

# AVALIAÇÃO DA SOLDABILIDADE A PONTOS DE AÇOS IF-GI E IF-GA COM DIFERENTES ESPESSURAS DE REVESTIMENTOS <sup>(1)</sup>

Ramsés Ferreira da Silva<sup>(2)</sup>  
Carlos Salaroli de Araújo<sup>(3)</sup>  
Sérgio Luiz Vieira<sup>(4)</sup>

## Resumo

Aços revestidos com zinco são cada vez mais requisitados pela indústria automobilística devido a sua alta resistência à corrosão atmosférica. Porém, a soldabilidade a pontos desses aços não é tão boa quanto a dos aços não revestidos. Isso ocorre devido a alta condutividade térmica e ao baixo ponto de fusão do revestimento, que resulta na deposição de zinco no eletrodo e, conseqüentemente, na diminuição de sua vida útil. Neste estudo é apresentada a avaliação da soldabilidade a pontos de aços GI e GA. Foi verificado que o revestimento do tipo GA proporcionou melhor soldabilidade, tanto em relação à vida útil do eletrodo como em relação ao campo de soldabilidade. O aumento da massa da camada de revestimento aumentou a contaminação dos eletrodos, diminuindo assim a qualidade das lentes de solda tanto nos aços GI, como nos aços GA. A resistência ao cisalhamento foi similar em ambos os tipos de revestimentos sendo influenciada principalmente pelas propriedades mecânicas do substrato. Os aços GA apresentaram melhores resultados no teste de tração cruzada devido ao maior tamanho das lentes de solda.

**Palavras-chave:** Soldagem a pontos; Aços revestidos; Vida útil dos eletrodos.

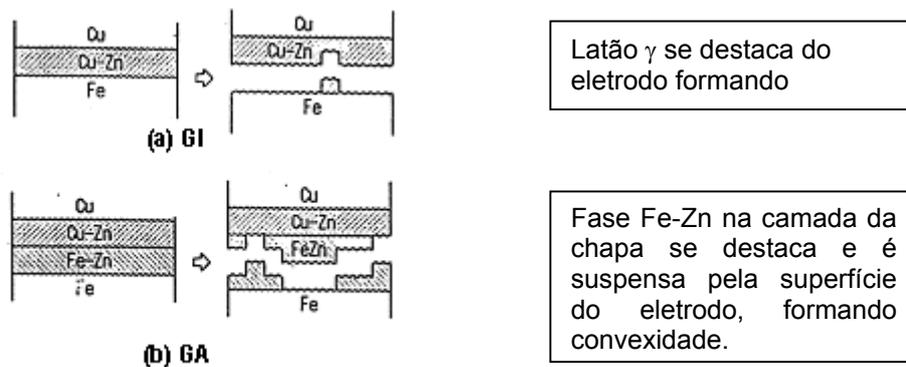
- (1) *Contribuição Técnica ao 60º Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, MG, 25 a 28 de Julho de 2005.*
- (2) *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Gerência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.*
- (2) *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; M. Sc.; Gerência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.*
- (4) *Membro da ABM; Técnico Metalurgista; Gerência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.*

# 1 INTRODUÇÃO

Os aços revestidos com zinco, como os galvanizados a quente, são cada vez mais requisitados pelos diversos segmentos de mercado, principalmente o automobilístico, tendo em vista sua elevada resistência à corrosão atmosférica.

Em uma linha convencional de produção de aços galvanizados por imersão a quente, a tira de aço é previamente aquecida e posteriormente imersa num pote de zinco fundente para ser revestida. Após recoberto, o material passa a ser denominado aço galvanizado a quente (GI). Esse revestimento de zinco puro tem o objetivo de proteger a chapa contra corrosão atmosférica<sup>(1)</sup>. Quando após a imersão do material no banho de zinco, o aço sofre um tratamento térmico, o revestimento passa a ser denominado *galvannealed* (GA), sendo esse revestimento formado de ligas Fe-Zn. Apesar de apresentarem boas propriedades mecânicas e de resistência a corrosão, a soldagem desses materiais apresenta certas limitações, em comparação a dos aços não revestidos.

Durante a soldagem a pontos de chapas revestidas do tipo GI, uma camada de Cu-Zn (latão) é formada na face do eletrodo devido a reação entre o zinco do revestimento e o cobre do eletrodo, Figura 1 (a). A camada mais externa desse latão é muito macia, propiciando uma maior deformação, aumentando assim o seu diâmetro e, conseqüentemente, diminuindo a densidade de corrente. Quando uma camada de latão se desprende do eletrodo, o diâmetro da face do eletrodo se expande e a densidade de corrente diminui. Como resultado, o calor gerado pode não ser suficiente para formar uma lente de solda de boa qualidade. Por outro lado, em aços GA, apesar de também haver a formação de uma camada Cu-Zn no eletrodo, uma camada Fe-Zn do revestimento é retirada da superfície do aço pelo eletrodo, Figura 1 (b). Assim, a face do eletrodo se torna convexa, e sua expansão é mais lenta em relação ao aço GI.



**Figura 1.** Modo de deposição do zinco no eletrodo de cobre durante soldagem a ponto dos aços GI e GA.

Um dos métodos de avaliação da soldabilidade a pontos de aços é a determinação da vida útil dos eletrodos (número de pontos de solda sem necessidade de troca dos eletrodos). Para a avaliação da soldabilidade de materiais revestidos com Zn, a utilização desse método é fundamental, devido à formação de ligas Cu-Zn na ponta do eletrodo. Isso faz com que o tempo de vida útil do eletrodo, que pode chegar a mais de 20000 pontos em aços não revestidos, caia para menos de 2000 pontos em alguns tipos de aços galvanizados<sup>(2)</sup>.

Outro meio de estimar a soldabilidade a pontos de um material é determinando seu campo de soldabilidade, que é a faixa de corrente onde consegue-se obter lentes de solda de boa qualidade. Quanto mais largo for esse campo, melhor será a soldabilidade do material. Com o campo de soldabilidade, pode-se determinar também as correntes máxima ( $I_{max}$ ) e mínima ( $I_{min}$ ) necessárias para a obtenção de soldas aceitáveis. Durante a formação de um ponto de solda entre chapas galvanizadas o zinco se desloca radialmente da zona de solda, concentrando-se em torno dessa região<sup>(3)</sup>. Parte da corrente é conduzida pelo anel de zinco formado em torno do ponto de solda, deixando menos energia disponível para a fusão da lente. Como consequência, é necessário um maior aporte de corrente para permitir a fusão. Sabe-se que o acúmulo de material e, portanto, o desvio da corrente, aumenta com o aumento da espessura do revestimento<sup>(4)</sup>.

Este estudo realizou o levantamento das características de soldabilidade a pontos de aços GI e GA com massas diferentes de camada revestimento, de forma a se ter uma melhor compreensão de como se comportam esses materiais quando sujeitos ao processo de soldagem.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As amostras utilizadas neste estudo foram obtidas de bobinas de aço *intersticial free* (IF), com espessura na faixa de 0,70 mm a 0,80 mm, processadas na linha de galvanização a quente da Usiminas, com revestimentos dos tipos GI e GA, cujas massas das camadas de zinco são mostradas na Tabela 1. Para a caracterização das amostras, foram realizadas análise química dos substratos e dos revestimentos de zinco.

**Tabela 1.** Espessura do substrato, massa da camada de revestimento e identificação das amostras analisadas no estudo.

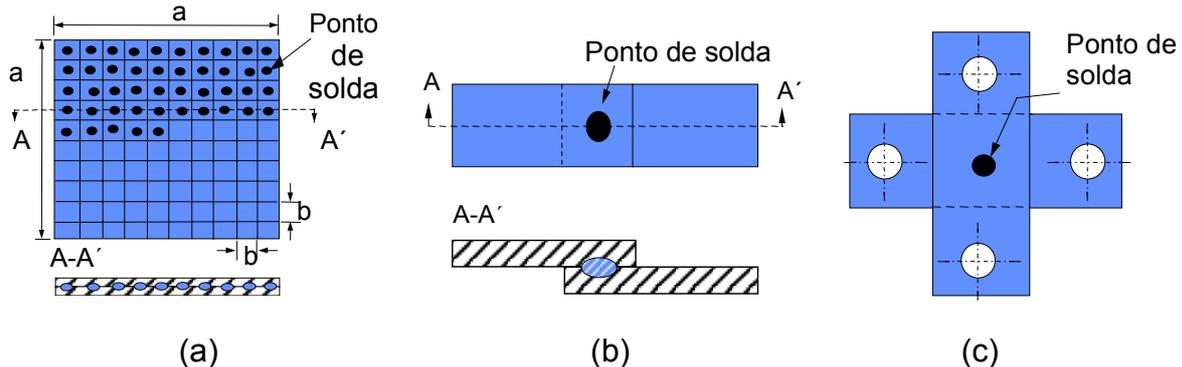
Tipo de aço	Identificação das amostras	Espessura do substrato (mm)	Massa nominal do revestimento ( $g/m^2$ )
Usigal GI	GI50	0,80	50/50
	GI80	0,74	80/80
Usigal GA	GA30	0,70	30/30
	GA60	0,70	60/60

Os parâmetros de soldagem utilizados foram pré-pressão de 30 ciclos; retenção de 14 ciclos; vazão de água de refrigeração de 7 l/min; força entre eletrodos de 2230 N. A máquina utilizada foi do tipo estacionária com eletrodos de Cu-Cr, de formato tronco-cônico, com ângulo de inclinação ( $\alpha$ ) de 120°.

Foram levantados campos de soldabilidade para tempos de soldagem de 5, 10 e 15 ciclos. A corrente variou desde um valor máximo ( $I_{max}$ ) correspondente ao limite de expulsão, até um valor mínimo ( $I_{min}$ ), para o qual o diâmetro mínimo da

lente foi de  $4\sqrt{e}$ , onde  $e$  é a espessura do material. Os demais parâmetros foram mantidos constantes.

Para determinação da vida útil dos eletrodos, foi feita a medição dos diâmetros dos eletrodos e da lente a cada 200 pontos. O diâmetro mínimo da lente de solda aceitável foi o mesma determinada para o levantamento do campo de soldabilidade ( $4\sqrt{e}$ ). A cada 200 pontos foram retiradas três amostras para testes de cisalhamento e tração cruzada pela norma JIS Z3136<sup>(5)</sup> e JIS Z3137<sup>(6)</sup>. A representação esquemática dos corpos de prova para os ensaios de vida útil e propriedades mecânicas pode ser vistos nas Figuras 2 (a), (b) e (c).



**Figura 2.** Representação esquemática dos corpos de prova utilizados nos testes de: (a) vida útil; (b) cisalhamento; (c) tração cruzada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos Materiais

Na Tabela 2 são mostrados os resultados da análise química do substrato dos aços.

**Tabela 2.** Composição química dos aços utilizados no estudo.

Amostra	Composição química (% p/p)						
	C	Mn	Si	P	S	Alsol	Ti+Nb
GI50	0,0031	0,12	0,007	0,012	0,0083	0,034	0,038
GI80	0,0033	0,11	0,012	0,011	0,0110	0,045	0,056
GA30	0,0022	0,13	0,005	0,011	0,0095	0,033	0,035
GA60	0,0027	0,11	0,011	0,011	0,0120	0,028	0,038

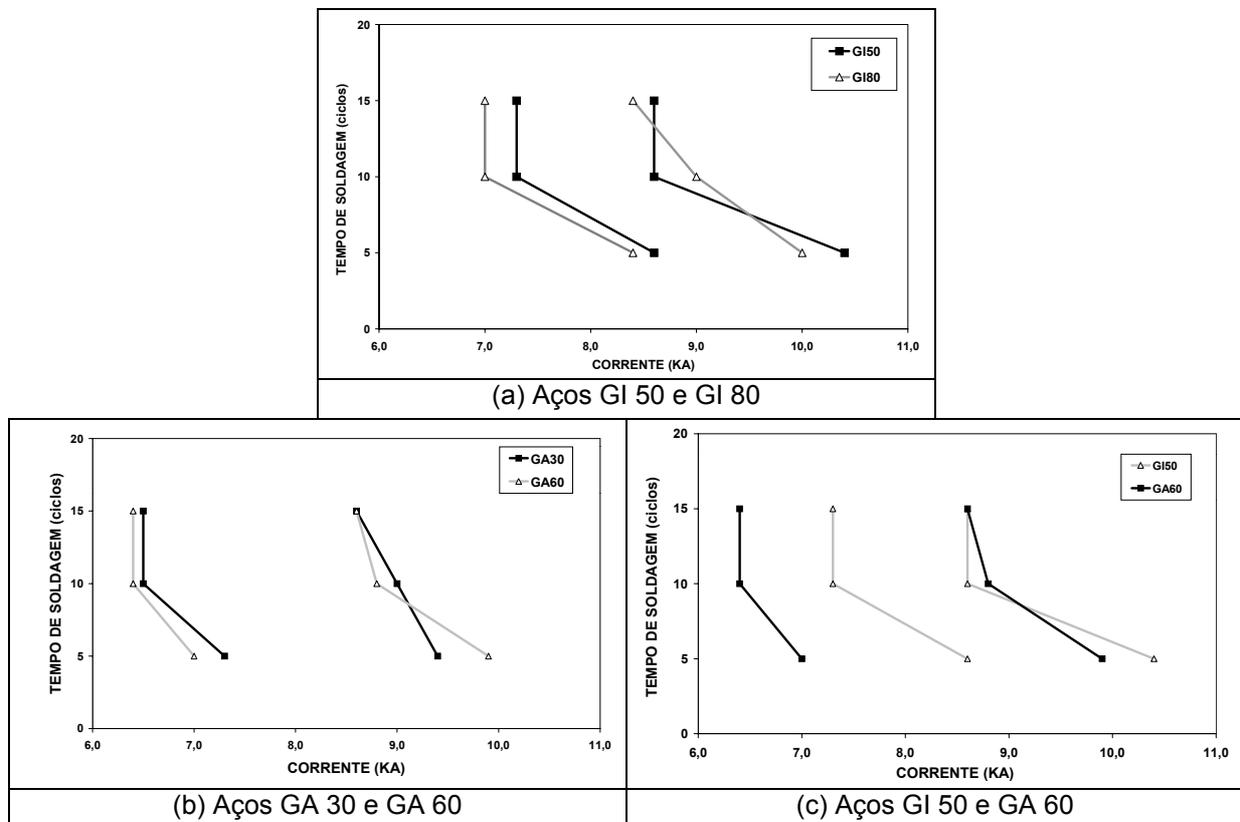
Na Tabela 3 observa-se os resultados obtidos na determinação da massa e da composição química da camada de revestimento dos aços. O mais alto teor de ferro nos revestimentos GA ocorre devido ao tratamento térmico realizado após a imersão do aço no pote de zinco, formando, assim, ligas ferro-zinco na camada de revestimento. Já o teor mais elevado de alumínio nos revestimentos GI tem como objetivo a formação de uma camada inibidora na interface ferro-zinco com intuito de evitar a formação de ligas entre esses elementos.

**Tabela 3.** Composição química e massa da camada de zinco dos aços utilizados.

Aço	Camada de zinco					
	Massa ( g/m <sup>2</sup> )	Composição química (% p/p)				
		Zn	Fe	Al	Si	Pb
GI50	49,56	98,2	0,26	0,401	< 0,002	0,024
GI80	79,06	96,3	0,26	0,418	< 0,002	0,015
GA30	31,09	86,5	10,45	0,256	< 0,004	0,045
GA60	59,11	88,5	8,42	0,261	< 0,002	0,017

### 3.2 Ensaio de Soldabilidade

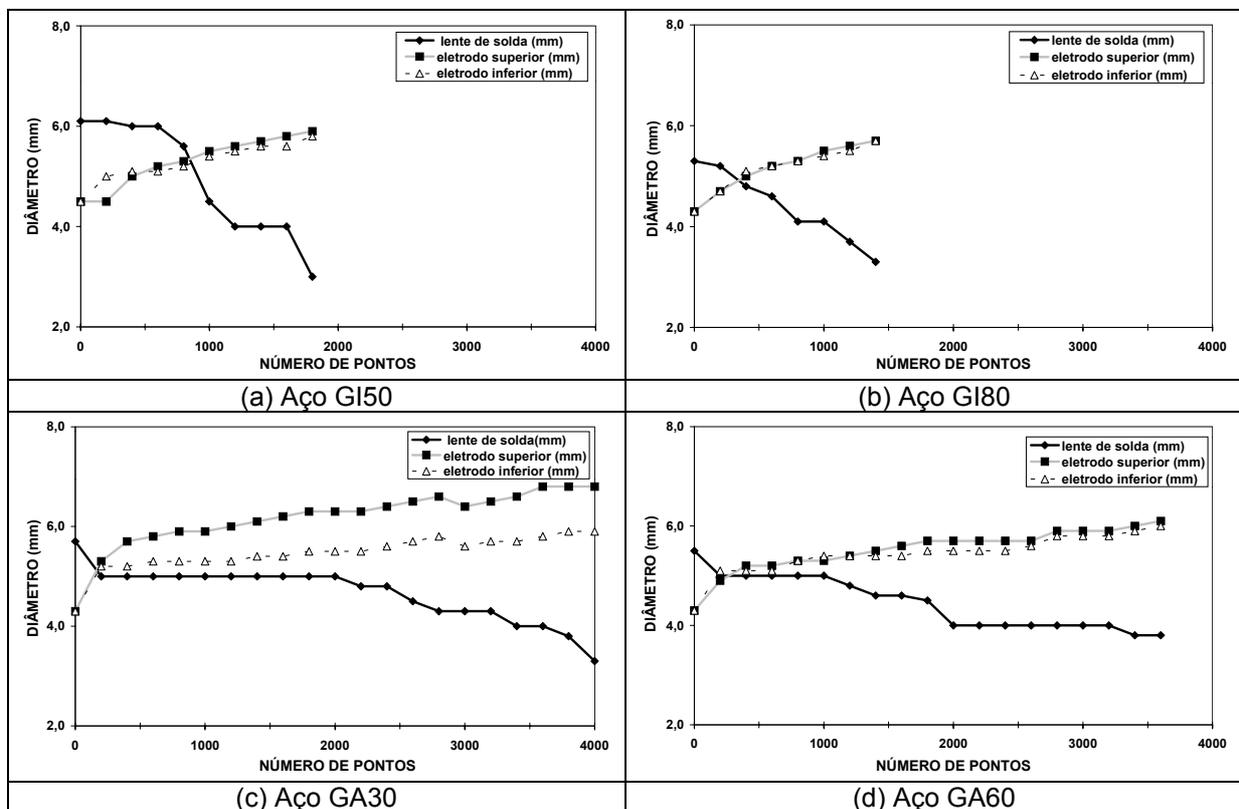
As Figuras 3(a) e (b) mostram para cada tipo de revestimento (GI e GA) a influência da massa da camada sobre o campo de soldabilidade. Observa-se pequena diferença de largura e posição dos campos de soldabilidade entre aços com mesmo tipo de revestimento. No caso dos aços GI, figura 3(a), não ocorreu o deslocamento do campo de soldabilidade, referenciado por Horita et al<sup>(7)</sup>, devido a formação do anel de zinco na periferia da lente de solda que faz com que ocorra maior desvio da corrente para revestimentos com maior quantidade de zinco. Já no caso dos aços GA, figura 3(b), esse pequeno deslocamento do campo é explicado possivelmente, pela não formação desse anel de zinco na periferia da lente de solda.



**Figura 3.** Comparação entre os campos de soldabilidade dos aços.

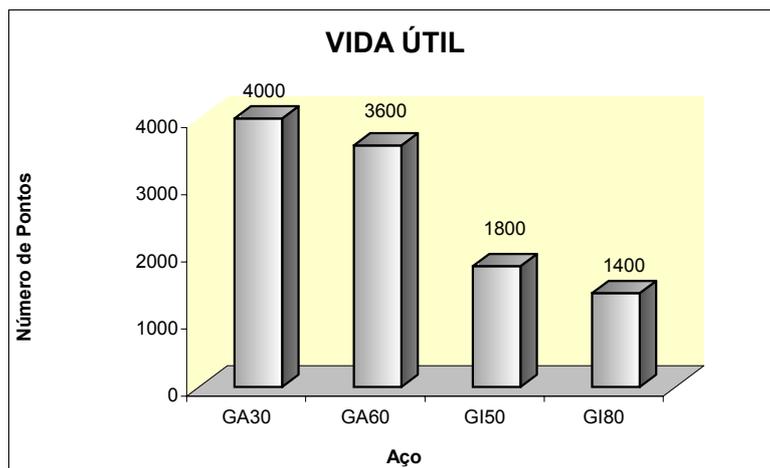
Na Figura 3(c), são comparados os campos de soldabilidade dos aços GI50 e GA60. Nota-se que o GA60 requer menores correntes, além de ter maior largura de campo. Essas características são também oriundas da não formação do anel de zinco na periferia da lente de solda.

As Figuras 4(a) a (d) mostram a variação do diâmetro da lente de solda e do diâmetro dos eletrodos ao longo do ensaio de vida útil. Nos aços GI, figuras 4(a) e 4(b), o desgaste dos eletrodos ocorre de forma contínua do início ao final da vida útil, devido à maior contaminação dos eletrodos pelo zinco do revestimento. Já nos aços GA, Figuras 4(c) e 4(d), os eletrodos sofrem um maior desgaste na fase inicial, até aproximadamente 600 pontos. Após isso, a difusão do Zn do revestimento para o Cu do eletrodo atinge uma taxa estável e o aumento do diâmetro do eletrodo se torna uniforme. O diâmetro da lente de solda em todos os casos, tende a diminuir com o aumento do número de pontos, devido ao aumento do diâmetro dos eletrodos. Esse aumento, que ocorre devido à difusão do zinco do revestimento para o cobre do eletrodo, resulta na diminuição da densidade de corrente, acarretando a diminuição da lente de solda.



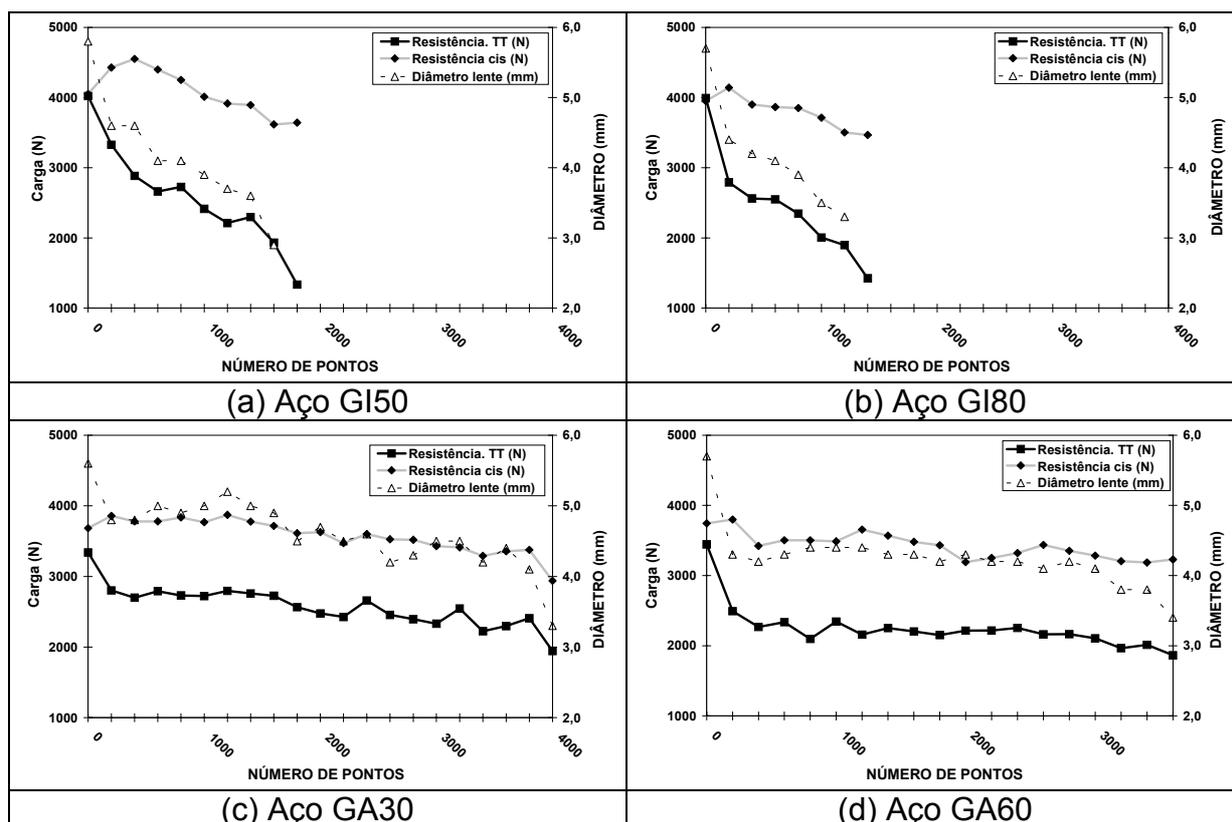
**Figura 4.** Resultados do ensaio de vida útil dos eletrodos, na soldagem dos aços.

Nos aços GI50 e GI80, a vida útil foi de 1800 e 1400 pontos de solda, respectivamente. Já os aços GA30 e GA60 proporcionaram vida útil de 4000 e 3600 pontos de solda, respectivamente. A Figura 5 mostra um gráfico comparativo da vida útil dos eletrodos destes aços. Os aços GA apresentaram maior vida útil graças à formação da liga ferro-zinco no revestimento, elevando o ponto de fusão do revestimento e diminuindo, assim, a deposição de zinco no eletrodo de cobre. Dessa forma, a deformação do eletrodo ocorre mais lentamente e, conseqüentemente, é possível soldar um maior número de pontos, comparativamente aos aços GI.



**Figura 5.** Vida útil dos eletrodos na soldagem dos diferentes aços GI e GA.

As Figuras 6(a) a (d) mostram a variação do diâmetro da lente, da resistência ao cisalhamento e da resistência em tração cruzada ao longo do ensaio de vida útil dos eletrodos. Nota-se, em todos os casos, que com o aumento do número de pontos a resistência mecânica tende a decrescer, acompanhando o decréscimo do diâmetro da lente, devido à contaminação do eletrodo, que provoca a diminuição da corrente de soldagem.



**Figura 6.** Variação do diâmetro de lente, da resistência ao cisalhamento (cis) e da resistência em tração cruzada (TT), ao longo do ensaio de vida útil, para os aços: (a) GI50; (b) GI80; (c) GA30 e (d) GA60.

O decréscimo da resistência em tração cruzada foi sempre bem mais acentuado do que o decréscimo da resistência ao cisalhamento, tendo em vista que

no teste de tração cruzada o entalhe age como um concentrador de tensões, devido ao ângulo de entalhe. Conforme diminui o diâmetro da lente, o ângulo de entalhe também diminui, aumentando conseqüentemente a concentração de tensões e provocando uma diminuição da resistência à tração cruzada. Os aços GA se comportam melhor que os aços GI em testes de tração cruzada ao longo da vida útil, o que ocorre devido à diminuição do tamanho da lente de solda nesses últimos, em razão da maior contaminação sofrida pelo eletrodo. Na Figura 6 pode-se perceber que, após 1400 pontos de solda (que é o máximo número de pontos obtido pelo aço GI80), as cargas de ruptura dos aços GA são maiores que a dos aços GI.

A resistência ao cisalhamento é função, principalmente, da resistência mecânica do material, não sendo influenciada pelo ângulo do entalhe. Graças a isso não ocorre uma variação muito grande desse parâmetro com o aumento do número de pontos.

#### **4 CONCLUSÕES**

Os resultados mostraram que os aços GA apresentaram uma melhor soldabilidade, tanto no aspecto da vida útil do eletrodo como em relação ao campo de soldabilidade. O aumento da espessura das camadas de revestimento não influenciou significativamente o deslocamento e a largura do campo de soldabilidade, porém diminuiu a vida útil dos eletrodos. Os aços GI tiveram mais rápida diminuição da carga máxima durante o teste de tração cruzada devido à maior contaminação que os eletrodos sofrem ao soldarem esses aços. Já a resistência ao cisalhamento não teve grande influência do tipo de revestimento, tendo em vista que para esse teste, a resistência mecânica do substrato é a principal variável.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1 OLIVEIRA, C.R. Caracterização microestrutural de revestimentos em aços galvanizados a quente. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, 1999.
- 2 MATAIGNE, J.; DRILLET, P.; PRAT, J.; MAREUSE, D.; TERREAUX, P.; GUTTMANN, M. Proc. Galvatech 95, Chicago, USA., 17-21 September 1995, p 589-597.
- 3 GEDEON, S. A.; EAGAR, T. W. Resistance spot Welding of galvanized steel: Part II. Mechanism of spot weld nugget formation. Metallurgical Transactions B, v. 17B, n. 4, 1986, p. 887-901
- 4 HOWE, P.; KELLEY, S. C. Coating weight effect on the resistance spot weldability of electrogalvanized sheet steels. Welding Journal – Research Supplement, December 1988, p. 271s – 280.
- 5 JIS – Z3136. Method of tension shear test for spot welded joint. Japanese Standards Association, 1990.
- 6 JIS – Z3137. Method of tension test for spot welded joint. Japanese Standards Association, 1990.
- 7 HORITA, T.; OKA, M.; KANAMRU, T.; YAMAZAKI, K.; FUJIWARA, T. Study of nugget formation in spot welding of galvanized steel sheet. Welding International, v. 10, n. 446, 1996, p. 937-942.

# SPOT WELDABILITY EVALUATION OF IF-GI AND IF-GA STEELS WITH DIFFERENT COATING THICKNESS<sup>(1)</sup>

Ramsés Ferreira da Silva<sup>(2)</sup>  
Carlos Salaroli de Araújo<sup>(3)</sup>  
Sérgio Luiz Vieira<sup>(4)</sup>

## Abstract

Zinc coated steels have increasingly been used by the automotive industry due to their high resistance to atmospheric corrosion. However the spot weldability of these steels is not so good as of the non coated steels. The high thermal conductivity and low melting temperature of the coating results in the deposition of zinc on the electrode tip reducing the electrode life. Spot weldability of GI and GA coated IF steels was evaluated in terms of electrode life, weldability lobe and mechanical properties of the weld. GA steels showed better spot weldability than GI in terms of electrode life and weldability lobe. The increase in coating weight increased the contamination of the electrodes with zinc for both GI and GA coatings resulting in poor quality spot welds. Shear resistance of the welds was the same for both type of coatings being influenced by the mechanical properties of the steels. GA coated steels showed better results in tensile cross test due to the larger size of the nuggets.

**Key-words:** Spot welding; Coated steels; Electrodes life.

(1) *Technical Contribution to the 60<sup>th</sup> ABM Annual Congress – Belo Horizonte, MG, Brazil, 25-28 July/2005.*

(2) *ABM Member; Metallurgical Engineer, Research and Development Center of Usiminas, Ipatinga, MG, Brazil.*

(3) *ABM Member; Metallurgical Engineer, M. Sc., Research and Development Center of Usiminas, Ipatinga, MG, Brazil.*

(4) *ABM Member; Metallurgical Technician, Research and Development Center of Usiminas, Ipatinga, MG, Brazil.*