

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DO AÇO P430E, NA LINHA DE RECOZIMENTO E DECAPAGEM CONTÍNUA DE BOBINAS LAMINADAS A QUENTE DA ACESITA¹

*Paulo César Alves de Lima*²
*Cléber Barros Cunha*³
*Eduardo Milagres da Silva*⁴
*Epifânio Magela Teixeira de Souza*⁵
*Gilvan José Coura*⁶
*José Nicácio da Silva*⁷
*Paulo Marcelo de Andrade Novaes*⁸
*Rodolfo Teixeira Filho*⁹

Resumo

Trabalho realizado na linha de recozimento e decapagem contínua de bobinas laminadas a quente, com o objetivo de aumentar a oferta do aço ferrítico 430 estabilizado – P430E, através de estudo dos conceitos de propriedades mecânicas, adição de estabilizantes para melhoria dessas propriedades e o resultado desses efeitos, aliados a laminação a quente controlada com a adequação do perfil térmico no recozimento após a laminação a quente. Após a laminação a quente, implementou-se a adequação do perfil térmico de recozimento para aumento da velocidade de processo. Foram confirmadas as propriedades mecânicas e qualidade superficial esperadas. O resultado obtido foi o aumento da produtividade média de 42,7 t/h para 56,1 t/h, nessa fase de processo. O recozimento adequado do aço 430 estabilizado – P430E, após laminação a quente, é fundamental para assegurar as propriedades mecânicas, metalúrgicas e a qualidade superficial adequada no produto final.

Palavras-chave: Produtividade; Aço ferrítico; Recozimento contínuo.

¹ Contribuição técnica para o 42º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 25 a 28 de outubro de 2005, Santos (SP), Brasil;

² Engenheiro Mecânico, Analista de Processo da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ;

³ Engenheiro Metalúrgico, Assistente Técnico da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ;

⁴ Técnico Metalúrgico, Supervisor Técnico da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ;

⁵ Técnico Metalúrgico, Analista de Processo da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ;

⁶ Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ;

⁷ Engenheiro Metalúrgico, M. Sc., Assistente técnico da Gerência de Metalurgia do Produto Inox;

⁸ Engenheiro Metalúrgico, M. Sc., Gerente do Recozimento e Decapagem – BQ;

⁹ Técnico Metalúrgico, Supervisor Técnico da Gerência de Recozimento e Decapagem – BQ

1 INTRODUÇÃO

A linha de recozimento e decapagem de bobinas laminadas a quente, é atualmente um equipamento considerado gargalo no fluxo dos produtos inoxidáveis na Acesita. Assim tem sido um desafio constante, a procura de recursos e meios que possam resultar em ganhos de produtividade e qualidade dos seus produtos. Nos aços da série 3XX – Austeníticos, muito se trabalhou na produtividade, principalmente para a espessura menor ou igual a 3,00 mm, alcançando a velocidade máxima especificada para o equipamento. Por outro lado, nos aços da série 4XX, Ferríticos, devido a sua maior complexidade, alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos, como este, de forma gradativa para evitar grandes interferências nos processos posteriores, ou até mesmo nos resultados do produto final.

Dos aços da série 4XX, o aço inoxidável 430 estabilizado – P430E, foi desenvolvido para ser recozido em linha contínua, como uma opção para substituir o aço 430 tradicional, que é recozido em caixa, e tem baixa produtividade e alto “lead time”.

Importante salientar que o aço P430E, trata-se de aço ferrítico estabilizado com Nióbio, patenteado pela Acesita S.A., equivalente ao AISI 430.

Visando aproximar a produtividade deste à dos aços austeníticos, fez-se estudo dos conceitos de propriedades mecânicas, adição de estabilizantes para melhoria dessas propriedades e o resultado desses efeitos, aliados a laminação a quente controlada, no recozimento final, após a laminação a quente.

Realizou-se também a adequação do perfil térmico de recozimento para aumento da velocidade de processo, na linha de recozimento após laminação a quente, que permitiu o aumento da produtividade média nesta fase do processo, de 42,7 t/h para 56,1 t/h.

O recozimento adequado do aço 430 estabilizado – P430E, após laminação a quente, é fundamental para assegurar as propriedades mecânicas, metalúrgicas e a qualidade superficial adequada no produto final.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Conceitos de Características e Propriedades Mecânicas

Num processo de estampagem por embutimento o coeficiente de anisotropia tem uma grande importância, por que é através dele que se pode compreender como será o comportamento do material na distribuição das deformações na espessura, na largura e no plano da chapa. Quando as propriedades de uma substância são independentes da direção, ela é chamada de isotrópica. Assim, deve-se esperar que um material isotrópico ideal tenha a mesma resistência em todas as direções, ou, por exemplo, se sua resistividade elétrica fosse medida, o mesmo valor seria obtido independentemente da posição em que a amostra fosse retirada do material. As propriedades físicas dos cristais, em geral, dependem fortemente da direção na qual são medidas. Isto significa que, basicamente, os cristais não são isotrópicos, porém anisotrópicos.

As anisotropias planar e normal podem ser definidas pela medição dos coeficientes de deformação nas várias direções do plano da chapa. A anisotropia normal R_m definirá se a chapa deformará mais na espessura ou mais na largura. Para o processo de embutimento preferencialmente na largura, preservando a espessura do material, fato

que propiciará melhores resultados. Esta capacidade de preservar ou não a espessura do material durante a estampagem está diretamente ligada a textura cristalográfica do material. Ou seja, quando maior for o Rm melhor. A anisotropia planar ΔR define o modo como as deformações irão se distribuir no plano da chapa. O coeficiente de anisotropia planar está ligado diretamente a formação de orelhas no copo estampado, que por sua vez depende da textura cristalográfica do material. Ao contrario da anisotropia normal a anisotropia planar quanto menor melhor, preferencialmente zero, ou em torno de zero.

De acordo com a literatura, há um consenso quase geral de que a adição de elementos estabilizantes é uma forma eficaz de melhorar as propriedades dos aços inoxidáveis ferríticos, mas existe um teor ideal, a partir do qual a adição de estabilizantes pode provocar a deterioração das propriedades mecânicas.

O aço inoxidável ferrítico tipo 430, produzido sob estas condições, apresenta bons resultados em termos de propriedades mecânicas, de conformabilidade, e apresenta também uma superfície de aspecto claro brilhante, isenta de rugosidade e estriamento, com excelentes qualidades para aplicações em baixelas, utensílios domésticos, indústrias automotivas e outros⁽¹⁾.

O nióbio é adicionado em quantidade suficiente para combinar com todo o carbono e nitrogênio presentes e para uma pequena parte permanecer em solução sólida.

Supondo-se que os carbonitreto formados em um aço estabilizado sejam Nb (C, N) e sendo os pesos atômicos do Nb = 93, C = 12 e N = 14, tem-se a relação estequiométrica : $Nb/(C+N) = 93/(12+14)/2 = 7,154$ (a)

Assim, relação inferior a 7,0 indica que a quantidade de estabilizante é insuficiente para a reação com todo o carbono e/ou nitrogênio.

Relações com valores superiores indicam que haverá um excesso de estabilizantes que, possivelmente, permanecerá em solução sólida ou, em alguns casos, reagirá com outros componentes do aço, formando outras fases⁽¹⁾.

2.2 Características e Propriedades Mecânicas do Aço P430E

A partir da expressão (a) foi cadastrado o aço ACE P430E, com a composição química, conforme Tabela 1, atendendo a seguinte expressão : $8,2 < Nb/(C+N) < 12,6$ ⁽¹⁾.

Tabela 1. Composição química do aço ACE P430E (% em peso)

Faixa	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N	Nb
Mín.	0,015	0,000	0,000	0,000	0,200	16,000	0,000	0,015	0,300
Máx.	0,035	0,500	0,040	0,010	0,500	16,800	0,500	0,035	0,600

Além dos cuidados com a estabilização do aço para o processo em recozimento contínuo da bobina laminada a quente (BQ), buscou-se também adequação da composição química para melhorias nas propriedades de conformabilidade. A Tabela 2 mostra diversos valores do coeficiente de anisotropia normal Rm para chapas de aço inoxidável ferrítico com teores de carbono entre 0,007% a 0,034%, onde pode ser observada uma tendência de crescimento no valor de Rm. É, entretanto, destacável que, se os teores de carbono mais nitrogênio variam entre 0,02355 e 0,0480%, não se altera, significativamente, o valor Rm.

Tabela 2. Efeitos do teor de carbono no valor de Rm⁽¹⁾

%C	Rm
0,0075	1,00
0,0105	1,11
0,0205	1,27
0,0230	1,14
0,0340	1,14

A Tabela 3 mostra adequações feitas na composição química do aço visando melhorias nas propriedades de conformabilidade e aspectos superficiais após processo de estampagem, como redução do nível de estriamento.

Tabela 3. Alterações na Composição química do aço ACE P430E (% em peso)

Faixa	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N	Nb
Mín.	0,025	0,00	0,000	0,000	0,200	16,000	0,000	0,025	0,440
Máx.	0,045	0,50	0,040	0,010	0,500	16,800	0,500	0,045	0,750

O índice de estriamento mais adequado varia numa faixa entre zero (zero) a 1,3, sendo liberado até 2,0. Com este resultado o material exige um mínimo de polimento para atingir o seu brilho característico, após o processo de estampagem.

Os resultados de estriamento são obtidos por comparação visual de amostra previamente preparada e tracionada até uma deformação em torno de 15%. Para avaliação é utilizado o padrão Acesita.

A tabela 4 mostra os padrões, que variam numa escala de zero a cinco, de acordo com a rugosidade da superfície medida de pico a pico, através de rugosímetro com escala em micrômetro.

Tabela 4. Classificação das estrias em função da altura dos picos avaliados com rugosímetro⁽¹⁾

Escala	Estrias (μm)
0,0	<30
1,0	31 – 35
2,0	36 – 40
3,0	41 – 45
4,0	4,6 – 50
5,0	>51

O aço 430 estabilizado, ao final dos estudos realizados e produzido conforme os processos desenvolvidos apresenta excelente conformabilidade, qualidade superficial e alto brilho, adequado para aplicações domésticas e industriais, como baixelas, talheres, cubas, pias, fogões e máquinas de lavar roupas.

2.3 Processo de Laminação a Quente Controlada

As características de estampagem dos aços ferríticos estão relacionadas principalmente com os coeficientes de anisotropia normal média e planar, que estão também associada à textura desenvolvida no processo de laminação a quente. A

adição de nióbio neste aço evita a formação de austenita e gera precipitados (carbonitretos de nióbio) que impedem o crescimento de grão.

Este conjunto de efeitos aliados à combinação de redução da ordem de 40% às temperaturas menores que 850°C geram grande energia de deformação no material laminado, que por consequência no recozimento contínuo da bobina laminada a quente provocará uma intensa nucleação de grãos recristalizados e crescimento adequado⁽²⁾.

Um ponto a ser considerado a respeito do processo de reaquecimento de placas é a evolução da precipitação em função da temperatura. O gráfico mostrado na Figura 1 indica uma maior estabilidade dos precipitados com o aumento do teor de carbono. Além disso, mostra que a maior parcela da precipitação ocorre em temperaturas superiores a 1200°C para as duas concentrações de carbono supostas.

Pode-se então formular uma primeira hipótese de que uma placa mais quente na entrada do desbastador terá um menor número de precipitados, mas que isso não parece significativo em função da faixa de temperatura em questão (entre 1100 e 1200°C), onde ocorre valor menor do que 15% da precipitação total⁽³⁾.

Fazendo-se uma análise conjunta dos fenômenos de precipitação e de segregação, pode-se supor que uma maior parcela de precipitados pode auxiliar no bloqueio do crescimento de grão em maiores temperaturas, o que poderia facilitar a diminuição e a eliminação de regiões segregadas. Desta forma, maiores teores de carbono seriam desejáveis para se trabalhar em faixas de temperatura elevadas visando à dissolução da segregação⁽³⁾.

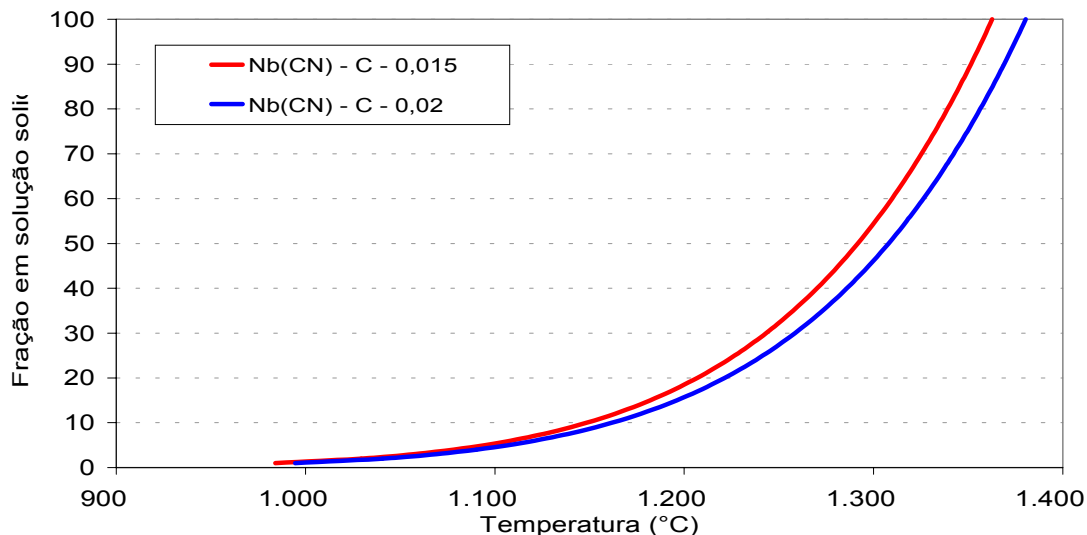


Figura 1. Evolução da solubilização/precipitação dos precipitados de nióbio (equações de solubilidade retiradas de Fujimura et Tsuge [1999] para aço inox ferrítico 17% Cr)⁽³⁾.

2.3.1 Laminação de desbaste

Visando uma melhor qualidade superficial no produto final foram realizadas grandes modificações no processo de laminação a quente, notadamente um aumento do número de passes, devido à redução do “draft” (espessura de entrada no laminador acabador) permitido e uma redução das velocidades de laminação. O objetivo principal destas medidas foi à eliminação do defeito colamento. Estes dois procedimentos

reduzem a quantidade de deformação a cada passe, diminuindo a energia armazenada na estrutura, a qual é o fator principal para a recristalização durante o processo.

A formação de novos grãos via recristalização é indicada como sendo a forma mais eficiente para a eliminação de tipos e distribuições de textura propensas a gerarem o defeito estrias.⁽³⁾

As temperaturas de saída e de tesoura não sofreram mudanças com relação ao procedimento do início do desenvolvimento. A temperatura de tesoura se manteve entre 800 e 860°C, sendo realizadas “pequenas paradas” entre passes ou no passe final para deixar a temperatura cair para a faixa adequada de processo no laminador “Steckel”. Com a introdução da placa pesada e em consequência maior espessura de esboço, o processo de desbaste foi modificado por que foi necessária a redução da temperatura de saída do forno “Walking Beam” dois a fim de se evitar ou diminuir o tempo das “pequenas paradas”, ou tempo de espera.

2.3.2 Laminação de Acabamento

Da mesma forma que a laminação de desbaste, a laminação de acabamento no Steckel teve seus parâmetros modificados visando uma melhor qualidade superficial, principalmente a redução da velocidade de laminação. O “draft” foi limitado a oito milímetros para se evitar o defeito colamento, impedindo a laminação em menos passes. Estes fatos são de análise similar ao verificado para o desbastador. Porém, a diminuição na velocidade de laminação tem uma outra influência no processamento do “Steckel”, pois faz aumentar em muito o tempo do material dentro dos fornos de reaquecimento. Isto pode permitir uma melhor recuperação estática da estrutura com conseqüente menor energia armazenada para o processo de recozimento da bobina a quente – BQ, posterior na linha de recozimento e decapagem contínua de bobinas - RB3. Este comportamento pode ser particularmente mais forte para as bobinas pesadas, onde o comprimento é bem maior que as bobinas do início dos anos 90. Porém, deve-se ressaltar que o nióbio é um elemento estabilizante bastante eficiente na inibição da recuperação e recristalização na faixa de temperatura de acabamento entre 800 a 860°C, principalmente quando o mesmo está em solução sólida. Nesta faixa de temperatura ocorrerá a maior intensidade de precipitação de carbonitretos de nióbio, que sendo precipitado dinamicamente e estaticamente de forma refinada e dispersa irá servir de controlador de refino de grão.

2.4 Recozimento de Bobina Laminada a Quente - RB3

Anteriormente à realização deste trabalho, o processo de recozimento da bobina laminada a quente – BQ, estabelecia uma temperatura de referência na ordem de 980°C, na zona oito, e a velocidade na faixa de 19 m/min para a espessura de 4,0 mm, por exemplo.

A tabela 5 mostra os parâmetros de processo nas condições anteriores, antes do aumento de produtividade, onde se pode ver que os valores de temperatura por zona estão numa ordem decrescente da zona um para a zona oito. Isto porque, os aços ferríticos têm maior tendência ao processo de recuperação da estrutura cristalina sem recristalizar, quando o aporte de calor inicial não é suficiente bastante para promover a energia necessária à recristalização. Se no início do recozimento, o aporte de calor não

for suficiente, ocorrerá a recuperação da energia interna, e não se terá mais uma estrutura recristalizada de grãos homogêneos, como consequência afetará as propriedades de conformabilidade e o aspecto superficial após o processo de estampagem, resultando numa superfície com estriamento.

Tabela 5. Velocidade de processo, temperatura por zona (°C) em função da espessura da BQ (condições anteriores).

Esp. (mm)	Veloc. (m/min)	Z 1 (°C)	Z 2 (°C)	Z 3 (°C)	Z 4 (°C)	Z 5 (°C)	Z 6 (°C)	Z 7 (°C)	Z 8 (°C)
3,00	25	Deslig.	Deslg	1130	1100	1070	1030	990	980
4,00	19	Deslig.	Deslg	1130	1100	1070	1030	990	980
4,75	16	Deslig.	Deslg	1130	1100	1070	1030	990	980
6,00	14	Deslig.	Deslg	1130	1100	1070	1030	990	980

2.5 Principais Modificações no Processo na RB3

Com a necessidade de aumentar a produtividade neste equipamento, estudou-se a curva térmica mais adequada para manter as condições metalúrgicas que garantisse a microestrutura necessária aos processos subseqüentes e respeitando as características técnicas do equipamento. Através do controle de experiência nº 17 - 0857, processou-se um lote inicial, sendo este acompanhado até o produto final (BF). Desta forma chegou-se a uma temperatura na zona oito na ordem de 1040°C, para uma velocidade de 24 m/min, também na espessura de 4,00 mm, para comparação com o processo anterior. A partir dos bons resultados obtidos de qualidade superficial, propriedades mecânicas e nível de estrias, aumentou-se a quantidade produzida até contemplar todo o aço P430E processado na RB3.

A Tabela 6 mostra os parâmetros de processo nas condições atuais de alta produtividade, com uma constante (espessura versus velocidade) igual a 96.

Tabela 6. Velocidade de processo e temperatura por zona (°C) em função da espessura da BQ (condições alta produtividade).

Esp. (mm)	Veloc. (m/min)	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Zona 4 (°C)	Zona 5 (°C)	Zona 6 (°C)	Zona 7 (°C)	Zona 8 (°C)
3,00	32	Deslig	1100	1170	1150	1120	1080	1060	1040
4,00	24	Deslig	1100	1170	1150	1120	1080	1060	1040
4,75	20	Deslig	1100	1170	1150	1120	1080	1060	1040
6,00	16	Deslig	1100	1170	1150	1120	1080	1060	1040

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 abaixo, mostra a microestrutura de bobina laminada a quente, recozida na RB3, com espessuras de 6,0 e 4,0 mm, processadas com a nova curva (alta produtividade), obtendo-se grãos tamanho 5-4 ASTM e 5-6 ASTM respectivamente, atendendo perfeitamente as características exigidas para este processo.

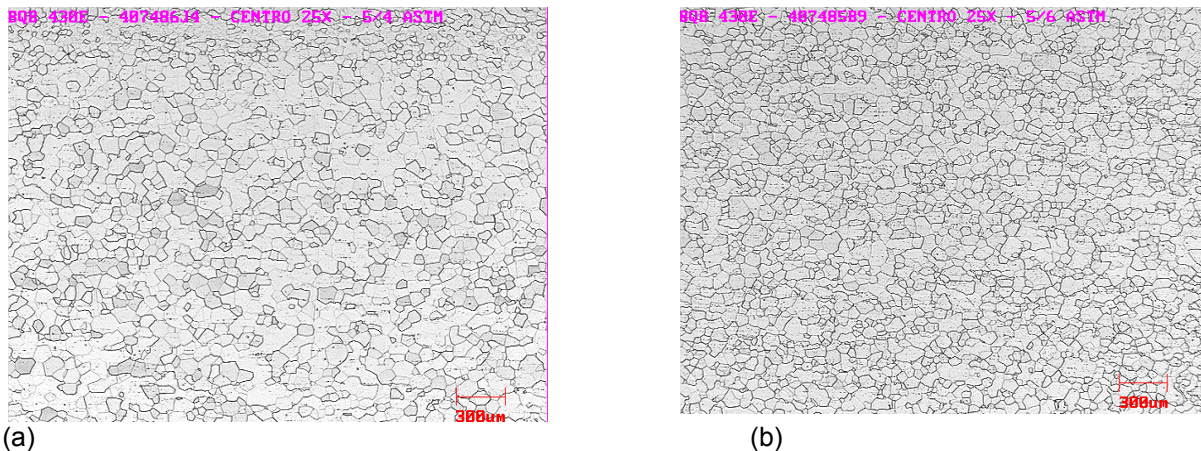


Figura 2. Microestrutura de bobinas laminadas a quente, recozidas na RB3 com curva de alta produtividade, aumento de 25X, (a) bobina 407486J4000B espessura 6,0 mm e (b) bobina 407485B9000B espessura 4,0 mm.

Durante o desenvolvimento da nova curva de recozimento, teve-se o cuidado de obter um perfil térmico que não prejudicasse o recuperador de calor do forno, que tem uma temperatura máxima de trabalho definida em 680°C, considerando-se que este perfil é decrescente, onde as temperaturas das zonas iniciais atingem até 1170°C.

Outro ponto que mereceu acompanhamento diferenciado foi a tração interna no forno (catenária), tendo em vista que este aço tem uma grande capacidade de se estirar à altas temperaturas (fluência), não havendo necessidade de qualquer alteração na tração do forno. Salienta-se também que não houve necessidade de qualquer alteração nos parâmetros do quebrador de carepa, jato de granalha, decapagem eletrolítica e nas concentrações dos banhos das decapagens química, proporcionando ganhos significativos nos consumos específicos de granalha, energia elétrica e ácidos.

Quanto aos resultados das propriedades mecânicas mantiveram-se muito bons conforme característica do aço, principalmente estriamento que é uma propriedade crítica nas diversas aplicações. O nível de estriamento apresenta-se conforme a Tabela 7. Considerou-se o período anterior ao projeto de janeiro a maio de 2004 e após, de julho de 2004 a maio de 2005. Fonte: banco de dados do Laboratório Metalográfico da área de laminação a frio de aços inoxidáveis da Acesita SA.

Tabela 7. Nível de estrias no produto final (BF), para espessura final menor ou igual a 0,8 mm.

Nível de estrias	Antes do projeto (%)	Depois do projeto (%)
≤ 1,3	71,0	76,6
≤ 1,7	85,0	87,3
≤ 2,0	94,0	98,3

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos atenderam plenamente ao objetivado, onde a produtividade média do aço P430E no “RB3” – Recozimento e decapagem contínua de bobinas laminadas a quente aumentou de 42,7 para 56,1 t/h - fonte Sistema Integrado de Produção da Acesita, com a qualidade superficial e propriedades mecânica do produto final em excelentes condições, dentro do especificado para a aplicação.

Este aumento na produtividade gerou uma redução no consumo específico de alguns insumos do equipamento RB3, como redução do consumo de ácidos e granalhas por tonelada de aço produzida, maior oferta de aço ferrítico estabilizado com consequente aumento da margem de contribuição do produto, ou seja ganho monetário.

Destacamos que, por ser o aço P430E de maior produtividade que o P430A e por ter-se evoluído muito nos resultados obtidos, a participação deste tem sido crescente.

Deve-se numa etapa seguinte, continuar no desenvolvimento do aumento de produtividade, buscando atingir a constante “TV” (espessura versus velocidade) igual a 108.

Agradecimentos

Acesita SA

REFERÊNCIAS

- 1 Silva, J. Nicacio – “Análise da Conformação a Frio do Aço ABNT 430 Modificado por Nb, Al, Nb-Al e Al-Ti” – Tese de Mestrado, D. Mt./EEUFMG - Nov. 1990
- 2 Rodrigues, Valentim Albino - “Processamento a quente de um aço inoxidável ferrítico tipo 430 com adição de nióbio” – COSIS - Comissão Organizadora de Simpósio Interno Semestral da Acesita, 1990.
- 3 Oliveira, Tarcísio Reis – “Histórico das mudanças na prática do aço ACE P430E” – RT10-346/2003 - ECP – 2004.

PRODUCTIVITY INCREASE OF FERRITIC GRADE HOT COILS AT FIRST ANNEALING AND PICKLING LINE ¹

*Paulo César Alves de Lima
Cléber Barros Cunha
Eduardo Milagres da Silva
Epifânio Magela Teixeira de Souza
Gilvan José Coura
José Nicácio da Silva
Paulo Marcelo de Andrade Novaes
Rodolfo Teixeira Filho*

Abstract

The main goal of the work described is the increase of productivity of stabilized ferritics P430E at first annealing and pickling line. The work was carried out through the adjustment of several parameters, such as, stabilizers addition, controlled hot rolling, furnace thermal profile and increase of process speed, which should be able to guarantee mechanical properties, metallurgical ones and surface quality of final products. The main accomplishment of this work was the offer increase of P430E grade in the production "mix" by the increase of average productivity of 42,7 ton/h for 56,1 ton/h.

Key words: Productivity; Ferritics; Annealing and Pickling line.

¹ 42st Rolling Seminar, Process, Rolled and Coated Products – 25 to 28 October 2005, Santos, SP, Brazil