

## INFLUÊNCIA DO CALOR IMPOSTO EM REVESTIMENTOS DE INCONEL 625 DEPOSITADOS PELO PROCESSO MIG/MAG

DANIEL SOUZA<sup>1</sup>; ALICE GONÇALVES OSORIO<sup>1</sup>; THAIS ANDREZZA DOS  
PASSOS<sup>2</sup>; LUCAS BENITES VILHALBA<sup>2</sup>; ANTONIO SHIGUEAKI TAKIMI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [danielsouza@furg.br](mailto:danielsouza@furg.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul - [antonio.takimi@gmail.com](mailto:antonio.takimi@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de corrosão é responsável por grandes perdas na indústria metal mecânica, de petróleo, química, alimentícia etc. Desta forma, há uma incessante busca por materiais que tenham como característica alta resistência à este agente. Porém, estes materiais possuem altos custos devido principalmente aos elementos que o constituem e aos processos utilizados para sua fabricação. Uma opção viável é realizar revestimento em materiais comuns com estes materiais mais nobres e com isso diminuir o custo de peças e equipamentos.

As operações de revestimento podem ser realizadas por inúmeros processos, sendo os por soldagem a arco elétrico vantajosos no que diz respeito à capacidade produtiva. Revestimentos aplicados por processos a arco elétrico são sujeitos a ciclos térmicos diferentes em função de parâmetros de operação do processo. Segundo Araújo (2008), existem diversos parâmetros operacionais que podem influenciar o fluxo de calor e consequentemente o ciclo térmico. Entre eles destacam-se a condutividade térmica, a espessura e geometria da junta e o calor imposto, este último, o único que pode ser modificado por parâmetros de soldagem é o calor imposto. A energia de soldagem ( $E$ ) (Equação 1) representa a potência ( $P$ ) gerada na fonte por unidade de comprimento de cordão de solda. Assim, difere do calor imposto, pois não contabiliza as perdas que ocorrem no arco. Porém, em uma configuração onde somente é variada energia de soldagem, é razoável considerar que a mesma se comporta proporcionalmente ao calor imposto.

$$E = \frac{P}{v} \quad (1)$$

onde  $v$  = velocidade de soldagem.

O aumento da energia de soldagem diminui a taxa de resfriamento, ou seja, aumenta o tempo de resfriamento (Figuras 1 e 2). Assim, a variação da energia de soldagem pode modificar a microestrutura pela taxa de resfriamento do material. Isto é importante, pois a microestrutura pode, por exemplo, modificar a resistência a corrosão. Bálsamo; Scotti; De Mello (1995) mostraram em seu trabalho que o calor imposto influencia na morfologia da microestrutura dos revestimentos duros, em particular do tamanho médio da mesma, quando o menor calor imposto e, consequentemente, a maior velocidade de solidificação levam ao refinamento da microestrutura.

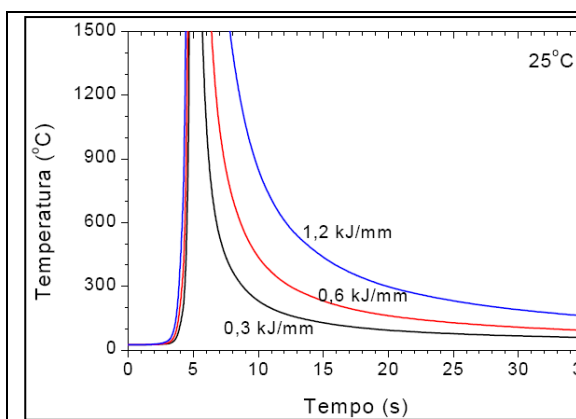


Figura 1 – Curva de velocidades de resfriamento para diferentes valores de energia de soldagem.

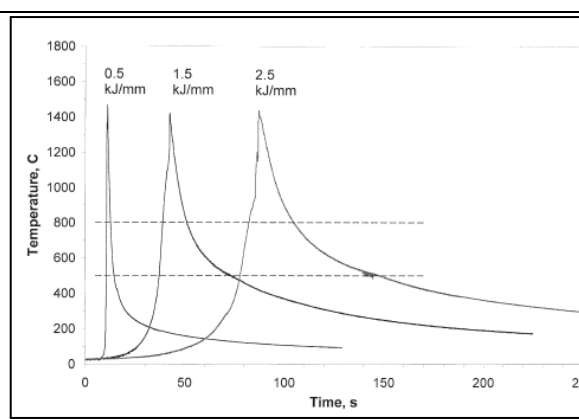


Figura 2 – Curva de velocidades de resfriamento para diferentes valores de energia de soldagem.

Fonte: MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2006

Fonte: POORHAYDARI; PATCHETT; IVEY, 2005

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho propõe a realização de revestimentos utilizando o processo de soldagem MIG/MAG e como material de adição o INCONEL 625; uma superliga de níquel altamente resistente a corrosão à alta temperatura. A energia de soldagem do processo de soldagem foi variada em 3 níveis. Para isto, variou-se os valores de corrente (a partir da velocidade de alimentação de arame) mantendo-se os parâmetros constantes. Durante as soldagens os valores de tensão e corrente foram adquiridos por um sistema comercial a uma taxa de 5 kHz.

O revestimento foi realizado em uma única camada com cordões um ao lado do outro com uma sobreposição do cordão posterior sobre o anterior de aproximadamente 50%. As soldagens foram realizadas com uma fonte inversora multiprocessos regulada para trabalhar no modo MIG/MAG convencional. A tocha foi conduzida por um braço robótico de 6 graus de liberdade e carga máxima no punho de 20 kg. Em todos os testes foi utilizada a técnica de tecimento variando-se a amplitude em função quantidade de material depositado. Os valores são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de tecimento para cada revestimento (Teste)

Teste	Frequencia (Hz)	Amplitude (mm)
38-47	3	4
19-25	3	6
50-55	3	8

Foi utilizado como material de base um aço comum ao carbono e material de adição (revestimento) o arame eletrodo AWS classe ERNiCrMo-3. Como gás de proteção foi utilizada a mistura 75%Ar+25%He. As placas de teste sobre as quais o revestimento foi depositado tinham dimensões de 300 x 250 x 9,5 mm

Os cordões de solda foram feitos com comprimento de 200 mm e depositados lado a lado até que perfizessem uma largura total de revestimento de 50 mm. Foram realizadas seções transversais no revestimento para revelar o perfil dos cordões. As seções foram lixadas, polidas e atacadas com reagente Glicerégia por imersão

pelo período de 2 horas. As seções foram fotografadas e medidas utilizando o programa Image J. O cálculo da diluição foi feito pela relação entre a área fundida do material de base e área fundida total.

A Tabela 2 mostra os parâmetros de soldagem e os valores de tensão e corrente de soldagem monitorados.

Tabela 2 – Parâmetros de soldagem regulados e monitorados

Teste	Energia de Soldagem (kJ/mm)	$U_r$ (V)	$V_{alim}$ (m/min)	$V_{sold}$ (cm/min)	DBCP (mm)	Tensão média* (V)	Corrente média* (A)
38-47	0,91	24	5	25	17	24,2	157
19-25	1,21	24	7	25	17	24,2	207
50-55	1,52	24	11	25	17	24,5	258

$U_r$  = tensão de referência;  $V_{alim}$  = velocidade de alimentação de arame;  $V_{sold}$  = Velocidade de soldagem; DBCP = Distância bico de contato-peça; \*Média entre os valores médios adquiridos de cada cordão de solda formador do revestimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta as macrografias dos revestimentos e os valores de diluição calculados. Pode-se observar que para maiores valores de calor imposto menor foi a diluição. Para explicar tal fato deve-se levar em consideração que com o aumento da energia de soldagem (maior corrente, maior velocidade de alimentação de arame) aumentou-se a amplitude de tecimento, o que evidencia que outros parâmetros, como o volume da poça, podem influenciar a diluição.

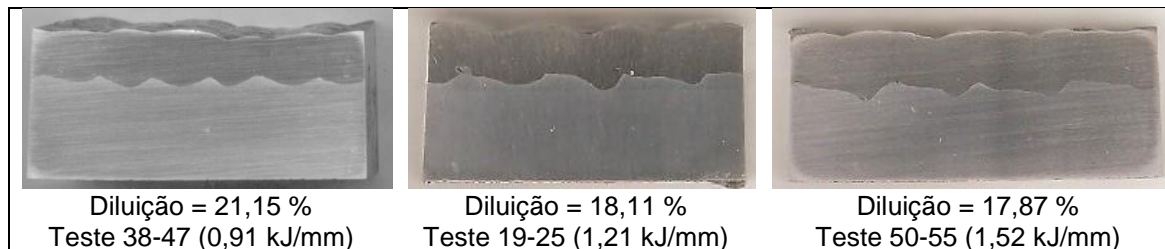


Figura 3 – Diluição dos revestimentos em função da energia de soldagem

A Figura 4 mostra as microestruturas dos revestimentos em uma região central dos mesmos. A estrutura é típica de uma estrutura bruta de fusão, apresentando uma estrutura dendrítica e celular, conforme mostrado por outros autores (XU et. al., 2013; NEVES et. al., 2013; CIESLAK et. al., 1988, CIESLAK, 1991). Ainda segundo estes autores, ocorre também a formação de alguns precipitados como carbeto MC,  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$ , provavelmente os pontos escuros observados na Figura 4. Em relação ao aumento da energia de soldagem, pela Figura não se observa grandes modificações na estrutura, mas uma pequena tendência de refinamento da estrutura dendrítica e aumento na quantidade de pontos escuros que pode sugerir aumento na quantidade de precipitados.

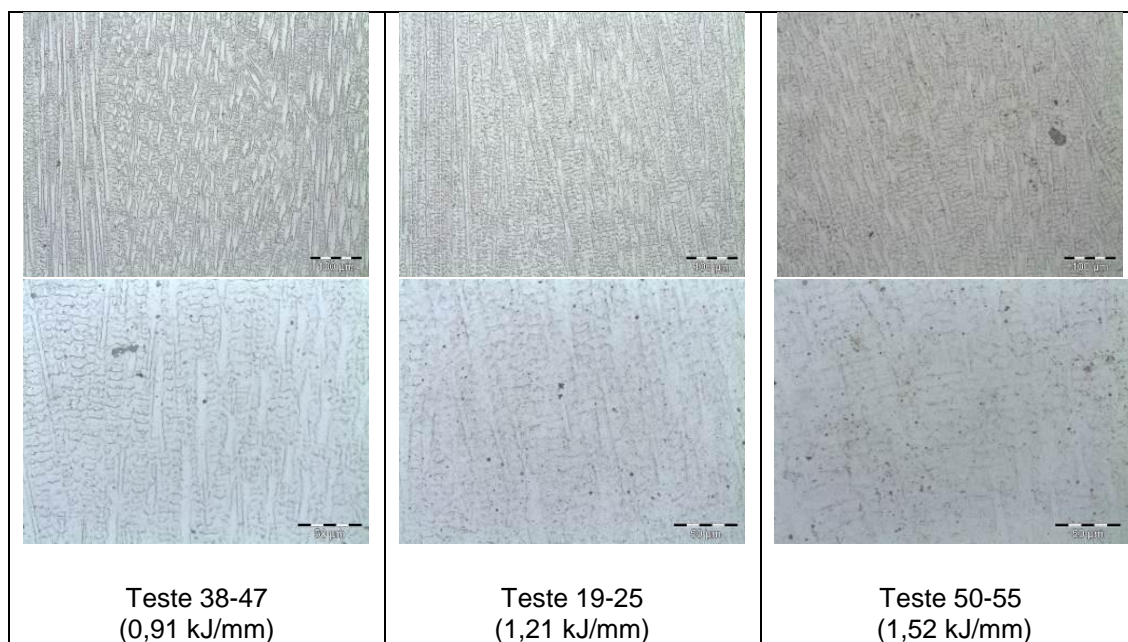


Figura 4 – Microestrutura da região central dos revestimentos para duas magnificações diferentes (ataque Glicerégia)

#### 4. CONCLUSÕES

Para os materiais e parâmetros utilizados no trabalho, pode-se concluir que:

- A combinação aumento da energia de soldagem e tecimento provocou diminuição da diluição nos revestimentos;
- O aumento da energia de soldagem, visualmente, provocou refino da estrutura dendritica/celular e aumento de precipitados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Douglas Bezerra de. Metodologia para Uso de Simulação Física no Estudo da ZAC e na Obtenção de Diagramas CCT para Soldagem. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2008. 104 f.
- BÁLSAMO, P. S. S.; SCOTTI, A.; DE MELO, J. D. B. Interpretación de la Microestrutura de Recargues Duros Depositados por Soldadura Utilizando la Superfície de Líquidos de Diagramas Fe-Cr-C. **Rev. Soldadura**, 25 (4), CENIN, Madrid, p. 199-207, 1995.
- CIESLAK, M. J. The Welding and Solidification Metallurgy of Alloy 625. **Welding Journal**, p. 49s-56s, fev, 1991.
- CIESLAK, M. J.; HEADLEY, T. J.; KOLLIE, T. ROMIG JR, A. D. A Melting and Solidification Study of Alloy 625. **Metallurgical Transactions A**, Vol. 19A, p. 2319-2331. Set. 1988.
- MODENESI, P. J., MARQUES, P. V., SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- NEVES, M. D. M.; LOTTO, A. BERRETA, J. R.; ROSSI, W.; DIAS JR, N. Solidificação da Zona de Fusão na Soldagem do AISI 304 com Inconel 600 por Laser de Nd:YAG. **Soldagem e Inspeção**. São Paulo, Vol. 14, Nº 2, p. 104-113, Abr/Jun 2009.
- XU, F.; LV, Y.; LIU, Y.; SHU, F.; HE, P.; XU, B. Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Inconel 625 Alloy during Pulsed Plasma Arc Deposition Process. **J. Mater. Sci. Technol.**, Nº 29, vol. 5, p 480-488, 2013.