

# PRODUÇÃO DE CHAPAS GROSSAS NORMALIZADAS DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO<sup>1</sup>

Antonio Augusto Gorni<sup>2</sup>  
Celso Gomes Cavalcanti<sup>3</sup>  
Jackson Soares de Souza Reis<sup>4</sup>  
José Herbert Dolabela da Silveira<sup>5</sup>

## RESUMO

Uma das maneiras disponíveis para se otimizar a produção de chapas grossas normalizadas consiste na obtenção deste tipo de produto diretamente do calor de laminação, através da chamada *laminação de normalização*. Desse modo, elimina-se uma etapa adicional do processo, que é o tratamento térmico de normalização, reduzindo-se o custo do produto e o prazo necessário para sua fabricação. Essa nova rota de fabricação já vem sendo empregada por diversas siderúrgicas no exterior. O objetivo deste trabalho foi estudar a implantação dessa nova rota de fabricação, tomando partido de uma variante de laminação controlada conhecida como *laminação controlada com recristalização* (“recrystallization controlled rolling”). Os resultados obtidos foram animadores, uma vez que conseguiu-se produzir material como laminado com propriedades muito semelhantes ao material normalizado, atendendo aos requisitos da norma DIN 17100 RR 52-3N, uma das que admitem essa nova rota de fabricação.

Palavras-Chave: Laminação de Normalização, Microestrutura, Propriedades Mecânicas

---

<sup>1</sup> Contribuição Técnica apresentada no XXXIV Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte MG, 26 a 28 de agosto de 1997.

<sup>2</sup> Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, Mestre em Engenharia, Pesquisador da Gerência de Pesquisa da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA. E-Mail: agorni@iron.com.br

<sup>3</sup> Membro da ABM. Técnico em Siderurgia. Assistente da Gerência de Pesquisa da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA.

<sup>4</sup> Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista e de Qualidade. Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA.

<sup>5</sup> Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia. Gerente da Laminação de Chapas Grossas da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA.

## - INTRODUÇÃO

A situação do mercado de chapas grossas vem-se tornando cada vez mais complicada. O mercado interno brasileiro, onde os preços atualmente são mais atraentes, absorve apenas metade da produção nacional. Já o mercado externo apresenta menores preços e requisitos de qualidade cada vez mais severos. Ainda que o mercado interno venha a apresentar alguma reação no futuro, em função da retomada prevista em investimentos de base, dificilmente ele absorverá mais do que 65% da produção nacional.

Portanto, sempre haverá uma fração significativa da produção de chapas grossas que somente poderá ser absorvida pelo mercado externo. O problema é que a situação desse mercado só tende a piorar, em função do aumento incessante da oferta deste tipo de produto no mundo. Podem-se citar como exemplos dessa tendência a futura entrada em operação do Laminador de Chapas Grossas da usina de Dongkuk (Coréia) e da segunda cadeira do Laminador de Chapas Grossas da SSAB (Suécia). Esta última, por sinal, será do tipo Steckel, permitindo melhor qualidade superficial do esboço e maior rendimento metálico, além de condições mais flexíveis de processamento.

Logo, todo esforço para otimizar as condições de produção e melhorar a qualidade do produto chapas grossas será pouco para se fazer frente a essa situação de mercado cada vez mais rigorosa.

Uma das possibilidades de otimização para a produção de chapas grossas que não dependem de investimentos significativos está na obtenção de material no estado normalizado diretamente da laminação a quente. Desse modo, este tipo de produto poderá ser obtido de maneira mais rápida e econômica, uma vez que pode-se suprimir a etapa adicional de normalização, que é feita no forno de tratamento térmico após o esfriamento do esboço. Uma vez que o atendimento de prazos de entrega está se tornando um ponto cada vez mais crucial para a satisfação dos clientes, essa agilização no processo de fabricação deste material é muito bem-vinda.

Na verdade, esta rota de fabricação proposta não é exatamente nova. Ela já é aceita há mais de vinte anos por diversas normas que regem as características

de material estrutural, tais como a BS 4360, BS EN 10025, DIN 17100 e DIN 17102, entre outras. Alguns tipos de material normalizado para vasos de pressão, como os regidos pela norma VdTÜV 1263, também podem ser produzidos diretamente do calor de laminação.

Esta alteração no processo é possível através da adoção da chamada **laminação de normalização**. Este processo consiste em se submeter o esboço a condições especiais durante a sua fase de acabamento, de modo a se obter um material com propriedades equivalentes às obtidas após o tratamento térmico convencional de normalização.

De todo modo, é fundamental se ter certeza de que o material processado por essa nova rota de fabricação seja, de fato, equivalente ao material normalizado convencional. Uma maneira para se verificar esse fato consiste em se submeter amostras provenientes de material produzido por esse novo processo a um tratamento convencional de normalização e verificar se ocorreram alterações entre suas propriedades mecânicas e as do material como laminado. Obviamente, a diferença entre eles não deverá ser significativa; caso contrário, a laminação de normalização não foi adequadamente executada. Geralmente, admite-se uma diferença de  $\pm 50$  a 60 MPa para materiais com limite de escoamento da ordem de 355 MPa [1]. No caso de chapas grossas destinadas a aplicações de maior responsabilidade, como no caso de vasos de pressão, os critérios de equivalência entre os materiais no estado normalizado produzidos diretamente do calor de laminação ou através de tratamento térmico convencional são mais rigorosos [2].

Diversas siderúrgicas produtoras de chapas grossas já executam essa rota de fabricação rotineiramente, incluindo-a como opção em seus catálogos de produtos. Entre elas estão a Dillinger e Thyssen (Alemanha), Usinor (França), British Steel (Reino Unido), Kawasaki Steel (Japão), SSAB (Suécia), entre outras.

A definição clássica de laminação de normalização impõe que sua temperatura de acabamento deve ser igual à que seria empregada na austenitização do esboço durante seu tratamento térmico convencional de normalização. Na verdade, a única limitação metalúrgica para a temperatura de acabamento consiste no fato de que

ela deve estar acima do ponto  $Ar_3$ , o que garante que a microestrutura do esboço ao final da laminação esteja totalmente austenítica, de forma análoga ao que ocorre no tratamento térmico de normalização.

A principal diferença entre a laminação de normalização e o tratamento térmico convencional de normalização está na homogeneidade térmica do esboço. Outro aspecto que distingue as duas rotas de fabricação está no efeito que a deformação a quente aplicada durante a laminação de normalização pode exercer sobre a cinética de transformação da austenita durante o resfriamento subsequente ao ar. Contudo, uma vez que durante este processo o material deve se recristalizar completamente entre os passes e após o final da laminação, é bastante provável que o efeito da deformação a quente sobre a cinética da transformação da austenita seja minimizado. Neste caso, o aumento na densidade de defeitos microestruturais decorrentes do encruamento da austenita proporcionado pela deformação a quente tende a ser anulado pelos processos de restauração subsequentes [3].

O problema da homogeneidade térmica do esboço parece, de fato, ser mais crítico neste processo. No tratamento térmico convencional de normalização, o esboço frio é reaquecido num forno o qual, a princípio, deve conferir alta homogeneidade ao encharque térmico do material. Já o esboço que está sendo laminado geralmente apresenta um perfil característico de temperatura ao longo de sua espessura, decorrente do processo de laminação executado sob temperaturas decrescentes. Neste caso, é notoriamente sabido que o núcleo do esboço apresenta temperatura significativamente superior à de sua superfície, fato que é ainda mais nítido em esboços pesados. Isto ocorre em função da maior velocidade de resfriamento na superfície do esboço em relação a seu núcleo. Podem ainda ocorrer heterogeneidades térmicas ao longo do comprimento ou largura do esboço, em função de falhas no processo de reaquecimento da placa. Logo, é altamente desejável que se tomem medidas para se reduzir esse gradiente térmico, bem como desenvolver modelos matemáticos que permitam prevê-lo com precisão.

A necessidade desse alto grau de homogeneidade térmica se justifica pela grande influência que a temperatura de acabamento exerce sobre as propriedades mecânicas do esboço. De fato, a experiência industrial da Usinor [4] mostrou que, na

faixa de temperaturas de acabamento entre 820 e 840°C, uma queda de 10°C nesse parâmetro levou a um aumento de 5 MPa no limite de escoamento e 3 MPa no limite de resistência. Tal fato torna recomendável a adoção de uma série de medidas para garantir a homogeneidade térmica do esboço, evitando assim flutuações indesejáveis em suas características:

- Supressão do uso da descamação durante a fase de acabamento;
- Intervalos de tempo não excessivos entre passes;
- Manter a dispersão associada à temperatura de acabamento dentro de uma faixa de  $\pm 20^\circ\text{C}$ .

O laminador de chapas grossas da Usinor dispõe de sistemas de automação e instrumentação adequados, permitindo monitoração e controle eficazes da evolução da temperatura ao longo do esquema de passes, o que facilita a execução deste tipo de processo. Este equipamento produz material normalizado diretamente do calor de laminação a partir de aço ao C-Mn, de acordo com a norma francesa AFNOR E36-4.

Na usina de Dillinger [2] foi desenvolvido um complexo modelo estatístico para se efetuar a previsão das propriedades mecânicas dos materiais obtidos por laminação de normalização, a partir de sua composição química e dos parâmetros do processo de laminação. Desse modo, é possível identificar antecipadamente lotes de produto potencialmente problemáticos, os quais são submetidos a ensaios mecânicos adicionais antes de sua liberação e, caso necessário, a tratamento térmico corretivo de normalização.

Um trabalho desenvolvido na Thyssen Stahl [4] verificou que o efeito refinador do tamanho de grão proporcionado pelo titânio tende a diminuir as flutuações de propriedades mecânicas verificadas nos materiais obtidos pela laminação de normalização. Já o uso de nióbio com esse objetivo neste tipo de produto não é tão recomendável, uma vez que esse elemento tende a aumentar a temperatura abaixo da qual não mais ocorre recristalização na microestrutura ( $T_{nr}$ ). A presença de nióbio a-

cima de um certo teor - aproximadamente 0,015% - implicaria na elevação da temperatura de acabamento do esboço acima da faixa de 900°C, fora, portanto, da faixa de temperaturas típicas de austenitização para o material normalizado. Adições de vanádio apresentam a vantagem de elevar sua resistência mecânica sem elevar significativamente a  $T_{nr}$ . Contudo, esse elemento tende a prejudicar a tenacidade do material, particularmente em suas juntas soldadas, após o seu tratamento para alívio de tensões. Esta siderúrgica produz tiras a quente estruturais de grau StE 355 e para vasos de pressão, conforme a norma DIN 17155/HII, através de laminação de normalização.

Uma vez que a laminação de normalização requer recristalização estática plena entre passes e após o final da conformação, decidiu-se desenvolver esse processo na forma de um esquema de **laminação controlada com recristalização** (RCR - “Recristallization Controlled Rolling”). O princípio metalúrgico deste tratamento consiste na redução intensiva do tamanho de grão austenítico através de recristalizações plenas sucessivas, o que resulta num material com microestrutura final bastante refinada. Este tipo de laminação é muito similar à fase de esboçamento da laminação controlada convencional, onde ocorre recristalização estática plena entre passes. As principais características desse novo processo são as seguintes:

- Para que o refino de grão promovido pelas recristalizações estáticas sucessivas não seja anulado por um eventual crescimento de grão no intervalo entre passes, é recomendável a adição de titânio [4,5]. Ela deve ser feita em quantidades hipostequiométricas, de modo a se evitar seu coalescimento durante o reaquecimento da placa [6,7]; por esse mesmo motivo, a temperatura e o tempo de reaquecimento não devem ser muito elevados [7]. A adição de titânio também contribuirá para reduzir o tamanho de grão após o reaquecimento da placa, evitando a formação de grãos excessivamente grosseiros que tenderiam a não se recristalizar durante a laminação a quente [7-10];
- A condição acima requer que o resfriamento da placa imediatamente após sua saída da máquina de lingotamento contínuo seja acelerado, de modo a

permitir extensiva nucleação de TiN durante sua solidificação, refinando sua dispersão [6];

- A deformação real mínima por passe deve ser da ordem de 0,16, para que o material acumule após cada passe potencial termodinâmico suficiente para provocar sua recristalização estática plena antes do próximo passe. Passes de correção no final dos esquemas de passe devem ser evitados, uma vez que tendem a ser muito leves e poderão induzir à formação de grãos grosseiros e heterogêneos [8]; de fato, há evidências de que os últimos passes devem ser especialmente fortes [7]. Por outro lado, o grau de deformação a ser aplicado nos últimos passes também dependem de outros fatores, para se atender aos requisitos de planicidade e tolerâncias dimensionais do produto, o que nem sempre permite a aplicação de grandes deformações [7];
- A temperatura de acabamento deve estar acima da  $T_{nr}$ , para que a microestrutura no final da laminação consista de austenita totalmente recristalizada [9].

O objetivo deste trabalho é relatar os resultados das experiências efetuadas no Laminador de Chapas Grossas da COSIPA para se verificar a possibilidade da fabricação de material no estado normalizado diretamente da laminação a quente.

## **- DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL**

Em função dos requisitos especiais da laminação controlada com recristalização (“RCR”) decidiu-se trabalhar com um aço microligado, impondo-se as restrições de composição química já citadas na Introdução.

A liga efetivamente estudada apresentou a seguinte composição química: 0,11% C, 1,17% Mn, 0,27% Si, 0,027% P, 0,009% S, 0,054% Al, 0,016% Nb, 0,013% Ti e 0,0049% N, praticamente atendendo às especificações do parágrafo ante-

rior. Havia sete placas disponíveis para o teste, com dimensões iguais a 210 x 1590 x 2390 mm. O padrão de reaquecimento adotado foi o normalmente aplicado durante a laminação controlada convencional, de modo a maximizar os teores de elementos de micro-liga solubilizados.

O esquema de passes objetivado especificou grau de deformação real mínimo de 0,16 por passe, para garantir a plena recristalização da austenita no intervalo de tempo entre passes. A  $T_{nr}$  calculada para esse material de acordo com a equação de Boratto e outros [11], considerando-se os teores de elementos microligantes efetivamente solubilizados a 1200°C, calculados conforme o modelo desenvolvido em [12], é de 881°C. A partir daí, foram selecionadas as temperaturas de acabamento de 950, 900 e 850°C, para que se pudesse estudar o efeito desse parâmetro de laminação sobre a microestrutura e propriedades mecânicas do produto, mantendo-se a recristalização plena da austenita em todos os estágios do processo. Deve-se considerar que a temperatura de acabamento considerada industrialmente é medida na superfície do material, que é bem mais fria que seu núcleo. Logo, a real temperatura do esboço deverá estar acima de  $T_{nr}$  mesmo no caso da menor temperatura de acabamento utilizada, conforme verificado em trabalhos anteriores [13].

Um esboço deveria ser submetido à laminação controlada convencional, com temperatura de acabamento igual a 750°C, para se efetuar uma comparação direta com essa variante consagrada de tratamento termomecânico. Os dados relativos à velocidade periférica real dos cilindros de trabalho, corrente elétrica dos motores, carga e temperaturas de laminação foram registrados num oscilógrafo de seis canais.

Foram obtidos esboços com 19mm de espessura por 2160 mm de largura. Após a laminação foram extraídas amostras do centro dos esboços, as quais foram caracterizadas do ponto de vista microestrutural e mecânico. Foram realizadas medidas de metalografia quantitativa, determinando-se a fração volumétrica de perlita, tamanhos de grão (ferrítico e perlítico) e a distância livre média ferrítica, conforme a metodologia descrita em [14]. Em termos de propriedades mecânicas foram determinados os limites de escoamento/resistência e alongamento total através de ensaios de tração e a curva de transição através de ensaios de impacto Charpy executados a -60, -40, -20, 0 e 20°C.



Além disso, foi extraída uma amostra adicional de cada esboço, a qual foi submetida a tratamento convencional de normalização, para se verificar o nível de alteração nas propriedades mecânicas que esse tratamento provocaria no material. Essa normalização consistiu em austenitização das amostras a 900°C, permanecendo as amostras sob essa temperatura durante 45 minutos, após o que elas foram resfriadas ao ar. Essas amostras foram caracterizadas de forma idêntica à descrita para as amostras no estado laminado.

## **- RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO**

Em termos microestruturais, observou-se que, para o material no estado como laminado, a fração de perlita foi proporcional às temperaturas de acabamento efetivamente obtidas, conforme mostra a Figura 1. Isso é metalurgicamente coerente pois, a medida que a temperatura de acabamento é abaixada, menor o grau de restauração da austenita até a sua transformação, preservando-se o efeito da deformação a quente na sua decomposição. Tal efeito consiste na aceleração da reação ferrítica, que se reflete na diminuição da fração de perlita na microestrutura [3]. Já o material normalizado apresentou fração de perlita menor em relação ao material no estado laminado submetido à temperaturas de acabamento de 900 e 950°C; esta tendência se inverteu para as outras temperaturas de acabamento. Isto também parece estar ligado ao efeito da deformação a quente na transformação da austenita.

Como já seria de se esperar, a redução da temperatura de acabamento contribuiu para a diminuição do tamanho de grão do material como laminado – Figura 2. Esse efeito foi leve para temperaturas de acabamento correspondentes à região de recristalização da austenita. O tamanho de grão apresentou tamanho mínimo para o material acabado a 750°C, onde a austenita não mais sofre qualquer recristalização. O tamanho de grão das amostras normalizadas foi ligeiramente menor que o das como laminadas para as temperaturas mais altas de acabamento (950 e 900°C); esta tendência se inverteu para as demais temperaturas de acabamento, ainda que de forma leve.

Em termos de propriedades mecânicas, verificou-se que o limite de

escoamento do material como laminado apresentou nítida influência da temperatura de acabamento, conforme mostra a Figura 3. Como seria de se esperar, a redução da temperatura de acabamento levou ao aumento desse parâmetro. A normalização anulou completamente esse efeito, conforme mostra essa mesma figura, reduzindo o nível de resistência do material de maneira uniforme. O mesmo fato ocorreu para o limite de resistência, vide Figura 4, ainda que o efeito da temperatura de acabamento sobre o material como laminado não tenha sido tão nítido. O efeito da temperatura de acabamento sobre a razão elástica - Figura 5 - foi análogo ao verificado para o limite de escoamento, tanto para os materiais como laminados como normalizados; a normalização reduziu o valor desse parâmetro.

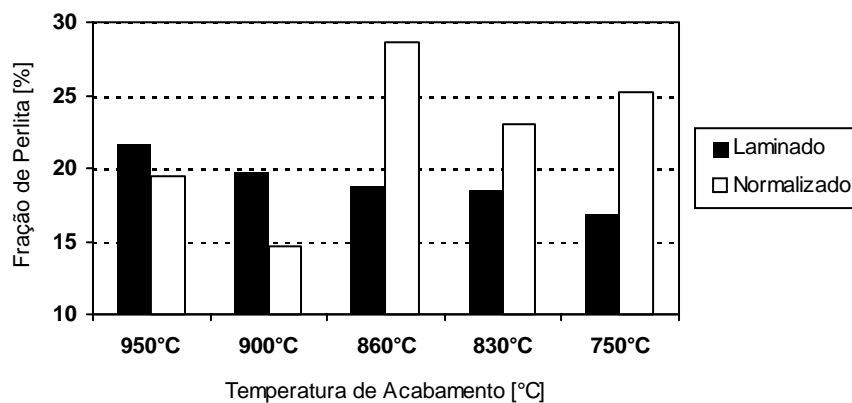


Figura 1: Evolução da fração de perlita presente na microestrutura ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

A temperatura de acabamento não influenciou os valores de alongamento total obtidos, como indica a Figura 6. É interessante notar que a normalização aumentou esse parâmetro para os materiais acabados a 950 e 900°C, invertendo-se essa tendência para as demais temperaturas de acabamento. Aparentemente isso está ligado à maior fração de ferrita nos laminados acabados sob menores temperaturas.

A curva de transição para materiais no estado como laminado, determinada a partir de ensaios Charpy - Figura 7 - aparentemente mostrou que os esboços acabados nas temperaturas entre 950 e 830°C apresentaram uma região de transição

entre fratura dúctil e frágil. Já o material com temperatura de acabamento de 750°C apresentou uma região de patamar. Como seria de se esperar, o abaixamento da temperatura de acabamento tendeu a elevar o valor da energia absorvida nos ensaios Charpy, em função do refino na microestrutura que ocorreu sob tais condições.

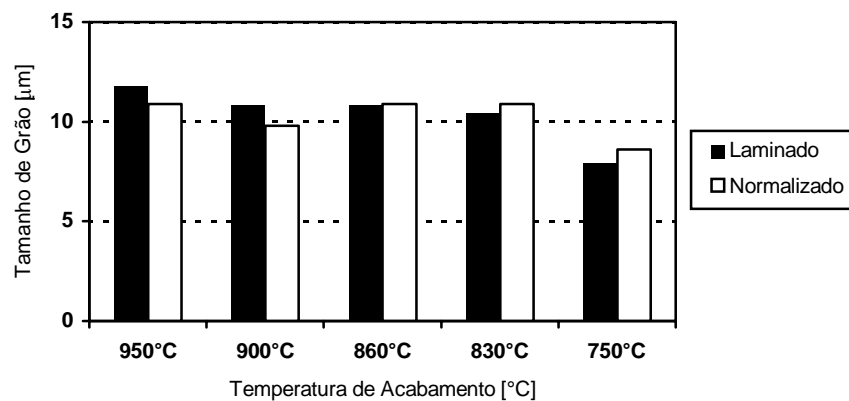


Figura 2: Evolução do tamanho de grão da microestrutura ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

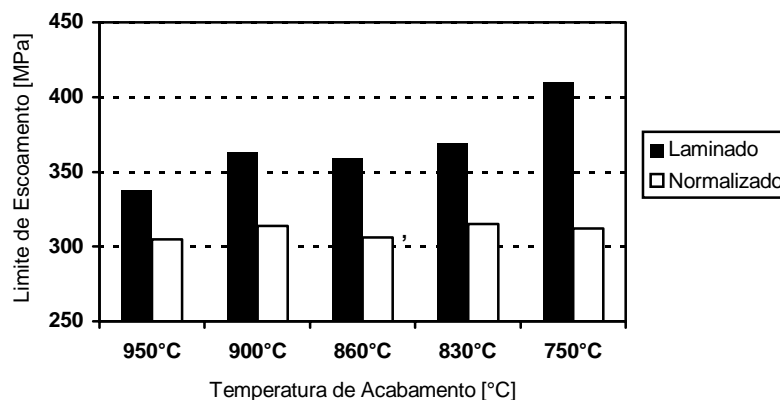


Figura 3: Evolução do limite de escoamento ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

Note-se, contudo, que para uma mesma temperatura de acabamento, a diferença na energia absorvida diminuiu a medida que se reduzia a temperatura sob a qual o ensaio Charpy era executado. Por outro lado, para uma mesma temperatura de ensaio, essa diferença diminuía a medida que se reduzia a temperatura de acabamento.

A situação até se reverteu parcialmente para as menores temperaturas de acabamento utilizadas. Para laminados acabados a 830°C a energia absorvida foi igual entre materiais no estado laminado e normalizado para os ensaios executados a 0 e 20°C. Já nos laminados submetidos à temperatura de acabamento de 750°C, o material no estado laminado apresentou maiores valores de energia absorvida que o normalizado nos ensaios Charpy executados a -60 e -40°C.

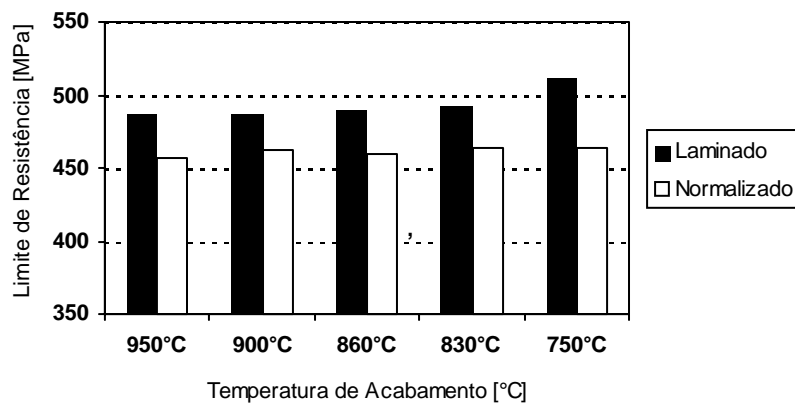


Figura 4: Evolução do limite de resistência ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

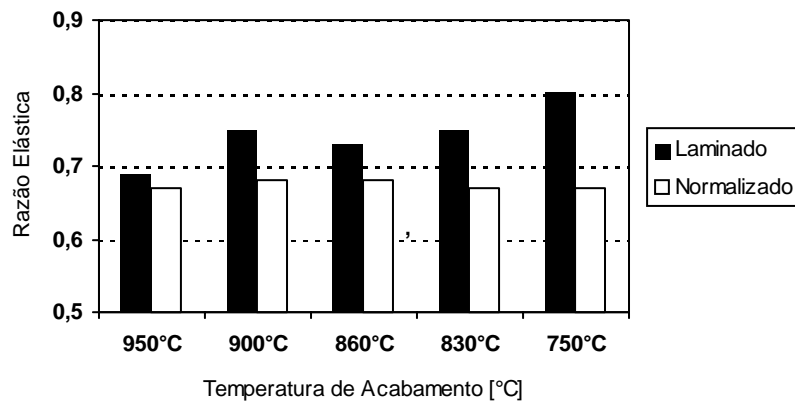


Figura 5: Evolução da razão elástica ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

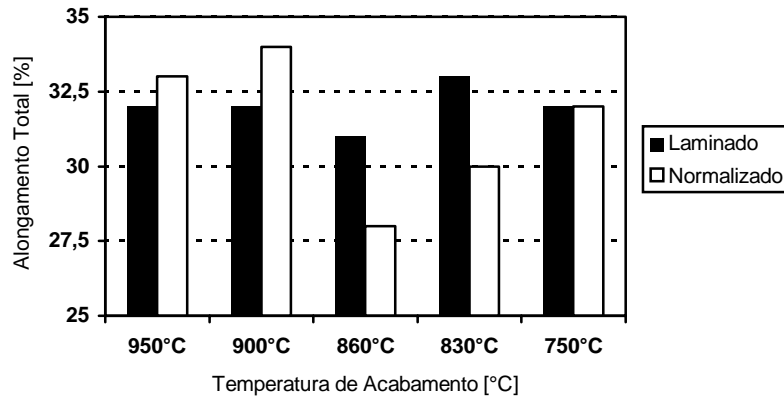


Figura 6: Evolução do alongamento total ao longo da temperatura de acabamento, para materiais como laminados e após normalização.

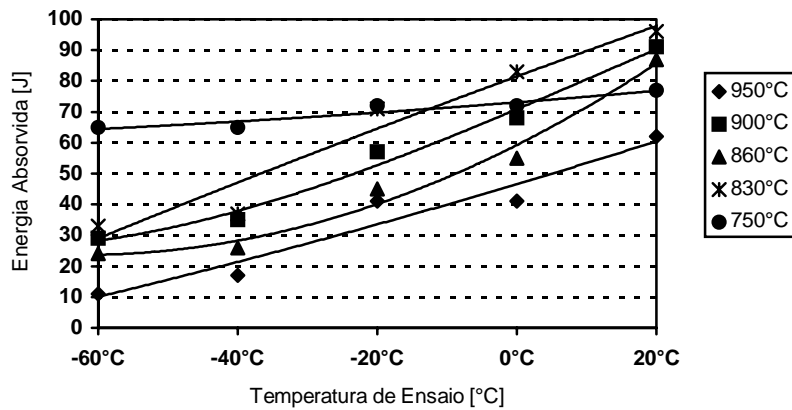


Figura 7: Evolução das curvas de transição ao longo da temperatura de acabamento, para materiais no estado como laminado.

Por sua vez, a curva de transição para materiais normalizados, mostrada na Figura 8, sempre se apresentou na forma de transição entre patamares, qualquer que fosse a temperatura de acabamento do material. Uma análise mais detalhada entre as Figuras 7 e 8 revela que o material normalizado tendeu a apresentar maiores valores de energia absorvida que o produto no estado como laminado, para todas as temperaturas em que o ensaio Charpy foi realizado, nos materiais submetidos à temperatura de acabamento entre 950 e 860°C.

A Tabela I mostra a diferença de propriedades mecânicas entre o material no estado como laminado e após normalização. Como se pode observar, o limite de escoamento foi aproximadamente 50 MPa superior para os materiais como laminados. Esse valor é adequado para as normas DIN que regem as especificações do material no estado normalizado produzido diretamente da laminação a quente [1]. Por outro lado, essa diferença aumentou a medida que se abaixou a temperatura de acabamento, atingindo-se um máximo de 98 MPa para o material submetido à laminação controlada convencional, que foi acabado a 750°C. Evolução semelhante ocorreu para o limite de resistência, ainda que a influência da temperatura de acabamento não tenha sido tão evidente. Neste caso, a diferença máxima observada foi de 31 MPa. A diferença na razão elástica foi relativamente constante ao longo da temperatura de acabamento para o material como laminado, que apresentou valores superiores da ordem de 7% em relação ao normalizado. Já a diferença na resistência ao impacto determinada por ensaio Charpy a -20°C apresentou alguma flutuação mas, de maneira geral, o material normalizado apresentou valores superiores da ordem de 15 a 25 J.

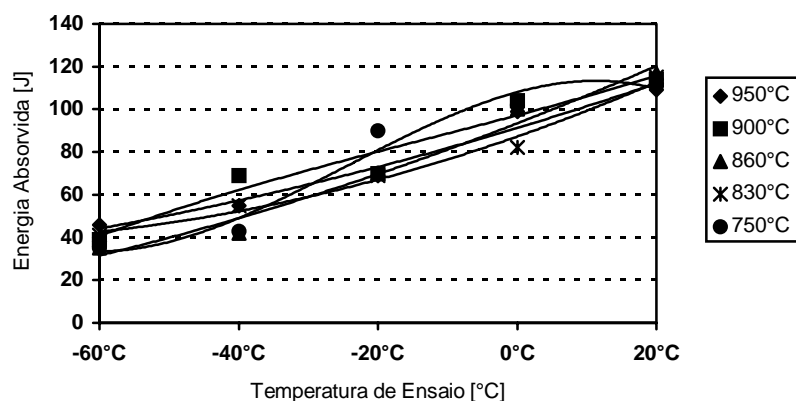


Figura 8: Evolução das curvas de transição ao longo da temperatura de acabamento, para materiais normalizados.

Um levantamento sobre o *mix* de chapas grossas normalizadas produzidas na COSIPA mostrou que, das 105.636 t produzidas, cerca de 51% (54.281 t) deviam atender à norma DIN 17100 RR 52-3N, a qual permite que esse material seja produzido diretamente da laminação a quente. A Tabela II permite verificar que, dos materiais estu-

dados neste trabalho, os processados sob temperaturas de acabamento menores ou iguais a 860°C atenderam a todos os requisitos de propriedades mecânicas estabelecidos por esta norma. Chapas grossas acabadas a temperaturas superiores apresentaram valores de resistência mecânica apenas ligeiramente inferiores aos especificados. Já os requisitos de alongamento total e resistência ao impacto Charpy a -20°C parecem ter sido satisfatoriamente atendidos para todos os materiais estudados neste trabalho.

	TEMPERATURAS DE ACABAMENTO				
	950°C	900°C	860°C	830°C	750°C
L.E. [MPa]	+ 33	+ 49	+ 53	+ 53	+ 98
L.R. [MPa]	+30	+ 24	+ 31	+ 27	+ 47
R.E.	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,07	+ 0,07	0,13
Al <sub>t</sub> [%]	- 1	- 2	+ 3	+ 3	0
R.I. -20°C [J]	-28	- 13	-25	+ 2	-18

Tabela I: Diferenças entre as propriedades mecânicas do material no estado como laminado e após tratamento térmico de normalização.

	L.E. [MPa]	L.R. [MPa]	Al <sub>t</sub> [%]	R.I. -20°C [J]
Norma	> 345	490 - 630	> 20	> 27
950°C	? (98%)	? (99%)	OK (160%)	OK (152%)
900°C	OK (105%)	? (99%)	OK (160%)	OK (211%)
860°C	OK (104%)	OK (100%)	OK (155%)	OK (167%)
830°C	OK (107%)	OK (100%)	OK (165%)	OK (263%)
750°C	OK (119%)	OK (104%)	OK (160%)	OK (267%)

Tabela II: Comparação entre os requisitos da norma DIN 17100 RR 52-3N e as propriedades obtidas nos materiais estudados neste trabalho. As porcentagens indicam o coeficiente de segurança associado ao atendimento à norma.

Outro aspecto a ser considerado é o aproveitamento desse novo conceito de tratamento termomecânico, a laminação controlada com recristalização, como uma rota de produção alternativa à laminação controlada convencional. Sua principal vantagem está em sua temperatura de acabamento relativamente alta, a qual reduz as solicitações mecânicas do laminador e minimiza o período de espera. Desse modo, esses dois inconvenientes inerentes à laminação controlada convencional podem ser minimizados.

## **- CONCLUSÕES**

O desenvolvimento deste trabalho sobre a produção de chapas grossas no estado normalizado diretamente da laminação controlada com recristalização de um aço microligado ao NbTi permitiu chegar às seguintes conclusões:

- O tamanho de grão global obtido através desse novo tratamento foi da ordem de 10 a 12  $\mu\text{m}$ , sendo proporcional à temperatura de acabamento;
- A fração de perlita tendeu a diminuir a medida que se abaixou a temperatura de acabamento, provavelmente em função do efeito proporcionado pela deformação à quente na decomposição da austenita, que basicamente consiste na aceleração da reação ferrítica;
- A resistência mecânica acompanhou os efeitos da temperatura de acabamento sobre a microestrutura do material, ou seja, ela aumentou a medida que aquele parâmetro de laminação foi reduzido. A tenacidade também foi inversamente proporcional à temperatura de acabamento. Já o alongamento total não parece ser influenciado de maneira significativa pela temperatura de acabamento;
- A normalização posterior do material pouco influenciou o tamanho de grão do material, embora tenha provocado alterações significativas na fração de



perlita presente na microestrutura, que aumentou nitidamente para os materiais processados sob baixas temperaturas de acabamento. A normalização uniformizou os níveis de resistência mecânica, os quais foram reduzidos entre 33 e 53 MPa. Seu efeito no alongamento não foi conclusivo, mas provocou ganho considerável na energia absorvida determinada pelo ensaio de impacto Charpy;

- O material aqui estudado atendeu razoavelmente os requisitos da norma para chapas grossas normalizadas DIN 17100 RR 52-3N quando a temperatura de acabamento foi igual ou inferior a 860°C. A alteração no limite de escoamento provocada pela normalização subsequente ficou dentro dos limites dessa norma, ou seja, atingiu um máximo de 53 MPa;
- Finalmente, essa nova versão de laminação controlada tem de ser analisada com maior profundidade, para verificar seu potencial para substituição da laminação controlada convencional, a qual provoca maior perda de produtividade no Laminador de Chapas Grossas em função de sua menor temperatura de acabamento.

#### - **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. DE BOER H. e outros. Stahl und Eisen, Mai 1991, 45-50.
2. OSVALD, W. e outros. In: METEC '94. Proceedings. VDEh, Düsseldorf, 1994, 42-51.
3. DESALOS, Y. e outros. Les Mémoires et Études Scientifiques de la Revue de Metallurgie, Juin 1979, 377-96.
4. CHABOUD, M. e outros. In: 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON STEEL ROLLING. Proceedings. IRSID, Deauville, 1987, C.10.1-C.10.6.
5. DE BOER, H. e outros. Thyssen Technische Berichte, 2/1989, 135-146.

6. KORCHYNSKY, M. In: MICROALLOYING '85. Proceedings. A.S.M., Beijing, 1985, 251-252.
7. BODNAR, R.L. Iron & Steelmaker, April 1994, 19-24.
8. SIWECKI, T. e outros. In: MICROALLOYING '95. Proceedings. T.M.S., Beijing, 1995, 197-211.
9. KOVAC, F. Metallurgical Transactions A, January 1992, 373-375.
10. KILLMORE, C.R. e outros. In: HSLA STEELS. Proceedings. University of Wollongong, 1984, 57-63.
11. BORATTO, F. e outros. In: THERMEC '88. Proceedings. Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, 1988, p. 383-390.
12. GORNI, A.A. & SILVEIRA, J.H.D. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO. Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 1994, 81-98.
13. SILVEIRA, J.H.D. Seminário Interno de Laminação da COSIPA, Março 1993. 9 p.
14. GORNI, A.A. Revista Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Jan.-Mar. 1995, 40-4.

# PRODUCTION OF NORMALIZED PLATES DIRECTLY FROM THE ROLLING HEAT<sup>1</sup>

Antonio Augusto Gorni<sup>2</sup>  
Celso Gomes Cavalcanti<sup>3</sup>  
Jackson Soares de Souza Reis<sup>4</sup>  
José Herbert Dolabela da Silveira<sup>5</sup>

## ABSTRACT

One of the available approaches used to optimize the production of normalized plates consists in the production of such material directly from the rolling heat, through the use of the so known *normalizing rolling* process. This special thermomechanical treatment allows to suppress the final step of the process, that is, the plate normalizing heat treatment, decreasing costs and time required to manufacture the product. This new production route is already being largely used by several steelworks all around the world. The aim of this work is to describe the industrial implantation of such process at COSIPA steelworks, using a special thermomechanical treatment known as *recrystallization controlled rolling*. The results got were very promising, as the as-rolled plates showed microstructure and mechanical properties very similar to the normalized material, satisfying the requisites of the DIN 17100 RR 52-3N standard, one of product specifications that accepts the use of this new production route.

Keywords: Normalizing Rolling, Microstructure, Mechanical Properties

---

<sup>1</sup> Technical Contribution presented to the XXXIV Rolling Seminar - Processes and Rolled and Coated Products, Brazilian Association for Metallurgy and Metals, Belo Horizonte MG, 26 to 28 August, 1997.

<sup>2</sup> ABM Member. Materials Engineer, M.Eng, Researcher of the P&D Department of COSIPA Steelworks. E-Mail: agorni@iron.com.br

<sup>3</sup> ABM Member. Metallurgical Technician. Technical of the P&D Department of COSIPA Steelworks.

<sup>4</sup> ABM Member. Metallurgical and ASQC Engineer. Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Department of COSIPA Steelworks.

<sup>5</sup> ABM Member. Metallurgical Engineer, M.Eng., Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Department of COSIPA Steelworks.