



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 9601483-0 A**

(51) Int. Cl.⁵.:
B21B 1/02

(22) Data de Depósito 28/03/96

(43) Data de Publicação 11/03/97 (RPI 1371)



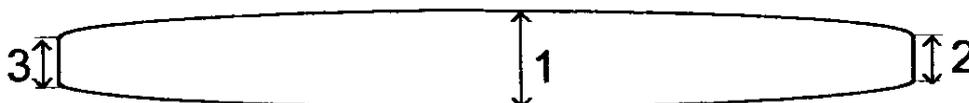
(54) Título: Processo de laminação de chapas grossas extra-pesadas com garantia de planicidade diretamente do calor de laminação

(71) Depositante(s): Companhia Siderurgica Paulista - COSIPA (BR/SP)

(72) Inventor(es): Antonio Augusto Gorni

(74) Procurador Paulo de Tarso Lourenço

(57) Resumo: Patente de Invenção para PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO A patente de invenção consiste de um processo de laminação para se obter chapas grossas de espessura acima de 60 mm, com garantia de planicidade diretamente após a laminação a quente, sem que haja a necessidade de processos adicionais de conformação para a eliminação de defeitos O processo consiste, inicialmente, no aquecimento homogêneo da placa que dará origem à chapa grossa extra-pesada, de forma a uniformizar a coroa do laminado ao longo de seu comprimento O esquema de passes a ser aplicado ao esboço deverá ser dimensionado de maneira a garantir a planicidade da chapa grossa extra-pesada Imediatamente após a laminação a quente, o esboço deve ser submetido a resfriamento forçado, para que sua resistência à deformação se eleve rapidamente, minimizando, dessa maneira, a possibilidade da ocorrência de distorções no formato da chapa grossa extra-pesada em função de seu elevado peso Pelo mesmo motivo, o leito de resfriamento onde a chapa grossa extra-pesada permanecerá até atingir a temperatura ambiente deverá estar perfeitamente alinhado e nivelado Viabilizou-se, desse modo, a produção econômica de chapas grossas com dimensões além das originalmente estabelecidas para o equipamento já existente, eliminando-se portanto, a necessidade de altos investimentos em novas instalações



Relatório Descritivo da Patente de Invenção "PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO"

A invenção consiste de um processo de laminação especial para chapas grossas extra-pesadas, ou seja laminados com espessura igual ou superior a 60 mm. O objetivo principal deste processo de laminação é garantir boa planicidade nas chapas grossas extra-pesadas imediatamente após a laminação a quente, sem que haja a necessidade da aplicação posterior de processos de conformação para a eliminação de defeitos de planicidade

Um dos requisitos mais importantes em termos da qualidade de chapas grossas é um bom grau de planicidade, ou seja, ausência de ondulações ou curvaturas no laminado. Uma chapa grossa possui planicidade ideal quando todos seus pontos estiverem em contato com uma superfície padrão completamente plana

O grau de planicidade de uma chapa grossa é função do estado de tensões residuais introduzidas no material durante o processo de laminação. Um aspecto particularmente importante sob este ponto de vista é a deflexão que ocorre nos cilindros de trabalho do laminador, em função da carga decorrente da deformação imposta ao material. Quanto maior for a carga de laminação associada ao passe, maior será a deflexão observada nos cilindros. Essa deflexão é maior na metade da largura da chapa.

Plano de Trabalho

posição correspondente à metade do comprimento da mesa dos cilindros de trabalho, diminuindo em direção à periferia do laminado

Percebe-se, desse modo, que a espessura da chapa grossa varia ao longo de sua largura, atingindo valor máximo na metade da largura e valor mínimo em suas bordas conforme mostra a figura 1. Define-se coroa (C) como sendo a diferença entre a espessura medida na metade da largura - figura 1, (1) e a média das medidas nas bordas da chapa grossa - figura 1, (2) e (3). Naturalmente, quanto maior a deflexão dos cilindros de trabalho, ou seja, a carga de laminação, maior será a coroa imposta ao laminado

O estado atual da técnica mostra que pode-se conseguir chapas grossas com boa planicidade desde que a razão (K) entre a diferença das coroas (ΔC) e a diferença das espessuras (ΔH) do esboço entre dois passes subsequentes seja mantida constante ao longo do esquema de passes aplicado ao laminado, ou seja

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta H} \quad (1)$$

Sob condições industriais, consegue-se boa planicidade dentro de uma faixa específica de valores de K. Esta faixa é função do material que está sendo laminado e das condições específicas do processo de laminação de cada usina. Em outras palavras, essa faixa específica de valores da razão K determina uma "zona morta", dentro da qual esse parâmetro pode variar sem que a planicidade do material seja afetada de forma adversa. Ou seja, esta é a faixa de valores de K que garante a boa planicidade da chapa grossa

Contudo, nem sempre é viável aplicar um esquema de passes compatível com a faixa de valores de K que garanta a planicidade da chapa grossa. Geralmente o atendimento a essa condição limita excessivamente a flexibilidade operacional do equipamento, particularmente em cadeiras de laminação que não disponham de dis-

Planicidade

positivos específicos para controle de coroamento do esboço durante o processo de laminação. Por esse motivo, o esquema de passes usual aplicado na laminação de chapas grossas não é concebido de forma a atender plenamente os requisitos ideais para garantir a planicidade do laminado, uma vez que outros fatores, como a produtividade da linha, normalmente são prioritários. Desse modo, no final da laminação a planicidade do esboço geralmente não é perfeita, ainda que seja fortemente recomendável que não esteja muito distante do ideal.

Chapas grossas com espessura menor que 60 mm podem ter sua planicidade melhorada, atingindo níveis próximos do ideal, através de seu processamento em desempenadeiras a quente. Este equipamento minimiza defeitos de planicidade através da passagem do laminado por dois conjuntos de rolos, um superior e outro inferior. Para se aumentar a eficácia do processo de desempenho, normalmente esses dois conjuntos são posicionados em forma de cunha, ou seja, a distância entre os rolos superiores e inferiores aumenta no sentido da entrada para a saída da desempenadeira. Esse equipamento normalmente está posicionado no final da linha de laminação de chapas grossas. O processo de desempenho a quente deve ocorrer imediatamente após a laminação, enquanto o material ainda se encontra sob temperaturas entre 600 e 700°C.

Caso for necessário, ainda há a possibilidade de se melhorar o nível de planicidade da chapa grossa após ela ter sido resfriada até a temperatura ambiente e cortada, desde que sua espessura seja igual ou menor a 20 mm. Neste caso, ela poderá ser processada na desempenadeira a frio, equipamento similar à desempenadeira a quente, mas onde o processo ocorre sob temperatura ambiente. Este equipamento normalmente fica instalado na área de processos paralelos

Como se pode deduzir a partir do parágrafo acima, à medida que a

Plano

espessura da chapa grossa aumenta, menores são as possibilidades de se corrigir defeitos de planicidade após o processo de laminação a quente. De fato, chapas grossas com espessura de até 20 mm podem ser desempenadas tanto a quente como a frio; laminados com espessura entre 20 e 60 mm somente podem ser desempenados a quente; materiais com espessura entre 60 e 80 mm até podem ser desempenados a quente, mas adotando-se um posicionamento paralelo entre os conjuntos de rolos superior e inferior. Neste caso, a distância entre os rolos superior e inferior fica constante desde a entrada até a saída da desempenadeira. Esse posicionamento paralelo reduz a eficácia do processo de desempenho a quente, mas evita sobrecarga no equipamento decorrente de processamento das chapas grossas extra-pesadas.

Em linhas normais de chapas grossas não há condições de se corrigir a planicidade de laminados com espessura acima de 80 mm após sua laminação a quente. A única possibilidade de se melhorar a planicidade dessas chapas grossas extra-pesadas após sua laminação a quente está na utilização de equipamentos como calandras ou prensas de grande porte. Tais recursos estão disponíveis em algumas indústrias de mecânica pesada, mas são inexistentes em usinas siderúrgicas convencionais. Outra possibilidade seria o desempenho do material com chama, mas esta técnica apresenta grau de controle insuficiente e baixa produtividade, podendo afetar adversamente a microestrutura e as propriedades da chapa grossa caso não for adequadamente aplicada.

Logo, a produção de chapas grossas extra-pesadas - ou seja, com espessura acima de 60 mm - com garantia de boa planicidade somente pode ser plenamente viabilizada em usinas siderúrgicas convencionais desde que o material apresente formato adequado já no final do processo de laminação, dispensando a partir de então

Plano 1403

qualquer outro processo para eliminar eventuais defeitos de planicidade

Neste caso, é imperativo que o esquema de passes a ser aplicado ao esboço gere valores da razão K que estejam dentro da faixa que garanta boa planicidade da chapa grossa extra-pesada

5 Contudo, há uma outra condição a ser previamente atendida para que o esquema de passes otimizado efetivamente gere uma chapa grossa extra-pesada com boa planicidade.

Um dos fatores que afetam o valor da razão K é a coroa do esboço. Esta, por sua vez, é função da deflexão dos cilindros de trabalho que, para um dado laminador, é basicamente definida pela carga de laminação. Este último parâmetro é significativamente afetado pela resistência a quente do material que está sendo laminado. Esta última, por seu turno, depende fortemente da temperatura em que se encontra o material

10

Ou seja, em última análise, a temperatura do material que está sendo laminado afeta significativamente a coroa que será obtida no esboço. Para que esta coroa se mantenha constante ao longo do comprimento do laminado, é fundamental que a placa que deu origem a ele tenha sido aquecida de maneira cuidadosa, garantindo-se máxima homogeneidade de temperatura em todos os pontos do material. Desse modo, a resistência à deformação a quente do laminado, a carga de laminação, a deflexão dos cilindros e a coroa do laminado ficarão constantes ao longo de toda a aplicação de cada passe de laminação, ou seja, ao longo de todo o comprimento do esboço que está sendo laminado. Garante-se, desse modo, o efeito benéfico de um esquema de passes dimensionado para maximizar o grau de planicidade do produto laminado

15

20

Se, ao contrário, a placa que irá dar origem ao laminado tiver sido

Plano 1403

heterogeneamente aquecida, sua coroa variará ao longo do comprimento do esboço, refletindo as alterações que a heterogeneidade da resistência à deformação a quente provocará nas cargas de laminação e na conseqüente deflexão dos cilindros de trabalho. Desse modo, aumentam as possibilidades de que os valores da razão K efetivamente obtidos fiquem fora da faixa de valores que garantem a boa planicidade da chapa grossa extra-pesada, induzindo ao aparecimento de tensões residuais excessivas no laminado, que certamente degradarão sua planicidade.

Por outro lado, uma vez conseguido bom grau de planicidade no esboço imediatamente após o final da laminação, é vital que o formato da chapa grossa assim conseguido seja preservado, minimizando a possibilidade da ocorrência de distorções de formato que eventualmente poderiam ocorrer no deslocamento do laminado. A temperatura de acabamento do processo de laminação oscila entre 700 e 1000°C, sob tais condições, a resistência à deformação a quente da chapa grossa extra-pesada é relativamente baixa, aumentando a possibilidade de que o laminado venha a se deformar espontaneamente, em função de seu grande peso, ou devido a algum problema em seu deslocamento.

Neste caso, o ideal é proceder a um resfriamento forçado imediatamente após o processo de laminação a quente, de modo a aumentar rapidamente a resistência à deformação a quente da chapa grossa, diminuindo-se o risco de distorções posteriores em seu formato. Contudo, é fundamental que esse resfriamento forçado ocorra de maneira homogênea em todos os pontos do laminado. Caso contrário, o surgimento de diferentes velocidades de resfriamento ao longo da chapa grossa extra-pesada poderá induzir ao surgimento de tensões residuais. Caso essas tensões excederem o valor do limite de escoamento do laminado, ele sofrerá distorções em seu forma-

P 19601483

to que comprometerão sua planicidade

Finalmente, o leito de resfriamento onde o material será colocado para resfriar até a temperatura ambiente deverá estar rigorosamente alinhado e nivelado. Dessa forma, a chapa grossa extra-pesada estará apoiada sobre uma superfície rigorosamente plana. Se este cuidado não for tomado, o laminado não ficará apoiado de forma completa sobre o leito, neste caso, os pontos que não estiverem em contato com o leito tenderão a sofrer deformação em função do grande peso do laminado e da relativamente baixa resistência a deformação do material, que ainda se encontra aquecido.

A sequência de execução deste processo de invenção será descrito a seguir. Ele é aplicável à produção de chapas grossas com espessura acima de 60 mm e que devam apresentar boa planicidade:

a) As placas que darão origem às chapas grossas extra-pesadas deverão ser reaquecidas por um período de tempo 34% superior ao normalmente utilizado para os demais tipos de placas. Além disso, deverá ser mantido um espaçamento mínimo de 200 mm entre as placas enformadas. Tais medidas tem como objetivo garantir melhor homogeneidade térmica da placa.

b) Durante a laminação a quente, a redução máxima deve ser de no máximo 10 mm. Ou seja, a distância entre os cilindros de trabalho deve ser igual a, no máximo, a espessura inicial do esboço menos 10 mm. Deve-se garantir parada total do parafuso que controla a abertura entre os cilindros antes da aplicação do passe. Tais medidas tem como objetivo a obtenção de valores da razão K dentro da faixa de valores que garantem a planicidade da chapa grossa extra-pesada. A velocidade de rotação dos cilindros de trabalho ao longo do esquema de passes deve ser mantida em 40 rpm, exceto no último passe, quando ele deverá ser de 100 rpm. Esse aumento de velocidade no último

Planicidade

passa tem como objetivo garantir a planicidade nas extremidades do esboço, evitando que se formem dobras nesses locais devido à passagem do laminado pelo “degrau” decorrente da diferença de altura entre a mesa do cilindro de trabalho inferior e a mesa de rolos, comumente conhecida também como altura do “pass-line”;

- 5 c) Resfriamento forçado imediato do esboço após sua laminação a quente, utilizando-se sistema com “sprays” de água e ar, com vazão de água de 5.000 l/min sob uma pressão de 3 kgf/mm². No caso de chapas grossas com espessura entre 60 e 80 mm, inclusive, o laminado deverá passar três vezes pelo sistema de resfriamento. Laminados com espessuras acima de 80 mm devem ser submetidos a cinco passagens pelo sistema de resfriamento. A velocidade a ser imposta às chapas grossas, durante suas passagens pelo sistema de resfriamento forçado, bem como durante seu trajeto desde o sistema de resfriamento até a desempenadeira a quente, deverá ser a menor possível desde que, naturalmente, não se afete a produtividade da linha nem se danifiquem os rolos das mesas, em função da alta temperatura em que se encontra o laminado. Este resfriamento forçado tem como objetivo aumentar a rigidez do laminado, evitando a ocorrência de distorções em seu formato decorrentes da ação de seu próprio peso.
- 10 d) Chapas grossas com espessura entre 60 e 80 mm, inclusive, poderão, se necessário, passar pelo processo de desempenho a quente para ter sua planicidade melhorada. Neste caso, contudo, devido à grande espessura do laminado, é necessário manter os conjuntos de rolos superior e inferior com posicionamento paralelo. Chapas grossas com espessura acima de 80 mm não poderão ser submetidas a esse processo.
- 15 e) Garantir alinhamento e nivelamento do leito de resfriamento quando se for produzir chapas grossas extra-pesadas.
- 20

A figura 2 mostra a evolução ocorrida ao longo do tempo nos indi-

Patentes

ces percentuais de desvio por má planicidade de chapas grossas com espessura igual ou acima de 80 mm. Até o mês de julho de 1994 este processo de invenção ainda não havia sido implantado industrialmente. Como se pode observar na figura 2, até aquele mês os índices de desvio por má planicidade oscilavam entre 25 e 65%. A partir da

5 implantação desse processo de invenção, em agosto de 1994, esse índice foi significativamente reduzido, passando para 3 a 8%, o que representou uma redução de custos média mensal de aproximadamente US\$ 325.000, sem que houvesse necessidade de se instalar equipamentos adicionais para correção de eventuais defeitos de planicidade nas chapas grossas extra-pesadas após sua laminação a quente.

10 Este processo de invenção viabilizou economicamente a produção de laminados com dimensões além das especificadas nos equipamentos disponíveis na linha de chapas grossas, minimizando a ocorrência de desvios provocados por defeitos de planicidade. Ou seja, ele permitiu aumentar a gama de produtos oferecidos pela Usina sem a necessidade de vultosos investimentos em novos equipamentos.

P 19601483

Reivindicações

1- PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO, cujo objetivo central é a produção de chapas grossas com espessura igual ou superior a 60 mm, com garantia de boa planicidade, sem que sejam necessários processos de conformação adicionais após a laminação para a correção de eventuais defeitos de planicidade no laminado

2- PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o processo de reaquecimento da placa que dará origem à chapa grossa extra-pesada deverá garantir máxima homogeneidade de temperaturas ao longo do material, ou seja, nível de encharque térmico o mais homogêneo possível

3- PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o esquema de passes a ser aplicado deverá garantir valores da razão K dentro da faixa de valores que garantem a boa planicidade da chapa grossa extra-pesada, e que a velocidade de saída do esboço ao final da laminação seja alta o suficiente para evitar a formação de dobras nas pontas do laminado em decorrência do degrau

P 19601483

do "pass-line".

4- PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato

5 de que o esboço tem de ser submetido a resfriamento forçado imediatamente após sua laminação a quente, de modo a aumentar sua resistência à deformação a quente e evitar distorções em seu formato decorrentes da ação de seu próprio peso, o que comprometeria sua planicidade

5- PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato

10 de que o leito de resfriamento onde se apoiará o esboço até que atinja a temperatura ambiente de vera estar perfeitamente alinhado e nivelado, para evitar a ocorrência de distorções no formato do esboço decorrentes da ação de seu próprio peso, o que comprometeria sua planicidade

15

P 19601483

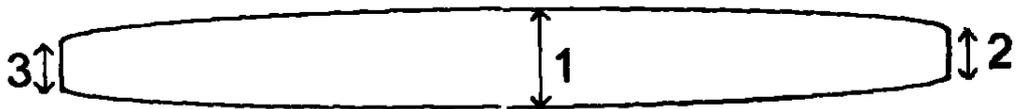


FIGURA 1

P19601483

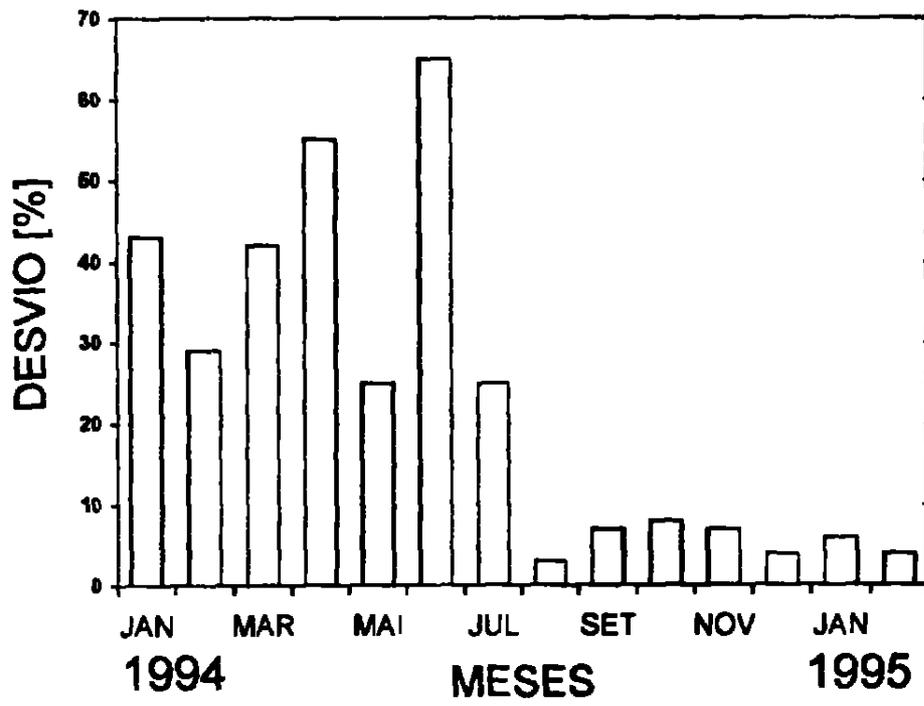


FIGURA 2

Resumo

Patente de Invenção para PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS EXTRA-PESADAS COM GARANTIA DE PLANICIDADE DIRETAMENTE DO CALOR DE LAMINAÇÃO. ➔

5 A patente de invenção consiste de um processo de laminação para se obter chapas grossas de espessura acima de 60 mm, com garantia de planicidade diretamente após a laminação a quente, sem que haja a necessidade de processos adicionais de conformação para a eliminação de defeitos. O processo consiste, inicialmente, no aquecimento homogêneo da placa que dará origem à chapa grossa extra-pesada, de
10 forma a uniformizar a coroa do laminado ao longo de seu comprimento. O esquema de passes a ser aplicado ao esboço deverá ser dimensionado de maneira a garantir a planicidade da chapa grossa extra-pesada. Imediatamente após a laminação a quente, o esboço deve ser submetido a resfriamento forçado, para que sua resistência à deformação se eleve rapidamente, minimizando, dessa maneira, a possibilidade da ocorrência de
15 distorções no formato da chapa grossa extra-pesada em função de seu elevado peso. Pelo mesmo motivo, o leito de resfriamento onde a chapa grossa extra-pesada permanecerá até atingir a temperatura ambiente deverá estar perfeitamente alinhado e nivelado. Viabilizou-se, desse modo, a produção econômica de chapas grossas com dimensões além das originalmente estabelecidas para o equipamento já existente, eliminando-se
20 portanto, a necessidade de altos investimentos em novas instalações.