelece um fluxo viscoplástico do material da haste levando à formação do *flash* característico do processo. Em seguida, ocorre movimento de translação do substrato e a formação de um depósito longitudinal, com aspecto similar a um cordão de solda depositado

sobre chapa. Os principais parâmetros operacionais são a força axial (F), a velocidade de rotação (Ω) e a velocidade de avanço (V_x).

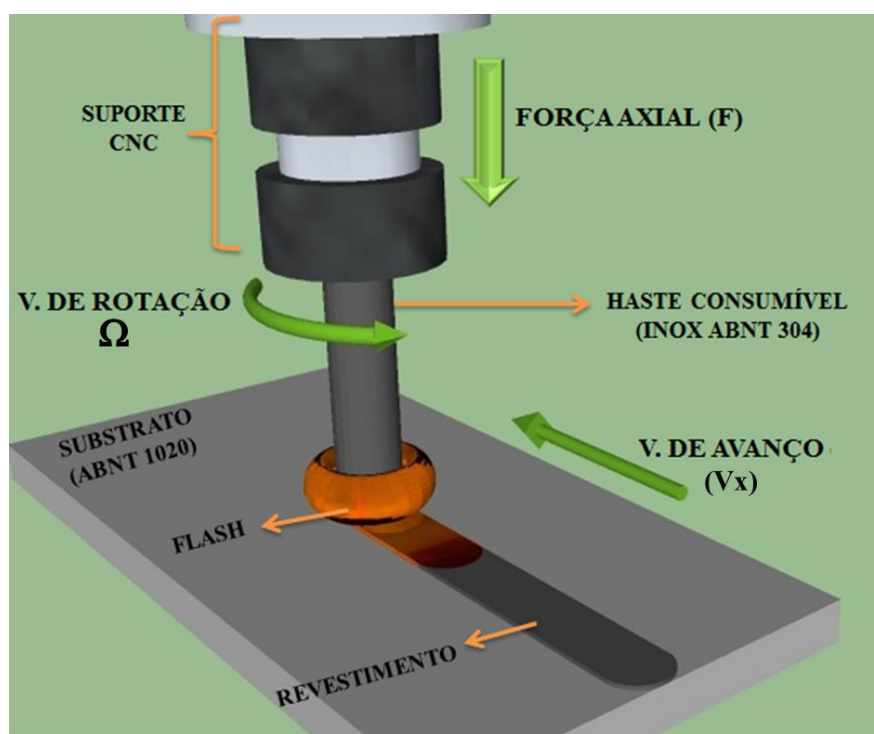


Figura 1- Ilustração esquemática do processo RF aplicado à deposição de aço inoxidável ABNT 304 sobre substrato de aço-carbono ABNT 1020 com a identificação dos principais parâmetros do processo.

Segundo Gandra *et al.* (2014), o processo ocorre inteiramente no estado sólido pelo fato de que com o aumento da temperatura se reduz o atrito entre as superfícies até que, no limite, não haveria mais atrito cessando a geração de calor, impedindo aumentos subsequentes de temperatura e, conseqüentemente, a fusão dos materiais envolvidos. Com isso, o processo RF permite que sejam evitadas algumas complicações decorrentes da solidificação, tais como: formação de poros, trincas, tensões residuais, zonas diluídas, entre outros. Além disso, destaca-se a microestrutura de grãos finos e recristalizados formada no processo em virtude das elevadas temperaturas atingidas combinadas com intensa deformação plástica. Dessa forma, considera-se que o processo de RF apresenta potencial para a obtenção de desempenho superior em termos de resistência ao desgaste e à corrosão em comparação com recobrimentos convencionais.

Sob o ponto de vista dos materiais envolvidos, nos últimos anos o processo de RF foi utilizado para fabricar diversos recobrimentos, incluindo: aço inoxidável sobre aço ao carbono (Govardhan *et al.*, 2012), aço-ferramenta sobre ao aço carbono (Khalid Rafi *et al.*, 2010), ligas de alumínio sobre aço ao carbono (Sugandi e Ravishankar, 2012), entre outros. Recentemente, foi demonstrada a viabilidade de aplicação do processo de RF em equipamentos não especializados. Especificamente, buscou-se a sua implementação em um centro de usinagem com comando numérico computadorizado (CNC) para o recobrimento do aço inoxidável austenítico 316L com liga de Co-Cr (Stellite-6) (Vitanov *et al.*, 2010). O trabalho (Vitanov *et al.*, 2010) buscou possibilitar maior abrangência na aplicação do processo de RF, devido à forte inserção de equipamentos CNC nas indústrias.

Com o objetivo de explorar outras possibilidades para o processo RF em equipamento não especializado, no presente trabalho buscou-se o desenvolvimento de recobrimentos de aço inoxidável austenítico ABNT 304 sobre aço-carbono ABNT 1020 em centro de usinagem CNC convencional. Os parâmetros do processo foram adaptados para as possibilidades do centro de usinagem utilizado e foram correlacionados com o desempenho dos recobrimentos (avaliado em termos de sua adesão ao substrato) de teste estatístico ANOVA.

2. MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os materiais selecionados para estudo do presente trabalho foram chapas de aço ABNT 1020 com dimensões (comprimento x largura x espessura) 200 x 100 x 8 mm e hastes consumíveis de aço inoxidável austenítico ABNT 304 com dimensões (comprimento x diâmetro) 100 x 15,4 mm. As chapas utilizadas como substrato foram recebidas na condição laminada a quente e os recobrimentos foram aplicados ao longo da direção de laminação das chapas. Para remoção da carepa de laminação antes da aplicação do revestimento e, também, como forma de avaliar a influência da

rugosidade superficial no processo, as superfícies foram limpas segundo duas formas distintas: (a) escova de aço e (b) fresagem da superfície.

2.2 Parâmetros de deposição por fricção

Os parâmetros de processo avaliados neste trabalho foram: velocidade de rotação da haste consumível (Ω), velocidade de avanço da haste consumível e razão entre os movimentos V_x e vertical, V_z . A razão $V_x:V_z$ foi adotada como parâmetro face à impossibilidade prática, no equipamento utilizado, de se aplicar uma força axial pré-determinada, como ocorre convencionalmente no processo RF efetuado em equipamentos especializados. Os valores dos parâmetros adotados inicialmente e a rugosidade inicial das chapas foram:

- Velocidade de rotação da haste consumível (Ω): 1500 e 2000 rev/min.
- Velocidade de avanço da haste consumível (V_x): 78, 190, 250 mm/s.
- Rampa de deposição (V_x/V_z): 0.15, 0.4, 0.5, 1.
- Rugosidade superficial: 2,95 μm (escova de aço), 0,66 μm (superfície fresada).

Esses valores foram realizados testes preliminares com o objetivo de se encontrar as condições que possibilitassem a formação de recobrimentos tecnicamente viáveis.

2.3 Deposição das hastes consumíveis

Para a deposição das hastes consumíveis foi utilizado um Centro de Usinagem com comando numérico, ROMI Discover 560 com potência 15/11 cv/kW e velocidade de rotação de até 10000 rpm. Tentativas iniciais foram realizadas em equipamento TRAVIS M-800, com potência de 7,5/5,6 cv/kW sem, contudo, que resultados positivos pudessem ser alcançados pela ocorrência de travamento do equipamento (provavelmente devido a sobrecarga). O ciclo de deposição é controlado através de um software, onde são programados os parâmetros de deposição desejados dentro das limitações do equipamento.

2.4 Metodologia experimental

A análise inicial de adesão do revestimento ao substrato foi feita por inspeção visual e, também, aplicando-se, com o auxílio de uma cunha, um esforço na terminação do depósito após o resfriamento dos materiais envolvidos. Foram considerados inviáveis os parâmetros de processo que conduziam a condições em que houvesse excessiva heterogeneidade geométrica do recobrimento (em termos de largura e espessura) ou que resultassem em sua remoção com o uso da cunha.

Na segunda etapa, foi realizado um projeto fatorial cruzado completo, onde foi fixado o fator referente à rotação da haste, utilizando uma rampa V_x/V_z (25/50), duas velocidades de avanço de deposição (190 e 250 mm/min) e duas rugosidades (superfície escovada com aço e usinada). Para cada combinação de parâmetro de deposição foram realizadas três repetições. Na Tab. 1 é apresentada a matriz de experimentos da segunda etapa mostrando as combinações de parâmetros, totalizando 24 depósitos.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no ensaio

Fator	Número de níveis	Níveis
Rampa de descida (R_x/R_z)	1	25/50 (0,5)
Rotação da haste consumível (rpm)	2	1500 e 2000
Rugosidade do substrato (μm)	2	0,66 e 2,95
Velocidade de avanço (V_x) em (mm/min)	2	190 e 250
Material da haste consumível	1	Aço inox ABNT 304
Material do substrato	1	Aço ao carbono ABNT 1020
Número de repetições	3	
Número de testes	$2^3 = 8$	
Total de depósitos	$8 \times 3 = 24$	

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Testes preliminares

Um dos problemas encontrados com o início dos testes realizados foi a ocorrência de travamentos do equipamento CNC (TRAVIS M-800) devido a limitações de potência em relação ao torque necessário no eixo. Especula-se que com uma redução do diâmetro da haste consumível seja possível viabilizar o processo em equipamentos de potência reduzida. Como consequência, o movimento de rotação da haste era interrompido antes que houvesse retração da mesma, o que ocasionou a sua consolidação junta ao depósito conforme ilustrado na Fig. 2. Após essas dificuldades, optou-se pela realização das operações de recobrimento em equipamento com maior potência total instalada.

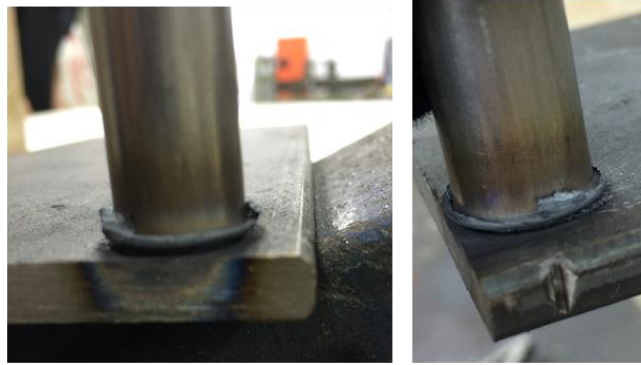


Figura 2 – Haste soldada ao substrato

Os primeiros testes foram realizados com o menor valor de velocidade de avanço selecionado para análise (78 mm/min). A inspeção visual dos depósitos realizados indicou falta de uniformidade dos cordões, como pode ser observado na Figura 3(a). Além disso, não houve adesão suficiente podendo os revestimentos serem removidos com a aplicação de uma cunha – Figura 3(b).

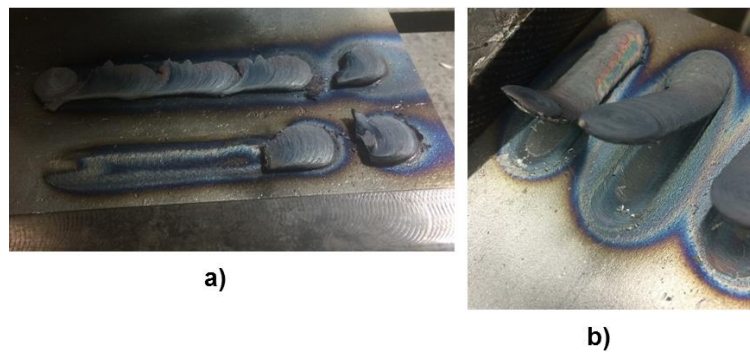


Figura 3 – a) Depósito irregular, b) baixa adesão

Analisando-se os depósitos e a forma pela qual os mesmos foram efetuados notou-se que, apesar do desempenho não satisfatório, a região inicial do depósito apresentava forte adesão ao substrato. Para baixas velocidades de avanço do substrato, foi possível notar que durante o processo de revestimento, devido ao caldeamento da haste consumível ocorre perda de contato entre os materiais. Como consequência, não há deformação plástica e/ou aquecimento suficiente no substrato para que se possa viabilizar a deposição. Esse mecanismo, observado durante os ensaios, é retratado na Fig. 4.

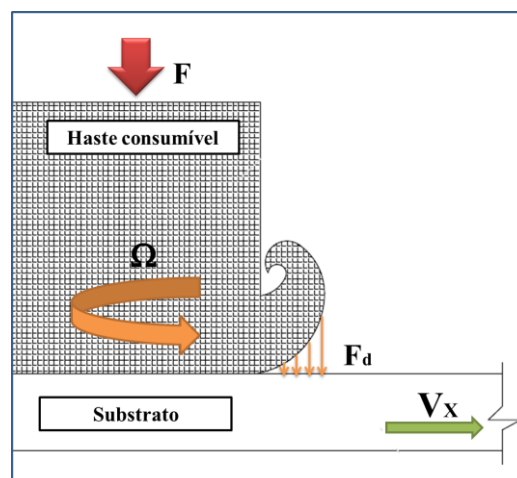


Figura 4 – Mecanismo de deposição.

A componente “ F_d ” corresponde à porção do depósito em que se observou o referido distanciamento em relação ao substrato. Com o objetivo de se aumentar a área efetiva de contato durante o processo, buscou-se a inclinação do substrato em relação ao movimento de avanço da haste em valores de 3 a 5°, com o quê foi possível obter revestimentos

com melhor adesão. O mesmo efeito foi obtido com o aumento da velocidade de avanço (mantendo-se a superfície do substrato paralela ao plano horizontal) para os valores de 190 mm/min e 250 mm/min. Provavelmente, nessas condições, a velocidade de avanço é superior à velocidade de escoamento do material na ponta da haste consumível, de modo que não ocorre perda de contato com o substrato durante o processo. Dessa forma, com o intuito de limitar o número de variáveis experimentais a serem controladas, simplificar o processo de montagem dos experimentos e, também, reduzir possíveis fontes de erro do processo, optou-se por eliminar do planejamento experimental a velocidade de rotação de 78 mm/min mantendo-se a superfície do substrato paralela ao plano horizontal.

3.2 Análise dos Revestimentos

Definidos os limites para os valores dos parâmetros de processo, foram realizados testes nas condições expostas na Tab. 2 deste trabalho. Na Fig. 5 são apresentadas fotografias de vista superior dos revestimentos realizados.

Observa-se que nas vistas superiores apresentadas na Fig. 5 o sentido de deposição foi da direita para a esquerda.

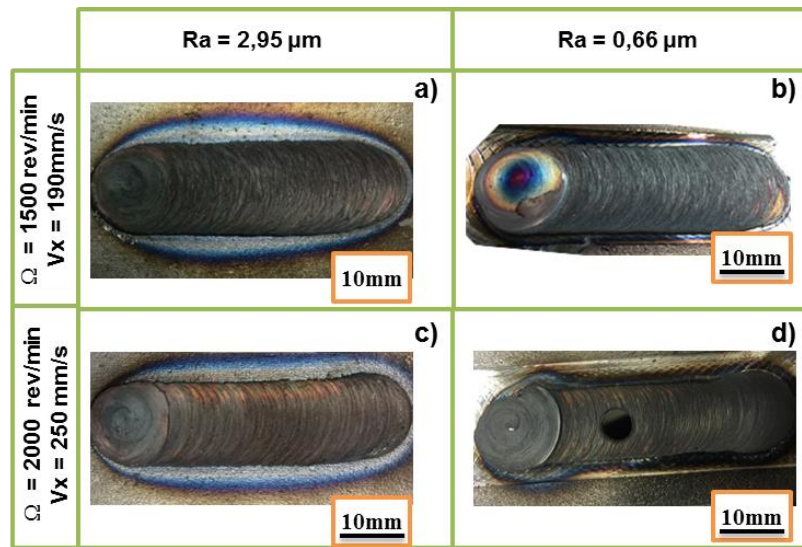


Figura 5 – Vista de topo dos revestimentos

Observando as vistas de topo do revestimento (Fig. 5) pode-se visualizar que existem mudanças significativas nas características dos depósitos (largura e espessura) com a variação dos parâmetros de deposição. Uma tendência geral observada nos revestimentos é a maior extensão da Zona Termicamente Afetada (ZTA) no início do recobrimento em relação ao final. Isso se deve ao fato de que no início do processo a haste é deixada em contato de fricção até o início do aquecimento do material da haste consumível para depois começar a deposição, resultando em maior tempo para troca de calor. Pode-se destacar, também, que a superfície dos depósitos apresenta formações com aspecto arqueado. Segundo Rafi *et al* (2010), a frequência de transferência de material no depósito é que determina a aparência da superfície do depósito, se mais liso ou mais rugoso.

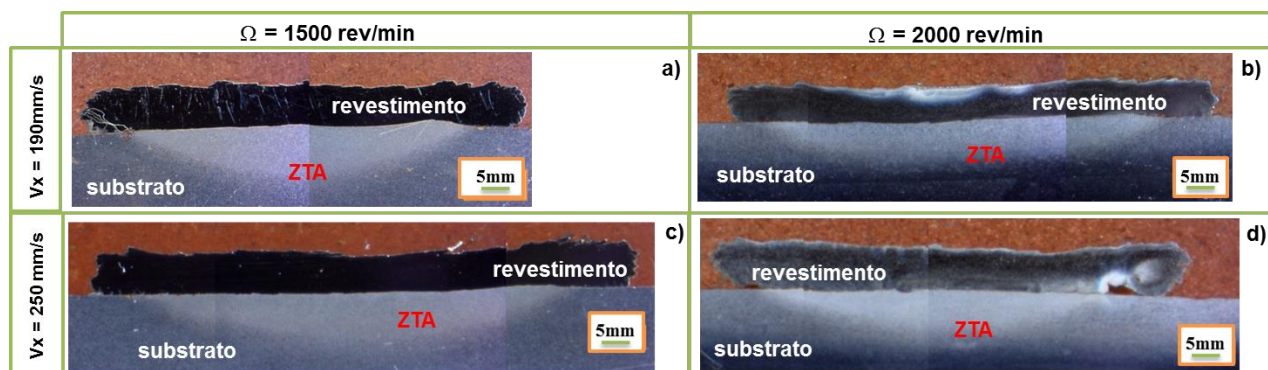


Figura 6 – Macrografia dos revestimentos realizados em superfície com baixo acabamento superficial do substrato.

Pela análise das macrografias apresentadas na Fig 6, pode-se observar que as dimensões dos depósitos e da ZTA são influenciadas pelos parâmetros de deposição. Com o aumento da velocidade de rotação da haste (Ω), de 1500 rev/min para 2000 ver/min e mantendo uma velocidade de avanço da haste (V_x) de 190 mm/s (Figura 6a e 6b), observa-

se uma diminuição da profundidade de ZTA em casos onde a rotação da haste foi maior. Gandra *et al.*, (Gandra 2014), conclui também que em velocidades de rotação excessiva pode levar a uma redução da largura de adesão e ZTA do depósito. Em sequência mantendo a velocidade de rotação constante (Ω) de 1500 rev/min e analisando o aumento da velocidade de avanço (V_x) de 190mm/s para 250 mm/s (Figura 6a e 6c), notou-se uma relação inversamente proporcional da profundidade da ZTA com o aumento da velocidade de avanço. Isso se deve pelo fato da velocidade ser maior, reduzindo o tempo de deposição e o tempo de contato da haste consumível com o substrato, a espessura, largura, bem como a energia de soldagem, consequentemente diminui a profundidade da ZTA. (Vitanov *et al.*, 2001).

Os revestimentos exibem, contudo, defeitos indicando ausência de adesão nas bordas. Esse aspecto é característico do processo (Gandra *et al.*, 2014), sendo considerado uma de suas limitações. Um exemplo de ocorrência de “solda fria” é apresentado na macrografia da Fig. 7.

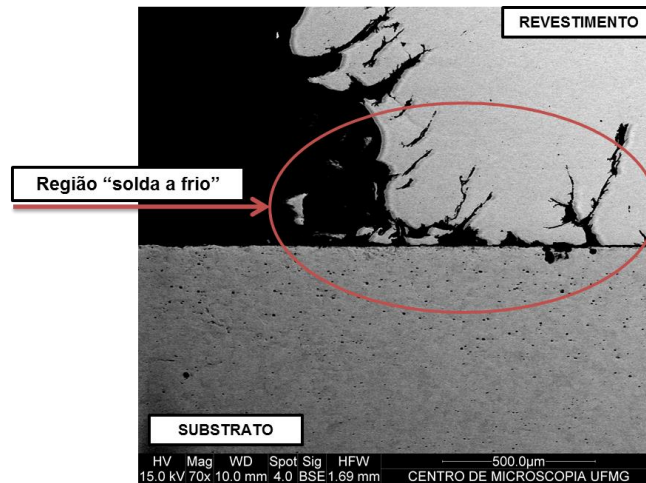


Figura 7 – Micrografia da região de “solda a frio”.

3.3 Ensaio de carga (*Push-off*)

A força necessária para promover a remoção do revestimento foi determinada por meio de um ensaio simples conhecido como *push-off*, comumente aplicado em revestimentos obtidos por fricção (Vitanov *et al.*, 2010). O teste consiste em produzir um furo no verso da chapa revestida, com comprimento igual à espessura nominal da chapa. Em seguida, promove-se a passagem de um punção pelo furo criado, medindo-se a força necessária para causar o arrancamento do depósito. O procedimento de ensaio é ilustrado na Fig. 8 (a). Na Figura 8 (b) é apresentada uma fotografia da execução do teste em uma máquina universal de ensaios. Os resultados obtidos do teste são apresentados na Tab. 2, que inclui a indicação dos parâmetros utilizados nos testes. Os valores apresentados na coluna “Push-off (kN)” representam a média dos três ensaios realizados para cada conjunto de parâmetros com o respectivo desvio-padrão.

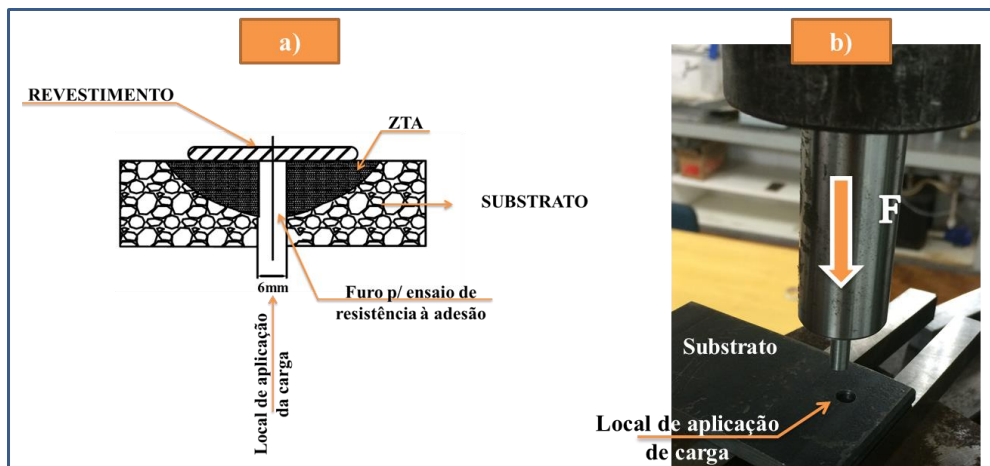


Figura 8 – Realização do teste *push-off*. (a) Corte transversal; (b) dispositivo para teste de adesão.

Tabela 2 – Resultado dos testes de *push-off* (variável-resposta)

Teste	Rotação (rpm)	Avanço (mm/min)	Ra (μm)	Push-off (kN)
1	1500	190	0.66	$13,6 \pm 2,6$
2	2000	190	0.66	$10,1 \pm 0,8$
3	1500	250	0.66	$10,2 \pm 1,5$
4	2000	250	0.66	$8,6 \pm 0,2$
5	1500	190	2.95	$8,2 \pm 0,3$
6	2000	190	2.95	$6,7 \pm 0,9$
7	1500	250	2.95	$4,2 \pm 1,5$
8	2000	250	2.95	$4,0 \pm 1,0$

Como forma de sintetizar os resultados obtidos por meio do planejamento de experimentos realizados, são apresentadas nas Figs. 9 e 10, respectivamente, os diagramas de Pareto e de Efeitos Principais obtidos.

O diagrama de Pareto representa a prevalência de cada variável de entrada (rotação, avanço e rugosidade do substrato) no comportamento da variável-resposta (força máxima obtida no teste de *push-off*). Pelos resultados apresentados na Fig. 9, nota-se a preponderância da rugosidade superficial no comportamento da variável resposta (adesão). Em segundo e terceiro lugares, vêm o avanço e a rotação seguidos dos efeitos combinados dos parâmetros. A importância da rugosidade superficial se destacou tanto pelos maiores valores de força alcançados como, também, pelo modo de falha dos revestimentos testados: para as condições de baixa rugosidade superficial, foi possível notar o arrancamento integral da porção do revestimento em contato com o punção, sendo destacada por cisalhamento uma porção circular com diâmetro similar ao diâmetro do punção. Por outro lado, nos testes realizados com elevada rugosidade superficial, houve levantamento do revestimento indicando baixa adesão ao substrato. A relevância da velocidade de avanço se deve ao fato que quanto maior a velocidade da haste consumível, menor o tempo de deposição e o tempo de contato da haste consumível com o substrato (Vitanov *et al.*, 2001). A influência da velocidade de rotação na determinação da força de adesão não pode ser explicada, pois a área de contacto entre o substrato e o revestimento diminui com o aumento da velocidade de rotação, e a transferência de calor por fricção para o substrato torna-se menor (Shinoda *et al.*, 1998).

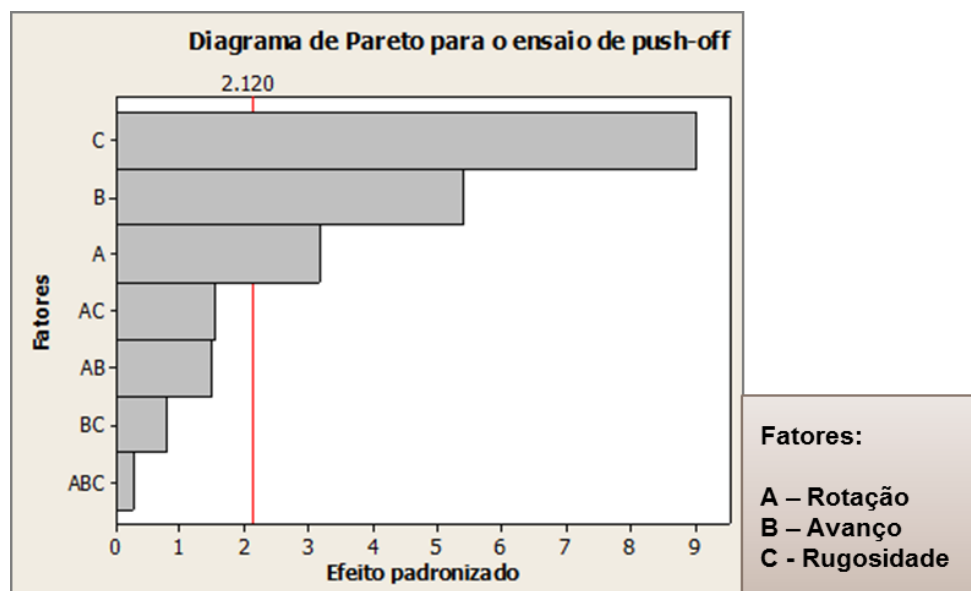


Figura 9 – Diagrama de Pareto identificando as variáveis que apresentam maior influência na adesão do revestimento no processo FSS de aço inox 304 sobre aço-carbono 1020.

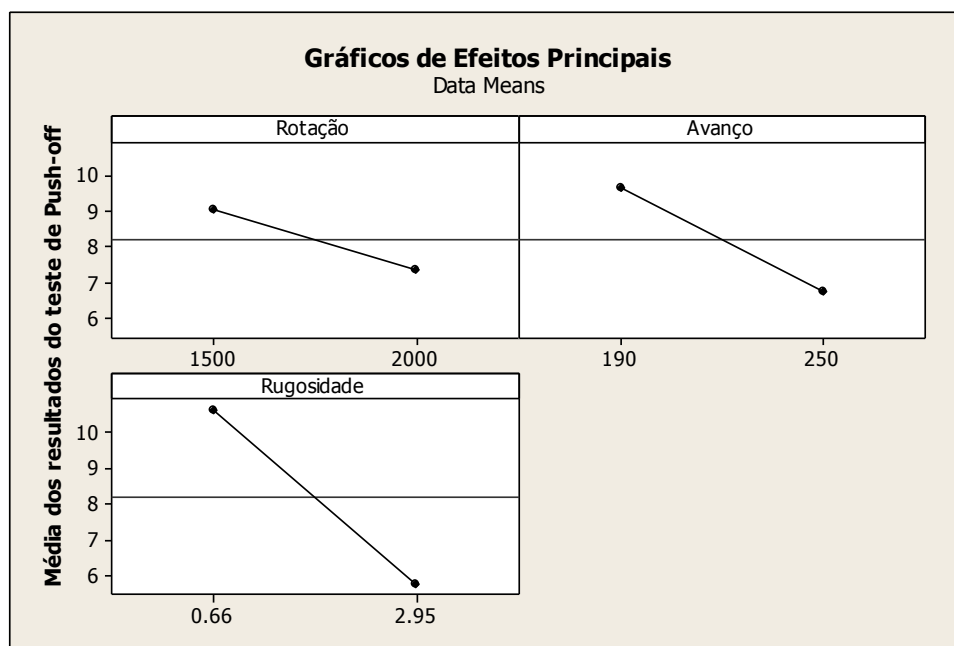


Figura 10 – Gráficos de Efeitos Principais, mostrando as tendências para adesão do revestimento ao substrato em função da variação dos parâmetros testados.

Apesar da importância da destacada da rugosidade superficial do substrato, até onde se verificou a literatura não foi possível identificar avaliação sistemática do seu efeito para os materiais avaliados neste trabalho. Uma especulação possível para explicar o significativo aumento da força de adesão com rugosidade mais baixa ($R_a = 0,66\mu\text{m}$) é o aumento da área real de contato. Assim, no presente caso, o aumento da área real de contato possibilitada pela redução da rugosidade prevaleceu sobre eventuais efeitos de ancoragem mecânica supostamente presentes na condição de maior rugosidade, que poderiam favorecer a adesão do revestimento. No presente caso, acredita-se que os efeitos de ancoragem mecânica não se sobressaíram porque os materiais envolvidos possuem dureza e limites de escoamento similares. Assim, pode-se supor que a deformação plástica experimentada em ambas as superfícies envolvidas atingiu níveis similares, limitando o efeito de intertravamento mecânico. Outra possível explicação para o melhor desempenho observado com baixa rugosidade seriam menores taxas de oxidação durante o processo (pelas menores temperaturas atingidas) reduzindo o risco de formação de inclusões ao longo da interface e prejudicando a adesão do revestimento ao substrato.

Com relação aos resultados apresentados na Fig. 10, é possível constatar que os três parâmetros testados apresentaram correlação negativa com a força de adesão do revestimento, ou seja, aumentando-se os valores de rotação, avanço ou rugosidade superficial, se espera que haja tendência de redução da adesão do revestimento ao substrato.

4 CONCLUSÃO

As tentativas de se aplicar o processo RF em centro de usinagem CNC de baixa potência não obteve êxito na realização em virtude do travamento da máquina culminando em soldagem da haste do substrato. Para que o processo seja efetuado é necessária substituição da haste consumível por uma com diâmetro menor, ou substituição do equipamento utilizado por um mais potente.

Em velocidades de avanço menor, a força de deposição se reduz prejudicando à adesão. Para que a adesão seja satisfatória, mantendo-se a mesma velocidade, é necessário inclinar o substrato para que sejam compensados os efeitos de perda de contato e diminuição da força atuante sobre a interface dos materiais envolvidos.

O processo de RF mostrou-se sensível à variação dos parâmetros de operação avaliados. Com elevação da velocidade de rotação a ZTA aumenta consideravelmente em virtude do aumento do atrito e, conseqüentemente, da temperatura. Já em velocidade de avanço maior os efeitos notados são incremento de largura e redução da espessura do material depositado.

Nota-se também que a ZTA no início do processo de deposição é maior que no restante da deposição, isso se deve ao fato de que no início do processo é deixado em contato de fricção por mais tempo, até que o ponto de caldeamento seja atingido para assim então avançar com a haste.

Foram identificadas regiões de “solda-fria” nas bordas do revestimento, característica peculiar do processo presente em todas as condições de deposição, sendo que sua diminuição é diretamente proporcional ao nível de maior adesão.

Com a melhora do acabamento superficial inicial do substrato, os valores obtidos para força de adesão se mostraram melhor em velocidade de rotação da haste e velocidade de avanço mais baixa e tiveram resultados superiores a testes realizados em maquinário de dedicado quando analisando os mesmos parâmetros de velocidade de rotação e velocidade de avanço, concluindo com isso a eficiência do processo realizado em um centro de usinagem CNC.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMIG pelo apoio à participação no CONEM.

5 REFERÊNCIAS

- Govardhan, D. et al., Characterization of Austenitic Stainless Steel Friction Surfaced Deposit over Low Carbon Steel. *Materials and Design* 36, p. 206-214, 2012.
- Gandra, J. et al., Friction Surfacing – A Review. *Journal of Materials Processing Technology*, 214, p. 1062-1093, 2014.
- Khalid Rafi, H., Janaki Ram, G. D., Phanikumar G., Prasad Rao, K., Friction Surfaced Tool Steel (H13) Coatings on Low Carbon Steel: A Study on the Effects of Process Parameters on Coating Characteristics and Integrity, *Surface and Coatings Technology* 205. p.232-242, 2010.
- Macedo, M. L. K. et al., Deposit by friction surfacing and its applications. *Welding International* 24, p.422–431, 2010.
- Miyamoto, Y.A., Kaysser, W.H., Rabin, B., Kawasaki, A.G., Ford, R., 1999. *Function- ally Graded Materials: Design, Processing and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA.
- Rafi, H. K. et al., Friction Surfaced Tool Steel (H13) Coatings on Low Carbon Steel: A Study on the Effects of Process Parameters on Coating Characteristics and Integrity, *Surface and Coatings Technology* 205. p.232-242, 2010a.
- Sugandi, V., Ravishankar V., Optimization of friction surfacing process parameters for AA1100 aluminum alloy coating with mild steel substrate using response surface methodology (RSM) technique, *Modern Applied Science* 6, p. 69-80, 2012.
- Shinoda, T et al., Effect of Process Parameters During Friction Coating on Properties of Non – Dilution Coating Layers. *Surface Engineering*, vol.14, N° 3, p. 211-216, 1998.
- Vitanov, V.I. et al., Neurofuzzy Approach to Process Parameter Selection for Friction Surfacing Applications. *Surface and Coatings Technology* 140, p.256-262, 2001.
- Vitanov, V.I. et al., Application of Response Surface Methodology for the optimization of Micro Friction Surfacing Process. *Surface and Coatings Technology* 204, 2010.

6 RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF THE FRICTION SURFACING PROCESS APPLIED IN A CNC MAHINING CENTER FOR DEPOSITION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL ON CARBON STEEL SUBSTRATES

Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, fernanda@troysi.com
Ítalo Bruno dos Santos, italobsantos@gmail.com
Klaus Higor dos Santos Silva, klaushigor@yahoo.com.br
Pedro Paiva Brito, ppbrito@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte (MG).

Abstract. *The friction surfacing process can be considered a solid state welding process that can be used to coat or recover similar/dissimilar materials. The FSS allows improving overall surface properities, increasing lifetime of components and structures, reducing wear rates and costs associated with unscheduled maintenance operations. In the present work, the influence of process parameters (consumable rod rotation, traverse speed and substrate roughness) on the performance of the FSS was evaluated for ABNT 304 austenitic stainless steel coatings deposited on ABNT 1020 carbon steel plates. The FSS procedures were performed in a machining center with computerized numerical control (CNC), which might potentially lead to a decrease costs by using common industry equipment instead of specialized FSS machinery (not as widely applied as CNC for machining operations. After deposition, the coatings were characterized in terms of their geometry, heat affected zone (HAZ) and submitted to a simple push-off test in order to evaluate the bond strength.*

Keywords: *Friction Surfacing, conventional CNC, deposition parameters, stainless steel, carbon-steel.*