

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS COM REVESTIMENTO DE LIGA Fe-Zn  
("GALVANNEALED") NA CSN(1)

Ricardo de Mello Brito	(2)
José Eduardo Ribeiro de Carvalho	(3)
Rogério Itaborahy Tavares	(4)
João José de Moraes	(5)
Almir Maia	(6)
Rosa Maria A. S. Ferreira	(7)
Célio de Jesus Marcelo	(8)

RESUMO

As chapas com revestimento de liga Fe-Zn "Galvannealed" produzidas pelo processo de zincagem por imersão a quente estão, nos países desenvolvidos, passando a ser largamente empregadas em painéis expostos e não expostos na indústria automotiva.

São apresentadas as características e vantagens deste material, bem como os resultados obtidos na produção dos primeiros lotes experimentais de "galvannealed" na CSN. São também avaliadas as características de qualidade dos materiais experimentais obtidos no que se refere a aspecto superficial, conformabilidade, soldabilidade e facilidade de pintura.

- (1) Trabalho a ser apresentado no I Seminário sobre Chapas Metálicas para Indústria Automobilística - ABM - Setembro - 1992.
- (2) Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, M.Sc.; D.Sc.; Consultor Tecnológico do Centro de Pesquisas da CSN.
- (3) Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, M.Sc.; Pesquisador do Centro de Pesquisas da CSN.
- (4) Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, M.Sc.; Assessor Técnico do Centro de Pesquisas da CSN.
- (5) Técnico em Química, Técnico de Pesquisas do Centro de Pesquisas da CSN.
- (6) Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, Eng<sup>o</sup> de Desenvolvimento de Processo da Área de Zincagem da CSN.
- (7) Eng<sup>a</sup> Química, Pesquisadora do Centro de Pesquisas da CSN.
- (8) Técnico Mecânico - Técnico de Pesquisas do Centro de Pesquisas da CSN

## 1. INTRODUÇÃO

Chapas revestidas com liga Zn-Fe ou "galvannealed", como são geralmente denominadas na literatura, são materiais zincados pelo processo de imersão a quente, que sofrem na própria linha de zincagem um tratamento térmico adicional. Este tratamento é feito logo após ao pote de zinco líquido e transforma o revestimento em diferentes fases do sistema Zn-Fe.

As principais vantagens dos aços "galvannealed" são a sua facilidade de pintura e as suas boas características de soldabilidade [1-2], aliadas a um excelente aspecto superficial e as mesmas características de resistência à corrosão atmosférica das chapas zincadas convencionais.

Isto faz com que este tipo de produto seja especialmente indicado para aplicações críticas como as da indústria automotiva e as do setor de eletro-domésticos. Dados recentes do Japão [4] indicam que lá praticamente 100% dos materiais zincados por imersão a quente fornecidos para a indústria automobilística são do tipo "galvannealed". O próprio processo de retomada de utilização de materiais zincados por imersão a quente, em substituição ao emprego de chapas eletro-zincadas, verificado em vários fabricantes de automóveis japoneses é atribuído ao bom desempenho dos aços "galvannealed".

Na Europa e nos Estados Unidos a mesma tendência já está ocorrendo, havendo a previsão de instalação ou reforma de diversas novas linhas de zincagem contínua por imersão a quente, a maioria delas voltadas para o atendimento a indústria automobilística e com capacidade para produção de aços "galvannealed".

A CSN, única fabricante no Brasil de chapas zincada por processo contínuo de imersão a quente, ao verificar a importância do produto "galvannealed" nos mercados do primeiro mundo, e consciente das necessidades do mercado nacional no que se refere a melhoria de qualidade e aumento de competitividade, deu início a um programa de modernização de suas linhas de zincagem contínua, que inclui a produção de aços "galvannealed".

No presente trabalho são apresentados uma revisão bibliográfica acerca das características dos aços "galvannealed" e os principais resultados obtidos nos primeiros lotes experimentais já produzidos em escala industrial.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Estrutura da Camada do Revestimento "GALVANNEALED"

As camadas de liga Fe-Zn que se desenvolvem durante o processo de "GALVANNEALING" podem incluir, segundo Smith e Batz [1], as fases GAMA ( $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ ), DELTA ( $\text{FeZn}_7$ ) e ZETA ( $\text{FeZn}_{13}$ ); sendo que em geral, as fases com menor teor de Fe, formam-se primeiro. A extremidade rica em zinco do diagrama binário Fe-Zn (Figura 1), mostra que a fase zeta (5,75 a 6,25% Fe), que predomina em baixas temperaturas de "GALVANNEALING", é instável acima da temperatura peritética de 530°C. Acima desta temperatura, o desenvolvimento da camada de liga está associado a formação da fase DELTA (7 a 11% Fe).

A fase GAMA (20 a 27% Fe) que se forma junto à interface aço-revestimento, não é significativamente afetada pela temperatura de "GALVANNEALING" [2], sendo estável na faixa de temperatura normalmente utilizada (500 a 600°C) e se apresenta sempre muito fina. A

Figura 2 [3] apresenta as microestruturas típicas do revestimento totalmente ligado, onde pode-se observar as fases anteriormente citadas.

## 2.2 - Características de Qualidade dos Materiais "Galvannealed"

### 2.2.1 - Conformabilidade

As características de conformabilidade das chapas zincadas "Galvannealed" devem ser observadas sob 2 aspectos, a capacidade de conformação do aço base e a ductilidade do revestimento.

Quanto ao primeiro aspecto, dependendo da composição química e das condições de processamento utilizadas, pode-se obter uma vasta gama de propriedades mecânicas para chapas zincadas por imersão a quente, como o demonstrado pelos dados da Tabela 1. Particular destaque deve ser dado à utilização de aços do tipo "interstitial-free", que possibilitou à produção de materiais de qualidade estampagem extra-profunda inclusive para peças críticas. (5)

No que se refere à ductilidade do revestimento, os materiais "galvannealed" apresentam genericamente um nível de fragilidade proporcional ao teor de Fe do revestimento ou a relação entre as frações volumétricas das fases DELTA (mais frágil) e ZETA (mais dúctil). (2)

O ensaio usualmente empregado para a avaliação da ductilidade/fragilidade do revestimento "galvannealed" é o teste de "powder-ring", que consiste em submeter o material a um dobramento a 60° ou 90° e avaliar o aspecto da região submetida à compressão. (5)

De acordo com o modelo proposto por Goggins e Marder (6) na região de compressão de um corpo de prova submetido a dobramento desenvolve-se microtrincas em planos oblíquos a superfície do material levando a formação de partículas em forma de cunha, que se desprendem do revestimento (Figura 3).

Elevados índices de "powdering" podem comprometer o desempenho dos materiais "galvannealed" nas operações de conformação e função da necessidade de frequentes paradas para limpeza do ferramental.

O nível de "powdering" é influenciado por diversos parâmetros operacionais dentre os quais se destacam a rugosidade da bobina laminada a frio, o teor de Al do banho de zinco, a espessura do revestimento, a temperatura e o tempo do tratamento de "galvannealing". O adequado controle dessas variáveis permite a produção de materiais compatíveis com todas as aplicações existentes na indústria automotiva.

### 2.2.2 - Soldabilidade

Na soldagem de chapas de aço, principalmente destinadas à indústria automobilística, o principal processo utilizado é a soldagem por resistência elétrica a ponto. No caso de chapas de aço revestida com zinco, algumas dificuldades têm que serem vencidas para obtenção de soldas de qualidade. Durante a formação de uma solda numa chapa de aço revestida com zinco puro, o zinco presente na interface chapa/chapa funde-se, e é radialmente expulso da zona de solda, para formar um anel de zinco no entorno da solda. Parte do fluxo de corrente empregado na soldagem passa então nesta re-

gião o que provoca um menor aproveitamento da corrente na formação da lente de solda. O resultado deste desvio, é que maiores valores de corrente, são necessários para produção de soldas a ponto em chapa revestida com zinco puro. Outro mecanismo que deve ser considerado neste caso, é a fusão do revestimento na interface eletrodo/superfície da chapa. Este zinco fundido reage com o cobre da face do eletrodo para formar uma fina camada de latão. Além disto parte do zinco é oxidado e depositado nas faces do eletrodo. A medida que vão sendo realizados os pontos de solda, sob uma corrente constante, as faces dos eletrodos se deterioram, aumentando o diâmetro da face de contato, o que conseqüentemente, reduz a densidade de corrente no ponto onde a lente de solda é formada.

Do ponto de vista da soldagem a ponto, pode-se dizer então, que para as chapas zincadas convencionais são necessárias correntes mais elevadas, ocorre também um estreitamento na faixa de corrente de soldagem e uma diminuição na vida útil dos eletrodos.

Com relação a soldabilidade do "galvannealed", os resultados obtidos, indicam um desempenho deste produto muito superior às chapas zincadas convencionais. As micro-trincas uniformemente distribuídas na superfície do revestimento de liga Fe-Zn, tendem a inibir o desvio do fluxo de corrente, devido a natureza descontínua deste revestimento. Além disso, as ligas Fe-Zn apresentam valores de ponto de fusão e dureza mais altos do que o zinco puro, o que proporciona um aumento na vida útil dos eletrodos.

Pode-se verificar na prática que, na soldagem de chapas zincadas são necessárias correntes de solda mais elevadas do que as requeridas pelo "galvannealed" (com mesma camada de revestimento),

para produzir a mesma lente de solda.

Estes resultados comparativos possuem um significado prático importante, visto que a qualidade das soldas produzidas pelo processo de resistência elétrica a ponto é internacionalmente medida pelo diâmetro das lentes, e quanto menor for a corrente necessária para produzir uma lente de boa qualidade, maior será a soldabilidade do material em questão. Pode-se constatar também que a chapa zincada apresenta falha após aproximadamente 3000 pontos, enquanto que as soldas no "galvannealed", apresentam menor variação dos diâmetros das lentes com o aumento do número de soldas, permanecendo dentro da faixa aceitável até aproximadamente 7000 pontos.

### 2.2.3 - Aderência de pintura

Além da melhor soldabilidade a outra característica de qualidade que distingue os aços "galvannealed" das chapas zincadas convencionais é a aderência de pintura. É bem conhecida a maior dificuldade de se obter boas condições de aderência de pintura em materiais zincados por imersão a quente ou eletrolíticos, mesmo para os processos de pintura empregados pela indústria automobilística.

No caso das chapas "galvannealed" a formação da camada de ligas Fe-Zn produz uma superfície de coloração cinza- fosca caracterizada pela presença de grande quantidade de micro-trincas, emprestando ao material um aspecto "poroso". Esta superfície se apresenta como um substrato bastante adequado à ancoragem das diferentes camadas do sistema de pintura (fosfatização/primer catódico/ esmalte). Ela é também quimicamente menos ativa do que a

superfície de zinco puro facilitando o tratamento de passivação.

A combinação revestimento orgânico (pintura) mais superfície de liga Fe-Zn produz um efeito sinérgico altamente favorável possibilitando o emprego de baixos pesos de revestimento de zinco sem comprometimento do desempenho quanto à resistência à corrosão atmosférica do sistema galvanized + pintura.

### 3 - PRODUÇÃO DE "GALVANNEALED" NA CSN

O desenvolvimento dos aços "galvanized" em escala industrial está sendo executado em 4 etapas como indicado na tabela 2.

Na Etapa 1, já concluída, foram estabelecidas as condições básicas de fabricação do produto "galvanized", tendo sido produzidos 3 lotes experimentais envolvendo cerca de 600t de material. Foram testadas diversas dimensões e especificações de propriedades mecânicas conforme indicado na tabela 3.

No que se refere a propriedades mecânicas o tratamento de "galvanizing" não introduziu alterações significativas, sendo os resultados obtidos (tabela 4) totalmente similares aos das chapas zincadas convencionais.

Na tabela 5 são apresentados os resultados de índice de "powdering" obtidos na Etapa 1 de acordo com a classificação proposta pela NSC [10]. Segundo este critério os materiais são classificados de 1 a 4 de acordo com o grau de fragilização observado no teste de "powdering". Valores até 2 são considerados como aceitáveis para materiais destinados a estampagem.

Nas Figura 4(a,b,c e d) são apresentados os resultados de perfil de peso de revestimento e de teor médio de Fe obtidos para as bobinas 1 e 2 da tabela 5. Pode-se notar que o índice de "powdering" está associado ao teor de Fe médio do revestimento.

Os resultados de desempenho em clientes dos materiais experimentais produzidos nesta etapa confirmaram as boas características de soldabilidade e de aderência de pintura características dos materiais galvanealed (vide item 4). Foi também confirmado que para operações de estampagens os valores de índices de "powdering" devem ser inferiores a 2, sendo esta a principal característica de qualidade a ser melhorada pela CSN.

A etapa II do desenvolvimento do "galvanealed", já iniciada e com previsão de término em Dez/92, compreende exatamente o aprimoramento das práticas operacionais no sentido de se obter um processo estatisticamente capaz de produzir bobinas "galvanealed" com índice de "powdering" inferior a 2. Com isso objetiva-se chegar ao final de 1992 com capacidade de fornecer materiais para todos os usos em peças não expostas que sejam compatíveis com o aço base atualmente utilizado (especificação ZEE-PC).

Os resultados já obtidos nesta Etapa demonstraram uma significativa melhoria nos valores de "powdering" quando comparadas com os da Etapa I. Como pode ser visto na tabela 6, foi possível obter materiais com índice de "powdering" igual a 1 associados a teores de Fe na faixa de 9 a 13%, considerada como a ideal para o "galvanealed"

A Etapa III prevista para o início de 1993 compreende a utilização de aços do tipo "interstitial-free" para a produção

de materiais "galvannealed" de qualidade estampagem extra-profunda, inclusive para peças de conformabilidade crítica. Como a Aciaria da CSN ainda não está capacitada a produzir estes materiais, nesta Etapa serão utilizadas placas e/ou bobinas de processo adquiridas de outros fornecedores.

A Etapa IV de desenvolvimento refere-se ao atingimento da qualidade "classe mundial" para o produto "galvannealed", tornando possível a sua utilização para peças expostas com elevados requisitos de qualidade superficial. Esta Etapa será viabilizada pela implementação do Plano de Modernização da LZC-2, já iniciado, e que incorporará a este equipamento os principais avanços tecnológicos recentemente desenvolvidos para o processo de zincagem por imersão a quente.

#### 4 - AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE PINTABILIDADE E SOLDABILIDADE DO "GALVANNEALED" PRODUZIDO NA CSN

##### 4.1 - Pintabilidade

Numa avaliação comparativa de pintabilidade, o "galvannealed" revelou um desempenho significativamente superior às chpas zincadas por imersão e eletrolítica.

A avaliação foi realizada a partir de resultados obtidos nos testes de "SCAB CORROSION" e ADERÊNCIA ÚMIDA, que são normalmente empregados pela indústria automobilística.

A Figura 5 apresenta os resultados de avanços de corrosão máximos e médios para os 3 materiais, verificados após o teste de "SCAB CORROSION". Pela figura fica claramente evidenciado o melhor desempenho do "galvannealed". A Figura 7, ilustra os

resultados obtidos, de avanço de corrosão, apresentados na Figura 5, onde pode-se observar o desempenho dos 3 materiais após o teste

Na Figura 6, são apresentados os resultados obtidos no ensaio de aderência úmida (imersão total em água destilada à  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 120 horas). Pela figura pode-se observar uma significativa diferença nas percentagens de destacamento de tinta entre os materiais, após o teste, sendo também verificado neste ensaio, o melhor desempenho do "galvannealed" (GA). Este melhor desempenho, foi também verificado, antes do ensaio.

A Figura 8, ilustra e ratifica os resultados de aderência úmida, obtidos com a grade 2mm, já apresentados na Figura 6.

#### 4.2 - Soldabilidade

A soldabilidade do "galvannealed" foi avaliada comparativamente, tomando-se como base dois parâmetros de medida da soldabilidade por resistência elétrica a ponto, ou seja, as faixas de corrente de soldagem com as quais se pode obter soldas aceitáveis e a vida útil dos eletrodos. O primeiro foi avaliado através do levantamento do gráfico corrente de soldagem X diâmetro da lente de solda (Figura 9) [9]. Pela análise da Figura 9, pode-se verificar que os valores de corrente requeridos para produzir soldas aceitáveis no material galvannealed são significativamente inferiores aos necessários à chapas zincadas convencionais, com mesma espessura do substrato e mesmo peso de revestimento, ou seja, utilizando as mesmas condições de soldagem (Força de soldagem e diâmetro do eletrodo) uma corrente de

soldagem de aproximadamente 6,3kA, foi suficiente para se obter uma solda aceitável na soldagem do "galvannealed", enquanto que a corrente mínima necessária para soldagem da chapa zincada convencional foi de 7,6kA.

A vida útil dos eletrodos, na soldagem do "galvannealed" foi avaliada comparativamente às chapas zincadas convencionais. Esta avaliação foi realizada com base na variação verificada no diâmetro das lentes de solda em função do número de soldas realizadas pelo mesmo par de eletrodos, (Figura 10) [10]. Nesta figura pode-se verificar que com as chapas zincadas, foi possível realizar no máximo 3.200 pontos com o mesmo par de eletrodos, a partir daí não se conseguiu mais produzir lentes de solda aceitáveis. Entretanto na soldagem do "galvannealed" se atingiu até 6.500 pontos com soldas aceitáveis, com o mesmo par de eletrodos.

## 5 - CONCLUSÕES

- (1) As chapas zincadas por imersão a quente com revestimento de liga Fe-Zn apresentam características de soldabilidade e de aderência de pintura significativamente superiores às dos materiais convencionais produzidos pelos processos imersão a quente e eletrolítico.
- (2) Através do controle das variáveis de processo é possível obter-se um "galvannealed" com características de conformabilidade do revestimento (índice de "powdering") adequadas à fabricação de peças pelo processo de estampagem.
- (3) O tratamento de "galvannealing" não provoca alterações nas características mecânicas do aço base. Os produtos "galvannealed" podem portanto ser fornecidos nas diferentes especificações de propriedades mecânicas atualmente disponíveis para as chapas zincadas convencionais.
- (4) As características de qualidade dos materiais "galvannealed" o tornam um produto especialmente indicado para as aplicações da indústria automotiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - SMITH, H. & BATZ, W. Iron-Zinc Alloy Formating During Galvannealing. Journal of the Iron and Steel Institute, December 1972, p.895-900.
- [2] - LUCAS, P.L. et alii. Effects of Alloying Parameters on Formability of Galvannealed Sheets. Proceedings of the International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel (GALVAIECH), 1989, Tokyo, The Iron and Steel Institute of Japan.
- [3] - KILPATRICK, J.R. A New Etching Technique for Galvanneal and Hot-Dipped Galvanized Coatings, Practical Metallography, Volume XXVIII, December 1991. p. 649-658.
- [4] - BRITO, R.M. et alii, Relatório de Visita Técnica Missão Zincagem, Dez/90
- [5] - WARNECKE, W. & MUSCHENBORN, W. Formability Aspects of Galvannealed Steel Sheet, Thyssen Stahl AG, Duisburg.
- [6] - GOGGINS, K.M. & MARDER, A.R. Crack Initiation and Propagation in Hot Dip Galvannealed Steel Sheet During Bendin. Lehigh University (USA).

[7] - BRITO, R.M. et alii, Relatório Interno SGPD nº 064/92.

[8] - BRITO, R.M. et alii, Relatório Interno SGPD nº 071/92.

[9] - CARVALHO, J.E.R; AZAMBUJA, S.; BARCELLOS, E.J. Avaliação Comparativa da Soldabilidade do "Galvannealed", Chapas zincadas e Chapas finas a frio, pelo processo de resistência Elétrica a ponto. Trabalho apresentado na XV SETEC-CSN-- Setembro, 1992.

[10]- "KNOW-HOW DOCUMENT FOR CONTINUOUS GALVANIZING LINE" - NIPPON STEEL CORPORATION - NSC AUGUST, 1980.

Tabela 1 - Características Mecânicas do "Galvannealed"

GRAU	LE(kgf/mm <sup>2</sup> )	LR(kgf/mm <sup>2</sup> )	AL(%)	R	n
EP	25,6	35,1	42,7	-----	-----
EEP	17,2	32,5	46,0	1,77	0,24
EEP-PC	16,0	30,6	47,8	1,94	0,24

Tabela 2 - Etapas de Desenvolvimento em Escala Industrial

ETAPA:	DESCRIÇÃO	SITUAÇÃO
I	. Testes Iniciais	Concluída
II	. Controle do nível de "powdering"	Em andamento
III	. Utilização de aços "IF"	1 <sup>o</sup> trim/93
IV	. Novas tecnologias na LZC-2	2 <sup>o</sup> sem/93

Tabela 3 - Dimensões e especificações produzidas na Etapa 1.

Espessura (mm)	0,65 a 1,55mm
Largura (mm)	770 a 1420mm
Peso de revestimento (g/m <sup>2</sup> /face)	60 a 120
Especificações	ZC, ZE, ZEE, ZEE-PC, ZAR 280

Tabela 4 - Valores típicos de propriedades mecânicas obtidas na Etapa 1.

ESPECIFICAÇÃO	ESP(mm)	LE(MPa)	LR(MPa)	AL%	r	Emb(mm)
ZAR 280	0,95	362	419	28,0	-	---
ZE	0,75	285	370	31,0	-	10,15
ZEE	1,25	255	348	41,0	1,0	11,72
ZEE-PC	0,95	183	297	45,0	1,4	10,80

Tabela 5 - Resultados de Powdering - Etapa I

BOBINA	FACE	POSICÃO NA LARGURA		
		BORDA	CENTRO	BORDA
1	SUP	3	3	3
	INF	3	3	3
2	SUP	1	1	1
	INF	1	1	1
3	SUP	3	2	2
	INF	2	2	2

Tabela 6 - Resultados de materiais experimentais da Etapa II

BOBINA	FACE	PESO DE REV. g/m <sup>2</sup> /Face	TEOR DE Fe ( % )	"POWDERING"
1	SUP	56	12	1
	INF	52	13	1
2	SUP	58	11	1
	INF	54	12	1
3	SUP	53	9	1
	INF	61	10	1

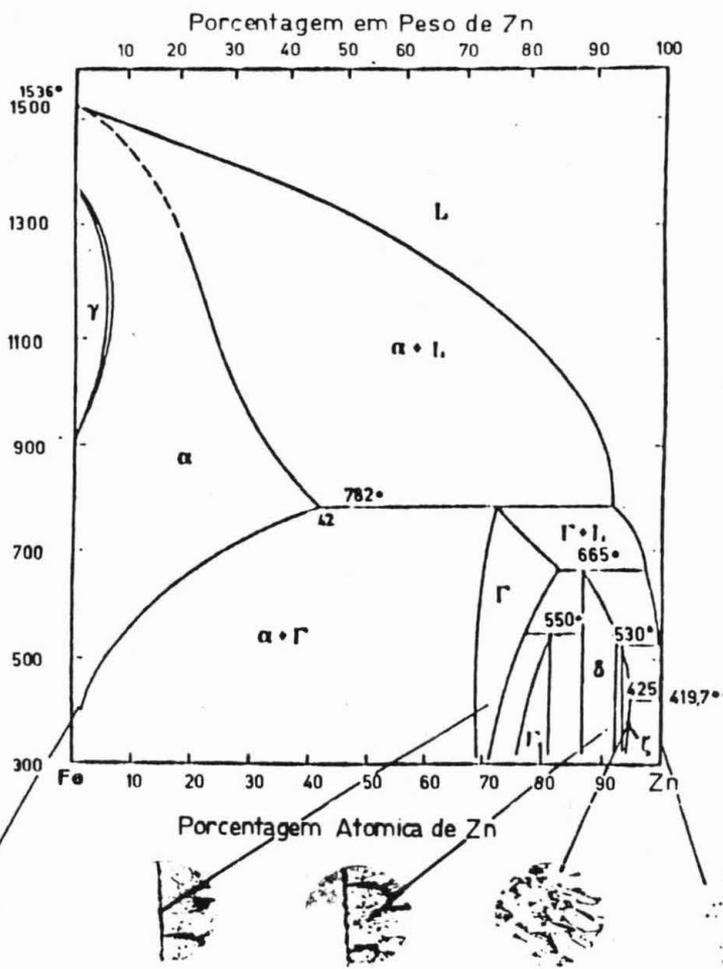


Figura 1 - Diagrama de equilíbrio de fase do sistema Fe-Zn.

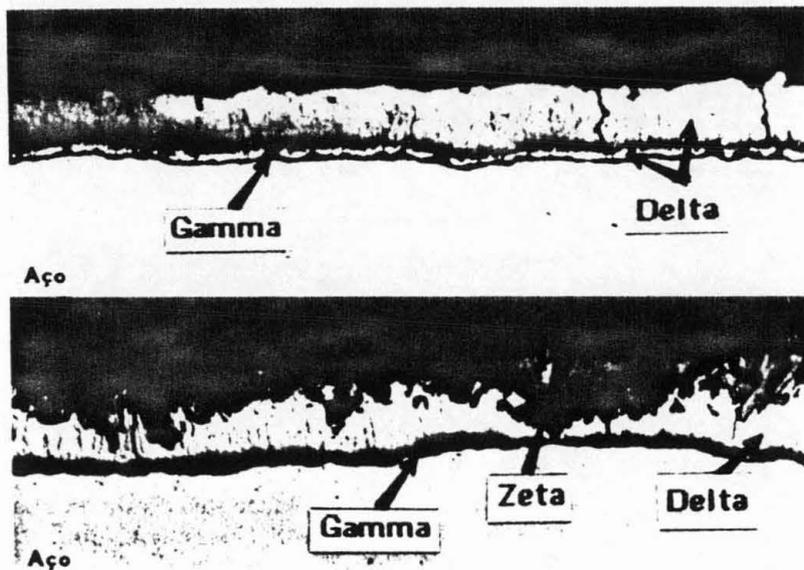


Figura 2 - Microestruturas típicas do revestimento "Galvannealed" [3]

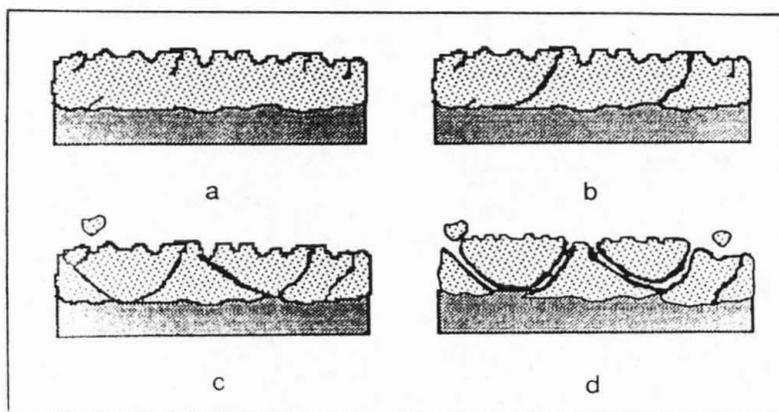


Figura 3 - Ilustração esquemática da falha do revestimento-Sob tensões de compressão [5]

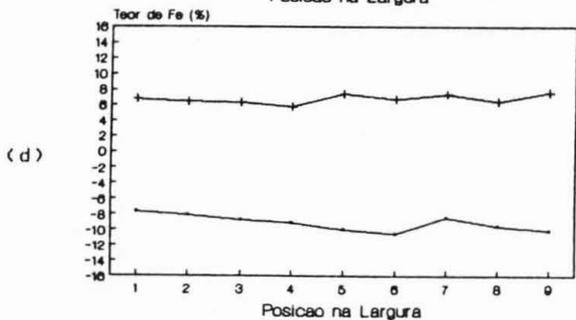
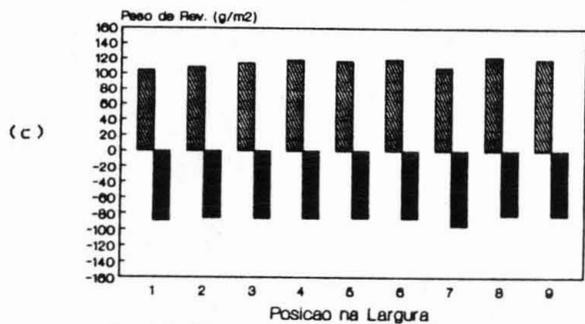
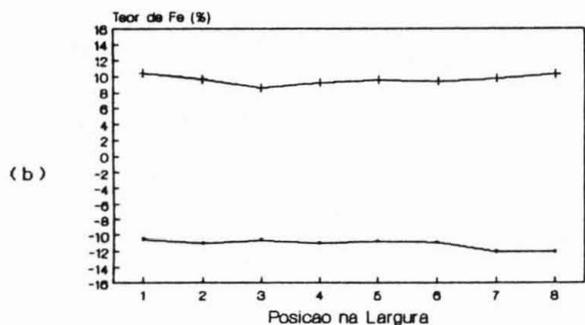
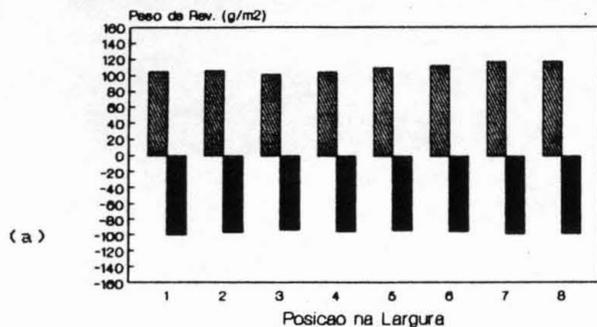


Figura 4 - Perfil de Revestimento e teor de Fe do "Galvannealed"-  
 ETAPA 1  
 a e b - BOBINA 1  
 c e d - BOBINA 2

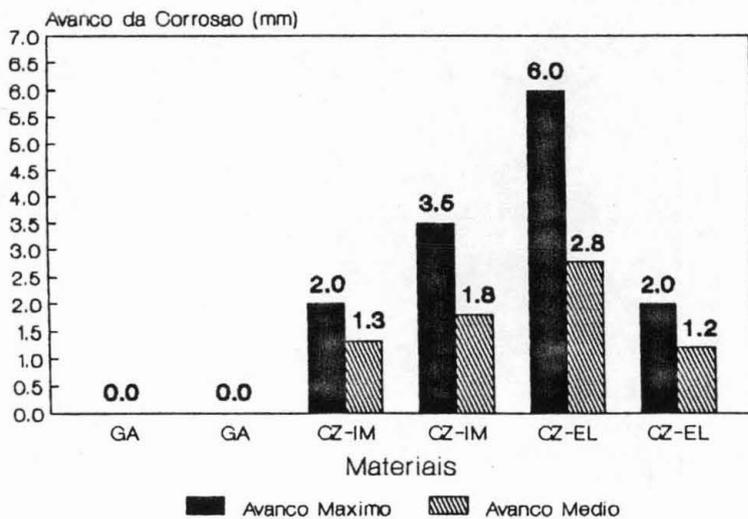


Figura 5 - Avaliação comparativa dos materiais "Galvannealed" (GA), CZ-Imersão (CZ-IM) e Eletrolítica (CZ-EL) [7]

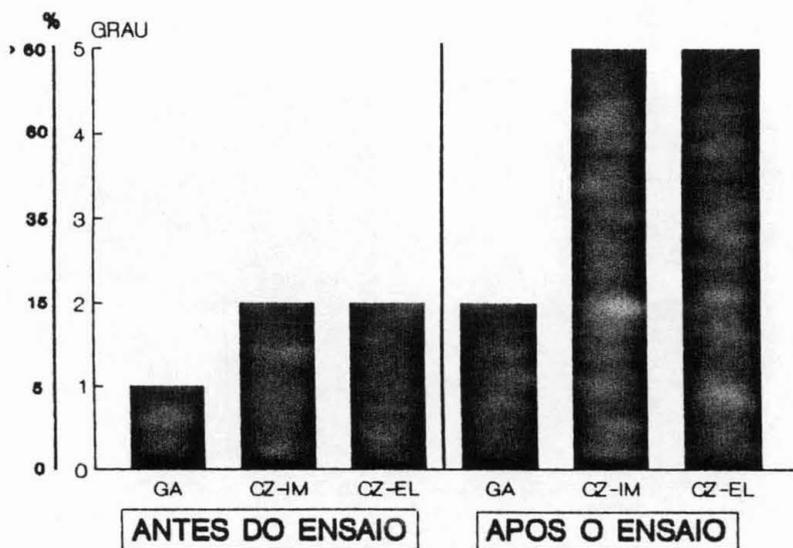
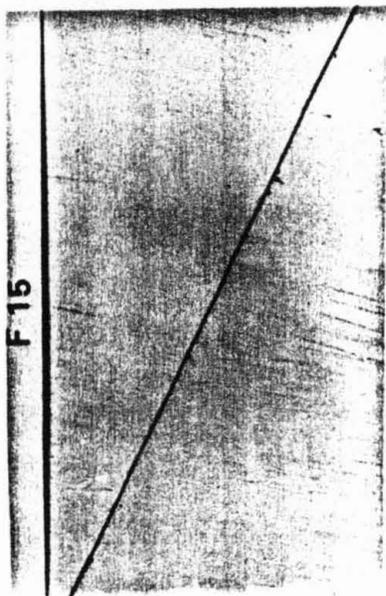
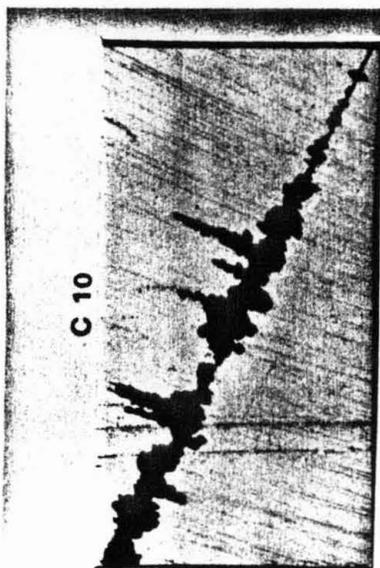


Figura 6 - Resultados de aderência (grade 2.0mm) [8]



(a)

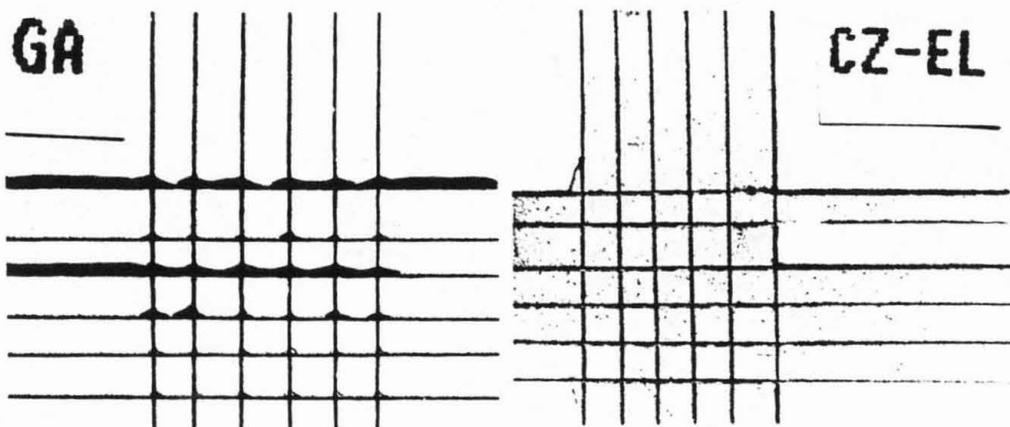


(b)



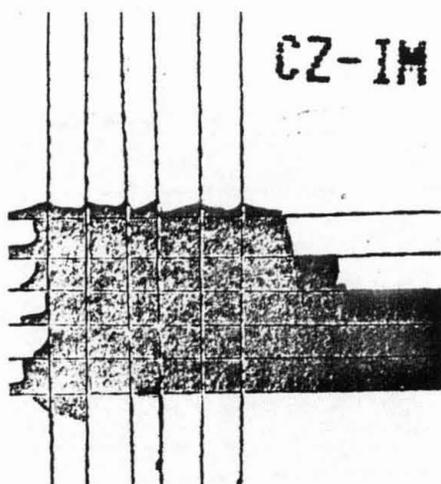
(c)

Figura 7 - Avanço de corrosão nos riscos [7]  
(a) - Galvannealed  
(b) - CZ-Eletrolítica  
(c) - CZ-Imersão



(a)

(b)



(c)

Figura 8 - Teste de aderência úmida (grade 2mm)[8]  
 (a) - "Galvannealed"  
 (b) - CZ-Eletrolítica  
 (c) - CZ-Imersão

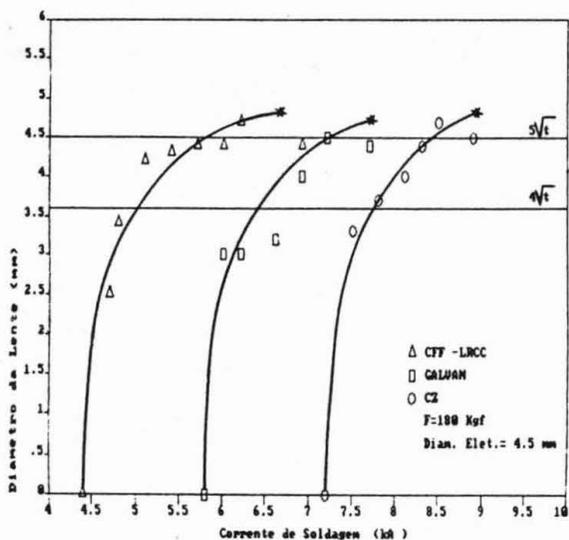


Figura 9 - Corrente de Soldagem Necessária para Produzir a Lente de Solda [9]

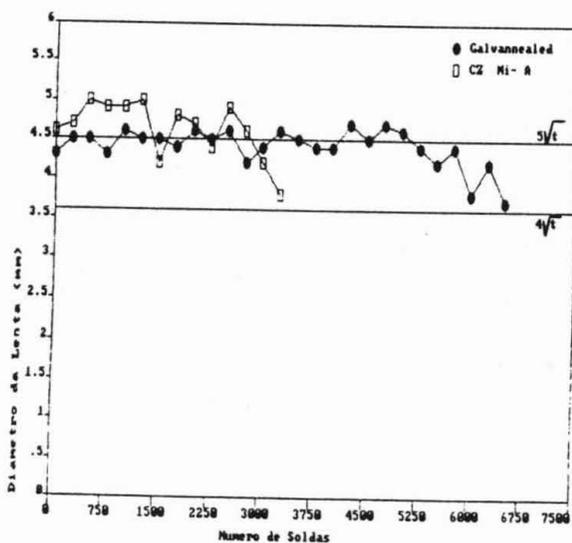


Figura 10 - Variação do Diâmetro da Lente de Solda com o nº de soldas realizadas pelo mesmo par de eletrodos [9]