

**Revestimento por Soldagem pelo Processo TIG-Automático de Liga Bronze-Alumínio A-2
Aplicado em Chapas de Aço Carbono ASTM A516 Grau 70****(A-2 Aluminum-Bronze Alloy Overlay Welded by Automatic GTAW Process Applied in ASTM A516
Grade 70 Carbon Steel Plates)**

*Marcello Ferrari, Maurício David Martins Neves
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, CCTM, São Paulo, SP, Brasil
marcello.ferrari@terra.com.br; mdneves@ipen.br*

Resumo

O revestimento empregando-se as ligas de cobre-alumínio é amplamente utilizado para a obtenção de superfícies resistentes a corrosão. A soldagem de materiais dissimilares pode ser difícil considerando as diversas variáveis envolvidas. Este trabalho teve como objetivo principal determinar as condições e parâmetros mais adequados na soldagem deste tipo de revestimento pelo processo TIG automático. Ensaios de dobramento lateral, análise química, perfil de durezas e micrografia foram executadas. Os valores de dureza medidos e também as microestruturas observadas não mostraram a formação de fases frágeis. Os resultados alcançados nos ensaios evidenciaram o sucesso da soldagem, em razão da ausência de descontinuidades nas regiões de revestimento.

Palavras-chave: Soldagem TIG; Revestimento Bronze-Alumínio; Metais.

Abstract: *The copper alloys overlay is widely used for obtaining corrosion resistant surfaces. The welding of dissimilar materials can be difficult considering the many variables involved. This study aimed to determine the most appropriate conditions and parameters in welding this type of overlay by automatic GTAW process. Lateral bending tests, chemical analysis, hardness profile and micrographs were performed. The measured hardness values and also the microstructures observed did not show the formation of brittle phases. The satisfactory results achieved in the tests showed the success of this overlay.*

Key-words: GTAW Welding; Bronze-Aluminum Overlay; Metals.

1. Introdução

O revestimento empregando-se as ligas de cobre é amplamente utilizado para a obtenção de superfícies resistentes à corrosão, quando em contato com água contendo cloretos e em diversos meios corrosivos, além de adequadas propriedades mecânicas, tais como, resistência à tração e dureza. A aplicação de ligas de cobre como revestimento em aços pode ser realizada em diversos componentes, tais como, pistões hidráulicos, rodas, caixas de engrenagens de tratores, tambores de freio, cilindros de laminação de fábricas de papel, assentos de válvulas, buchas, moldes de fundição e reparação de hélices de navios [1,2].

Em geral, cobre suas ligas podem ser soldadas pelo processo TIG formando juntas dissimilares com aço-carbono, aços inoxidáveis e ligas de níquel obtendo-se bons resultados [3]. O cobre e o ferro não formam fases frágeis intermetálicas, entretanto, quando se soldam ligas de cobre com aço carbono, a soldabilidade pode não ser adequada em virtude da possível ocorrência de defeitos como trincas e formação de fases frágeis nas camadas intermediárias próximas a zona de fusão do aço-carbono, sendo estas fases formadas pela difusão de alguns elementos de liga provenientes do aço-carbono para a poça de fusão e depois para as subzonas da ZAC. A ocorrência de trincas na ZAC do aço-carbono é a maior preocupação quando se solda ligas de cobre com aço carbono, pois durante o processo de soldagem o cobre pode atingir os contornos de grãos do aço por capilaridade e difusão e, que aliada às tensões térmicas prejudica a coesão entre os grãos [4].

Deste modo, a soldagem de materiais dissimilares, aço-carbono com ligas de cobre ou o revestimento de aço com ligas de cobre pode ser difícil, considerando as muitas variáveis envolvidas. A formação de fases frágeis pode ser reduzida pela seleção correta do metal de adição (MA) e diminuindo-se a diluição pela utilização de baixo aporte de calor durante a soldagem da primeira camada. Trincas também podem ocorrer caso o metal de base e o metal de adição tenham grandes diferenças na temperatura de fusão, condutividade térmica ou coeficientes de expansão térmica [5].

As grandes diferenças nas propriedades físicas do metal de base (MB) e do metal de adição, durante a soldagem dos metais produzem gradientes térmicos diferentes promovendo um fluxo de calor desigual e não uniforme na poça de fusão. Durante a solidificação, o metal de base já se encontra no estado sólido enquanto o metal de adição ainda está na fase líquida ou líquido+sólido o que propicia a formação de trincas da zona fundida ou na zona afetada pelo calor (ZAC). Portanto é importante, em especial na primeira camada, empregar-se um metal de adição que possua a menor diferença possível com relação ao material de base [5].

A diferença de condutividade térmica provoca diferentes taxas de aquecimento e de resfriamento durante e após a soldagem. A liga de cobre em razão da maior condutividade térmica dissipa o calor de forma mais rápida que o aço-carbono. Caso a diferença de condutibilidade seja elevada, o fluxo de calor desigual pode impedir a fusão total do aço-carbono. Um fluxo de calor desigual também pode afetar a solidificação do revestimento e também pode causar distorções na peça após a soldagem [3]. Uma maneira de se reduzir esse problema é o pré-aquecimento do metal de adição por meio da utilização do dispositivo conhecido como TIG *hot-wire* [6].

Diferenças dos coeficientes de expansão térmica, caso sejam elevadas causam elevadas tensões residuais após a soldagem ou revestimento. Durante a solidificação o material com maior coeficiente deve contrair mais em relação ao material com menor coeficiente. Considerando que ambos estão rigidamente ligados pode ocorrer a formação de tensões de tração no metal de maior condutividade. Valores de tensões residuais superiores a tensão de ruptura do material provocam a formação de trincas. A utilização de MA com menor diferença do coeficiente de expansão em relação ao MB e o uso de pré-aquecimento antes da soldagem podem minimizar este efeito [1].

Entre as ligas de cobre empregadas em revestimento, a liga cobre-alumínio A-2 é a que apresenta menor diferença entre as propriedades físicas em relação ao aço, portanto é a mais indicada em processos de união e revestimento. Na Tabela 1 é mostrada uma comparação das propriedades térmicas e resistência mecânica entre algumas ligas de cobre em relação ao aço-carbono.

Tabela 1. Comparação de Algumas Propriedades Térmicas e Mecânicas Aço-Carbono, Metal Depositado de Cobre e Ligas de Cobre [4;7]

Liga	Ponto de Fusão ou Faixa (°C)	Condutividade Térmica a 293K	Coefficiente de Dilatação Térmica (293-573K)	Resistência a Tração (MPa)
Aço-Carbono	1300 – 1450	12.6 W/m.K	11,7 µm/m.K	314 - 647
ER Cu	1019	339.0 W/m.K	17,0 µm/m.K	170 mín.
ER CuSi	1019	35.0 W/m.K	18,0 µm/m.K	345 mín.
ER CuSn-C	1025	62,0 W/m.K	18,2 µm/m.K	380 mín.
ER CuAl-A2	1040 – 1045	64.0 W/m.K	13,6 µm/m.K	415 mín.

Geralmente, ligas de cobre-alumínio contendo de 9,5 a 11,5% de alumínio (que é o caso da liga A-2) possuem as fases alfa e beta em suas microestruturas, e estas possuem maior regime plástico se comparado aquelas estruturas monofásicas que possuem teores de alumínio inferiores a 7%. Desde modo, a presença das fases alfa-beta contribui para um aumento da soldabilidade da liga. Estas ligas bifásicas podem ser endurecidas por tratamento térmico de modo a se obter uma microestrutura martensítica que em muitos aspectos é análoga às encontradas nos aços [5].

Para se reduzir a formação de óxidos de alumínio, que são refratários, durante a soldagem, o revestimento deve ser preferencialmente, soldado pelo processo TIG que produz excelentes resultados na posição plana. Soldagem fora da posição torna-se difícil em virtude da grande fluidez da poça de fusão. O gás de proteção pode ser tanto o argônio quanto o hélio ou ainda a mistura destes dependendo, basicamente, da espessura do metal de base. O hélio promove uma maior penetração, porém dificulta o controle da poça de fusão pela instabilidade do arco. O argônio produz resultados satisfatórios além de possuir um custo inferior se comparado ao hélio. Existe também a possibilidade de se empregar misturas dos dois gases [3;4].

O objetivo deste trabalho é selecionar os principais parâmetros a serem utilizados na soldagem TIG automatizada, para realizar um revestimento em chapas de aço carbono de designação ASTM A516 Gr.70 usando-se a liga Bronze-Alumínio A-2

2. Matérias e Métodos

2.1. Materiais

Os materiais empregados neste trabalho estão descritos nos itens a seguir e foram divididos em materiais de base e de adição (consumíveis).

2.1.1. Metais de Base

O metal de base utilizado foi uma chapa de aço de 75 mm de espessura em ASTM A516 Gr.70 na condição normalizado. A composição química e as propriedades mecânicas do metal de base informadas pelo seu respectivo certificado de usina estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição Química e Propriedades Mecânicas – ASTM A516 Gr.70 [8]

Composição Química – Valores em %						
Elemento	C	Mn	P	S	Si	
Valores Norma	0,30 máx.	0,85-1,20	0,035 máx.	0,035 máx.	0,15-0,40	
Certificado	0,24	1,12	0,015	0,007	0,20	
Propriedades Mecânicas						
Propriedade	TR [MPa]	LE Mín. [MPa]		Along. Mín. [50mm] %		
Norma	485-620	260		21		
Certificado	522	321		34		

A chapa estava disponível inicialmente na forma cilíndrica com diâmetro de 400 mm. Desta peça foram removidos, por meio de corte com jato d'água, três discos menores com diâmetro de 180 mm. Na Figura 1 é mostrado o local de retirada dos discos.



Figura 1. Local de retirada dos discos e aspecto da região de corte

Os discos obtidos foram cortados ao meio, no sentido radial, por meio de serra, dividindo-o em duas partes iguais, obtendo-se assim um total de seis discos. Os discos foram faceados por usinagem até a espessura de 32 mm. Portanto, foram obtidos seis discos de diâmetro 180 mm com espessura de 32 mm. Posteriormente, todos os discos foram limpos com desengraxante visando à remoção de resíduos de líquido lubrificante empregado na operação de corte.

2.1.2. Consumíveis

O metal de adição utilizado foi o AWS 5.7/ER CuAl-A2, na bitola de 1,2 mm, na forma de arame sólido. A composição química declarada pelo certificado de qualidade do fabricante é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3. Análise Química do Arame ERCuAl-A2 – Valores em % [9]

Elemento	Cu	Al	Fe	Pb	Si	Zn	Outros
Valores Norma	Balanço	8,5 – 11,0	0,5 – 1,5	0,02 máx.	0,10 máx.	0,02 máx.	0,5 máx.
Corrida	Balanço	9,15	1,16	0,010	0,030	0,010	0,010

A proteção gasosa para a realização do revestimento foi realizada por argônio cuja composição atende aos requisitos especificados pela norma AWS A-5.32 [10]. A norma especifica uma pureza para o gás de proteção superior a 99,997% e uma umidade máxima de 10,5 ppm

2.2. Métodos

Os seis discos obtidos na preparação das peças- de- testes foram identificados com a seguinte nomenclatura: PT-01, PT-02, PT-03, PT-04, PT-05 e PT-06. Foi empregada uma máquina de soldagem vertical TIG-Overlay (GTAW Hot-Wire), modelo 2500, automática, controlada por computador, fabricada pela CLADTEK na soldagem do revestimento das peças usadas ensaios.

As peças de teste designadas por PT-01, PT-02 e PT-03 foram utilizadas para se testar os diversos parâmetros de soldagem verificando-se a soldabilidade e o aspecto visual do revestimento soldado. Após a conclusão desta etapa foram selecionados os parâmetros de soldagem mais adequados por oferecerem um arco mais estável, excelente controle da poça de fusão e bom aspecto visual do cordão depositado. Os parâmetros selecionados estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros de soldagem utilizados nas peças de teste

Parâmetros de Soldagem	Primeira Camada	Demais Camadas
Tipo de Corrente / Polaridade	CCPD (-)	CCPD (-)
Vazão do Gás [LPM]	15 – 20	15 – 20
Tensão [V]	12 – 15	12 – 15
Corrente de Soldagem [A]	100 – 210	120 – 230
Corrente do Hot-Wire [A]	40	0
Velocidade de Soldagem [mm/min]	320	310
Aporte de Calor Máximo [kJ/mm]	0,59	0,67
Temp.Mín. de Pré-Aquecimento [°C]	150	150
Temp.Máx.Interpasses [°C]	150	150

A peça de testes PT-04 foi soldada conforme os parâmetros da Tabela 4, com o depósito de duas camadas em uma face e quatro camadas na face oposta. As peças-de-teste PT-05 e PT-06 foram revestidas com uma camada numa face e quatro camadas na face oposta, obtendo-se 5,5 mm de espessura de revestimento.

Nota-se que os parâmetros de soldagem na primeira camada proporcionam um menor aporte de calor, o que é desejável, pois o intuito é reduzir ao máximo possível a diluição do metal de adição com o metal de base.

O aquecimento do arame foi empregado apenas na primeira camada, não sendo mais necessário nas demais, pois a partir deste momento o revestimento é soldado sobre camadas de cobre-alumínio e o problema de diferenças de condutibilidade térmica é reduzido. Além disto, testes preliminares mostraram que é difícil o controle da poça de fusão com o arame aquecido na soldagem de cobre-alumínio sobre cobre-alumínio.

A superfície do revestimento obtida na primeira camada apresentou excelente acabamento não sendo necessária nenhuma operação subsequente de usinagem e assim foi possível se soldar todas as camadas apenas pela de limpeza por escovamento entre as camadas.

A peça de testes PT-04 foi submetida ao exame visual e análise por de líquido penetrante, respectivamente, conforme ASME V [11]. A face com quatro camadas foi usinada, sendo removida uma espessura de 1,5 mm na operação de faceamento. Foram removidas quatro amostras da peça-de-testes PT-05, destinados à análise química do revestimento. Na Figura 2 é mostrado o aspecto das amostras submetidas à análise química. Cada amostra teve a sua face revestida de quatro camadas usinada por aplainamento de modo que o CP-01 ficou com a superfície de análise de 1,0 mm da linha de fusão, o CP-02 de 2,0 mm, o CP-03 de 3,0 mm e finalmente o CP-04 de 4,0 mm. A análise química foi realizada via espectroscopia de emissão óptica por centelha, sendo a queima para análise da composição química efetuada na superfície usinada do revestimento.



Figura 2. Peça de testes PT-04 na condição “como soldada” e usinada.

Removeram-se quatro amostras destinadas ao ensaio de dobramento lateral da peça de teste denominada por PT-06. As amostras foram preparadas, ensaiadas e os resultados alcançados foram avaliados, conforme ASME IX, itens QW 462.2, QW 162 e QW 163 respectivamente [12]. Foram realizados quatro testes de dobramento lateral a 180°, utilizando-se cutelo de 52,4 mm e abertura de base com 61,8 mm. As dimensões das amostras utilizadas nos ensaios foram de 3,2 x 35 x 200 mm.

A peça de teste denominada por PT-06 ainda forneceu uma amostra destinada ao ensaio de dureza Vickers HV-10. Os locais de medição foram determinados conforme determinado na norma API 6A [13] e a macrografia realizada conforme a norma ASTM E340 [14]. Na Figura 3 estão indicados os pontos onde foram executadas as medições de dureza.

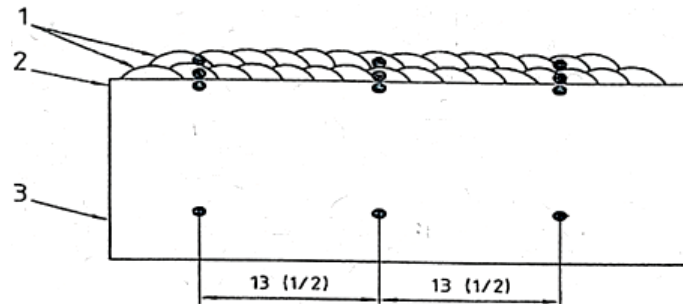


Figura 3. Pontos de medição de dureza HV10.

Ainda da peça de teste denominada por PT-06 foi retirada uma amostra destinada à análise por microscopia óptica. A amostra foi preparada por técnicas metalográficas de lixamento e polimento. O ataque para o aço-carbono foi realizado com solução de Nital 2% (em peso), enquanto o ataque para o revestimento de bronze-alumínio foi feito com solução de $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} - 1/1$ [15]. Foram analisadas as diversas regiões da junta, MB, ZAC e o metal de solda.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 4 é mostrado o aspecto visual do revestimento na condição “como soldado” e na condição usinada.

Observa-se que o aspecto visual do revestimento na condição “como soldado” foi bastante satisfatório. A superfície revestida final apresentou bom acabamento e uniformidade na espessura depositada. A fusão entre passes e com o metal de base foi considerada adequada, uma vez que, não foram observadas descontinuidades no material depositado, após inspeção visual.

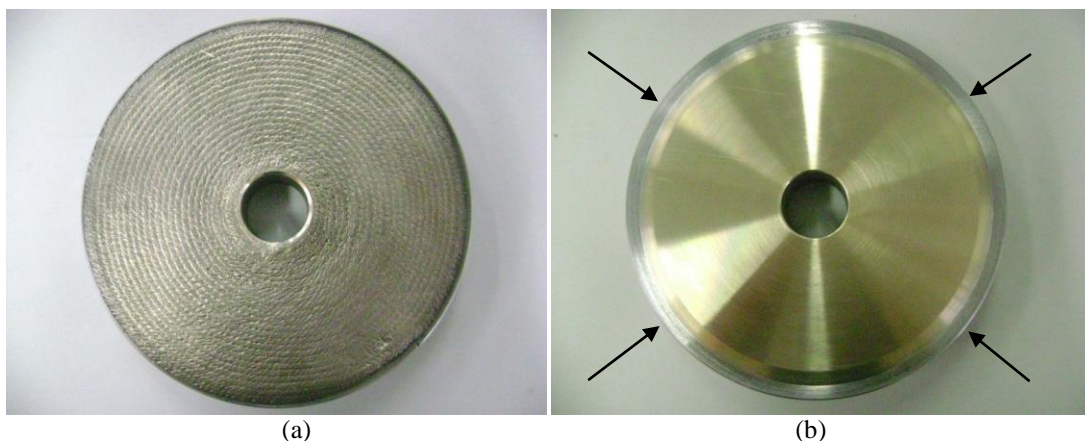


Figura 4. Peça de testes PT-04 na condição (a) “como soldada” e (b) usinada com setas indicando o local do revestimento

Após a aplicação do revelador na superfície usinada submetida ao ensaio por líquido-penetrante não foi observada nenhuma indicação linear ou arredondada, como pode ser verificado na superfície das amostras mostradas na Figura 5.



Figura 5. Peça de testes PT-04 sendo submetida ao ensaio por líquido penetrante.

Na Tabela 5 estão mostrados os valores obtidos da análise química da superfície do revestimento em comparação com os valores da composição do arame ERCuAl-A2 empregado nesta soldagem.

Tabela 5. Análise química do revestimento – Valores em % em peso.

Corpo de Prova	Cu	Al	Fe	Pb	Si	Zn
Arame	89,63	9,15	1,16	0,010	0,030	0,010
CP-01 (1 mm)	83,77	8,12	7,70	0,002	0,001	0,002
CP-02 (2 mm)	85,51	8,49	5,55	0,010	0,001	0,002
CP-03 (3 mm)	87,88	8,02	3,80	0,002	0,001	0,002
CP-04 (4 mm)	86,78	8,56	3,30	0,002	0,001	0,002

Os resultados indicados na Tabela 5 fornecem uma boa referência para avaliar o comportamento da composição química do revestimento. À medida que a superfície analisada está mais afastada da linha de fusão, os efeitos da diluição tornam-se menos pronunciados, assim pode-se notar pela redução do teor de ferro. Considerando que o metal de base é praticamente constituído desse elemento pode-se considerar que a redução do teor de ferro no revestimento foi bastante significativa, atingindo teores aceitáveis para um revestimento anticorrosivo.

A diluição do ferro no revestimento ainda poderia ser minimizada pela aplicação no MB de uma primeira camada de amateigamento com consumível de níquel, mas esta operação acarreta em substancial aumento no custo final do revestimento o que muitas vezes não é justificável. Na norma API 6A [13] os revestimentos anticorrosivos são classificados em duas classes denominadas por Fe5 e Fe10, com teores máximos de 5 e 10% de ferro, cuja aplicação depende das exigências de projeto e do tipo de meio corrosivo ao qual o revestimento está submetido quando em uso [8].

A vaporização de alguns elementos de liga pode ocorrer por elevadas temperaturas presentes na região do arco. Este fenômeno está diretamente relacionado à pressão de vapor do elemento de liga em questão. Assim, durante a soldagem o alumínio tem maior tendência de ser vaporizado, em virtude da maior pressão de vapor em relação ao ferro. A redução dos teores de cobre e alumínio, em relação à composição do metal de adição pode ter ocorrido em virtude da vaporização destes elementos durante as altas temperaturas pelo arco elétrico e da poça de fusão [10].

As amostras submetidas ao ensaio de dobramento não mostraram quaisquer discontinuidades na região de interface entre MB e MA, após o ensaio. Os resultados obtidos nos ensaios mostraram que houve perfeita fusão do revestimento com o metal de base. Nota-se também que o conjunto soldado apresentou boa ductilidade, conforme pode ser observada na figura 5. Nesta figura são observadas as amostras dobradas em duas vistas e não são observadas discontinuidades no MB, MA e na interface entre estas regiões.

Os resultados obtidos na medição de dureza estão mostrados na Tabela 6. De acordo com a tabela A.2 da norma AWS A-5.7 [8] era de se esperar uma faixa de dureza no intervalo de 130 – 150 HV10 para o depósito de ERCuAl-A2. Observando-se os valores da Tabela 6 nota-se que a dureza obtida na camada mais externa foi de 172 HV10, o que se enquadra dentro da faixa de durezas esperadas para o depósito de ERCuAl-A3 [8] o que a princípio pode parecer incoerente visto que o revestimento foi soldado com o ERCuAl-A2.

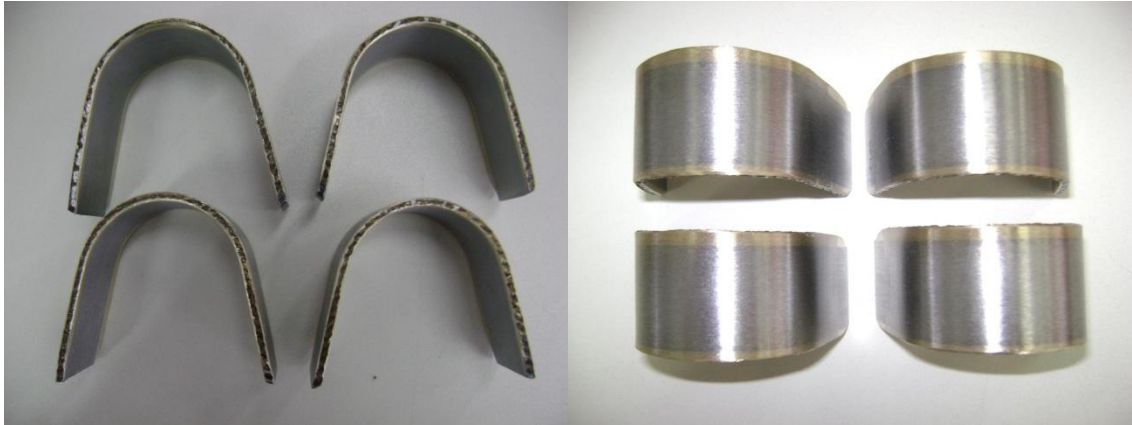


Figura 5. Aspecto dos corpos de prova após ensaio de dobramento lateral.

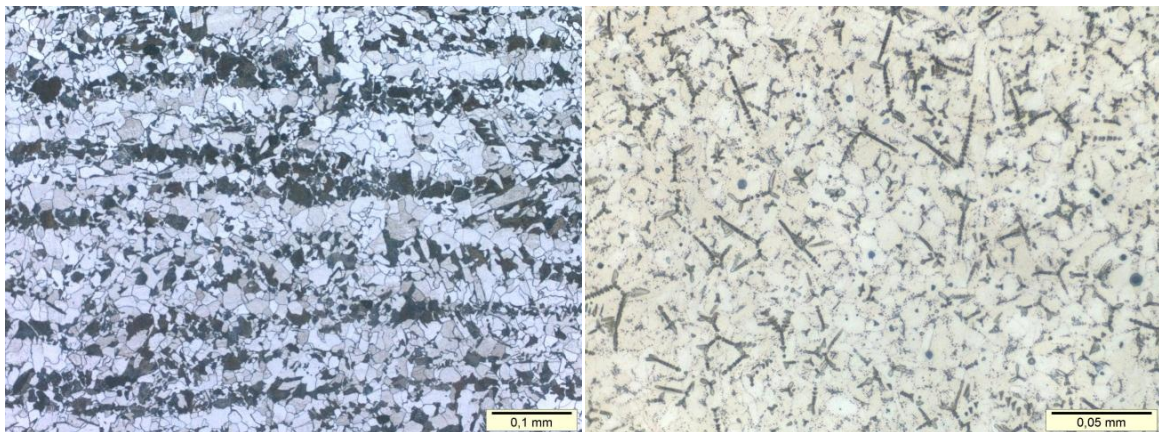
Tabela 6. Valores de Dureza – Vickers, Carga 10 kgf

Região	Metal de Base	ZAC	Camada 1	Camada 2	Camada 3
Linha 1	150	186	179	167	175
Linha 2	160	185	185	170	170
Linha 3	154	188	193	167	170
Dureza Média	155	186	186	168	172

Porém, analisando-se a composição química a 4 mm conforme dados indicados na Tabela 5 nota-se que a composição química do revestimento aproxima-se do ERCuAl-A3 justificando-se assim os valores de dureza encontrados. Este acréscimo na dureza deve-se, principalmente, pelo maior teor de ferro presente no revestimento de bronze-alumínio.

A presença de fases frágeis intermetálicas provocam distorções rede cristalina que acarretam um pronunciado aumento dos valores de dureza nas regiões adjacentes e deste modo é possível a detecção através da dos picos de dureza [16;17]. As maiores durezas foram encontradas na região de refinamento de grão da ZAC como era previsto. A ausência de picos de dureza demonstra, indiretamente, que não houve a formação de fases frágeis na ZAC do aço-carbono. Com relação às durezas encontradas no metal de base, essas se mostraram coerentes ao material ASTM A516 Gr.70 laminado a quente e posteriormente normalizado.

Na Figura 6 são mostradas imagens do aspecto das microestruturas obtidas após a realização do revestimento do metal de base e do metal de solda.



(a)

(b)

Figura 6. Micrografia obtida por microscopia óptica do MB - A516 Gr.70 (a) e do revestimento (MA) CuAl-A2 (b).

Na microestrutura do aço-carbono, figura 6a, nota-se a microestrutura com orientação “bandeada”, o que mostra que o metal de base foi laminado a quente. Nota-se uma matriz constituída de ferrita (áreas claras) e perlita (áreas escuras) com granulação fina, resultante do tratamento térmico de normalização a que o metal de base foi anteriormente submetido.

A micrografia do metal de solda mostra uma microestrutura bruta de fusão que consiste em uma estrutura de grãos da fase alfa, na matriz de fase beta retida. Esta microestrutura era esperada, visto que a presença de um teor de alumínio inferior a 7% promove a formação apenas da fase beta, enquanto que para teores maiores há a formação das fases alfa-beta o que ficou evidente na micrografia visto que a faixa do teor de alumínio encontrada na análise química do revestimento foi de 8,02-8,56 % [15;19].

Na Figura 7 é mostrado o aspecto da microestrutura da interface entre o MB e o MA.

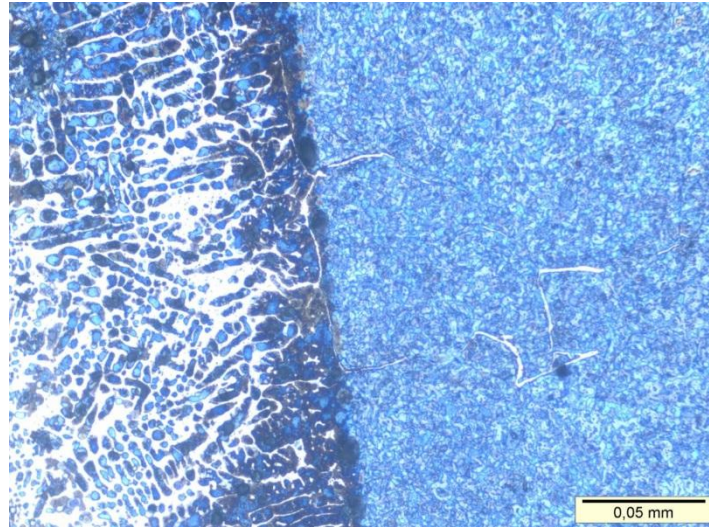


Figura 7. Micrografia da linha de fusão e da ZAC.

A análise da micrografia da região da linha de fusão mostra que não houve a ocorrência de defeitos tais como trincas e poros. Nota-se também a existência de ilhas ou glóbulos, provavelmente de compostos Fe-Cu, nas adjacências da linha de fusão. De acordo com o diagrama binário de fases Fe-Cu a solubilidade do cobre no ferro é limitada e vice-versa, porém não há a formação de compostos intermetálicos frágeis. Pode-se observar a existência de algumas linhas contínuas de coloração branca na região da ZAC do aço-carbono. Este fenômeno pode ser atribuído à difusão e capilaridade do cobre nos contornos de grãos [4;18]. Assim, a coesão entre os grãos poderia ser prejudicada e favorecer a ocorrência de trincas diante de determinados tipos de carregamento mecânico. No entanto, verifica-se pelo resultado obtido no ensaio de dobramento e pelas observações microestruturais a ausência de descontinuidades. Neste caso específico, a função básica do revestimento é a de resistir a meios corrosivos e tais segregações não apresentam efeito deletério.

4. Conclusões

Tendo em vista os resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) o processo de soldagem TIG automático permitiu a obtenção de revestimentos soldados de liga bronze-alumínio A-2 aplicados em aço carbono com excelente qualidade e acabamento superficial. O revestimento obtido não apresentou poros e quaisquer outras indicações. Não houve a necessidade de usinagens intermediárias entre as camadas, apenas escovamento;
- b) os valores de dureza obtidos indicaram que a princípio não houve a formação de compostos intermetálicos frágeis na região da linha de fusão e ZAC;
- c) é possível a ocorrência de migração do cobre e outros elementos nos contornos de grãos da ZAC do aço-carbono;
- e) a partir dos critérios da norma API 6A, os resultados obtidos no revestimento permitem a aplicação direta do revestimento de bronze alumínio A-2 sem a necessidade de amanteigamento com liga de níquel na interface do material de base e material de adição.

5. Agradecimentos

A MULTIALLOY Metais e Ligas Especiais e ao Soldador/Operador Amarildo Daniel Ferraz que soldou as peças de testes.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Disponível em <http://www.inweldcorporation.com/datasheets/Inweld%20Aluminum%20Bronze%20A-2.pdf>. Acesso em 25/07/2014
- [2] Disponível em http://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/2002/08/aluminum_bronze.pdf. Acesso em 25/07/2014
- [3] ASM Handbook. Vol.6 – Welding, Brazing and Soldering. ASM International.1990.
- [4] SCUTELNICU.E + et al. Arc Welding of Dissimilar Metals. Trends in Welding Research Proceedings of 8th. International Conference. ASM International.2009.
- [5] WELDING Handbook. Welding Copper and Cooper Alloys – Volume 3. American Welding Society. Miami. 1997.
- [6] Cantarin, T. N. Caracterizações mecânicas e microestruturais do aço AISI 8630 modificado revestido com a liga de níquel 625 por soldagem “GTAW”, 2011, Dissertação Mestrado – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, SP, São Paulo
- [7].Original 3 ASM Handbook. Vol.2 – Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials. ASM International.1990.
- [8] STANDARD Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate and Lower-Temperature Service : A516/A516M - 10. American Society for Testing and Materials.2010.
- [8] SPECIFICATION for Copper and Copper-Alloy Bare Welding Rods and Electrodes. A5.7/A5.7:2007. American Welding Society. Miami. 2007.
- [9] STANDARD Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate and Lower-Temperature Service : A516/A516M - 10. American Society for Testing and Materials.2010.
- [10] SPECIFICATION for Welding Shielding Gases: A5.32/A5.31:1997. American Welding Society. Miami. 1997
- [11] Boiler and Pressure Vessel Code: ASME Section V – Nondestructive Examination. American Society of Mechanical Engineers, 2010.
- [12] Boiler and Pressure Vessel Code: ASME Section IX - Welding and Brazing. Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [13] SPECIFICATION for Wellhead and Christmas Tree Equipment, Twentieth Edition : API Spec..6A. American Petroleum Institute. 2010.
- [14] STANDARD Test Method for Macroetching Metals and Alloys : E340 – 13. American Society for Testing and Materials.2013.
- [15] ASM Handbook. Vol.9 – Metallography and Microstructures . ASM International.1990.
- [16] KOU, S. Welding Metallurgy. Second Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 461p.
- [17] LANCASTER, J.F. Metallurgy of Welding. Sixth Edition. Cambridge: Abington Publishing, 1999. 468p.
- [18] SHIRI.S.G + et al. Gas Tungsten Arc Welding of CP-Copper to 304 Stainless Steel Using Diferent Filler Materials. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2012.
- [19] ASM Handbook. Vol.3 –Alloy Fase Diagrams. ASM International.1990.