DEPOSIÇÃO DA AL 2024-T3 SOBRE SUBSTRATO 2024-T3 POR FRICTION SURFACING – ETAPA II

Amanda Catarina Brandes (PIBIC/FA), André Luis Moreira de Carvalho (Orientador), e-mail: andrelmc@uepg.br.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/ Departamento de Engenharia de Materiais.

Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Metalurgia de Transformação, Recobrimentos.

Palavras-chave: friction surfacing, AA2024-T3, processamento por atrito.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo viabilizar os parâmetros do processo de deposição superficial por atrito em liga de alumínio AA2024-T3 depositada sobre AA2024-T3, utilizados em painéis estruturais do setor aeronáutico. Os parâmetros analisados foram a velocidade de avanço, força axial e velocidade de rotação. Os depósitos foram avaliados quanto a sua morfologia, eficiência de adesão na interface por ensaio de dobramento, microestrutura por meio de microscopia óptica e perfil de dureza. Os resultados obtidos concluem a possibilidade de depositar materiais similares, com formação de microestrutura refinada proveniente do fenômeno de recristalização dinâmica. O melhor parâmetro encontrado qualitativamente foi da amostra 6 com velocidade de rotação de 1500 rpm, força axial de 13,5 kN e velocidade de avanço de 450 mm/s.

Introdução

O alumínio e suas ligas possuem grande aplicação em setores automobilísticos, aeronáuticos, aeroespacial, naval e vários outros setores industriais devido a suas propriedades mecânicas atrativas como ductilidade, baixa densidade, resistência à corrosão e trabalhabilidade. A engenharia de superfície se encontra entre um dos ramos mais estudados devido a sua demanda de aplicação, principalmente na indústria aeronáutica. [1,2,3]

O processo de deposição superficial por atrito (DSA) ou *friction surfacing* permite melhorar as propriedades de superfície de uma estrutura sem a ocorrência de defeitos (porosidade, segregação, trincas, inclusões, entre outros) como ocorrem em processos convencionais de deposição que envolvem fusão. Outra característica desse processo é a possibilidade de unir materiais dissimilares no estado sólido, atingindo apenas temperaturas de recristalização. [1,4,5]

Essa tecnologia é baseada nos princípios de soldagem por atrito, onde uma haste consumível é depositada sobre um substrato quando submetida às seguintes variáveis: velocidade de avanço, força axial e velocidade de avanço. A pressão exercida sobre o substrato, pela haste, e o movimento de rotação geram calor por atrito, desenvolvendo-se uma camada viscoplástica na ponta da haste. Assim que se atinge as condições ideais de temperatura, pressão e deformação plástica, o material começa a ser transferido para o substrato por meio de interdifusão. Em seguida, a haste é submetida a um deslocamento e o material começa a ser depositado em camadas elípticas. [1,5]

ISSN 1676-0093

Material e Métodos

Utilizou-se chapas de liga de alumínio AA2024-T3 como substrato 200mm x 300mm x 1,60mm. Foram utilizadas hastes consumíveis de alumínio AA2024-T3 com diâmetro de 19,05 mm e comprimento de 150 mm fornecidos pela EMBRAER. Os depósitos foram realizados com a máquina RM1 da *Manufacturing Technology Inc*. no CNPEM, com os parâmetros demonstrados na Tabela 1. As amostras foram submetidas a mesma velocidade de rotação de 1500 rpm e mesma taxa de alimentação de 7,5 mm/s.

Tabela 1 – Variação dos parâmetros.

Amostras	Velocidade de Avanço (mm/min)	Força Axial (kN)
1	500	14
2	500	13,7
3	500	13,5
4	500	13
5	550	13,5
6	450	13,5

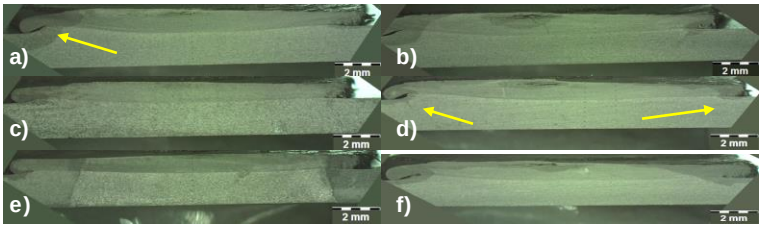
Para análise metalográfica, as amostras foram lixadas com lixas d'água de carbeto de silício. Subsequentemente, as amostras foram polidas na politriz Arotec modelo Aropol S no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa. O ataque químico para revelar a microestrutura das amostras foi realizado com o reagente Keller. A micrografia foi realizada com o microscópio Olympus BX51 e a aquisição das imagens foram efetuadas pelo software *Stream Essentials* no laboratório de Microscopia Óptica, no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa O teste de dureza foi realizado no Laboratório de Microscopia Ótica no Departamento de Engenharia de Materiais no microdurômetro LEICA modelo VMHT MOT utilizando carga de 200 gf e tempo de penetração de 12 segundos. Para cada parâmetro, realizou-se o ensaio de dobramento em três pontos com a máquina Shimadzu modelo AG-1 com capacidade até 10 kN, instalada no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Resultados e Discussão

As curvas de monitoramento de torque, deslocamento e força axial foram construídas para cada parâmetro, constatando-se os estágios de rotação inicial, contato, fim da deformação inicial, deposição e consumo total da haste. O melhor parâmetro encontrado, apresentando a melhor característica morfológica da superfície, pequena oscilação na curva de força axial na faixa de deposição e inclinação constante da curva de deslocamento foi da amostra 6.

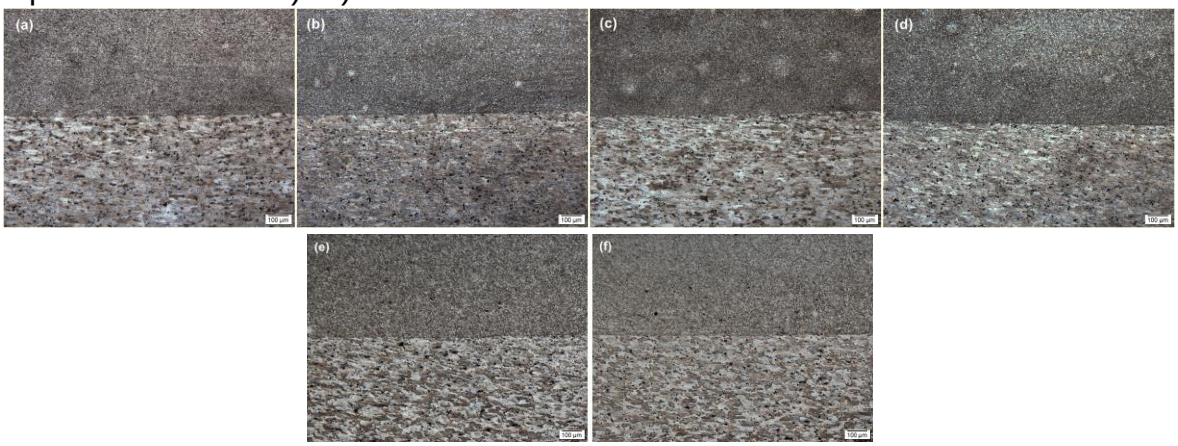
As macrografias das amostras realizadas após o ataque químico estão ilustradas na Figura 1 onde é possível identificar a interface para cada parâmetro utilizado, onde o lado de avanço está na extremidade esquerda e o lado de recuo está na extremidade direita do depósito. Constatou-se a pobre aderência nas laterais do depósito e a linha de interface substrato/depósito sem presença de defeitos e uma pequena deformação no substrato no lado de avanço.

Figura 1 – Macrografia das amostras 1 a 6 representadas, respectivamente, pelas figuras de a) a f).



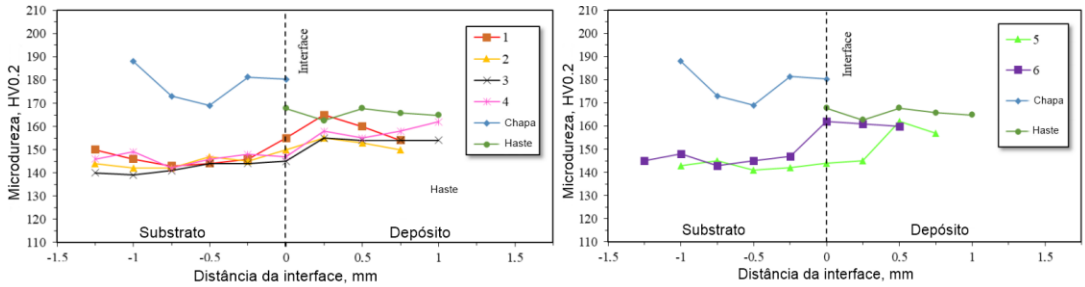
Observa-se que houve uma aderência total do material da haste para o substrato, sem a presença de porosidade. Outra característica presente é a diferença dos tamanhos de grão entre a interface, onde os grãos do material da haste são menores, homogêneos e equiaxiais pois ocorre a recristalização dinâmica inerente do processo, e os grãos do substrato mantém-se alinhados, decorrentes do processo de laminação, observado na Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Micrografia obtida por microscopia óptica das amostras 1 a 6, respectivamende de a) a f).



Os perfis de microdureza para a liga AA2024-T3 ao longo da seção entre substrato e depósito estão ilustrados na Figura 3, das amostras. Observam-se valores maiores de dureza, em HV, no depósito quando comparado aos valores obtidos no substrato. Isso ocorre devido ao calor gerado no processo que resultou na recristalização dinamica da microestrutura presente no material do depósito, gerando refinamento de grãos e consequentemente uma melhora nas propriedades.

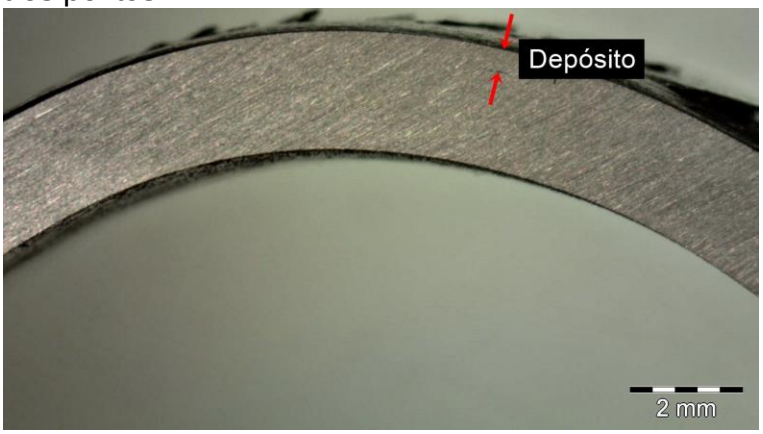
Figura 3 – Perfil de microdureza das amostras.



O ensaio de dobramento por três pontos realizado em uma das amostras está ilustrado na Figura 4. Observou-se uma boa aderência do material do deposito com o substrato após o ensaio de dobramento, sem a presença de defeitos. Logo, o depósito

da liga AA2024-T3 sobre AA2024-T3 gera uma estrutura com boa resistência na interface devido a sua excelente propriedade de ductilidade comparado às outras ligas de alumínio.

Figura 4 – Amostra de AA2024-T3 com depósito de AA2024-T3 após ensaio de dobramento por três pontos.



Conclusão/ões

A liga de alumínio AA2024-T3 foi depositada com sucesso sobre o substrato de material similar de AA2024-T3 pelo processo de deposição superficial por atrito, gerando depósitos isentos de defeitos na interface (porosidade ou partícula intermetálica). Não foi possível depositar 100% do material da haste no substrato, gerando a rebarba na haste e as regiões de pobre aderência no depósito. Os valores de dureza no depósito se encontraram superiores aos valores no substrato após a deposição, indicando a presença de uma microestrutura refinada proveniente do fenômeno de recristalização dinâmica. O depósito teve uma excelente resistência e adesão ao substrato após o ensaio de dobramento.

Agradecimentos

Agradeço à Fundação Araucária, pelo suporte financeiro. Ao professor Dr. André Luis Moreira de Carvalho, pela orientação e confiança na realização deste trabalho. Às minhas colegas de iniciação científica, pela colaboração. À MSc. Fernanda Mariano Pereira, por sempre compartilhar conhecimento e ajuda.

Referências

1 GANDRA, J., et al. Friction surfacing – A review. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 214, n. 5, p. 1062 – 1093, 2014.

2 TOTTEN, G. E.; MACKENZIE, D. S. **Handbook of aluminum**. Nova Iorque: Marcel Dekker, Inc, 2003.

3 HUDA, Z.; TAIB, N. I.; ZAHARINIE, T. Characterization of 2024-T3: An aerospace aluminum alloy**. Materials Chemistry and Physics**, n. 113, p. 515 – 517, 2009.

4 GANDRA, J. et al. Deposition of AA6081-T6 over AA2024-T3 by friction surfacing – Mechanical and wear characterization. **Surface and Coatings Technology**, v. 223, p. 32 – 40, 2013.

5 FITSEVA, V. **Friction surfacing of titanium grade 1 and Ti-6Al-4V**. 2016, 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Technischen Universität Hamburg, Hamburgo, Alemanha, 05 dez. 2016.