

INFLUÊNCIA DO TEOR DE POLÍMERO SOBRE A TAXA DE FUSÃO, DEPOSIÇÃO, RENDIMENTO E PERFIL DO CORDÃO DEPOSITADO POR ELETRODOS COM BAIXÍSSIMO TEOR DE HIDROGÊNIO DIFUSÍVEL¹

Cláudio Turani Vaz²
 Alexandre Queiroz Bracarense³

Resumo

Estudos comprovaram a eficiência dos eletrodos revestidos aglomerados com polímero, inicialmente denominados “impermeáveis”. O baixíssimo teor de hidrogênio do metal de solda depositado por esse eletrodo e a microestrutura com considerável fração volumétrica de ferrita acicular representaram, em comparação aos eletrodos revestidos básicos, considerável evolução. Neste artigo foram empregados eletrodos aglomerados com polímero produzidos em escala industrial utilizando duas quantidades de polímero e eletrodos classe E7018. Através de um dispositivo de soldagem por arraste foi realizada a deposição de cordões de solda sobre chapa. Foram medidas as taxas de fusão, de deposição e rendimento durante a soldagem com os eletrodos. A tensão e corrente de soldagem foram monitoradas. Amostras foram retiradas dos cordões e preparadas para realização de análise macrográfica. Penetração, largura e reforço dos cordões de solda foram determinados. Verificou-se que o aumento no teor de polímero proporcionou aumento tanto da taxa de fusão quanto da velocidade de deslocamento durante a soldagem com os eletrodos. Cordões de solda obtidos com eletrodos contendo maior quantidade de polímero apresentaram maior penetração para valores de energia de soldagem similares. Não foi possível evidenciar relação entre o teor de polímero e o reforço. Tal fato está coerente com o aumento da velocidade de deslocamento observado.

Palavras-chave: Eletrodos revestidos; Baixo hidrogênio; Polímeros; Ferrita acicular.

THE POLYMER CONTENT INFLUENCE ON FUSION AND DEPOSITION RATE, EFFICIENCY AND BEAD PROFILE OF WELD METAL DEPOSITED BY ULTRA LOW HYDROGEN COVERED ELECTRODES

Abstract

Recent studies confirmed the technical viability of covered electrodes agglomerated with polymers that were initially called “impermeables”. The ultralow content of diffusible hydrogen and high acicular ferrite content of weld metal microstructure in comparison to E7018 electrodes represented a considerable evolution. In this paper were used covered electrodes made at industrial scale with different polymer content and the classic E7018. The weld metal deposition was made using a gravity welding apparatus. The fusion rate, deposition rate and efficiency were measured. Welding current and voltage were monitored. Weld bead samples were removed and prepared to evaluate the macrostructure. Weld bead penetration, width and reinforcement were measured. Electrodes with higher content of polymer improved the fusion rate and welding speed. It was observed a direct relation between weld bead penetration and polymer content by the same heat input. Is not clear the relation between weld bead reinforcement and polymer quantity. This is consistent with the welding speed increment.

Key words: Covered electrodes; Low hydrogen; Polymers; Acicular ferrite.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, MSc., Professor, IFMG, PPGMEC/UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Físico, PhD, Professor titular. UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O baixo interesse no desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas ao processo de soldagem com eletrodos revestidos (SMAW) se tornou uma realidade a partir da segunda metade do século XX. Os esforços dos pesquisadores se concentraram em processos ao arco elétrico com melhores índices de produtividade como, por exemplo, soldagem com arames contínuos maciços ou tubulares (GMAW/FCAW).

Todavia, experimentos realizados na soldagem subaquática molhada com o intuito de melhorar o desempenho dos eletrodos revestidos para essa aplicação, lançaram luz sobre novas possibilidades. O emprego de polímeros como aglomerantes proporcionaram redução no custo de fabricação do eletrodo, obtenção de um consumível com elevada resistência à absorção de água e, principalmente, metal de solda com considerável fração volumétrica de ferrita acicular.⁽¹⁾

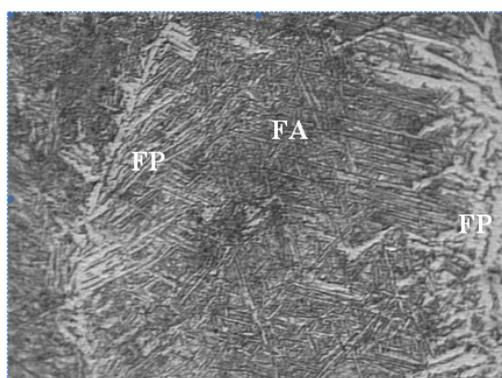


Figura 1. Detalhe da microestrutura do metal de solda depositado na soldagem subaquática molhada utilizando eletrodos revestidos aglomerados com polímero.⁽¹⁾

Esses resultados motivaram a expansão dos estudos para o campo da soldagem convencional. Vaz et al.,⁽²⁾ avaliaram o desempenho de eletrodos revestidos básicos aglomerados com polímeros produzidos em laboratório. Estudos posteriores, utilizando eletrodos produzidos em escala industrial,⁽³⁾ confirmaram a obtenção do metal de solda com baixíssimos teores de hidrogênio difusível (Figura 2) e evidenciaram a formação de uma microestrutura com elevada fração de ferrita acicular (Figura 3).

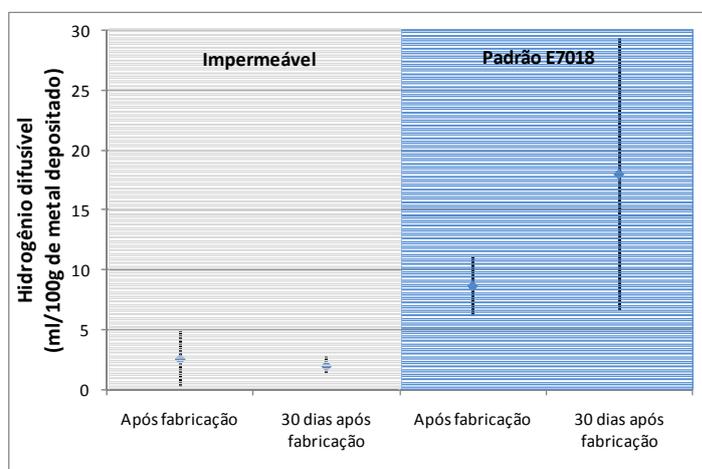


Figura 2. Teor de hidrogênio do metal de solda depositado por eletrodos revestidos “impermeáveis” e E7018.⁽³⁾

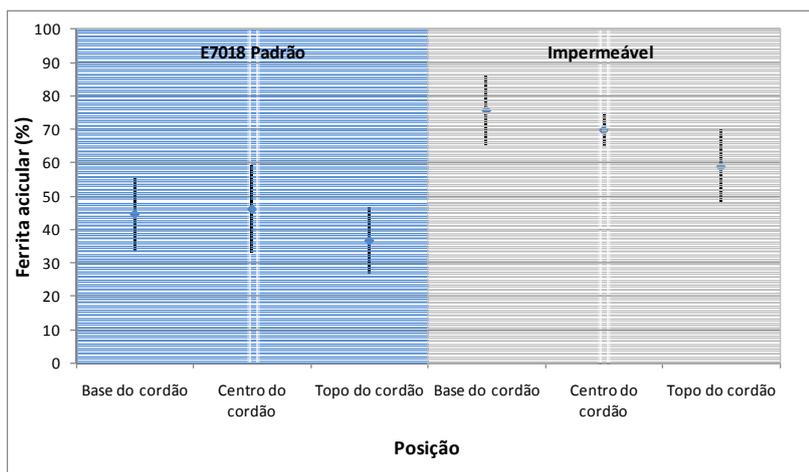


Figura 3. Fração volumétrica de ferrita acicular no metal de solda depositado por eletrodos “impermeáveis” e E7018.⁽³⁾

Por se tratar de uma tecnologia inovadora que, entre outros fatores, proporcionou alterações em importantes propriedades do metal de solda, torna-se evidente a necessidade de investigar e explicar os fenômenos envolvidos. O objetivo desse trabalho foi estudar o efeito do teor de polímero na taxa de fusão, deposição, eficiência e perfil do cordão de solda depositado por eletrodos revestidos aglomerados com polímeros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse estudo foram utilizados eletrodos revestidos classe E7018 e aglomerados com polímeros nas dimensões 3,25 mm x 350 mm fabricados em escala industrial. Para estudar o efeito da quantidade de polímero foi produzida uma versão com 100% da quantidade usualmente utilizada na aglomeração e outra com 40%. A deposição do metal de solda foi realizada utilizando o dispositivo de soldagem por arraste ilustrado na Figura 3. Para cada uma dos eletrodos avaliados foram depositados três cordões de solda. A matriz de experimentos é apresentada na Tabela 1. Os valores de corrente nominal e ângulo de ataque foram definidos a partir de levantamento realizado em estudo anterior.⁽⁴⁾



Figura 4. Dispositivo para soldagem por arraste empregado nas soldagens.

Tabela 1. Matriz de experimentos

Eletrodo revestido	Corrente nominal	Ângulo de ataque
E7018		
Aglomerado com polímero	100%	110A
	40%	60°

As chapas e eletrodos utilizados nos experimentos foram pesados antes e após a deposição dos cordões de solda utilizando balança com precisão de 0,01g. O tempo de soldagem foi medido, a tensão e corrente de soldagem foram monitoradas durante a deposição dos cordões utilizando um sistema de aquisição de dados. Os valores obtidos foram utilizados no cálculo da taxa de fusão, deposição, rendimento, tensão e corrente médias e energia de soldagem.

Para a avaliação do perfil foram realizados cortes transversais em três distintas regiões do cordão de solda correspondente aos tempos de 15 s, 30 s e 45 s do início da soldagem. As amostras foram lixadas, polidas e atacadas utilizando Nital 5%. Posteriormente foram fotografadas com o auxílio de uma lupa estereoscópica. As macrografias obtidas foram analisadas utilizando o programa *Image J*[®]. Medidas da largura, profundidade, reforço, área do cordão correspondente ao metal de base e reforço foram realizadas em todas as amostras. A diluição dos cordões de solda foi calculada a partir das medidas de área.

3 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os valores de tensão, corrente, densidade de corrente, velocidade de soldagem e aporte térmico obtidos durante os experimentos. A Figura 5 mostra a velocidade de soldagem para cada um dos eletrodos testados.

Tabela 2. Tensão, corrente, densidade de corrente, velocidade de soldagem e aporte térmico

Eletrodo	Tensão (V)	Corrente (A)	Densidade de corrente (A/mm ²)	Velocidade de soldagem (mm/s)	Energia de soldagem (kJ/mm)
E7018	19,3	113,3	3,50±0,01	2,47±0,14	0,88±0,05
Polímero 40%	21,1	113,2	3,46±0,01	2,62±0,16	0,91±0,08
Polímero 100%	24,3	107,8	3,28±0,08	2,97±0,12	0,88±0,09

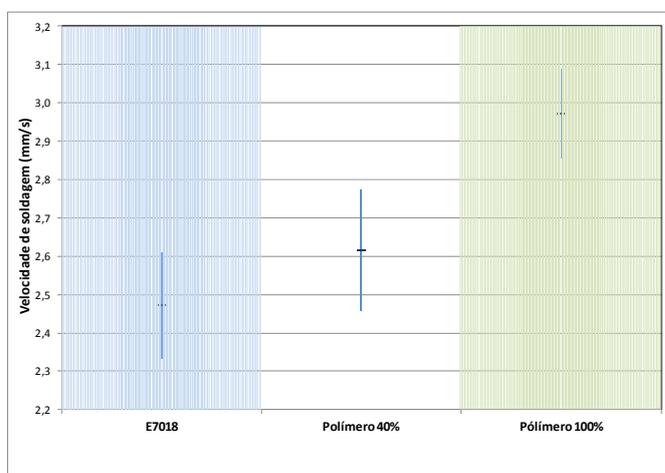


Figura 5. Velocidade de soldagem (mm/s).

As Figuras 6 e 7 apresentam os valores calculados das taxas de fusão e de deposição para todos os eletrodos revestidos estudados.

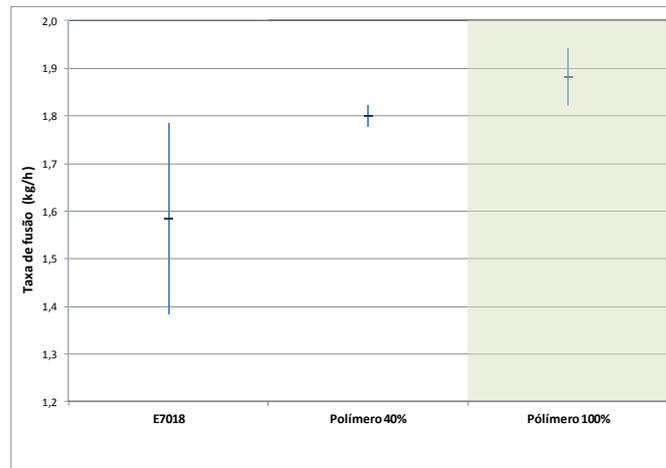


Figura 6. Taxa de fusão(kg/h).

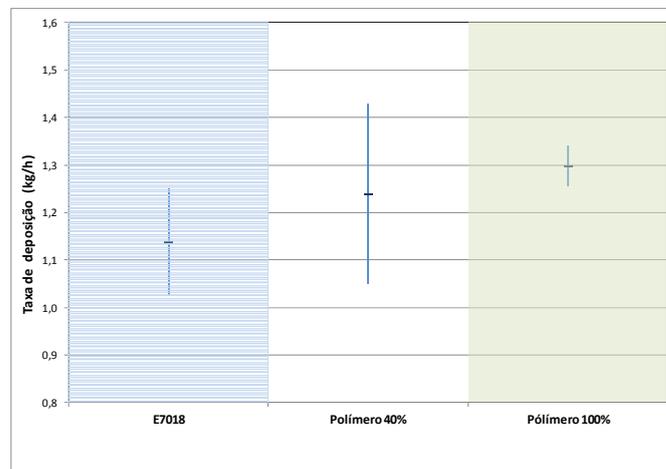


Figura 7. Taxa de deposição (kg/h).

A análise das macrografias obtidas a partir dos cordões de solda depositados utilizando o programa *Image J*[®] resultou nos gráficos das Figuras 8 a 11. Nesses são apresentadas as dimensões (penetração, largura e reforço) e diluição dos cordões de solda depositados.

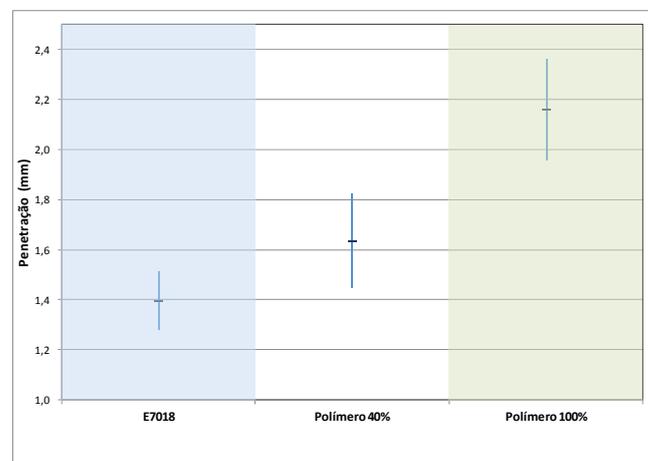


Figura 8. Penetração do cordão de solda (mm).

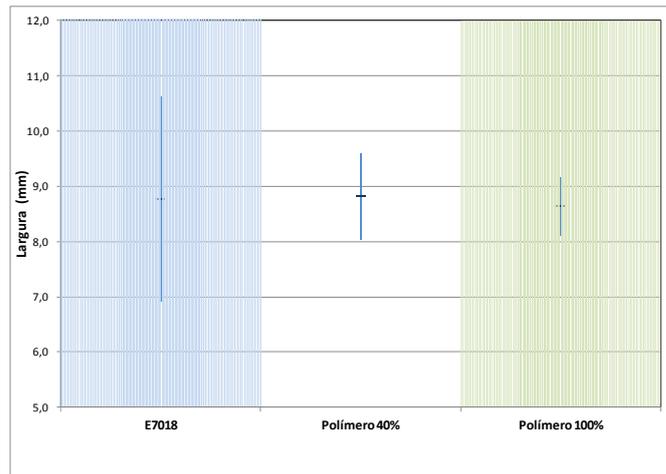


Figura 9. Largura do cordão de solda (mm).

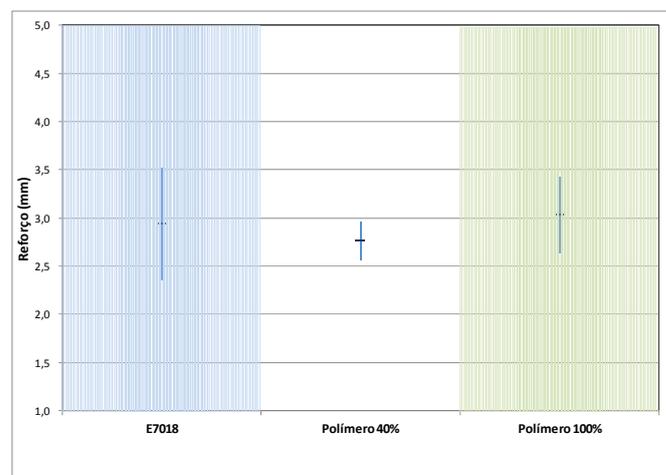


Figura 10. Reforço do cordão de solda (mm).

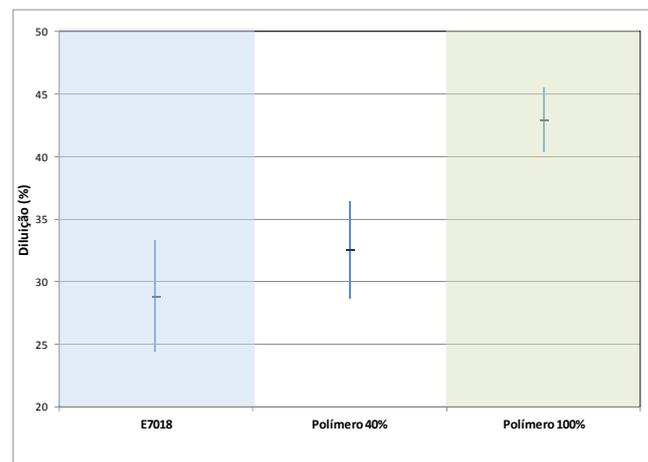


Figura 11. Diluição do cordão de solda.

4 DISCUSSÃO

Analisando os dados da Tabela 2 não se percebe variação significativa nos valores de tensão e corrente medidos durante a deposição dos cordões de solda. Para o eletrodo revestido aglomerado com maior quantidade de polímero nota-se uma tensão ligeiramente superior e corrente sensivelmente inferior em comparação aos demais eletrodos testados. A energia de soldagem média durante a deposição dos

cordões de solda também não apresentou variação entre os três eletrodos avaliados. Nota-se ligeira redução nos valores de densidade de corrente do eletrodo E7018 para o aglomerado com menor quantidade de polímero e desse para o que contém maior quantidade.

Avaliando a Figura 5 observa-se que a velocidade de soldagem é superior para o eletrodo revestido aglomerado com maior quantidade de polímero em comparação aos demais eletrodos estudados. Tal fenômeno está coerente com o aumento na taxa de fusão para esse eletrodo (Figura 6). Como os experimentos foram realizados utilizando um dispositivo de soldagem por arraste com ângulo de ataque fixo, espera-se uma relação direta entre essas grandezas. Entretanto, o aumento da velocidade de fusão nos eletrodos revestidos com polímero merece destaque, pois, a energia de soldagem foi mantida constante e a densidade de corrente foi, ao contrário do que se podia imaginar, inferior a do eletrodo E7018. Não foi observada variação na taxa de deposição para as condições de estudo.

O gráfico da Figura 8 apresenta os valores de penetração dos cordões de solda depositados pelos eletrodos estudados. Nota-se um aumento no valor dessa dimensão devido ao emprego do polímero e, principalmente, para o eletrodo com maior quantidade desse componente. Esse fato merece destaque, pois, como citado anteriormente, não foi observada variação na energia de soldagem entre todas as condições testadas. Apesar de ter sido observada a existência de uma relação entre o aumento na penetração e a presença de polímero a causa desse fenômeno não foi investigada. A largura e reforço dos cordões (Figuras 9 e 10) não apresentaram variação para as condições de teste.

Outra característica que merece destaque é variação na diluição dos cordões de solda depositados com os diferentes eletrodos. Nota-se, através da análise do gráfico da Figura 11, que houve um significativo aumento na penetração do cordão de solda depositado pelo eletrodo aglomerado com maior quantidade de polímero. A maior diluição é justificada pelo aumento da penetração associada a manutenção da largura e reforço dos cordões de solda.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho permitem afirmar que:

- não foi observada variação significativa de tensão e corrente durante os experimentos;
- a energia de soldagem não varia de um eletrodo para outro;
- o emprego do polímero proporciona aumento na taxa de fusão dos eletrodos revestidos;
- observa-se um aumento na penetração do cordão de solda depositado com o eletrodo revestido com maior quantidade de polímero; e
- largura e reforço dos cordões de solda não apresentam variação de um eletrodo para outro.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação da UFMG e a empresa Elbras Eletrodos do Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 FICHEL, I., et al. Desenvolvimento de Eletrodos Revestidos Impermeáveis. In: *XXXV Congresso Nacional de Soldagem*, Piracicaba, SP, 2009.
- 2 VAZ, Claudio Turani et al. Desenvolvimento de Eletrodos Revestidos do Tipo Baixo Hidrogênio Impermeáveis. In: *XXXVI CONSOLDA*, 2010, Recife. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 2010.
- 3 VAZ, Claudio Turani et al. Impermeable low hydrogen covered electrodes: the weld metal diffusible hydrogen, microstructure and mechanical properties. In: *16th International Conference & Exhibition on the Joining of Materials JOM 16*, Tisvildeleje. Helsingor: JOM, 2011.
- 4 SILVA, K. R.S.; VAZ, C.T.; BRACARENSE, A. Q. Influência da corrente de soldagem e ângulo de ataque sobre a transferência metálica e perfil dos cordões durante a soldagem por arraste com eletrodos revestidos impermeáveis. In: *XXXVIII CONSOLDA*, 2012, Ouro Preto. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 2012.