

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO DE LIGA Al-Zn PRODUZIDO NA CSN-PARANÁ

Adriano Scheid¹
Nicodemos Henrique da Silva Coni²
Wellington de Faria Machado³
Paulo Cesar da Silva⁴
Abel Marcos Garcia Ramos⁵
Andre Ricardo Capra⁶

Resumo: Com início de operação em agosto de 2003, a Linha de Galvanização da CSN-PR, do tipo contínuo “Dual Purpose” permite a produção de aço galvanizado com revestimentos convencionais (zinco puro) e de liga alumínio-zinco (Galvalume®), por imersão a quente. Com capacidade de produção de 330.000 t/ ano, esta linha é a primeira no Brasil a produzir o Galvalume® que é a chapa de aço revestida com uma liga contendo aproximadamente 55%Al, 43,5%Zn e 1,5%Si, concebida para atender principalmente os mercados de construção civil e linha branca.

Neste trabalho, serão apresentados os principais aspectos tecnológicos e de homologação a partir da caracterização do produto realizada na CSN-PR para “aço revestido com a liga Al55-Zn” e sua relação com o processamento, enfatizando como as características técnicas que garantem desempenho superior desse produto em relação ao zincado convencional, principalmente quanto à sua superior resistência a corrosão.

Palavras Chave: galvanização, Galvalume®, corrosão.

Trabalho a ser apresentado no 41º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos - Joinville/SC – Brasil – 26 a 28 de Outubro de 2004.

¹ Engº de Desenvolvimento - CSN - Paraná.

² Engº de Desenvolvimento - CSN Paraná.

³ Engº de Desenvolvimento - CSN Paraná.

⁴ Coordenador de Qualidade - CSN Paraná.

⁵ Coordenador de Projetos - CSN Paraná.

⁶ Engº de Desenvolvimento - CSN Paraná.

1 Introdução:

Galvalume[®] é a chapa de aço revestida com a liga 55%Al-Zn, aplicada por meio de imersão a quente similar ao processo de zincagem convencional. Este revestimento combina a durabilidade do alumínio com a proteção galvânica do zinco, oferecendo excelente resistência a corrosão em atmosferas marinha e industrial, resistência a oxidação a altas temperaturas (até 300°C) e refletividade térmica associados com aparência agradável e distinta quando comparado a outros revestimentos semelhantes.

O revestimento 55%Al-Zn foi inventado e é produzido comercialmente pela Bethlehem Steel Corporation desde 1972 e, em virtude de suas propriedades, 39 dos maiores produtores de aço do mundo já são licenciados, até a data atual, para o uso da tecnologia de produção de Galvalume[®].

A produção anual mundial deste produto é de aproximadamente 5 milhões de toneladas, sendo cerca de 70% utilizada na construção civil (telhas e tapamentos), 10% para a linha Branca (eletrodomésticos e bases para máquinas de lavar), 5% em indústrias automobilísticas (carrocerias e sistemas de exaustão), 5% na agricultura (silos) e 10% em outras aplicações.

A CSN-PR, empresa do grupo CSN localizada em Araucária (PR), é uma das licenciadas da BIEC – Bethlehem International Engineering Corporation, com a qual possui um contrato de transferência de tecnologia, e é primeira no Brasil a produzir o Galvalume[®]. A partida da sua linha de galvanização contínua ocorreu em agosto de 2003, com capacidade anual de 320.000t, para atender a demanda crescente desse produto no Brasil, principalmente no mercado de construção civil.

A caracterização dos aspectos mais importantes para esse revestimento e sua correlação com o processamento e com o desempenho final do produto serão o alvo deste trabalho.

2 Linha de Processamento:^(1,2,3,4)

A linha de galvanização contínua da CSN-PR foi projetada para a produção do produto Galvalume[®]. Para tal produção, são necessárias seções especiais de processo em relação à galvanização convencional, que são: um sistema de formação da liga e revestimento e um sistema de resfriamento. A tabela 1 mostra as características técnicas da Linha de Galvanização Contínua da CSN-PR.

Tabela 1- Características Técnicas Principais da Linha de Galvanização.

Características Técnicas Principais		
Largura da tira (min / máx)		700 / 1600mm
Espessura da tira (mín / máx)		0,25 / 1,55mm
Peso máximo de bobinas		25 t
Diâmetro Interno de Saída		508 ou 610mm
Diâmetro Externo de Saída (min / máx)		600 / 2070mm
Produtos		Galvanizado (cristais normais e minimizados) e Galvalume [®]
Peso de Revestimento (min/ máx)	Zinco	50/ 200g/m ² /face
	55%Al-Zn	50/100g/m ² /face
Passivação		Cromatização / Resina Acrílica

2.1 Sistema de formação de liga e revestimento

Ao final do recozimento, a temperatura da tira é controlada para atingir um valor adequado para imersão no banho de liga 55%Al-Zn. A tira é guiada através de um túnel de imersão (snout) para o pote de metal fundido, no qual a camada metálica de revestimento é aplicada. A temperatura da liga 55%Al-Zn no pote é de aproximadamente 600°C, sensivelmente maior que a temperatura do zinco fundido para produção de galvanizado, que é de aproximadamente 455°C. A viscosidade da liga 55%Al-Zn é sensivelmente menor que a do zinco, resultando em menores espessuras da camada primária de revestimento, logo após a imersão.

Para a formação da liga 55%Al, 43,5%Zn e 1,5%Si dois diferentes lingotes são necessários, que são:

- a) Zinco High Grade;
- b) Alumínio contendo 3% Si.

Os lingotes são fundidos em um pote de pré-fusão e a liga fundida é transferida para o pote principal por gravidade, através de uma bica de vazamento que é mantida aquecida por meio de resistências elétricas. Este processo garante a homogeneidade da composição química no pote que por sua vez influencia a formação de fases e camadas do revestimento.

Durante a produção de Galvalume® a formação de top dross (dross flutuante) é muito pequena quando comparada com a gerada no processo de galvanização convencional. O alumínio presente no banho tende a se oxidar formando uma película impermeável de óxido que impede a continuação da oxidação do banho.

Diferentemente do processamento de zincado convencional, durante o processamento do Galvalume®, ocorre a formação adicional de bottom dross (dross de fundo) que por possuir aproximadamente 15% de ferro, possui densidade maior que a do banho 55%Al-Zn.

A espessura da camada de revestimento a ser depositada é controlada utilizando um sistema de sopro de ar a temperatura ambiente, aplicado através de bocais de alta precisão (navalhas de ar) alimentados por 2 sopradores, logo que a tira emerge do banho de zinco. A espessura do revestimento é função principalmente da velocidade da linha, pressão do ar, distância entre as navalhas e a tira e distância das navalhas à superfície do banho. Como a viscosidade da liga 55%Al-Zn é sensivelmente inferior à do zinco, caso se mantenha todos os parâmetros constantes, a pressão de ar necessária na navalha de ar para retirar o excesso do revestimento 55%Al-Zn é aproximadamente 1/5 daquela necessária para a retirada do excesso de zinco durante produção do galvanizado.

Os cristais de Galvalume® são normalmente bem menores que os cristais do zincado (cristais normais, sem minimização). Para o Galvalume®, o tamanho dos cristais está entre 1 e 3mm e, assim como no zincado, costuma ser afetado por variações na espessura e na rugosidade da tira laminada a frio.

2.2 Resfriamento:

Durante a produção do Galvalume®, resfriamento adicional é requerido após a passagem da tira pelo pote em comparação à produção de galvanizado convencional pelas seguintes razões:

- Necessidade de resfriamento adicional para compensar maior temperatura de fusão da liga 55%Al-Zn;
- Deve-se atingir uma determinada taxa de resfriamento mínima durante toda a etapa de solidificação do revestimento a partir da temperatura do banho (de 600 até 370°C) a fim de se obter um produto de melhor resistência à corrosão, através de uma adequada microestrutura do revestimento. Taxas de resfriamento abaixo da faixa ideal resultam em produtos de menor resistência à corrosão.

O processo possui resfriadores (sopradores de ar) após a seção de revestimento localizados na perna de subida da tira após a imersão. A obtenção de características do revestimento adequadas ao desempenho do produto depende do ajuste e controle deste equipamento.

3 Estrutura do Revestimento 55% Al-Zn:⁽⁵⁾

O revestimento tem como composição média 55%Al, 43,5%Zn e 1,5% Si, e consiste em duas camadas distintas:

- a) Fina camada intermetálica quaternária constituída de Al, Zn, Fe e Si, entre o aço base e o revestimento externo;
- b) Revestimento externo composto por uma fase dendrítica rica em alumínio (cerca de 80% do volume) e uma fase interdendrítica rica em zinco.

As duas camadas são importantes para a obtenção da resistência à corrosão desejada. A camada externa com fase interdendrítica rica em zinco promove uma proteção galvânica similar aos revestimentos zincados, por sua vez a fase dendrítica rica em alumínio é responsável pela alta durabilidade do revestimento a partir da proteção por barreira, reduzindo a velocidade de consumo do revestimento durante o uso.

Esta morfologia é essencial para que os mecanismos de corrosão por proteção galvânica e por barreira ocorram simultânea e intercaladamente, levando ao excelente desempenho do produto. Microestruturas colunares de fase rica em alumínio e fase rica em zinco são indesejadas pois o mecanismo de proteção não ocorrerá de forma conjunta e simultânea. Para estas morfologias, a fase rica em zinco é consumida totalmente levando a desempenho inferior do produto devido à exposição do aço base e/ou deslocamento da camada de revestimento.

A camada intermetálica confere a boa aderência da camada externa e é a última proteção do aço base contra a corrosão. A figura 1 mostra uma representação esquemática da seção transversal da camada de revestimento da liga 55%Al-Zn.

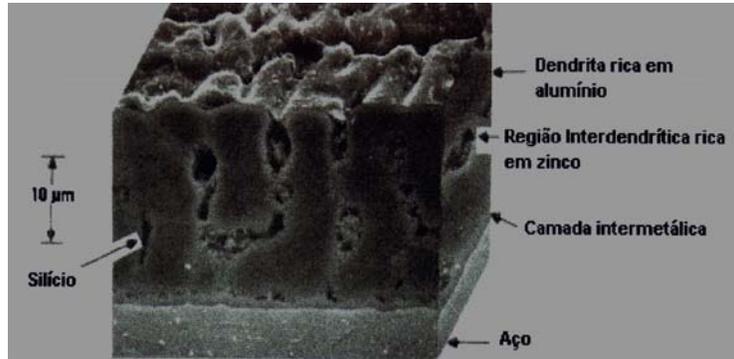
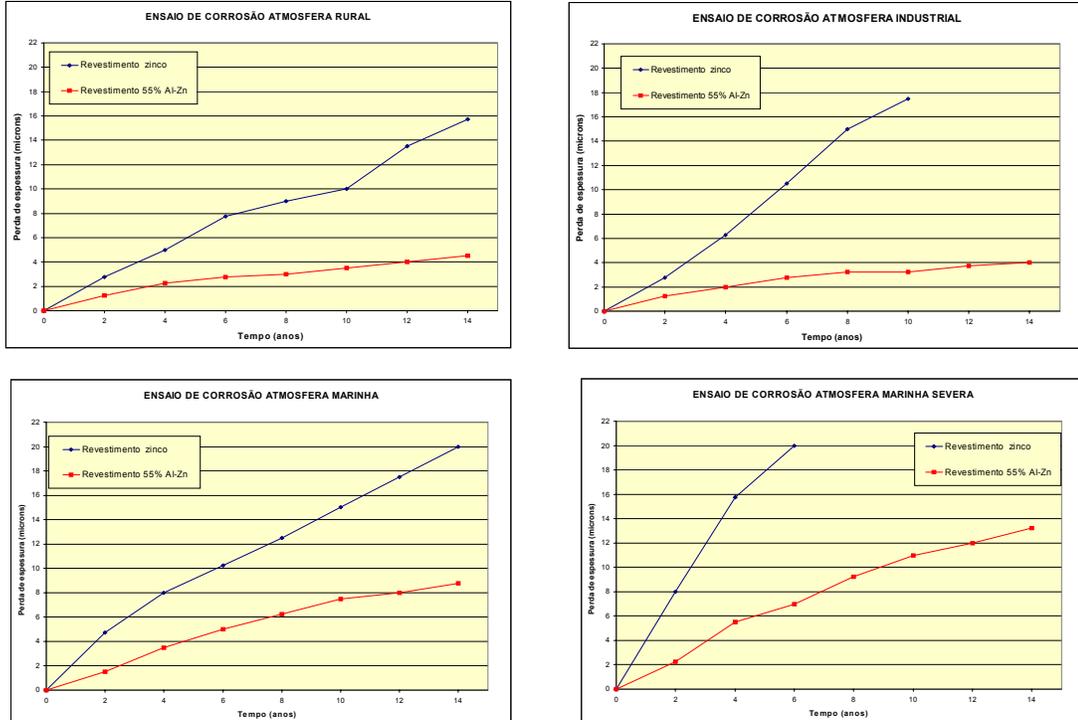


Figura 1- Representação esquemática da seção transversal da camada de revestimento da liga 55%Al-Zn

3.1 Resistência a Corrosão:

Este tipo de revestimento destaca-se pela elevada resistência à corrosão atmosférica, devido a combinação da durabilidade do alumínio, que confere proteção por barreira física, e a proteção galvânica proporcionada pelo zinco. Exposição de chapas zincadas (revestimento G 90) e Galvalume® (revestimento AZM 150) em diferentes atmosferas foi realizada pela Bethlehem Steel e os resultados estão apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5. De acordo com os gráficos podemos verificar que o revestimento 55%Al-Zn é de 2 a 4 vezes mais resistente a corrosão que o aço zincado convencional.



Figuras 2, 3, 4 e 5 – Resultados comparativos de resistência a corrosão entre chapa zincada por imersão a quente e Galvalume® em atmosfera rural, industrial, marinha e marinha severa por tempo de exposição de 13 anos.

4 Procedimento Experimental

Amostras de Galvalume CSN foram coletadas sob diferentes condições de processamento e espessuras para a homologação do processo e produto. As espessuras padrão 0,40, 0,50 e 0,65mm foram testadas devido ao grande volume de produção e consumo destas dimensões na construção civil e linha branca. A espessura de 1,50mm foi escolhida por estar próxima ao limite superior de espessura de projeto (1,55mm) para a Linha de Galvanização Contínua CSN-PR e por apresentar as condições mais difíceis de resfriamento no que tange o revestimento. A tabela 2 apresenta o processo de homologação para a esta condição de produção da linha (espessura de 1,50mm). Testes similares foram realizadas para as demais espessuras de produção na CSN-PR.

Tabela 2 – Tabela de amostragem para a homologação do processo e produto Galvalume CSN.

Espessura (mm)	Resfriadores %			Velocidade da linha	Revestimento
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		
1,50	100	100	100	50 mpm	ASTM A792 AZM 150
	100	100	100	60mpm	
	100	100	100	70mpm	
	100	100	100	80mpm	

As condições acima descritas foram avaliadas a partir da verificação da microestrutura obtida.

As amostras foram submetidas à ensaio metalográfico e preparadas através de corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico. As amostras foram analisadas por Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura para a caracterização das fases e camadas formadas.

5- Resultados:

A partir da tabela 3 podemos ver as espessuras obtidas para a camada externa e para a camada intermetálica.

Tabela 3 – Espessura encontrada para a camada externa e camada intermetálica.

Espessura (mm)	Camada intermetálica (μm)				Revestimento
	A1	A2	A3	\bar{A}	
0,40	1,12	1,10	1,13	1,12	ASTM A 792 AZM 150
0,50	1,03	1,06	1,05	1,05	
0,65	1,02	0,95	1,07	1,01	
1,50	1,40	1,45	1,50	1,45	
Espessura (mm)	Camada Externa (μm)				Revestimento
	A1	A2	A3	\bar{A}	
0,40	21,7	25,8	23,0	23,5	ASTM A 792 AZM 150
0,50	28,3	29,0	29,0	28,8	
0,65	20,0	25,0	30,0	25,0	
1,50	20,0	22,0	24,0	22,0	

A partir das figuras 6a, 6b, 7a, 7b, 8a, 8b podemos ver as microestruturas do revestimento 55%Al-Zn obtidas em microscopia ótica e eletrônica de varredura para as espessuras padrão 0,40, 0,50, 0,65mm.

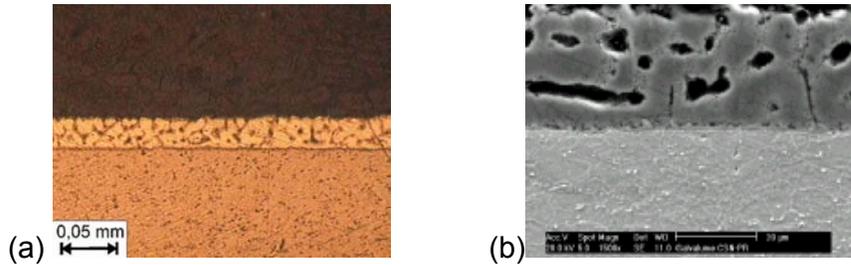


Figura 6 – Microestrutura composta por dendritas de fase rica em alumínio e fase interdendrítica rica em zinco (foto b: barra de escala - 20 μ m). Espessura 0,40mm. Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

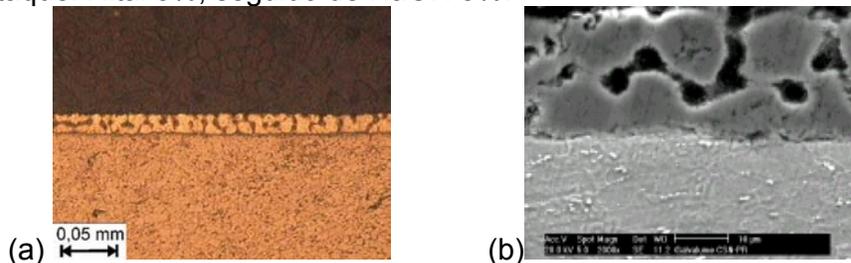


Figura 7 – Microestrutura composta por dendritas de fase rica em alumínio e fase interdendrítica rica em zinco. Espessura 0,50mm (foto b: barra de escala - 10 μ m). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

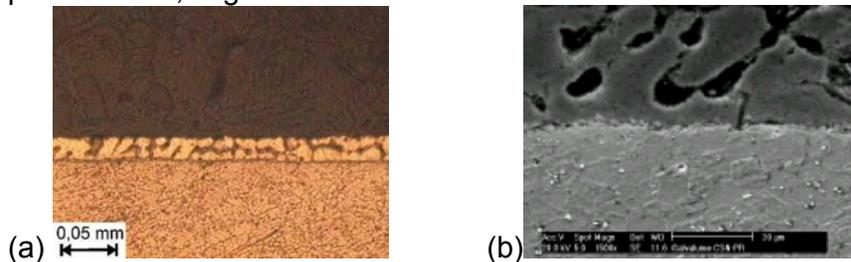


Figura 8 – Microestrutura composta por dendritas de fase rica em alumínio e fase interdendrítica rica em zinco. Espessura 0,65mm (foto b: barra de escala - 20 μ m). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

A partir das figuras 9, 10, 11 e 12 podemos ver as microestruturas a partir de microscopia eletrônica de varredura para o revestimento 55%Al-Zn desenvolvidas na espessura de 1,50mm.

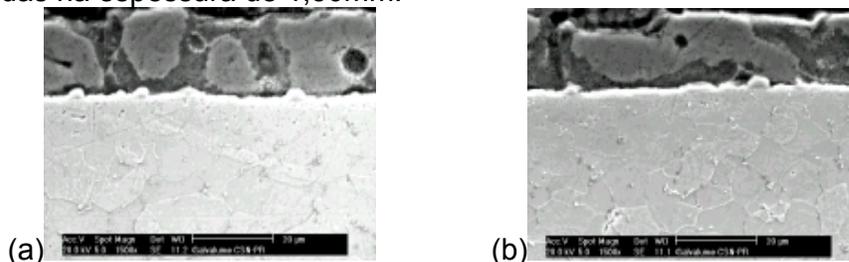


Figura 9 – Microestrutura colunar de fase rica em zinco. Espessura 1,50mm com velocidade de processo de 50mpm (fotos com barra de escala de 20 μ m). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

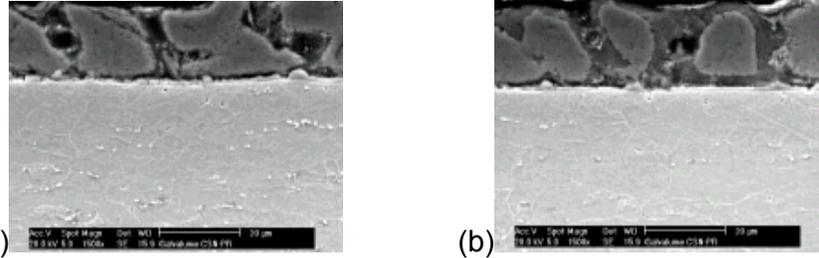


Figura 10 – Microestrutura colunar de fase rica em zinco. Espessura 1,50mm com velocidade de processo de 60mpm (fotos com barra de escala de 20μm). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

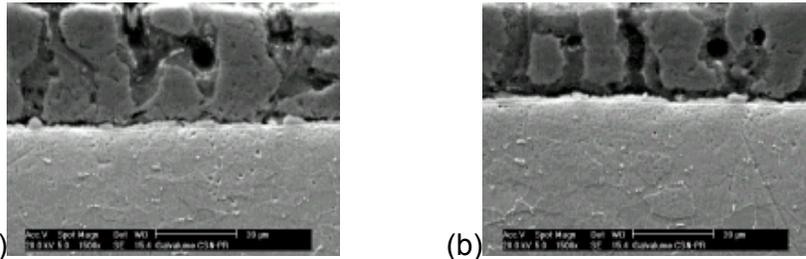


Figura 11 – Microestrutura colunar de fase rica em zinco. Espessura 1,50mm com velocidade de processo de 70mpm (fotos com barra de escala de 20μm). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

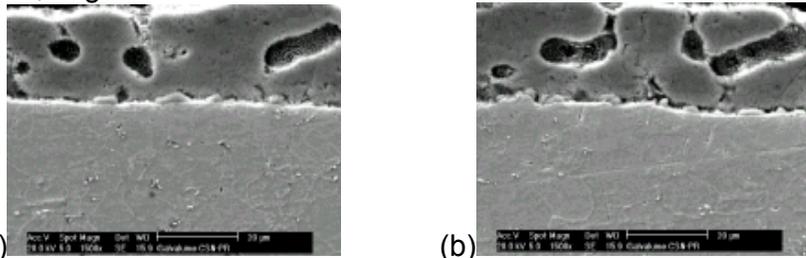


Figura 12 – Microestrutura composta por dendritas de fase rica em alumínio e fase interdendrítica rica em zinco. Espessura 1,50mm com velocidade de processo de 80mpm (fotos com barra de escala de 20μm). Ataque: Nital 3%, seguido de NaOH 5%.

5- Discussão dos resultados:

Segundo o manual tecnológico BIEC⁽⁵⁾ para a obtenção de boa aderência e proteção contra a corrosão, valores de camada intermetálica na faixa de 0,5 à 2μm são aconselhados. A partir da tabela 3, podemos verificar que os resultados de espessura de camada intermetálica estão compreendidos entre 1,0 e 1,5μm, confirmando os bons resultados de aderência e desempenho obtidos até o presente momento pelo Galvalume CSN.

Microestruturas compostas por fase dendrítica rica em alumínio e interdendrítica rica em zinco são as microestruturas que melhor desempenho conferem ao produto Galvalume^(4, 5, 6). A partir das microestruturas apresentadas nas figuras 6, 7, 8 e 12 podemos ver as microestruturas desenvolvidas após homologação do produto na CSN-PR, tipicamente dendríticas.

Microestruturas de fase rica em alumínio e fase rica em zinco na forma colunar não conferem bom desempenho ao produto Galvalume⁽⁵⁾. A partir das figuras 9 à 11 podemos ver exemplos típicos desta morfologia de solidificação desenvolvidas em condições de teste para a homologação do produto Galvalume 1,50mm. Podemos observar que mesmo para funcionamento de 100% dos resfriadores, somente a partir de velocidade de 80 mpm foram obtidas microestruturas dendríticas conforme a literatura.

Partículas de Dross e de Silício podem aparecer no revestimento e comprometem a integridade do revestimento em processos de conformação mecânica pela sua natureza frágil. Estas partículas estão diretamente relacionadas ao controle de processo referente ao pote de galvanização e formação de liga através do pote de pré-fusão⁽⁵⁾. Não foram observadas partículas com tamanho significativo, o que indica a alta qualidade do processo de formação da liga via pré-fusão conduzido na Linha de Galvanização Contínua da CSN-PR e excelente controle de temperatura do pote de liga 55%Al-Zn, assim como a alta qualidade da limpeza da tira laminada à frio na imersão.

6 Conclusões:

O mercado de construção civil apresenta demanda crescente pelo Galvalume[®], produto inovador que oferece excelente resistência à corrosão em atmosferas marinha e industrial, resistência a oxidação a altas temperaturas, refletividade térmica e aparência agradável, tudo isso associado a maior rendimento para o consumidor final.

Líder na produção de Galvalume na América Latina, a CSN-PR a partir do desenvolvimento de processos e produtos garante aos seus clientes o fornecimento de um produto com qualidade mundial,

A partir da integração entre as áreas da Qualidade e da Produção, a CSN-PR garante a operação dos equipamentos de revestimento e resfriamento com o total controle sobre os fatores metalúrgicos que fazem do Galvalume o produto revestido de melhor desempenho nas áreas de construção civil e linha branca.

7 Referências Bibliográficas:

- (1) **Technical Specification of CISA-CSN Continuous Galvanizing Line;** SMS DEMAG- EUA, 2002
- (2) Carvalho, José Eduardo Ribeiro; **O processo contínuo de galvanização por imersão a quente-** Metalurgia & Materiais; São Paulo, março de 2002.
- (3) **55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Operating Technology Manual;** BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- (4) **Production Technology Transfer;** Relatório Interno; Araucária, abril de 2002.
- (5) **55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Research and Technology Manual;** BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- (6) **55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Marketing Manual,** BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.

CSN GALVALUME - COATING CHARACTERISTICS AND ITS PROPERTIES

Adriano Scheid¹
Nicodemos Henrique da Silva Coni²
Wellington de Faria Machado³
Paulo Cesar da Silva⁴
Abel Marcos Garcia Ramos⁵
André Ricardo Capra⁶

Abstract: Started-up on August, 2003, CSN Galvanizing Line is a Dual Purpose Continuous one, designed to produce galvanized steel by conventional coating (pure zinc) and Al-Zn alloy coating by the hot dip process. With a 320.000 mt/year capacity, this line is the first one in Brazil producing “galvalume”, a steel sheet coated with Al-Zn alloy, specially conceived for civil construction, home appliance markets and automotive industry.

This presentation it will be shown some major technological aspects of galvalume processing approval, as well as its important characteristics and influence on product performance emphasizing better corrosion resistance.

Key-words: galvanizing, galvalume[®], corrosion

Paper to be presented at 41st Rolling Seminar – Processes, Rolled and Coated Products, October, 26 to 28, 2004- Joinville- SC – Brazil.

¹ Development Engineer - CSN Companhia Siderúrgica Nacional.

² Development Engineer - CSN Companhia Siderúrgica Nacional.

³ Development Engineer - CSN Companhia Siderúrgica Nacional.

⁴ Quality Coordinator- CSN Companhia Siderúrgica Nacional.

⁵ Project Coordinator - CSN Companhia Siderúrgica Nacional.

⁶ Development Engineer - CSN Companhia Siderúrgica Nacional.