

Caracterização de Revestimentos Utilizados na Recuperação por Soldagem de Turbinas Hidráulicas Danificadas por Erosão Cavitação. Luis Henrique Batista de Souza, Vicente Afonso Ventrella – Inter-áreas - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

Este trabalho tem como objetivo a caracterização dos revestimentos empregados na recuperação de turbinas hidráulicas danificadas por erosão cavitacional. Foram analisadas as influências de fatores como composição química e parâmetros/procedimentos de soldagem sobre a formação da microestrutura e dos possíveis defeitos no metal de solda e ZTA, bem como a melhor forma de evitá-los.

O metal de base utilizado para a soldagem dos revestimentos foi o aço inoxidável martensítico AISI 410, com as seguintes dimensões: 120 mm de comprimento, 25 mm de largura e 12,7 mm de espessura. Nas tabelas 1 e 2, são apresentadas a composição química e as propriedades mecânicas nominais deste aço. A composição química bem como as propriedades mecânicas apresentadas são valores característicos fornecidos pelo fabricante.

Tabela 1 – Composição química do metal de base (AISI 410).

Composição Química (% em peso)					
C	Cr	P	S	Si	Mn
0,15	13,5	0,040	0,050	1,0 máx	1,0 máx

Tabela 2 – Propriedades mecânicas nominais do metal de base.

Propriedades Mecânicas	
Limite de Escoamento	380 Mpa
Limite de Ruptura	450 Mpa

Como consumíveis de soldagem foram utilizados arame tubular AWS E309L T1 e AWS E 410 NiMo T1, com 1,6 mm de diâmetro e, protegidos com mistura argônio / CO₂, todos designados sob a norma American Welding Society – AWS A5.29. A composição química dos arames tubular AWS E 410NiMoT1 e AWS E 309LT1 e suas propriedades mecânicas estão representadas na tabela 3.

Tabela 3 - Composição química e propriedades mecânicas dos consumíveis

Consumível	Lim. Escoam. (Mpa)	Lim. Resist. (Mpa)
AWS E 410 NiMo T1 C-0,04 Cr- 13,0 Ni-4,5 Si-0,6 Mn-0,8 Mo-0,9	680	760
AWS E 309L T1 C-0,02 Cr- 22,0 Si-1,0 max Mn-2,0 max	480	550

O procedimento e parâmetros de soldagem adotados para a obtenção dos diversos corpos de prova foram através de combinações de arames. Foram produzidas 02 (duas) séries de corpos de prova, isto é, a série MM (metal base AISI 410, camadas de AWS E410NiMoT1) e a série MAM (metal base AISI 410, 1ª camada AWS E309LT1 e 2ª camada AWS E410NiMoT1). A soldagem dos corpos de prova foi realizada na forma semi-automática (aramé tubular), visando à obtenção de boa reprodução dos parâmetros de soldagem. Isto foi conseguido através do sistema de oxi-corte (tartaruga) no qual foi fixada a tocha de alimentação do arame. Com o movimento automático

horizontal da “tartaruga”, foi possível executar a soldagem com a automação da velocidade de soldagem. Esta automação possibilitou também manter constante o stick-out. As diferentes microestruturas do metal de solda foram obtidas através de variações no insumo de calor do metal base, mantendo-se constantes os parâmetros como stick-out e vazão de gás.

Foi observado que os revestimentos soldados podem apresentar níveis distintos de diluição em função não só do aporte térmico, como também das técnicas de deposição empregadas. Esta variação no nível de diluição origina um comportamento diferenciado, entre as camadas dos depósitos, frente à cavitação. Conseguiu-se com a aplicação da soldagem por arame tubular uma diluição média da ordem de 27%. (vide tabela 4) para o consumível AWS E309LT1 e da ordem de 20% para o consumível AWS E410NiMoT1 (vide tabela 5) Nestas tabelas, observa-se os diferentes níveis de diluição impostos por diferenças no aporte térmico.

Tabela 4 - Valores da taxa de deposição, taxa de diluição e geometria do cordão. Processo de soldagem: FCAW. Consumível: AWS E309LT1.

Aporte Térmico [kJ/mm]	Taxa de deposição [kg/h]	Taxa de diluição [%]	D [mm]	H [mm]	W [mm]
1,12	2,56	23,53	1,16	2,67	9,37
1,20	2,53	24,14	1,15	2,49	9,86
1,28	2,48	32,42	1,39	2,41	10,05

Tabela 5 - Valores da taxa de deposição, taxa de diluição e geometria do cordão. Processo de soldagem: FCAW. Consumível: AWS E410NiMoT1.

Aporte Térmico [kJ/mm]	Taxa de deposição [kg/h]	Taxa de diluição [%]	D [mm]	H [mm]	W [mm]
1,12	2,54	17,50	0,91	2,82	7,92
1,20	2,58	19,93	1,04	2,70	8,43
1,28	2,52	21,50	1,12	2,41	9,30

Analisando-se as tabelas 4 e 5, relativa a taxa de deposição [kg/h] dos arames AWS E309LT1 e AWS E410NiMoT1 em função do aporte térmico, pode-se perceber que a taxa de deposição apresentou uma variação percentual máxima em seus valores da ordem de 3% e 2%, respectivamente. Tal comportamento, de acordo com os ensaios realizados, indica que a taxa de deposição na soldagem FCAW não é significativamente afetada pelo aumento do aporte térmico. Resultados semelhantes também foram obtidos por outros autores, os quais estudaram o efeito do aporte térmico sobre a taxa de deposição na soldagem FCAW, constatando que aumentos significativos nos valores da taxa de deposição estão mais intimamente ligados a grandes variações na corrente de soldagem ou na distância bico de contato/peça.

Relativamente as tabelas 4 e 5, que representam a taxa de diluição[%] do arame AWS E309LT1 e AWS E410NiMoT1 em função do aporte térmico, pode-se observar um aumento desta grandeza a medida que o aporte térmico se eleva. Tal comportamento pode ser decorrente do aumento do potencial do arco elétrico, promovendo, assim, uma poça de fusão de temperatura mais elevada que aquela formada com baixo aporte e, desse modo, facilitando a diluição do metal de adição no metal de solda.

Os Valores de dureza próximos a 450 HV encontrados no metal de solda martensítico, como esperado, estão correlacionados ao teor de carbono superior ao encontrado para o metal de solda austenítico, o que resulta ainda em uma menor tenacidade.

Ao comparar os valores de dureza na ZTA, constata-se que o perfil de dureza obtido depende principalmente da microestrutura inicial do metal de base. Tal constatação estaria relacionada à presença ou não de carbonetos de cromo de tipo $M_{23}C_6$. A presença deste, a qual é possível apenas na condição temperada e revenida, proporcionaria, conforme a temperatura de pico na ZTA, uma parcial homogeneização da austenita durante o ciclo térmico de soldagem acarretando na formação de uma martensita com menor teor de carbono e menor dureza que por sua vez resulta em aumento gradativo

de dureza a partir de Ac1. Acima desta temperatura a região dos contornos de grão é austenitizada e re-temperada no resfriamento rápido, atingindo desta forma valores de dureza acima daqueles na condição revenida. Temperaturas de pico superiores à temperatura onde ocorre total dissolução dos carbonetos (Acc), o perfil de dureza pode ser considerado o mesmo para ambos os materiais.

Como citado por Dutra et al, os depósitos obtidos com a partir de parâmetros regulados corretamente não apresentam defeitos superficiais, como mordedura e porosidades. Contudo, quando da retirada dos CP's, para realização das análises metalográficas, verificou-se a presença de algumas porosidades localizada no pé do cordão e, após uma observação mais detalhada, constatou-se que os poros além de apresentarem um certo grau de repetibilidade, conservavam o seu ponto de localização um pouco acima da linha de fusão. Não foram observadas trincas no metal de solda e na zona afetada pelo calor.

Nas análises metalográficas foi constatado refino da granulação ao invés do crescimento da mesma junto à linha de fusão. Por apresentarem uma temperatura Ac4 mais baixa, comparada aos aços ferríticos, próxima a 1220°C, permitindo que ocorra a transformação $\gamma \rightarrow \delta$ durante o ciclo térmico de soldagem, promovendo o refino próximo à linha de fusão. Aliado a este fato, não foi observado aumento significativo da granulação na ZTA se comparada à granulação do material base. O não crescimento da granulação na ZTA torna desnecessária a realização de tratamento de refino através dos ciclos de soldagem. As figuras 1 a 3 mostram a microestrutura ao longo do metal de base, solda e ZTA. Não foram observadas trincas tanto nos metais de solda quanto no material base



Figura 1: Microestrutura ao longo do metal base. Aumento de 1000X. Aporte: 1,20 KJ/mm

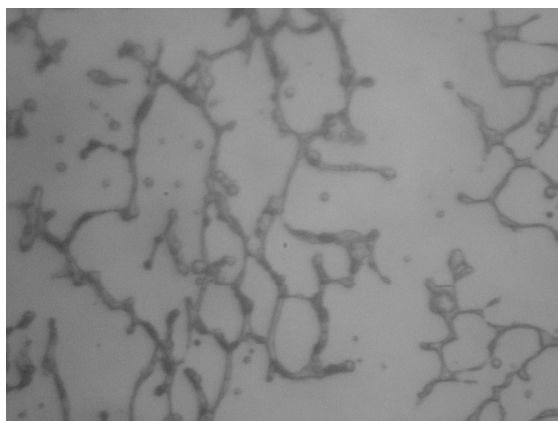


Figura 2: Microestrutura ao longo do metal de solda. Aumento de 1000X. Aporte: 1,20 KJ/mm

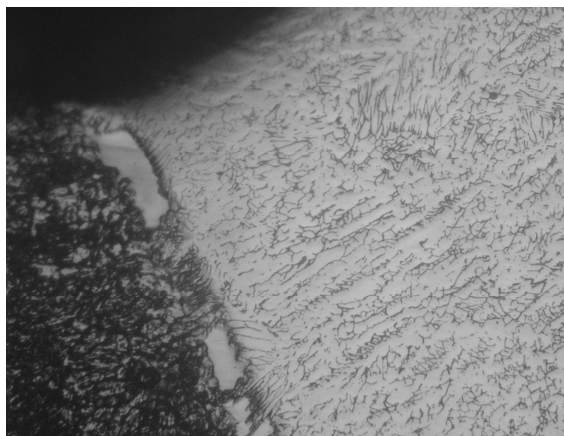


Figura 3: Microestrutura ao longo da ZTA de solda. Aumento de 250X. Aporte: 1,20 KJ/mm

Com base nos resultados encontrados e na análise da literatura específica sobre o tema pode-se afirmar o seguinte:

- Reparo por soldagem de turbinas de aço martensítico, implica em elevada dureza da ZTA e baixa tenacidade.
- A utilização de uma camada de amantegamento com aço inox austenítico promove uma redução de dureza da ZTA, melhorando a tenacidade.
- A camada de amantegamento com aço inox austenítico apresentou maior taxa de diluição do que o consumível martensítico.
- Existem restrições em relação aos metais de aporte a utilizar no amantegamento, devido à suscetibilidade a trincas a quente das ligas austeníticas.

Referências Bibliográficas

- [1] – ASM HANDBOOK, Properties and selection: Irons, Steels and High Performance Alloys, Vol. 1.
- [2] – ASM HANDBOOK, Alloy Phase Diagrams, Vol. 3.
- [3] – Barra, S.R., Dutra, J.C., Ribas, F.A.C., Avaliação dos efeitos da variação dos parâmetros/procedimentos de soldagem e automação sobre a planicidade e aspecto superficial dos revestimentos empregados em turbinas hidráulicas, XXIV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem – XI Congresso Latino-Americano e V Ibero-Americano de Soldagem, Fortaleza, Ceará, Brasil, Setembro de 1998.
- [4] – Bracarense, A.Q., Processo de soldagem por arame tubular, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, Maio de 2000.
- [5] – Brandi, S.D., Oliveira, T.R., Barbosa, R.P., Soldagem dos aços inoxidáveis, ACESITA, Dezembro de 1997.
- [6] - <http://www.cavalloacos.com.br/dicas.htm>.
- [7] - http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html

Bolsa: PIBIC/CNPq