

AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO TIPO ASTM 430 PARA ESTAMPAGEM PROFUNDA, COM ALTO BRILHO E ISENTO DE ESTRIAMENTO¹

Tarcísio Reis de Oliveira²
Ronaldo Claret Ribeiro da Silva³
Claudio Moreira de Alcântara⁴
Robson Guimarães Lopes⁴
Jose Sérgio Ferreira⁵
Emiliana Marques Arthuso⁵
Daniel Luiz Coimbra⁵
Valdomiro Crispim Machado⁶
Roberto Bamenga Guida⁷
Sérgio Ricardo Martins⁸

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar um aço inoxidável ferrítico 430 estabilizado ao nióbio de alta estampabilidade, alto brilho e sem estriamento, características não existentes no aço inoxidável ferrítico ASTM 430 padrão (não estabilizado). No processo de aciaria foi implantado o uso do Agitador Eletromagnético para o máximo percentual de grãos equiaxiais na placa. Na Laminação a Quente, foi modificada a prática que visava o encruamento do material para posterior recristalização no tratamento térmico da bobina a quente, para uma prática recristalizante, onde o material passa por recristalizações sucessivas entre os passes do laminador Steckel. Na Laminação a Frio, foram otimizadas as temperaturas de recozimento visando uma melhor textura de recristalização, maior estampabilidade e menores rugosidade e estriamento após estampagem. Devido a estas características, este aço está sendo usado em pias monobloco, mesas de fogão de design complexo e baixelas classe A, substituindo os aços 304 e 2XX.

Palavras-chave: Aço inoxidável ferrítico; Estampagem; Estria; Recristalização.

DEEP DRAWING QUALITY FERRITIC STAINLESS STEEL TYPE ASTM 430 WITH LOW ROPING AND BRIGHT SURFACE

Abstract

This work presents the ferritic stainless steel ASTM 430 stabilized with niobium, which has high drawability and brightness and very low roping. In the Continuous Casting, the use of Electromagnetic Stirring was essential to get at least 50% of equiaxed grain in the slab. The Hot Rolling was modified in order to have recrystallizations between passes during the Steckel Mill finishing process. The annealing temperatures of hot and cold rolled coils were optimized to have a better recrystallization and, consequently, better drawability and very low roping after forming. Due to these unique characteristics, this grade has been used to produce monobloc sinks, top-of-the-stove with complex design and first class tableware, replacing the much more expensive austenitic ASTM 304 and 200 series grades.

Key words: Ferritic Stainless steel; Deep drawing; Roping; Recrystallization.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Mecânico. Membro ABM. M.Sc; D.Sc. Professor, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UnilesteMG); Coordenador da Pesquisa Inox, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico. Membro ABM. M.Sc. Gerente Centro de Pesquisas Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

⁴ Técnico em Metalurgia. Centro de Pesquisas Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalurgista/Materiais. M.Sc. Assistente Técnico Metalurgia, Aperam South America, MG, Brasil.

⁶ Engenheiro Mecânico. Assistente Técnico Laminação a Frio Inox, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

⁷ Engenheiro Metalurgista. M.Sc. Gerente Desenvolvimento de Mercado, Aperam South America, São Paulo, MG, Brasil.

⁸ Administrador. Assistente Técnico Desenvolvimento de Mercado, Aperam South America, São Paulo, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Visando melhorar a estampabilidade dos aços inoxidáveis ferríticos, a Aperam South America desenvolveu na década de 1990 um aço inoxidável ferrítico tipo ASTM 430 estabilizado ao nióbio (430Nb). Segundo a literatura, a adição de nióbio inibe a recristalização do material durante a fase de laminação a quente através da precipitação de carbonitretos de nióbio e do efeito do nióbio em solução sólida,⁽¹⁾ gerando uma bobina laminada a quente de alta de energia, que após o recozimento apresenta uma estrutura mais refinada e homogênea, melhorando suas propriedades de estampagem no produto final. A adição de nióbio, associada a processos controlados de laminação a quente e a frio, tornou possível a produção de um material com estampabilidade superior aos ferríticos convencionais não estabilizados como o aço 430 padrão.

Mesmo com este comportamento superior aos aços tradicionais ferríticos, este aço ainda apresentava limitações quanto à estampagem profunda, principalmente para substituições do mais caro aço inoxidável austenítico 304, por exemplo em pias, além de apresentar um elevado nível de estrias após conformação. No final de 2002 foi implantada uma 2^o rota de laminação a frio, já que até então o material sofria apenas uma etapa de laminação a frio (Redução Direta). Na ocasião, foi então adotada a prática com duas etapas de laminação, com um recozimento entre elas (redução Via recozimento Intermediário), visando eliminar e/ou minimizar o nível estriamento do aço 430Nb produzido via Redução Direta, como também, melhorar a estampabilidade deste material.

O uso de processo Via Intermediário é um reconhecido método utilizado para melhoria da estampabilidade e redução do estriamento em inoxidáveis ferríticos, sendo utilizado por inúmeras empresas ao redor do mundo.⁽²⁾ Através da promoção de uma etapa de recristalização suplementar no material, aumenta-se a fração volumétrica de fibra gama ($\{111\}/DN$), principal textura cristalográfica na melhoria da estampabilidade, reduzindo também a intensidade de fibra Teta ($\{100\}/DN$), principal textura na redução da estampabilidade. Além disto, esta recristalização suplementar promove a quebra do alinhamento de grãos de mesma orientação causadores do estriamento, fato comum nos aços inoxidáveis ferríticos devido a uma “herança” da textura cristalográfica oriunda desde o processo de solidificação no lingotamento contínuo. É importante salientar que a busca por soluções ao estriamento é um dos maiores desafios tecnológicos para os aços inoxidáveis ferríticos. Sendo assim, o processo de recristalização é a chave tanto para a melhoria da estampagem quanto do estriamento.

No ano de 2008 o mercado para este aço na condição Via Intermediário estava bastante promissor, pois em algumas aplicações os aços 430A e o 430Nb Redução Direta não tinham desempenho satisfatório. As principais aplicações eram pias monobloco e cubas com profundidade entre 120 e 130 mm e mesas de fogão brilhantes e de design complexo. Alguns fabricantes de utensílios domésticos começavam a fazer testes para substituir o aço 304 em baixelas e produtos classe A onde a estampabilidade era bastante requerida. Além disto, para muitas aplicações na América do Sul, principalmente pias e cubas, este aço Via Intermediário era o único ferrítico que permitia ao mesmo tempo desempenho de estampagem, baixo estriamento e alto brilho. No geral, o desempenho nos clientes era bom, embora com algumas reclamações esporádicas relativas ao estriamento e a capacidade de estampagem.

Neste mesmo ano, foi implantado com sucesso na aciaria da empresa o Agitador Eletromagnético (EMS – *ElectroMagnetic Stiring*), equipamento usado para promover uma maior formação de grãos equiaxiais durante o lingotamento, quebrando a estrutura colunar tradicional na solidificação dos aços inoxidáveis ferríticos. Vislumbrou-se nesta novidade tecnológica para a empresa uma oportunidade de produção do aço 430Nb pelo processo Redução Direta (RD) com características que permitiriam a substituição/eliminação do processo Via Intermediário (VI) e possível melhoria das propriedades valorizadas no produto, notadamente a alta estampabilidade e o baixo estriamento.

2 OBJETIVOS

Produzir um aço 430 estabilizado ao nióbio (430Nb) de alta estampabilidade (qualidade DDQ – Deep Drawing Quality), alto brilho e baixo estriamento após conformação.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução do Agitador Eletromagnético

A implantação do Agitador Eletromagnético (EMS) no processo de lingotamento contínuo foi um grande avanço tecnológico para a produção de aços inoxidáveis ferríticos na Aperam South America (Figura 1a). A atuação do EMS é gerar um fluxo de material líquido dentro do molde visando quebrar os grãos colunares que estão se formando nas paredes do molde. Estes grãos “quebrados” servem então como núcleos de solidificação na parte central das placas, promovendo então a formação de grãos equiaxiais centrais (Figura 1b). Desta forma, quebra-se a intensa formação de grandes grãos colunares de textura cristalográfica fibra Teta, de difícil recristalização em processos termo-mecânicos posteriores. Após a implantação do EMS, os primeiros resultados já mostraram uma redução significativa das estrias largas, típicas de processo de solidificação, com redução também nas estrias finas, mais ligadas às colônias de grãos de mesma orientação cristalográfica. Ou seja, o EMS estava sendo útil para a melhoria da microestrutura, com maior formação de grãos equiaxiais durante a solidificação das placas e melhor recristalização nos processos posteriores.

Visando uma avaliação específica somente do efeito benéfico do Agitador Eletromagnético, foram elaboradas bobinas apenas modificando a estrutura de solidificação (uso do EMS). A Tabela 1 mostra um comparativo simplificado das propriedades. De uma forma geral, as propriedades mecânicas tradicionais (limites de escoamento e resistência, alongamento total e uniforme e dureza) não apresentavam diferença significativa entre os três materiais analisados. Porém, quanto à anisotropia normal (rN), um dos principais parâmetros usados para se medir a estampabilidade, já se percebia uma melhora com o uso do EMS, porém ainda muito abaixo dos valores do processo Via Intermediário. Maiores valores de rN demonstram uma maior estampabilidade do material. Quanto ao estriamento, a melhora era bastante significativa com o uso do EMS. A escala de estrias segue um padrão visual que vai de 0,3 a 2,7 (0,3; 0,7; 1,0; 1,3; 1,7. 2,0; 2,3; 2,7), sendo o valor 0,3 para baixo ou isento de estrias e 2,7 para mais alto valor. Para aplicações gerais, o nível 1,3 é considerado satisfatório, mas para aplicações mais exigentes como do 430Nb Via Intermediário, o nível 1,0 era considerado o valor máximo. A introdução

do EMS mostrava uma melhora significativa no estriamento, mas ainda ocorriam muitas bobinas com valores acima do máximo permitido para este aço.

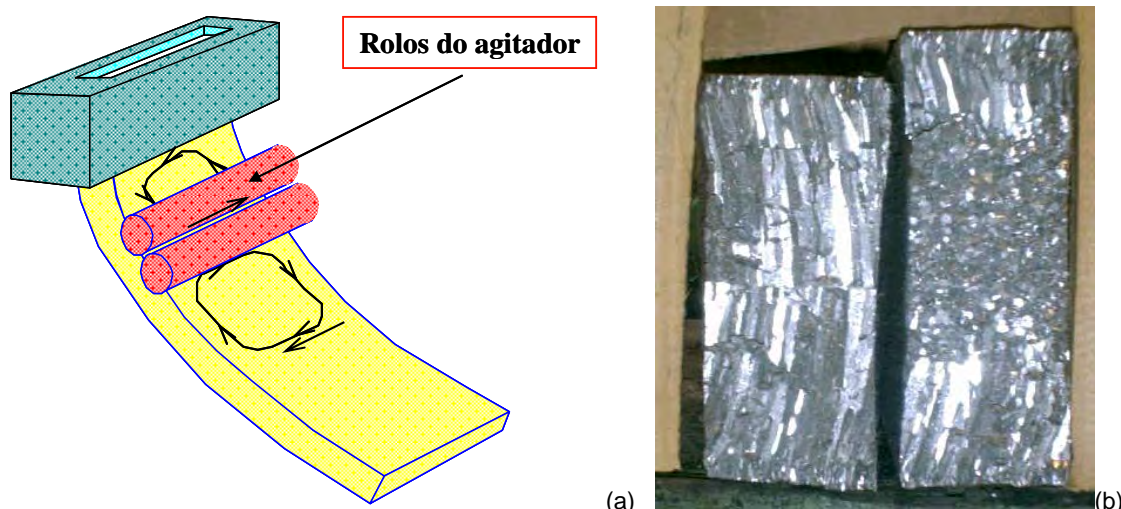


Figura 1. (a) Esquema da posição dos rolos agitadores do EMS implantados na Aperam South America; e (b) Estrutura de solidificação da placa, com grãos 100% colunares (amostra a esquerda) e com 50-60% de grãos equiaxiais no centro (amostra a direita) produzida com uso do EMS.

Tabela 1. Algumas propriedades mecânicas e estriamento do 430Nb Via Intermediário e do 430Nb Redução Direta com e sem EMS

Material	Alongamento (%)	rN	Estrias
430Nb VI	28 a 34%	1,4 a 1,7	0,3 a 1,0
430Nb RD sem EMS	28 a 34%	~ 1,05	1,0 a 2,7
430Nb RD com EMS	28 a 34%	1,10 a 1,15	0,7 a 1,3

3.2 Otimização do Processo Produtivo

3.2.1 Simulações em laboratório

Alguns estudos foram efetuados visando verificar em laboratório algumas variáveis do processo produtivo que poderiam ser otimizadas para maior recristalização e posterior melhor desempenho do aço 430Nb (maior estampabilidade e menor estriamento). O primeiro estudo realizado objetivava verificar a influência do tamanho de grão inicial na anisotropia (rN) e na estria. Foram feitos tratamentos térmicos a partir de amostras de 1,60mm para conseguir diferentes tamanhos de grão antes da laminação a frio final, além de uma condição inicial de grãos deformados (Figura 2). Os resultados finais, após laminação a frio para 0,60mm e recozimento, são mostrados na Tabela 2.

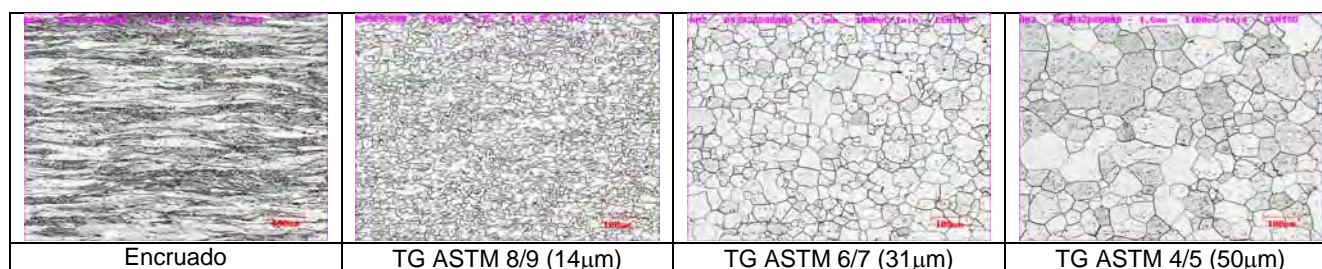


Figura 2. Microestrutura inicial.

Tabela 2. Resultados da microestrutura original na estampabilidade e estriamento

Estrutura/Tamanho de grão inicial	Estria	Estampabilidade
Deformada	Alta	Alta
Recristalizada - TG ASTM 8/9	Leve	Alta
Recristalizada - TG ASTM 7/6	Leve	Média
Recristalizada - TG ASTM 5/4	Leve	Média

Pôde-se verificar que a condição que atende tanto bom estriamento e alta estampabilidade era com grãos finos (TG ASTM8/9). A condição deformada conseguiu produzir alta estampabilidade, devido alta formação de fibra gama, mas com alta formação de colônias de grãos de mesma orientação, o que levou a um altíssimo estriamento. As condições com maior tamanho de grão levaram a um bom estriamento, mas com perda na estampabilidade. O motivo deste comportamento é justificado na literatura pela formação de bandas de cisalhamento durante a deformação a frio destes grãos mais grosseiros.⁽³⁾ No interior destas bandas de cisalhamento há a formação de texturas de Goss e outras não favoráveis a estampagem. No recozimento final, estas orientações se recristalizam facilmente devido a alta energia local, impedindo a formação da fibra gama. Há uma quebra do alinhamento das colônias de grãos de mesma orientação, o que é bom para reduzir o estriamento, mas não se obtém um produto com alta estampabilidade. Grãos originais mais finos permitem uma deformação mais homogênea nos grãos, sem formação intensa de bandas de cisalhamento, o que promove uma maior formação de fibra gama no recozimento final, gerando então baixo estriamento e alto rN. A principal conclusão deste estudo foi que era necessário reduzir ao máximo o tamanho de grão das bobinas laminadas a quente (BQs) para otimizar a estampagem final, garantindo-se ao mesmo tempo a recristalização do material para não aumentar o estriamento.

Com intuito então de otimizar o processo de recozimento das BQs visando à obtenção do menor tamanho de grão possível, foram feitas simulações do tratamento térmico de BQs. Foi então observado que o tratamento térmico estava sendo feito em temperaturas muito elevadas (1.030°C a 1.050°C), podendo as mesmas ser reduzidas para até 890°C. Levando-se em conta as diferenças entre o processo de simulação em laboratório e o processo industrial, para se ter garantia deste resultado poderia se diminuir a temperatura de TT da bobina a quente para valores entre 930 e 970°C, ou fazer uma otimização levando-se em conta não somente a temperatura, mas também a velocidade de processo.

3.2.2 Melhorias na aciaria e lingotamento contínuo

Ao se perceber que a melhoria das propriedades estava ligada diretamente a promoção mais intensa da recristalização ao longo do processo produtivo, algumas mudanças foram promovidas a partir do processo de elaboração. Em estudos anteriores,⁽⁴⁾ foi comprovada a forte influência do nióbio em solução sólida na formação do estriamento e na estampabilidade dos aços 430Nb. O nióbio em solução sólida (ΔNb) é o nióbio que não está na forma de precipitados de NbC ou NbN. Pelo fato deste nióbio em solução sólida se concentrar nos contornos de grão e por isto impedir os processos de recristalização (efeito Dragg), quanto menor o ΔNb melhor para o estriamento e a estampabilidade. Procurou-se então reduzir o

valor de ΔN_b para o menor valor possível que garantisse a estabilização, ficando a faixa desta entre 8,0 e 9,0 (Estabilização = %Nb / (%C + %N)).

3.2.3 Melhorias na laminação a frio

O recozimento final teve a prática na RB4 otimizada. Em um estudo de mestrado em conjunto com a UFMG,⁽⁵⁾ Rodrigues percebeu-se que taxas de aquecimento muito elevadas diminuem a formação de fibra gama, com conseqüente redução na estampabilidade. Além disto, em dois estudos em conjunto com a Unileste,^(6,7) mostrou-se que tempos maiores de encharque permitiam um aumento da fibra gama, devido a um leve crescimento nos grãos finais. A razão para este comportamento é que como os grãos da fibra gama são maiores que os demais, por nuclearem primeiro, eles tem vantagens de crescimento sobre os demais. Isto leva ao aumento da fibra gama e a conseqüente melhoria da estampagem. Com base nestes conhecimentos, o tratamento térmico final passou a ser realizado com média velocidade de linha 15% menor que a prática anterior, sendo também evitadas condições de tratamento térmico com alta taxa de aquecimento. Vale ressaltar que mesmo com um pequeno crescimento de grão, se objetivou continuar com um tamanho de grão final ASTM 9/10, grão muito fino, pois isto é uma das principais características do aço 430Nb/F, pois possibilita uma superfície lisa após processos de estampagem e com menor perda de brilho.

3.2.4 Verificação das propriedades

Em função das modificações feitas no processo produtivo, a estampabilidade e o nível de estriamento, as principais variáveis envolvidas, tiveram a evolução mostrada na Tabela 3. As propriedades mecânicas tradicionais (alongamento, limites de escoamento e resistência, dureza) não mostraram grande variação com as mudanças do processo produtivo.

Tabela 3. Evolução da estampabilidade (rN) e do nível de estriamento em função das modificações do processo produtivo.

Condição	Valor médio de rN	Estriamento
Sem EMS	1,05	1,0 a 2,7
Com EMS	1,12	0,7 a 1,3
Com EMS + otimização recozimento BQ/BF	1,30	0,7 a 1,3

Pôde-se perceber que as medidas adotadas para melhorar a estampabilidade foram efetivas, com grande melhoria desta propriedade à medida que se implantava as práticas otimizadas ao longo do fluxo produtivo. Porém, embora reduzindo o percentual de bobinas com estriamento 1,3, este nível de estrias ainda acontecia frequentemente. Os ganhos de estrias pode-se dizer foram principalmente ligados a introdução do EMS. Embora com evolução marcante quanto ao material produzido sem EMS via Redução Direta, este material se mostrava ainda inferior quanto à estampabilidade e estriamento em relação ao produzido Via Intermediário.

3.3 Modificação da Filosofia de LTQ: de processo “Encruante” para “Recristalizante”

O processo do 430Nb tinha sido desenvolvido visando acumular deformação durante o processo de laminação a quente (LTQ) para propiciar uma boa recristalização

durante o recozimento da bobina a quente. Consequentemente, um maior encruamento possibilitaria uma melhor recristalização posterior, sendo por isto chamado de processo “Encruante” de LTQ. A condição microestrutural após a laminação a quente é mostrada na Figura 3.

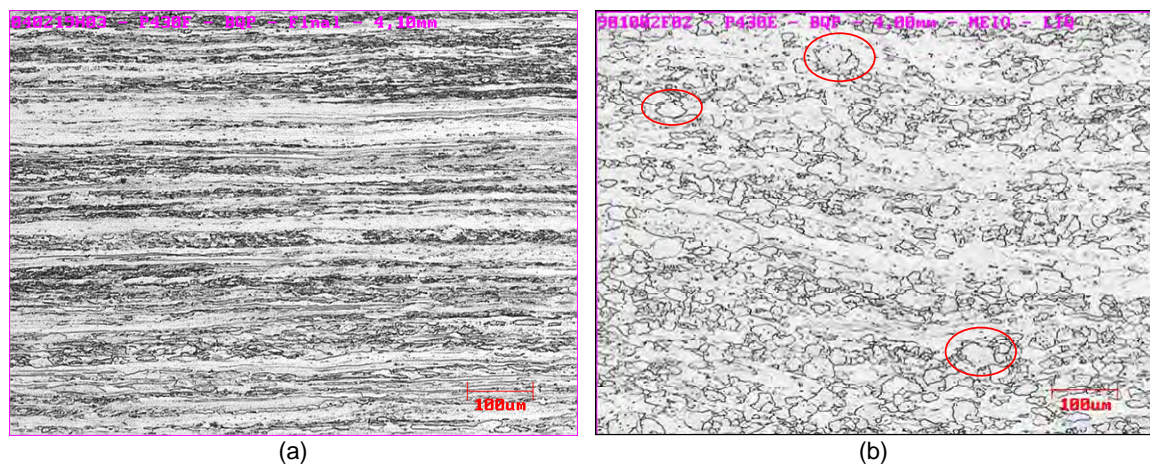


Figura 3. (a) Ponta (cauda) da BQ sem recozimento; e (b) Meio de BQ sem recozimento com regiões com início da recristalização.

Em função das limitações que vinham se apresentando no processo tradicional, baseado no encruamento durante a LTQ e posterior recristalização da bobina a quente, outra possibilidade começou a ser pensada. Após a descoberta através dos estudos no aço 409,⁽⁸⁾ sabia-se que era possível se conseguir melhorar o processo de recristalização durante o processo na LTQ, particularmente o Steckel. Porém, para os aços com maior percentual de cromo (como 439, 441, 444) haviam ocorrido problemas tanto quanto a recristalização deficiente quanto ao aparecimento do defeito colamento (incrustação de óxidos). Este problema de colamento vinha sendo trabalhado pela equipe da LTQ e havia a possibilidade do problema não ser mais crítico em função das melhorias implantadas.

3.3.1 Simulação em laboratório

Aproveitando a experiência da equipe do laboratório Termomecânico do Centro de Pesquisas já desenvolvida durante as simulações com o aço 409, 439 e 430H, foram feitos testes com o aço 430Nb a partir de amostras de esboço (28mm). Em laboratório é possível simular apenas a fase Steckel, mas os estudos vinham mostrando ser esta a de maior importância nas recristalizações sucessivas. A janela de sucesso para se conseguir recristalizações entre passes é bastante estreita. Caso a temperatura seja muito alta ou a redução muito baixa, ocorre apenas a recuperação da estrutura, sem recristalização e conseqüente “quebra” dos grãos da solidificação. Por outro lado, caso a temperatura seja muito baixa ou a deformação por passe excessiva, ocorre apenas o encruamento, também sem promover recristalização. Além disto, o laminador Steckel tem uma característica que adiciona mais um fator a esta combinação: o tempo entre passes. Muitas vezes para que ocorram as recristalizações é necessário um tempo de incubação para a formação dos núcleos de recristalização e para que eles possam crescer. Este tempo só é possível em laminadores reversíveis como o Steckel, uma vez que o processo em laminadores de trem contínuo (Tandem), as múltiplas cadeiras em seqüência, com mínimos tempos entre passes (muitas vezes menores que um segundo devido à alta velocidade de processo) este tempo de espera não é possível. O laminador Steckel

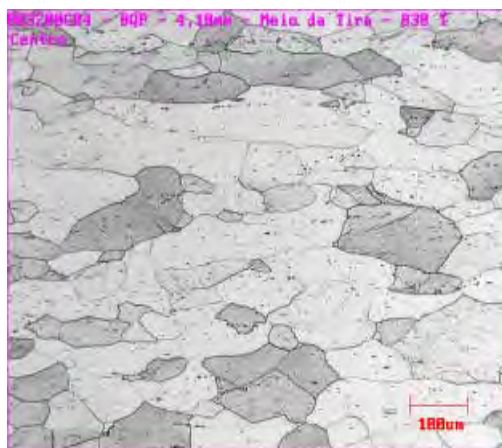
é menos produtivo que o Tandem, mas tem possibilidades que podem auxiliar nas propriedades metalúrgicas dos aços inoxidáveis ferríticos.

3.3.2 Implantação do processo “recristalizante” na laminação a quente

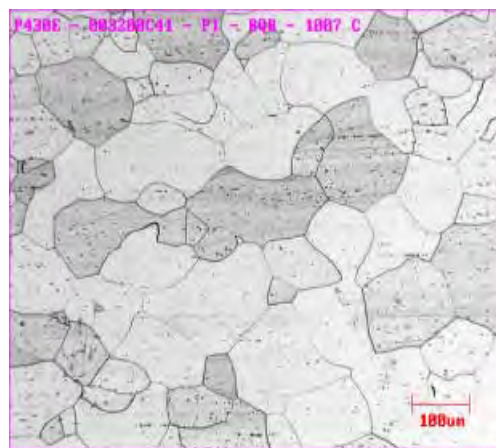
Após um relativo sucesso das simulações em laboratório e a necessidade de uma nova alternativa para o processo encruante industrial, foi desenvolvida uma nova prática industrial para o material:

- Forno *Walking Beam*: Temperatura de desenformamento 1.080 – 1.130°C,
- *Rougher*: processo em 7 passes, temperatura de saída entre 1.000 e 1.050°C.
- *Steckel*: processo em 5 passes, temperatura entre 900 e 950°C, para promover a recristalização.

Não foram verificados sinais de colamento nos cilindros do *Rougher* e do *Steckel* após os passes com maior redução. Posteriormente, após o recozimento e decapagem da BQ, não foram verificados problemas de qualidade superficial. As microestruturas das BQs não recozidas (BQP) e após recozimento (BQB) são mostradas na Figura 4. Observa-se que o material se encontra com poucos grãos alongados e muitos grãos recristalizados, uma microestrutura bastante diferente da condição LTQ “encruante”. Na BQB, o grão é mais fino nas pontas que no meio devido à menor temperatura de processo na LTQ, com a ocorrência dos grãos alongados sendo eliminados na recristalização posterior da bobina a quente.



BQP ponta inicial



BQB meio da bobina

Figura 4. Microestrutura da BQP e BQB na condição recristalizante na LTQ.

3.3.3 Verificação das propriedades

Após todo o processo de otimização do fluxo produtivo, foram feitas inúmeras caracterizações para se determinar as propriedades típicas para este novo aço 430Nb Redução Direta. Os principais pontos, medidos para a espessura de 0,60mm foram:

- rN: valor médio ao redor de 1,5, similar ao obtido anteriormente pelo processo Via Intermediário. O valor mínimo observado foi de 1,4, chegando a atingir até 1,80. O ΔR médio foi de 0,45;
- baixíssimo índice de estrias, com média de 0,3. A maioria das bobinas não apresenta estriamento, o que faz deste material ainda melhor que o produzido anteriormente Via Intermediário;
- os parâmetros de estampagem se mostraram sempre muito similares ao material Via Intermediário: expoente de encruamento “n” 0,20, LDR 2,12,

índice Erichsen 8,9 (sem PVC) e 9,7 (com PVC), valores que demonstram a boa capacidade de conformação;

- o alongamento, a dureza, os limites de escoamento e resistência, a qualidade superficial e o brilho ficaram similares ao produto tradicional;
- material muito bem recristalizado com tamanho de grão fino (ASTM 9/10); e
- destaca-se a evolução da textura do material do processo inicial “encruante” para o processo “recristalizante”. Houve melhora nas intensidades médias de textura fibra gama, favorável à estampagem, passando de 40-45% para ~50%, bem como uma redução da textura fibra teta, prejudicial à estampagem, que reduziu de ~11% para 9-10%. Estes valores são bastante similares aos obtidos por processos Via Intermediário, algo verificado nas propriedades de estampagem.

Em relação ao estriamento, alguns pontos são destacados. O 430 padrão (não estabilizado) apresenta estriamento bastante destacado de finas linhas no sentido de laminação, o que é evidenciado na Figura 5a. Através da perfilometria pode-se observar a presença de “picos” e “vales” alinhados, como se formando um relevo contínuo. De forma diferente, no aço 430DDQ o estriamento é bastante leve. A análise via perfilometria mostra também “picos” e “vales” isolados, não de forma contínua. Para o olho humano, isto é perceptível de forma clara, com linhas de estrias fortes no aço 430 padrão e ausência de estriamento no aço 430DDQ.

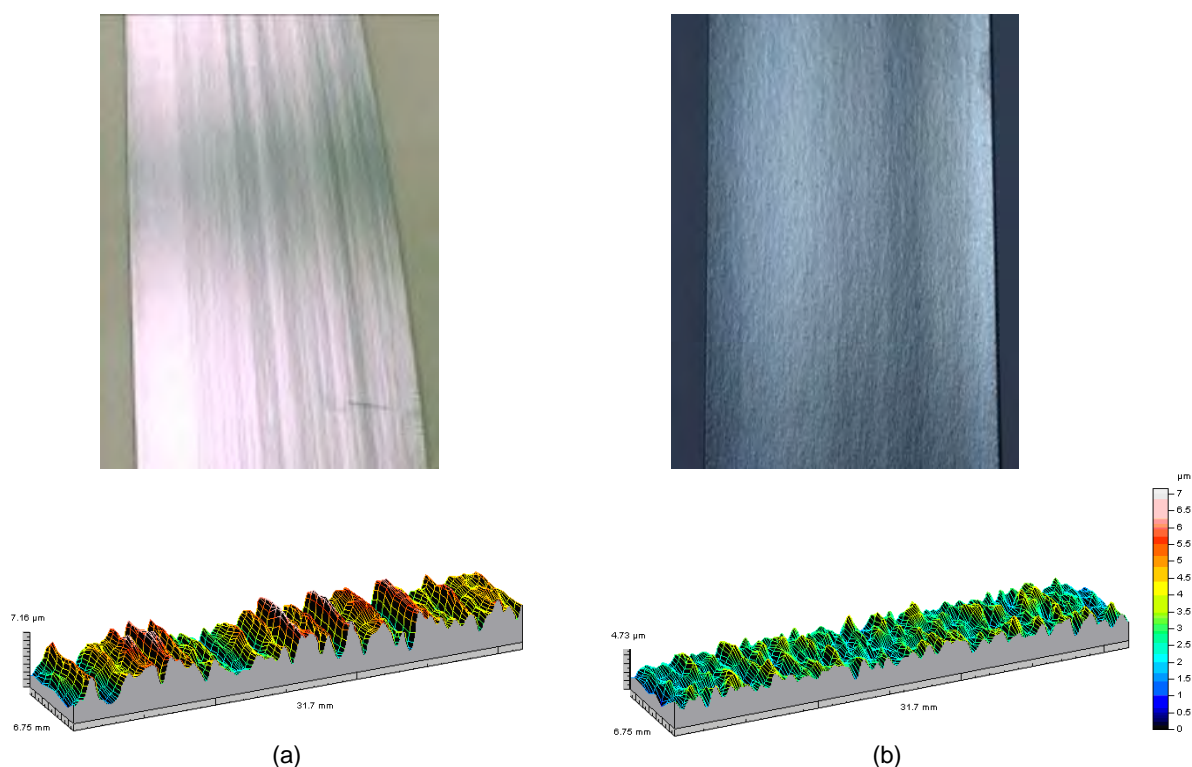


Figura 5. Aparência de estrias e perfilometria: aços 430 padrão (a) e 430 DDQ (b).

3.3.4 Resultados nos clientes

Tão logo o processo recristalizante foi implantado com sucesso na LTQ começaram os testes nos clientes, com ênfase na fabricação de pias e cubas. Neste cliente o resultado foi excelente quanto à estampabilidade, com baixo índice de rupturas (apenas na regulagem da prensa). O ponto mais evidente foi a melhoria significativa do estriamento, com pias apresentando superfície muito melhor que anteriormente, mesmo comparado com o processo Via Intermediário. No segmento de pias e

cubas, embora tenha sido tentado utilizar produtos importados similares (vindos do Japão e Europa), nenhum apresentou o conjunto de propriedades similares ao novo 430DDQ da Aperam South America.

A produção de mesas de fogão de design complexo e para os clientes externos a aceitação foi imediata, com retornos muito positivos quanto ao desempenho. No mercado externo, continuou garantindo-se assim com o novo 430DDQ a performance diferenciada do aço 430Nb Via Intermediário. Só produtos de alto desempenho para conseguir fazer pias de alta profundidade, substituindo produtos antes feitos com aço 304. Vale salientar a percepção de um cliente da Venezuela, que após comparações com aços 430 de alta estampabilidade de renomados fabricantes mundiais, afirma que quanto à estampagem os resultados são até similares, mas nenhum produto apresenta a qualidade superficial final do 430DDQ da Aperam South America, ou seja, com baixíssimo estriamento e alto brilho.

O último desafio foi a fabricação de baixelas e utensílios domésticos. O sucesso foi grande, pois para o cliente, o mais importante é não haver estrias. Consideram a estria muito crítica uma vez que esta não pode ser eliminada com polimento. O material enviado foi inicialmente utilizado para baixelas tradicionais em 430VI. Em função da excelente qualidade apresentada, passou em seguida também a ser utilizado na substituição do aço 304 em inúmeros outros produtos de primeira linha estampados, algo importante para o custo de produção de baixelas pois as mesmas às vezes competem com peças importadas feitas em aços inoxidáveis 2XX, de custo inferior ao 304. Como os aços inoxidáveis ferríticos são mais baratos que os 2XX, isto gera uma boa vantagem competitiva. Exemplos de produtos usando o novo 430DDQ são mostrados na Figura 6.



Figura 6. Exemplos de produtos feitos em aço 430DDQ.

5 CONCLUSÕES

O Agitador Eletromagnético melhora a estampabilidade e o estriamento dos aços inoxidáveis ferríticos, mas sozinho não é suficiente para produzir um 430Nb de alta performance. Somente com a combinação dos inúmeros processos industriais, desde a aciaria até a laminação a frio, com ênfase especial à mudança no processo de laminação a quente da filosofia “encruante” para “recristalizante”, se consegue a produção de um aço 430 estabilizado ao nióbio de grau DDQ com ótima estampabilidade, alto brilho e baixíssimo estriamento após estampagem. Este produto, top class no mercado mundial de aços 430, está em processo de patenteamento devido à forma inovadora e única de sua produção. Isto é uma tecnologia própria da Aperam South America.

Os processos em laboratório permitiram aperfeiçoar e descobrir soluções que viabilizaram a realização de experiências industriais que permitissem uma maior recristalização do material ao longo do fluxo produtivo, melhorando a microestrutura e permitindo ganhos nas propriedades finais, particularmente estampagem e estriamento.

Na LTQ, foi modificada a prática visando o encruamento do material (baixa temperatura de processo – 850°C) para posterior recozimento/recristalização da bobina a quente, para uma prática recristalizante, somente possível devido ao uso do laminador Steckel, onde o material passa por recristalizações sucessivas entre os passes. Para isto, foram otimizadas as temperaturas de laminação e os planos de passes nos laminadores Rougher e Steckel, de forma a se produzir a recristalização e não recuperação (se alta temperatura e/ou baixa redução por passe) ou encruamento (se baixa temperatura e/ou alta redução por passe).

Na laminação a frio, foram otimizadas as temperaturas de recozimento das bobinas laminadas a frio e a quente, visando um menor tamanho de grão na BQ, uma melhor textura de recristalização final, maior estampabilidade e menor estriamento.

O resultado nos clientes foi excelente, principalmente na fabricação de pias monobloco, mesas de fogão de design complexo e baixelas classe A (substituindo o aço 304 e o 2XX importado). Os clientes consideram o novo 430DDQ da Aperam South America o material de referência mundial para estas aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 OLIVEIRA, T. R. **Effet du niobium et du titane sur la déformation à chaud d'aciers inoxydables ferritiques stabilisés**. Tese de doutorado. Ecole des Mines de Saint Etienne, França. 2003. 221 p.
- 2 HUH, MY ; ENGLER, O. **Effect of intermediate annealing on texture, formability and ridging of 17%Cr ferritic stainless steel sheet**. MAT SCI E A, 308(1-2), 2001, pp. 74-87.
- 3 DOHERTY R.D. et al. **Current issues in recrystallization: a review**, *Mater. Sci. Eng.*, vol. A238, pp. 217-274, 1997
- 4 OLIVEIRA, T. R., GONÇALVES, I. N., CUNHA, M. A., SILVA - **Estudo do Estriamento (roping) em Aços Inoxidáveis Ferríticos AISI 430 Estabilizados ao Nióbio**. 62^o Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, Julho 2007, Vitória, Brasil.
- 5 RODRIGUES, D. G. **Influência da taxa de aquecimento do tratamento térmico final na microestrutura e textura do aço inoxidável ferrítico AISI 430 estabilizado ao nióbio**. Belo Horizonte, 2013. Dissertação de mestrado UFMG.
- 6 MOURA, A. N. **Influência da temperatura de recozimento na recristalização e na evolução da textura dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 430 ao nióbio**. Coronel Fabriciano, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Unileste MG.
- 7 SOARES, K. P. **Estudo da recristalização e influência do tempo de encharque na evolução da textura nos aços inoxidáveis ferríticos AISI 430 ao nióbio**. Coronel Fabriciano, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Unileste MG.
- 8 OLIVEIRA, T. R. et al. **Desvendando os segredos do alto desempenho do aço inoxidável 409 da Acesita**. Relatório Interno Aperam South America - RT10- 478/2005. 2005.