

# AÇOS INOXIDÁVEIS COM REVESTIMENTO POR ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE PARA SOLDA<sup>1</sup>

Charles Morales<sup>2</sup>

Manoel Marcos G. Lopes<sup>3</sup>

Washington Luis Stefani<sup>4</sup>

## Resumo

Dentre as famílias de aços inoxidáveis mais comumente produzidas pelas usinas siderúrgicas: Martensíticos, Ferríticos e Austeníticos, os aços inoxidáveis austeníticos formam o maior grupo de aços inoxidáveis em uso, representando cerca de 65 a 70% do total produzido. Ao contrário dos ferríticos, e principalmente dos martensíticos cujas propriedades se assemelham àquelas dos aços de baixa liga, os aços austeníticos têm uma série de características próprias que os distingue das outras classes, onde a sua soldabilidade apresenta também aspectos próprios. Aços inoxidáveis da classe AISI 301 após soldagem, apresentam um fenômeno chamado de sensibilização, quando se trabalha numa faixa de temperatura de 500°C a 850°C com resfriamento lento onde se promove a precipitação de carboneto de cromo no contorno do grão, reduzindo o teor de cromo na superfície, tornando-o mais suscetível à corrosão, o que faz com que o material ou peça produzida perca sua plena função. Com base nessas condições e características de processo, a Armco do Brasil propôs o desenvolvimento de um novo revestimento de cobre eletrolítico para aços inoxidáveis, visando à fabricação de terminais de contatos elétricos e termostatos utilizados na fabricação de equipamentos elétricos que requerem solda, tais como: ferros elétricos de passar roupa. Este material recebe uma camada de cobre nas duas faces com o objetivo de proporcionar um aumento da condutividade elétrica e a melhoria das condições de solda, uma vez ocorrendo a sensibilização, o cobre promoverá uma proteção ao aço contra a influência de substâncias agressivas provenientes da atmosfera.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis; Solda; Sensibilização.

## STAINLESS STEEL BY ELECTROPLATING COATING OF COPPER TO WELD

### Abstract

Among the families of stainless steel most commonly produced by steel mills: martensitic, ferritic and austenitic, the austenitic ones form the largest group of stainless steel in use, representing about 65 to 70% of the total produced. In contrast of ferritic, and mainly in the martensitic which properties are similar to those of low-alloy steel, the austenitic steels have a number of characteristics that differ from the other classes, where their weldability also present own aspects. Some samples produced with AISI 301 stainless steel after welding, presented a phenomenon called sensitization, this phenomenon occurs when working on a temperature range of 500 ° C to 850 ° C with slow cooling where it promotes the precipitation of chromium carbide in the grain boundary, reducing the content of chromium on the surface, making it more susceptible to corrosion, leading the working piece or produced material to absolute function loss. Based on these conditions and process characteristics, "Armco do Brasil" has proposed the development of a new electrolytic copper coating for stainless steel, targeting electrical terminal contact manufactures and thermostat used to produce electrical equipments which require welding, such as: electric irons. This material receives a copper layer on both sides with the aim of providing an increase in electrical conductivity and improvement of weld conditions, a time sensitization occurs, copper will promote higher protection to the steel against the influence of hazardous atmosphere substances.

**Key words:** Stainless steel; Weld; Sensitization

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Galinhas - PE*

<sup>2</sup> *Supervisor de Desenvolvimento de Novos Produtos - Armco do Brasil S.A.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Químico, Diretor Técnico e Comercial - Armco do Brasil S.A.*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Produtos - Tyco Electronics*

## 1 INTRODUÇÃO

A soldagem<sup>(1)</sup> que é um processo de junção, e tem como princípio básico a utilização de uma fonte de calor com ou sem aplicação de pressão, deve ter as seguintes características:

- a) produzir uma quantidade de energia suficiente para unir dois materiais, similares ou não, com ou sem fusão entre as partes.
- b) evitar o contato da região aquecida e/ou fundida com o ar atmosférico.
- c) remover eventuais contaminações das superfícies que estão sendo unidas, oriundas do metal base ou do metal de adição.
- d) menor heterogeneidade das transformações de fase na junta soldada que pode afetar o seu desempenho.

Em geral os aços inoxidáveis podem ser unidos por uma grande variedade de processos que incluem a “solda”, brasagem, *soldering*, etc.

A brasagem, por definição, emprega metal de preenchimento e tem o seu ponto de fusão acima de 450°C, no entanto, a brasagem se difere do processo “*soldering*” pelo ponto de fusão do metal de preenchimento.

O *soldering* por sua vez, emprega material com ponto de fusão abaixo de 450°C. A brasagem também se difere do processo de solda convencional na substancial quantidade de metal base que é fundido durante a brasagem.

Deste modo, a temperatura de brasagem para os aços inoxidáveis é intermediária entre aquelas utilizadas para solda e pelo processo *soldering*.

O processo de brasagem pode ser utilizado em diversos tipos de materiais: aços inoxidáveis, aços carbono, aços baixa liga, ligas de cobre, etc, destes, os aços inoxidáveis são os mais difíceis de sofrerem a brasagem em decorrência da alta quantidade de cromo que estão presentes nas ligas destes aços, tendo como causa principal a formação de uma película de óxido de cromo na superfície de todos os aços inoxidáveis, assim como a película de óxido de titânio que também se formam na superfície dos aços inoxidáveis estabilizados ao titânio.

Se estes óxidos, que são refratários e fortemente aderentes não forem adequadamente removidos, eles irão evitar que o metal de preenchimento fundido realize a união por impedir a sua capilaridade entre os metais a serem unidos.

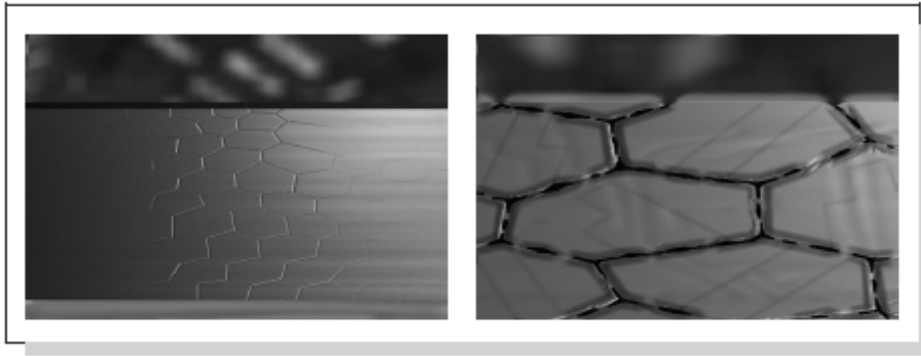
Na brasagem podem ser empregados diversos metais de preenchimento como: Prata, Níquel, Cobre e Ouro. Eles são selecionados de acordo com as propriedades mecânicas, resistência à corrosão, temperatura de trabalho e a compatibilidade com o metal base. Essa seleção conduz para a requerida temperatura de brasagem e no requerido método de aquecimento.

O cobre e a prata são os mais comumente aplicados. Todavia, uma excessiva precaução no processo de solda deve ser tomada, principalmente quando tratamos com aços inoxidáveis da série 300 (austeníticos), que podem ser sensibilizados durante o resfriamento da temperatura de brasagem.

A sensibilização<sup>(2)</sup> é caracterizada por um ataque localizado nos contornos de grão, esses locais apresentam regiões adjacentes empobrecidas em cromo devido à precipitação de fases ricas neste elemento, como os carbonetos de cromo.

Caso o teor de cromo desta região fique abaixo de 11%, elas serão corroídas preferencialmente, onde esse tipo de fragilização ocorre quando o material fica exposto na faixa de temperatura de 500°C a 850°C e com resfriamento mais lento.

Nesta condição, a precipitação de carbonetos é bastante favorecida, produzindo a região sensibilizada. A Figura 1<sup>(3)</sup> apresenta um esquema da sensibilização ocorrida na zona afetada pelo calor de um cordão de solda.



**Figura 1** - Representação esquemática da sensitização em um aço inox série 300, exposto a temperatura acima de 500°C.

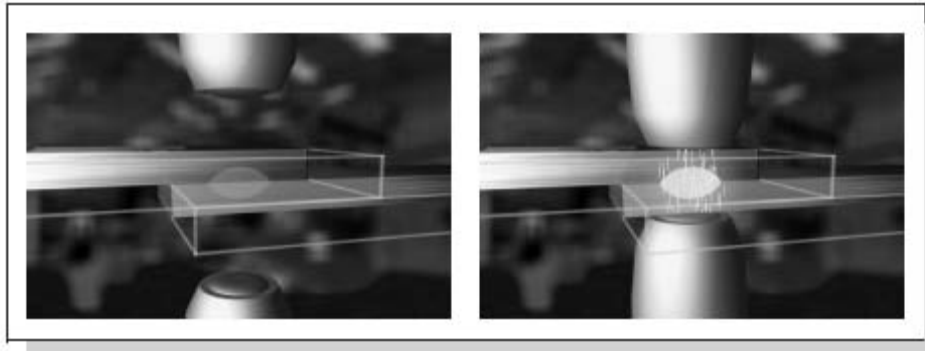
Este fenômeno<sup>(4)</sup> ocorre tanto nos aços inoxidáveis austeníticos como nos ferríticos. Para evitar este problema pode-se utilizar um aço inox com teor mais baixo de carbono (os aços de grau L) e utilizar elementos que possuam uma afinidade maior com o carbono do que com o cromo (aços inoxidáveis estabilizados ao titânio e ao nióbio) ou um tratamento de solubilização dos carbonetos, após a soldagem.

**Tabela 1** - Principais problemas nos aços inoxidáveis originados nos processos de união (Solda)

Tipo de aço Inox	Problema	Solução
Ferrítico	Sensitização	Material adequado (estabilizado ao titânio ou nióbio); reduzir a energia de soldagem
	Fragilização por Hidrogênio	Utilizar procedimento que introduzam pouco hidrogênio durante a soldagem
	Crescimento de Grão	Procedimento com energia de soldagem a menor possível
Austenítico	Sensitização	Material adequado (baixo carbono ou estabilizado ao titânio ou nióbio); reduzir a energia de soldagem
	Trincas à quente (trinca de solidificação, liquação e reaquecimento)	Utilizar aço com teor baixo de enxofre e fósforo; utilizar metais de adição que gerem um teor de ferrita ao redor de 8% no cordão de solda; modificar a geometria da junta para reduzir tensões introduzidas durante a soldagem.
Martensítico	Fragilização por Hidrogênio	Utilizar procedimento que introduzam pouco hidrogênio durante a soldagem; utilizar técnicas que reduzam a velocidade de resfriamento da junta (pré aquecimento, pós aquecimento).

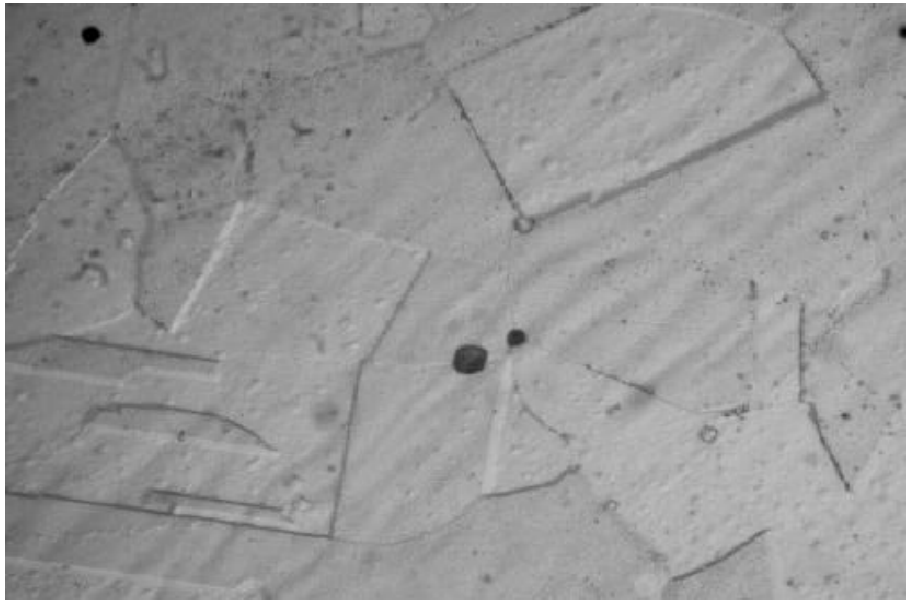
Soldagem do tipo *soldering* e “brasagem” podem ser realizados em fornos, por indução, por resistência e por imersão em banho de sal.

No processo de soldagem por resistência, o mais utilizado, utilizam-se eletrodos, geralmente de cobre e, na posterior passagem de corrente, ocorre a fusão desta face em comum, formando o ponto. A Figura 2<sup>(1)</sup> apresenta um esquema deste processo.



**Figura 2** - Esquema do processo por resistência elétrica a ponto.

Os grandes problemas são as altas temperaturas que o metal atinge, podendo atingir em alguns casos a temperatura crítica de sensitização para os aços inoxidáveis austeníticos. Abaixo segue uma foto (Figura 3) fornecida pelo cliente por microscopia ótica de uma superfície exposta a 450°C que ilustra bem uma superfície em que não houve a sensitização.



**Figura 3** – Aço Inox (série 300), exposto a 450°C, não sensitizado. Microscopia Ótica.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O Trabalho foi dividido em duas etapas. Em uma primeira abordagem, efetuou-se o estudo de viabilidade técnica de produção em laboratório onde algumas amostras foram produzidas. Primeiramente foram preparados os banhos de cobre alcalino e cobre ácido, metais a serem depositados sobre a superfície do aço inoxidável, conforme parâmetros de processo Armco.

As amostras com dimensional de 100 mm x 200 mm foram desengraxadas em desengraxante alcalino, e em seguida lavadas para remoção dos resíduos alcalinos.

A eletrodeposição do cobre sobre o aço inox foi iniciada com um tratamento especial da superfície das amostras, onde as mesmas receberam uma camada (*flash*) de um metal especial.

O objetivo desse flash sobre a superfície é conferir ao substrato uma melhor aderência da primeira camada de cobre alcalino sobre a camada do flash, para tanto, esse banho deve ser altamente reativo (ácido) de maneira que ele exerça uma decapagem e conseqüentemente remoção da película de óxido de cromo que se forma na superfície dos aços inoxidáveis, principalmente aqueles mais carregados de cromo na composição química, portanto, a necessidade de se remover essa camada passivada de maneira rápida, é extremamente necessária, pois se verificou que tanto a camada de cobre alcalino como também a de cobre ácido depositada diretamente sobre a superfície do aço inox sem o flash de camada do metal especial, não é possível devido a película de óxido de cromo que se forma na superfície dos aços inoxidáveis ter uma rápida regeneração quando atacada pelo ácido, impedindo a plena aderência das camadas de cobre.

Para as amostras de laboratório, trabalhou-se com densidades de corrente de 8 A/dm<sup>2</sup> a 10 A/dm<sup>2</sup>

A abordagem seguinte foi a produção de 1 rolo em máquina utilizando todas as informações e parâmetros obtidos em laboratório.

Em resumo, o processo de eletrodeposição de cobre para aços inoxidáveis em linha pode ser constituído de tanques, onde no primeiro tanque é tido como deposição (*Strike*) que em geral se trabalha com densidades de correntes entre 8 A/dm<sup>2</sup> a 10A/dm<sup>2</sup>, no segundo tanque uma pequena camada de cobre a base de cianeto é depositada sobre a superfície já tratada com a camada de metal especial, seguido de tanques de deposição de cobre ácido, no qual a camada que será depositada, é acrescida a superfície até a formação da espessura de camada desejada, onde é necessário se trabalhar com densidades de correntes de até 15A/dm<sup>2</sup>, pois como já foi mencionado anteriormente, o aço inox austenítico é pouco condutivo, o que dificulta e reduz a velocidade de eletrodeposição.

Finamente, após todo este tratamento superficial agregado ao aço inoxidável, sua composição final então será a seguinte conforme esquema da Figura 4:



**Figura 4** – Esquematização da composição da camada de cobre, composto de 8microns (0,008mm) - revestimento na face e contra face do aço.

### 3 RESULTADOS

**Tabela 2** – Resultados comparativos de testes de laboratório em componentes eletrônicos produzidos com latão puro e aço inoxidável revestido em cobre. Testes realizados, conforme especificação Tyco Electronics.

TESTES - COMPONENTES PRODUZIDOS EM LATÃO PURO	GRUPO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	SEQUÊNCIA									
ANÁLISE VISUAL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA ELÉTRICA À TERMINAÇÃO ALTO NÍVEL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA ELÉTRICA À TERMINAÇÃO BAIXO NÍVEL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
TEMPERATURA X CORRENTE	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
CICLO DE CORRENTE	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
MOVIMENTO CIRCULAR	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
PULL TEST	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
CHOQUE TÉRMICO	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
UMIDADE ESTÁTICA	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
EXPOSIÇÃO À ALTA TEMPERATURA	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
EXPOSIÇÃO AO SALT-SPRAY	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP

AMBIENTE DE PROVA - TEMPERATURA: 23+/- 5°C – UMIDADE : 45 – 70%. AP = Aprovado. NAP = Não Aprovado

TESTES - COMPONENTES PRODUZIDOS EM AÇO INOXIDÁVEL COBREADO	GRUPO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	SEQUÊNCIA									
ANÁLISE VISUAL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA ELÉTRICA À TERMINAÇÃO ALTO NÍVEL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA ELÉTRICA À TERMINAÇÃO BAIXO NÍVEL	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
TEMPERATURA X CORRENTE	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
CICLO DE CORRENTE	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
MOVIMENTO CIRCULAR	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
PULL TEST	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
CHOQUE TÉRMICO	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
UMIDADE ESTÁTICA	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
EXPOSIÇÃO À ALTA TEMPERATURA	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
EXPOSIÇÃO AO SALT-SPRAY	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP

### 4 CONCLUSÕES

A inclusão da camada de cobre sobre a superfície do aço inoxidável, além de conferir uma melhor soldabilidade do material, possibilitou também uma maior resistência à corrosão, tendo como base o aspecto das peças e superfícies soldadas.

Concluimos também que a sensitização não deixará de ocorrer, pois as temperaturas de solda não irão mudar no processo de solda, contudo, com uma diferença extremamente importante, a aplicação da camada de cobre sobre a superfície do aço inox além de tornar o material mais condutivo, permitirá que as regiões empobrecidas pela precipitação dos carbonetos de cromo provocada pelo

excesso de temperatura do processo de solda fiquem mais protegidas contra a corrosão.

Os testes realizados no laboratório da Tyco com componentes eletrônicos produzidos em aço inox cobreado quando comparados com componentes eletrônicos produzidos em latão puro, indicaram que o aço inox cobreado pode substituir o latão puro sem alterar as características conforme especificação Tyco.

## REFERÊNCIAS

- 1 Telles P.C.S “Materiais para Equipamentos de Processo”, Quinta Edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1979.
- 2 ASTM A 262 -93<sup>a</sup>, “Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Stainless Steels”, 1993.
- 3 Sedriks A.J.” Corrosion of Stainless Steels”, 2<sup>a</sup> Edição, New York, USA, John Wiley and Sons. 1996.
- 4 Júnior M.F.S., “Suscetibilidade à corrosão intergranular do aço inoxidável austenítico AISI 347” Fortaleza – CE, 2001.