

ELEVAÇÃO DO NÍVEL DE ESTAMPABILIDADE EM AÇO LAMINADO A FRIO COM RECOZIMENTO EM FORNO CAIXA⁽¹⁾

José Borges de Araújo Neto⁽²⁾

Marcelo Porto Silva⁽³⁾

Gabrielli Machado Otero⁽⁴⁾

Gabriel Godinho Alves⁽⁵⁾

Resumo

O objetivo deste trabalho é mostrar os resultados obtidos na elevação da estampabilidade, em produção em escala industrial de aço para estampagem extraprofunda em peça crítica, com controle da precipitação de AlN em aço recozido em forno caixa. Apesar da microestrutura com grão equiaxial, obtida com o controle da precipitação de AlN, o método mostrou ser bastante eficiente para elevação do nível de estampabilidade do aço, medido através do coeficiente de anisotropia normal (R_{barra}). O material com teor de carbono da ordem de 0,020% e com controle da precipitação de AlN apresentou valores de R_{barra} maiores que os apresentados em material para estampagem extraprofunda com aço IF, com os mesmos parâmetros de processo desde a laminação a quente até o forno de recozimento em caixa. O controle da precipitação de AlN, com um acréscimo médio de 0,001% sobre o teor médio de N, passou de 0,0031% para 0,0041%, e de 0,004% sobre o teor médio de Al, passou de 0,041% para 0,045%, teve mais influência sobre o valor de R_{barra} em aço para estampagem extraprofunda peça crítica do que uma elevação de 4%, de 77 para 81%, no grau de redução a frio em material estampagem extraprofunda com aço IF.

Palavras-chave: Recozimento; Estampabilidade; Microestrutura; Precipitação.

(1) Contribuição Técnica ao 60º Congresso Anual da ABM – 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte - MG - Brasil

(2) Engenheiro Metalúrgico, MBA, MSc. Engenheiro de Produto da Gerência de Tecnologia Metalúrgica - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

(3) Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Desenvolvimento da Gerência de Tecnologia Metalúrgica - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

(4) Técnica de Desenvolvimento – Técnica de Laboratório da Gerência de Tecnologia Metalúrgica - Companhia Siderúrgica Nacional – CSN

(5) Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Produção de Gerência de Recozimento - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

1 INTRODUÇÃO

Materiais com elevado nível de estampabilidade são empregados na produção de painéis com formatos complexos em vários segmentos de mercado. Tais materiais são considerados os mais nobres devido aos requisitos exigidos nos mesmos. A evolução de mercado aponta uma tendência cada vez maior para exigência/garantia de índices que garantam um nível mínimo de estampabilidade, um exemplo típico foi a revisão da norma NBR 5915 em 2003 exigindo a garantia de valores mínimos de coeficiente de anisotropia normal médio (R_{barra}) para as especificações EEP-PC (estampagem extraprofunda em peça crítica) e EEP-IF (estampagem extraprofunda com aço IF), além do uso de outras normas, principalmente pela indústria automobilística e exige valores mínimos para este índice. O não atendimento a este requisito poderá resultar no rompimento do “blank” durante a confecção da peça.

Uma série de conceitos têm sido utilizados para a produção de aços com R_{barra} elevado, em todos eles procura-se elevar a quantidade de planos cristalográficos com maior densidade planar - planos da família {111} - paralelos a superfície da chapa e/ou obtenção de grãos alongados no direção de laminação dependendo do tipo de recozimento praticado.

As principais técnicas utilizadas para estes fins são:

a) Recozimento contínuo ou em forno caixa - Otimização de planos da família {111} paralelos a superfície da chapa (tira)

- Composição química do aço com baixos teores de carbono e nitrogênio;
- Utilização de elementos estabilizantes do carbono e nitrogênio, como por exemplo: titânio e nióbio;
- Elevação do percentual de redução a frio no laminador de tiras a frio;
- Ciclo de recozimento favorável à precipitação do carbono e nitrogênio em solução sólida no aço.

As Figuras 1 e 2 mostram o impacto destas técnicas sobre o valor de R_{barra} .

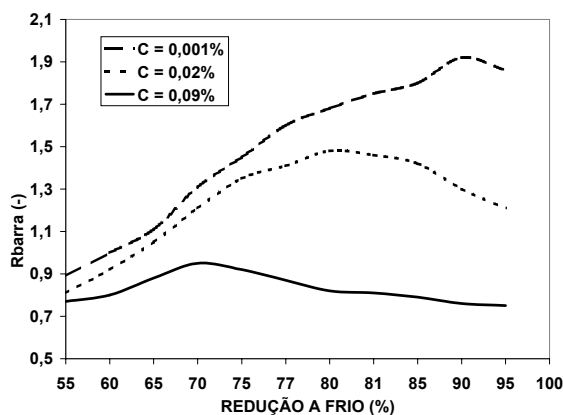


Figura 1. Efeito da redução a frio no valor de R_{barra} em aço laminado a frio com diferentes teores de carbono(1).

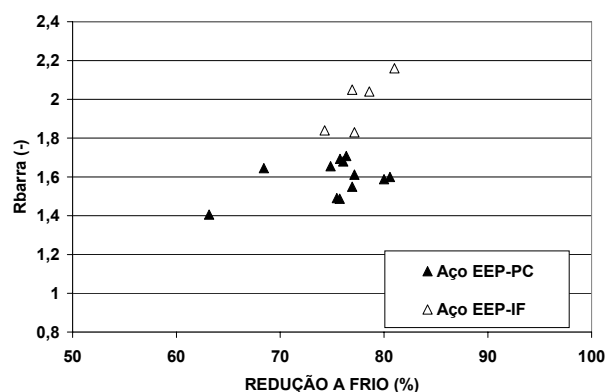


Figura 2. Efeito da redução a frio no valor de R_{barra} p/ aço laminado recozido em forno caixa na CSN.

b) Recozimento em forno caixa - Obtenção de grãos alongados (formato de panqueca) no sentido da direção de laminação:

- Composição química do aço com teores nitrogênio e alumínio controlados, quantidade e relação Al/N entre os mesmos;
- Temperatura de bobinamento no laminador de tiras a quente baixa: $\leq 650^{\circ}\text{C}$

A característica do grão alongado tem sido questionada por alguns, pois foi verificado que uma quantidade apreciável de AlN se precipita na laminação a quente mesmo com temperatura de bobinamento baixa(2). Outros autores afirmam que grão alongado e maior estampabilidade, são conseqüências da mesma causa, a precipitação de AlN durante os primeiros estágios do recozimento final. Na Figura 3 é mostrada a relação entre grão alongado e os valores de Rbarra.

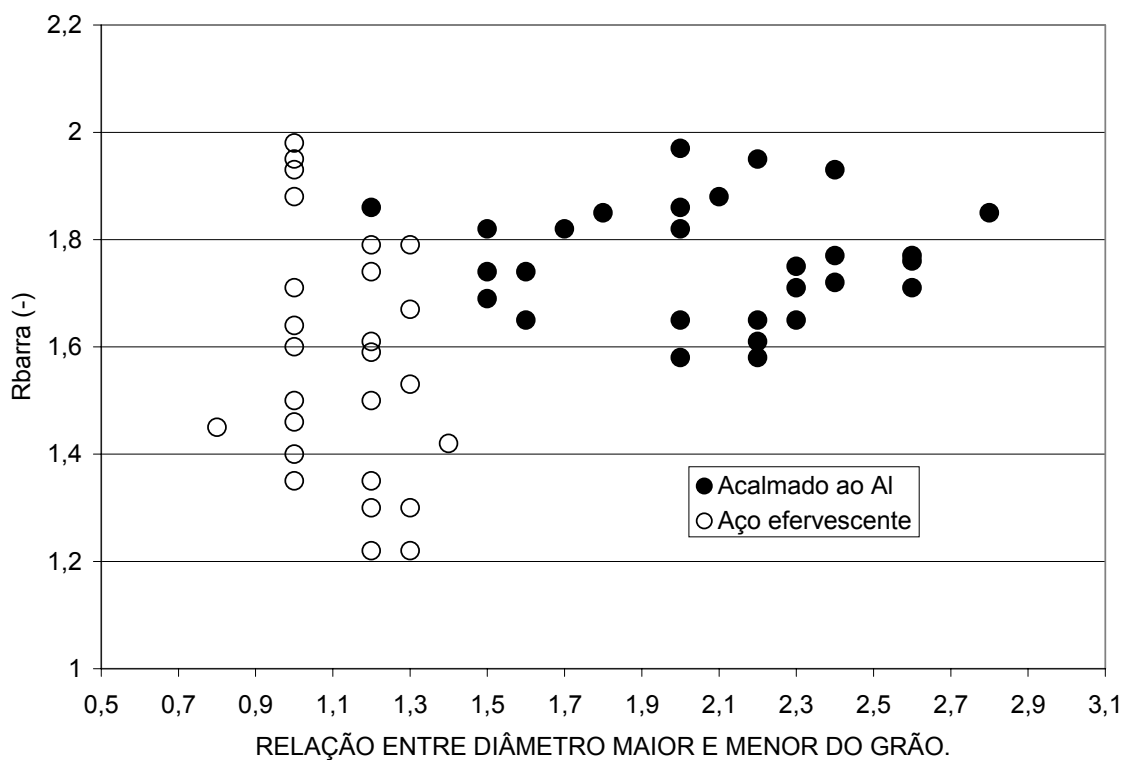


Figura 3. Valor de Rbarra para diferentes formatos de grão, relação entre diâmetros maior e menor (3).

A utilização das técnicas colocadas acima deve estar alinhada com as necessidades de elevação da produtividade das plantas e a obtenção do nível de estampabilidade desejado no aço. Como cada planta tem sua peculiaridade, a solução empregada caso a caso também pode ser bem particular, em função das limitações e objetivos destas. Então a questão é como produzir materiais com elevado nível de estampabilidade mantendo a produtividade necessária?

Uma investigação para determinação das causas da não obtenção de valores elevados de Rbarra em aço EEP-PC e uma comparação dos resultados obtidos através das técnicas de elevação do grau de redução a frio em aços EEP-IF e

controle da precipitação de AlN através do controle dos teores de nitrogênio e alumínio em aço EEP-PC na CSN é mostrada neste trabalho. As soluções para cada caso foram determinadas sempre com o foco de não diminuir a produtividade dos equipamentos e otimização do nível de estampabilidade dos aços.

2 DESENVOLVIMENTO

Foi analisado o processo de produção e as características do aço EEP-PC e foi verificado que o material apresentava grão não muito alongado, Figura 4, sendo que grão alongado é o tipo grão esperado em aços recozidos em forno caixa para material com elevado nível de estampabilidade.

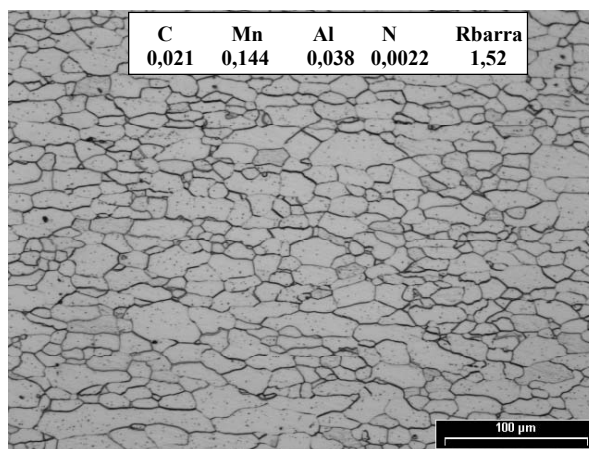


Figura 4. Microestrutura de aço EEP-PC recozido em forno caixa com grãos equiaxiais (levemente alongados). Aumento 200X.

Admitiremos que os grãos alongados nos aços recozidos em forno caixa sejam os responsáveis pela obtenção de aço com alto valor de Rbarra. O grão equiaxial evidencia a não precipitação de AlN durante o recozimento em caixa, que pode estar relacionado a precipitação do mesmo durante a laminação a quente ou mesmo a uma não precipitação ao longo de todo o processo de produção do material. Com relação Al/N da ordem de 25 e temperatura de bobinamento de 650°C cerca de 70% do N precipita-se na forma de AlN durante a laminação a quente (4). Os parâmetros de processo utilizados para o material EEP-PC na CSN estão dentro das condições de não precipitação do AlN colocadas acima, temperatura de bobinamento < 650°C e relação Al/N 12,5, conforme Tabela 1.

O grão equiaxial, a temperatura de bobinamento e a relação Al/N somadas fornecem evidências de que a precipitação de AlN não está ocorrendo nem no laminador de tiras a quente nem no forno de recozimento em caixa, ou que, caso se precipite no forno de recozimento em caixa não ocorre em quantidade suficiente para ancorar os contornos dos grãos permitindo o crescimento do mesmo com intensidade semelhante na direção de laminação e transversalmente a mesma. Se a temperatura de bobinamento na laminação a quente e a relação Al/N estão nas faixas de trabalho adequadas para a precipitação ocorrer no processo de recozimento em caixa e a mesma não está acontecendo, provavelmente há falta de N neste processo.

Tabela 1. Composição química média do aço utilizado na especificação estampagem extraprofunda peça crítica (EEP-PC).

	C (%)	Mn (%)	Al (%)	N (%)	Al/N	Rbarra médio
Sem controle da precipitação de AlN	0,021	0,150	0,041	0,0031	13,2	1,63
Com controle da precipitação de AlN	0,021	0,145	0,045	0,0042	10,7	2,23

Para confirmar esta hipótese foram produzidas uma série de bobinas com teor mais elevado de N, que passou de 0,0031 para 0,0042% em média. Procurou-se também obter uma pequena elevação no teor de Al que foi de 0,041 para 0,045% em média. Todos os outros parâmetros de processo especificados para este produto tais como teor de C e Mn do aço, temperaturas de acabamento e bobinamento, redução a frio e ciclo de recozimento foram mantidos na mesma faixa de trabalho praticada antes do controle de teor de N e Al. Esta condição de processo chamaremos de controle da precipitação de AlN.

3 RESULTADOS

Na Figura 5 podem ser observados os valores de Rbarra obtidos para vários níveis de redução a frio para o aço EEP-PC com e sem controle de N e Al. Os valores de Rbarra para o material com controle de N e Al elevaram-se de forma significativa para todas os graus de redução a frio. O aumento médio foi de 0,60 pontos no valor de Rbarra, de 1,63 para 2,23. A Figura 6 mostra a distribuição dos valores de Rbarra antes e após o controle do teor de N e Al e o percentual de atendimento ao valor mínimo de 1,60 (valor praticado em várias normas para materiais equivalentes à especificação EEP-PC). Com o controle do teor de N e Al a projeção estatística para atendimento às normas saiu de aproximadamente 56% para quase 100%, independentemente do grau de redução a frio no material. Para os materiais com espessura $\leq 1,00$ mm o atendimento às normas passou de 62 para 99,7%, e para os materiais espessura $> 1,00$ mm passou de 25% para 99,6% mesmo com baixos percentuais de redução a frio, Tabela 2.

Pode-se também comparar o resultado obtido para o aço EEP-PC com controle do teor de N e Al com o aço EEP-IF. Na Tabela 3, são mostrados os resultados obtidos para Rbarra com a elevação do grau de redução a frio no aço EEP-IF e com o controle da microestrutura no aço EEP-PC. Tomando-se como referência um grau de redução em torno de 77%, a elevação do grau de redução para 81%, foi menos efetiva na elevação de Rbarra no aço EEP-IF, 0,33 pontos, do que o controle da precipitação de AlN no aço EEP-PC, 0,62 pontos. Os ciclos de recozimento no forno caixa e temperaturas praticadas na laminação a quentes foram as mesmas.

Em termos de microestrutura, formato alongado dos grãos, na Figura 7 pode-se observar as microestruturas para os aços EEP-PC recozidos em forno caixa, com controle e sem controle da precipitação de AlN. Observamos que nos dois casos o aço EEP-PC apresenta microestruturas semelhantes. A relação o diâmetro maior e menor ficou em torno de 2,3 para o aço sem controle da precipitação de AlN e 2,7 para o aço com controle da precipitação de AlN.

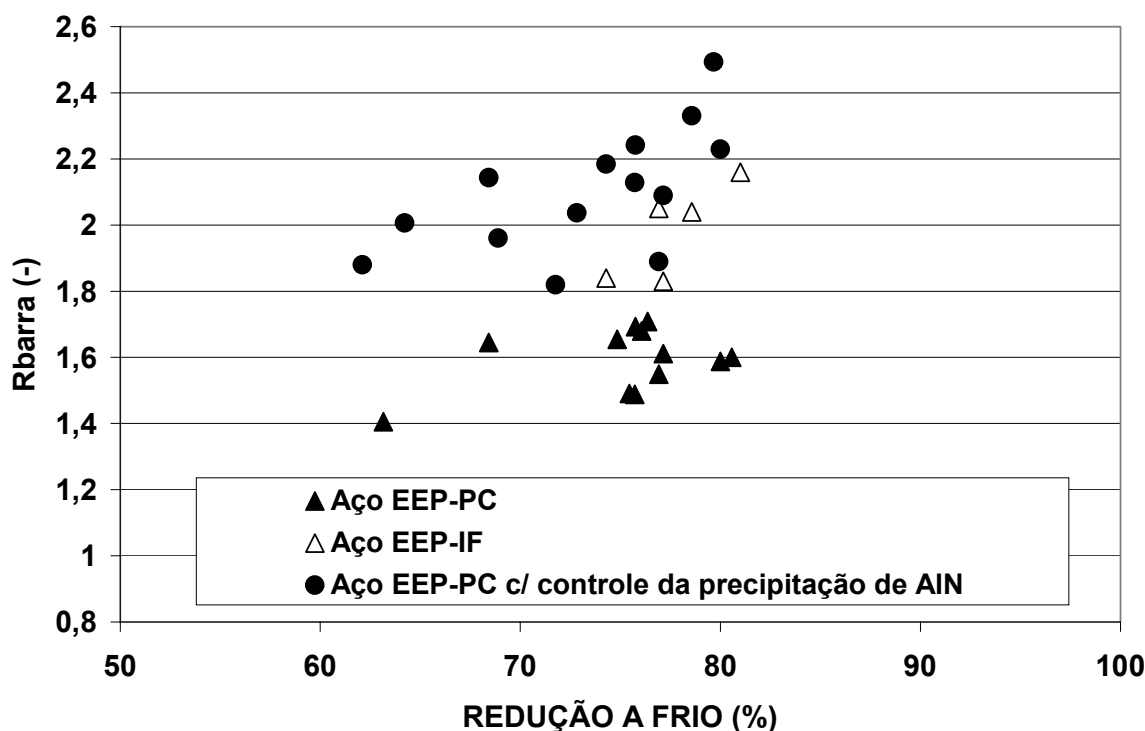


Figura 5. Efeito da redução a frio e do controle da precipitação de AIN sobre o valor de Rbarra p/ aço laminado a frio recozido em forno caixa na CSN.

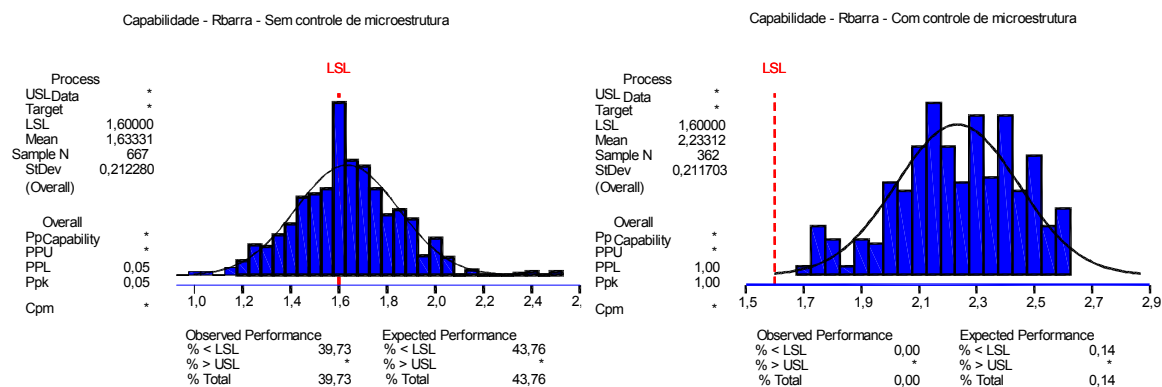


Figura 6. Distribuição dos valores de Rbarra para a especificação EEP-PC antes e após o controle da precipitação de AIN.

Tabela 2. Percentual de atendimento às normas da especificação EEP-PC antes e após o controle da precipitação de AIN para elevação do valor de Rbarra.

Faixa de espes-sura (mm)	Aço sem controle da precipitação de AIN			Aço com controle da precipitação de AIN			Redu-ção a frio (%)
	Rbarra médio	Desvio padrão	Atendimento a norma (%)	Rbarra médio	Desvio padrão	Atendimento a norma (%)	
≤ 1,00	1,66	0,19	62,3	2,24	0,23	99,9	71 a 80
> 1,00	1,44	0,23	24,8	2,11	0,19	99,6	63 a 70
Geral	1,63	0,21	56,2	2,23	0,21	99,9	63 a 80

Tabela 3. Influência sobre os valores de Rbarra das técnicas de elevação do grau de redução a frio e controle da precipitação de AlN em aço EEP-PC e EEP-IF respectivamente.

Aço EEP-PC (1)		Aço EEP-IF (2)	
	Rbarra médio		Rbarra médio
N = 0,0032% Al = 0,041%	1,64	Grau redução a frio 77%	1,83
N = 0,0042% Al = 0,045%	2,26	Grau redução a frio 81%	2,16

(1) - Grau de redução a frio 76%

(2) - C = 0,003% ; Mn = 0,124% ; N = 0,0032% ; Al = 0,026% ; Ti = 0,060%

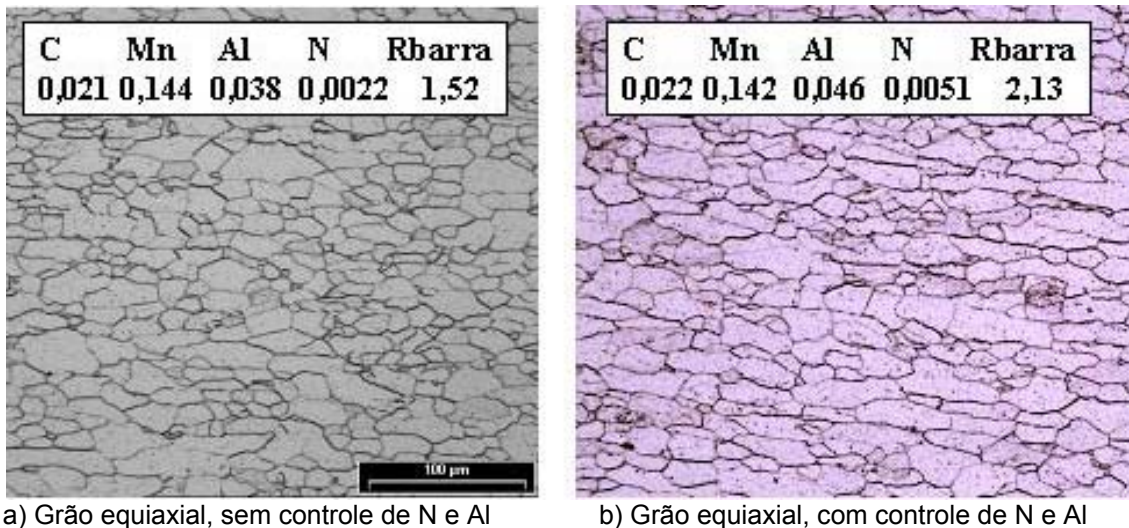


Figura 7. Microestrutura de aço EEP-PC e EEP-IF recozidos em forno caixa com as mesmas condições de processo, exceto o controle da precipitação de AlN. Aumento 200X.

4 CONCLUSÕES

1 – O controle da precipitação de AlN, para obtenção de microestrutura com grão alongado, mostrou-se efetivo para elevação do nível de estampabilidade de aço com recozimento em forno caixa, porém não alterou de forma significativa o formato do grão.

2 – Os valores de Rbarra para aço EEP-PC com controle do teor de N e AL foram maiores que os valores obtidos em aço EEP-IF para as mesmas condições de processo na laminador a quente, laminador a frio e forno de recozimento em caixa.

3 – A melhora na estampabilidade, elevação do valor de Rbarra, foi maior através do controle do teor de N e Al do que através da elevação do grau de redução a frio no aço EEP-PC e EEP-IF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FUKUDA, M. The Effect of Carbon Content Against r Value – Cold Reduction Relations in Steel. **Tetsu to Hagane**, v. 53, p. 559-561, 1967.
- 2 HULTGREN, F.A. The Reversion and Re-precipitation of Aluminum Nitride in Aluminum-killed Drawing Quality Steel. **Blast Furnace and Steel Plant**, v. 56, p. 149, 1968.
- 3 USHIODA, K., KOYAMA, K., TAKAHASHI, M. Metallurgical Investigation for Producing Deep-drawable Continuously Annealed Al-Killed Sheet Steels through Low-temperature Coiling. **ISIJ International**, v. 30, n. 9, p. 764-772, 1990.
- 4 BLICKWEDE, D.J. Sheet Steel – Micrometallurgy by the Millions. **Transaction ASM**, V. 56, p. 653, 1968.

INCREASING IN DRAWABILITY IN COLD ROLLED STEEL PRODUCED IN BOX ANNEALING PROCESS⁽¹⁾

José Borges de Araújo Neto⁽²⁾

Marcelo Porto Silva⁽³⁾

Gabrielli Machado Otero⁽⁴⁾

Gabriel Godinho Alves⁽⁵⁾

Abstract

The purpose of this work is present the results obtained in the increase of drawability of deep drawing steel (DDS), with AlN precipitation control in cold rolled steel box annealing. The AlN precipitation control technique, despite of a microstructure with a equiaxial grain, shown to be effective to increase the steel drawability level, measured by r-value. Steel with a carbon content level of 0.020% and with AlN precipitation control technique showed a better r-value than extra deep drawing steel (EDDS), with the same process parameter from hot rolling to box annealing process. The AlN precipitation control technique, with an increase of 0.001% and 0.004% in N and Al content in steel, had higher influence over r-value in DDS than 4% increase in cold reduction in EDDS.

Key-words: Annealing; Drawability; Microstructure; Precipitation

(1) Technical Contribution to the 60th ABM Annual Congress – July 25th to 28th, 2005, Belo Horizonte - MG – Brazil

(2) Metalurgical Engineer, MBA, MSc. Product Engineer on Technical Management - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN – Brazil

(3) Metalurgical Engineer, Product Engineer on Technical Management - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN - Brazil

(4) Technician – Laboratory Technician on Technical Management - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN - Brazil

(5) Metalurgical Engineer, Process Engineer on annealing Management - Companhia Siderúrgica Nacional – CSN - Brazil