

1 Introdução

Devido ao crescente aumento da extração de petróleo na costa marítima Brasileira, houve um interesse maior em pesquisas relacionadas a soldas de reparo em estruturas usadas para esse fim. Inicialmente as soldagens subaquáticas eram usadas para reparos temporários em navios ou para reparos em instalações portuárias sem requisito estrutural. Com o desenvolvimento de estruturas “offshore” criou-se a necessidade de avaliar a soldagem molhada particularmente com respeito às propriedades mecânicas que podem ser obtidas [1]. Na fabricação de estruturas “offshore”, a soldagem é o serviço mais importante de reparo e, dessa forma, o procedimento de soldagem deve atender várias normas internacionais, regras de classes navais, especificações de engenharia, além de depender do tipo de estrutura e do local onde irá operar [2].

Vem sendo desenvolvido em diversos países o aperfeiçoamento de técnicas de soldagem subaquática para atender as necessidades de preservação e funcionamento seguro das instalações marítimas [3].

A execução de reparos de soldagem subaquática molhada em alguns aços de estruturas de plataformas de petróleo que operam em profundidades elevadas é ainda bastante restrita devido à elevada resistência mecânica ($\sigma_e > 350$ MPa) destas estruturas e, conseqüentemente, elevado carbono equivalente, o que contribui significativamente para a fissuração pelo hidrogênio. Dessa forma, os reparos têm sido limitados a aços com C equivalente de até 0,4% [4].

A soldagem subaquática pode ser feita por diferentes processos, no entanto, os tipos mais usados são: soldagem molhada com eletrodo revestido e a soldagem hiperbárica através dos processos TIG, GMAW, arame tubular e também com eletrodo revestido.

A soldagem hiperbárica caracteriza-se por desenvolver-se dentro de uma câmara na qual o ambiente é mantido seco e pressurizado, devido a isso, juntas soldadas de melhor qualidade podem ser produzidas comparadas àquelas produzidas por soldagem molhada, podendo ser utilizada em maiores profundidades. Entretanto, além de ser mais trabalhosa, apresenta um custo mais elevado.

Já na soldagem molhada o arco encontra-se diretamente em contato com a água, o que torna o resfriamento muito mais rápido e, por conseqüência, acaba comprometendo a qualidade das juntas soldadas. Em função disso, este tipo de soldagem está limitada a pequenas profundidades ($\approx 20\text{m}$). A grande motivação do desenvolvimento de soldagem molhada baseia-se na sua simplicidade operacional e no baixo custo que ela apresenta. Na última década, no Brasil, as descobertas de petróleo em águas cada vez mais profundas reviveram o interesse por soldagem molhada, pois o uso de plataformas fixas tornou-se inviável em grandes profundidades e as plataformas flutuantes se estabeleceram definitivamente [5]. A partir daí concentrou-se esforços em desenvolver a soldagem submarina molhada com eletrodos revestidos.

Nos Estados Unidos e na Europa ocorre maior dedicação ao desenvolvimento e melhoria dos eletrodos rútilicos, buscando obter melhores propriedades e, principalmente, menos problemas ocasionados pelo hidrogênio difusível. Ao contrário disso, no Brasil, deu-se preferência para utilização de eletrodos oxidantes, pois embora estes depositem soldas com menores propriedades mecânicas do que os eletrodos rútilicos, eles se caracterizam por apresentarem baixo teor de hidrogênio difusível.

Dessa maneira, têm-se concentrado esforços em desenvolver eletrodos oxidantes equiparáveis aos rútilicos em termos de propriedades mecânicas. Com base nisso, Pope et al [6] avaliaram a influência do Ni nas propriedades mecânicas de eletrodos oxidantes. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que os valores máximos de tenacidade e de resistência à ruptura ocorreram para teores entre 2 e 3% de Ni. Além disso, o Ni é um poderoso agente no refino do grão da ferrita equiaxial pertencente à região reaquelada de baixa temperatura. Os valores de tenacidade encontrados foram equivalentes aos de metais de solda depositados por eletrodos rútilicos.

Este trabalho foi desenvolvido em acordo com a proposta de Pope et al [6] e com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas, através do refino de grão ou endurecimento por solução sólida dos metais de solda produzidos por eletrodos oxidantes com níquel juntamente com adições de cobre e molibdênio. Para isto procurou-se obter diferentes porcentagens de elementos de liga (Cu e Mo), as quais foram medidas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) em conjunto com o Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS). A partir desses resultados foi realizada análise microestrutural utilizando a microscopia ótica (MO), medidas do tamanho de grão, além do ensaio de microdureza para avaliar a influência de cada elemento no metal de solda e compará-los entre si.