

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

CARTA PATENTE N.º PI 9103955-0

Privilégio de Invenção

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

Para garantia da prioridade e do uso exclusivo do privilégio, na forma dos anexos, expede, nos termos da legislação em vigor, ressalvados os direitos de terceiros e a responsabilidade do governo quanto à novidade e à utilidade, a presente patente, mediante as características e condições abaixo:

(21) Número do Depósito : PI 9103955-0

(22) Data do Depósito : 11/09/1991

(43) Data da Publicação do Pedido : 06/04/1993

(51) Classificação Internacional : B21B 45/02

(54) Título : PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO

(73) Titular : Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Sociedade Bras.Indl e Coml., CGC/CPF: 60894730000105. Endereço: Rua Henrique Monteiro, nº 90, São Paulo, São Paulo, Brasil (BR/SP), CEP: 05423-020.

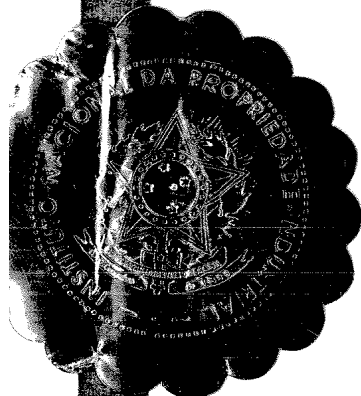
(72) Inventor : Antonio Augusto Gorni, Engenheiro de Material, CGC/CPF: 02270942809. Endereço: Rua Alexandre Dumas, 539, Santo Amaro, São Paulo, São Paulo, Brasil, CEP: 04717. Cidadania: Brasileira.; Celso Gomes Cavalcanti, Técnico, CGC/CPF: 88451143849. Endereço: Rua Santa Cruz 600, Parque Bitarú, São Vicente, São Paulo, Brasil, CEP: 11330. Cidadania: Brasileira.; Jackson Soares de Souza Reis, Engenheiro Metalurgista, CGC/CPF: 27680835691. Endereço: Rua Waldomiro Silveira, 5, Boqueirão, Santos, São Paulo, Brasil, CEP: 11055. Cidadania: Brasileira.; Júlio Márcio Silveira e Silva, Engenheiro Metalurgista. Endereço: Rua Nelson Soares de Faria, 245 Aptº 201, Cidade Nova, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, CEP: 31170. Cidadania: Brasileira.; Ronaldo Antonio Neves Marques Barbosa, Doutor em Engenharia, CGC/CPF: 27594300653. Endereço: Rua Donato da Fonseca, 810 Aptº 802, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, CEP: 30000. Cidadania: Brasileira.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 11/09/1991, observadas as condições legais.

Expedida em : 22 de Agosto de 2000.

Luiz Otávio Beaklini
Diretor de Patentes

José Graça Aranha
Presidente



P I 9 1 0 3 9 5 5

Relatório Descritivo da Patente de Invenção "PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO".

A invenção consiste na aplicação de resfriamento
5 forçado no esboço de chapa durante a fase de espera do processo de laminação controlada utilizado em algumas siderúrgicas para produção de chapas grossas de alta resistência e tenacidade, a partir de aços microligados.

A laminação controlada consiste em se laminar a
10 placa em dois estágios, designados como esboçamento e acabamento sob condições controladas de temperatura. A fase de esboçamento ocorre sob temperaturas relativamente altas, e a recristalização da austenita é completa entre os passes de laminação. Já a fase de acabamento
15 somente deve ser iniciada sob temperaturas relativamente baixas, para que a recristalização da austenita seja impedida pela ação dos elementos de micro-liga. Por isso entre essas duas fases deve haver um período de espera para atingir a temperatura que favoreça a ocorrência dos
20 fenômenos metalúrgicos desejados.

Contudo, esse período de espera, para esfriar o esboço desde a temperatura final da fase de esboçamento até a temperatura adequada para o início da fase de aca-

PLACAS

bamento, reduz significativamente a produtividade do laminador. Além disso, devido à maior resistência à deformação a quente do material não recristalizado, a fase de acabamento exige um maior número de passes, o que também
5 aumenta o tempo requerido pelo processo em relação ao convencional.

No estado atual da técnica, um recurso utilizado para minimizar o tempo de espera entre as fases de esboçamento e acabamento tem sido o abaixamento da temperatura de reaquecimento da placa. Com isso consegue-se
10 economia de tempo de até 20% no total da laminação controlada, mas acarreta abaixamento do limite de escoamento do produto. Outro recurso é reduzir a quantidade total de deformação deixada para a fase de acabamento, o
15 que significa menor relação de espessura entre esboço e produto final, que aumenta a produtividade mas também prejudica o limite de escoamento. Um recurso que não afeta as propriedades do produto é a chamada laminação em "tandem" combinada com o controle das temperaturas de
20 reaquecimento e acabamento. Na versão mais simples dessa opção duas placas são laminadas concomitantemente: durante o período de espera de um esboço processa-se a laminação de esboçamento da placa seguinte. Quando terminado esse esboçamento passa esse segundo esboço para a
25 fase de espera, enquanto o 1º esboço passa para a fase de acabamento. Após o acabamento do primeiro, o segundo terá terminado o período de espera e entra em acabamen-

to. Conforme a espessura do produto a obter pode-se processar até quatro placas em "tandem".

A laminação em "tandem", contudo, só se torna econômico quando aplicada a lotes grandes de um mesmo tipo de produto. Além disso, a otimização do processo somente ocorre quando os tempos de laminação e período de espera são aproximadamente os mesmos, ou seja, na laminação de chapas grossas relativamente leves.

Tem sido pesquisado o resfriamento forçado para reduzir o tempo de espera da laminação controlada, mas não se tem chegado a um processo adotado industrialmente em face da insegurança causada por gradiente de temperatura residual que pode ocorrer entre a superfície e o esboço. Nestas condições a superfície estaria super-resfriada, e após o término do resfriamento ela sofreria recalescência devido ao calor proveniente do núcleo do esboço. Este ciclo térmico pode afetar a temperatura de formação da ferrita e provocar precipitação excessiva. Tal precipitação pode levar a alterações significativas nas temperaturas de formação da ferrita e alterar a cinética de recristalização, levando à formação de grãos superficiais deformados e alongados. Essas alterações na microestrutura superficial não alteram de forma significativa as propriedades globais do produto, mas podem dar origem a tensões internas de tração em sua superfície, podendo comprometer a qualidade pelo surgimento de trincas. Em alguns casos foi verificado ainda um ligeiro au-

P 1 9 1 0 3 9 5 5

mento na temperatura de transição do material. Em outros observou-se a formação de uma microestrutura "coquilhada", ou seja, os grãos superficiais do esboço são muito pequenos em relação aos presentes no seu núcleo. Além
5 disso, há outras complicações operacionais, como a dificuldade no controle da temperatura após o resfriamento forçado e a necessidade de se respeitar um maior tempo de equalização após o resfriamento forçado para que a temperatura do esboço atinja o equilíbrio após a reca-
10 lescência.

A presente invenção teve origem em pesquisas realizadas primeiramente em fase laboratorial, simulando a laminação controlada o mais próximo possível da realidade industrial, acrescentando o resfriamento por água na
15 fase intermediária de "espera", utilizando o mesmo aço microligado da produção normal realizada pelo processo convencional de "espera" para resfriamento ao ar da laminação controlada, para obtenção de chapas grossas de alta resistência e tenacidade, com especificações, por
20 exemplo, do A.P.I. X-65 e X-70, e até mesmo com graus superiores.

As pesquisas em fase laboratorial prosseguiram até eliminar todas as inseguranças, tendo sempre em vista chegar a um processo otimizado, de simples realização
25 e sem grande investimento.

Assim sendo, o objetivo alcançado pela presente invenção foi reduzir o tempo de espera da laminação con-

P I 3 1 0 3 9 5 5

trolada mantendo a mesma microestrutura e as mesmas propriedades mecânicas do produto obtidas pelo processo convencional. Os resultados obtidos indicaram ser possível uma redução no tempo de espera de até 50% sem nenhuma deterioração na microestrutura e propriedades mecânicas do produto, mantendo as taxas de resfriamento entre 1 a 5,0 graus Celsius por segundo.

Na fase de implantação industrial dotou-se o equipamento de produção, laminador de chapas grossas, de um sistema de resfriamento somente suficiente para alcançar os parâmetros estabelecidos na fase laboratorial, sem ser os melhores índices possíveis, para não encarecer o investimento, aproveitando inclusive algum recurso já existente. Em razão disso, por exemplo, os valores de temperatura após o resfriamento forçado ficam sempre razoavelmente acima da temperatura inicial de acabamento, requerendo ainda alguma espera para retomar a laminação, o que também assegura maior uniformidade de temperatura entre superfície e núcleo da chapa.

Os primeiros testes em escala produtiva possibilitaram determinar com boa aproximação os parâmetros do processo de resfriamento a serem utilizados, como também visualizar a viabilidade do processo e um real ganho de produtividade. Foram estudados dois tipos de aço, ao cromo e ao cromo-nióbio, e a utilização do resfriamento forçado intermediário, com as condições ainda não definitivamente fixadas, proporcionou reduções de até 40% no



tempo de "espera" da laminação controlada. Entretanto para alcançar maior segurança para a regularidade da qualidade do produto final, seja da microestrutura, das propriedades mecânicas ou do nível de aplainamento do produto, e também para que os valores de carga de laminação se mantenham semelhantes aos observados com o processo de resfriamento convencional ao ar, ajustou-se no decorrer dos testes os valores dos parâmetros operacionais do resfriamento, que são vazão e pressão da água de resfriamento, velocidade de passagem do esboço e número de passes, para cada tipo de laminado, maximizando a redução do tempo de laminação dentro das Normas Operacionais existentes, mas com boa folga, para temperaturas iniciais da placa, do esboço e de acabamento, como também da espessura do esboço, para cada produto a ser obtido, tendo em vista que os parâmetros fixados para o resfriamento não devem por em risco os parâmetros da laminação controlada que devem ser atingidos, tanto os que estão estabelecidos nas Normas Operacionais como os que estão especificados para o produto final.

O equipamento utilizado para o resfriamento intermediário do esboço é composto por um conjunto de "sprays", que são bicos injetores de água impulsionada por ar comprimido, e pelo sistema de descamação que se constitui de injetores de água bombeada, que para esse fim é utilizado com o laminador aberto.

Na versão simplificada do processo de resfria-

P 19103955

mento, que é a preferida enquanto não houver maior regularidade na temperatura e no encharque da placa, ou ainda, enquanto não houver um sistema controlador preciso e automático das temperaturas e do processo, o resfriamento é determinado para cada produto, em faixas de largura e de espessura das chapas, por meio da combinação de velocidade de passagem e número de passagens ou passes do esboço pela mesa dos resfriadores, "sprays" e ou injetores da descamação. As experiências indicaram não ser recomendável variar a pressão ou a vazão da água para ajuste do resfriamento almejado, pois a normalização da vazão após a mudança é muito lenta, o que poderia vir a comprometer a consistência do resfriamento do esboço. Assim adotou-se manter pressão e vazão constantes para os "sprays", pelo menos enquanto estiver sendo laminado um mesmo produto.

Uma constituição do sistema de "sprays" para realização do processo da invenção, a qual foi aplicada para implantação em escala industrial da produção por laminação controlada, é mostrada a seguir:

- Comprimento e largura da área de resfriamento: 11,5 x 4m.
- Número de bicos injetores, superior e inferior respectivamente: 72 e 362.
- 25 - Vazão máxima a 3Kgf/mm²: 10.000 l/min.

Como complemento do sistema de resfriamento intermediário forçado é utilizado o sistema de descamação mantendo



o laminador aberto. Podem ser utilizados juntos ou somente um deles, sendo que o de descamação é utilizado para pequenas reduções de temperatura, o que ocorre com chapas de espessura menor que 12,7mm.

5 As condições de resfriamento são definidas a partir do esboço, cujas dimensões e temperaturas estão diretamente relacionadas com o produto final. Assim, os parâmetros a serem considerados são:

Esboço:

- 10 - Temperatura inicial e final de resfriamento;
- Espessura e largura.

Sistema de resfriamento:

- Pressão e vazão dos "sprays";
- Velocidade com que o esboço passa pela mesa sob os
- 15 "sprays";
- Número de passagens (passes) do esboço sob os "sprays";
- Velocidade com que o esboço passa pelos injetores de água da descamação;
- 20 - Nº de passes pelos injetores de água da descamação.

A determinação dos diversos esquemas de resfriamento em função das dimensões dos esboços foi feita a partir dos resultados experimentais de laboratório e de aplicações brandas e progressivas, começando por uma

25 passagem em alta velocidade sob os "sprays" com vazão relativamente baixa. Verificada a necessidade, a velocidade era diminuída e ou repetida a passagem pelos

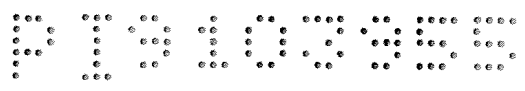
"sprays" ou injetores, ou ainda aumentando pressão e vazão de água no caso dos "sprays", até se chegar ao melhor esquema de resfriamento do esboço para cada produto final.

5 Uma vez definida a estratégia de implantação do processo, deu-se início à fase de coleta de dados na área. Foram acompanhados 205 esboços de material classe "DH", aço micro-ligado de qualidade naval, no laminador de chapas grossas, submetidos ou não ao resfriamento
10 forçado intermediário, registrando-se os seguintes dados:

- Número de laminação;
- Dimensões do produto final;
- Temperatura inicial de laminação;
- 15 - Tempo decorrido na laminação de esboçamento;
- Espessura do esboço;
- Tempo decorrido na espera;
- Vazão, velocidade de mesa, número de passes pelos "sprays" ou pelos injetores, quando aplicado resfriamen-
20 to forçado intermediário;
- Temperatura de início de acabamento;
- Tempo de laminação de acabamento;
- Temperatura final de acabamento;
- Tempo total de laminação.

25 Paralelamente, acompanhou-se os resultados de ensaios mecânicos normais da rotina de liberação do produto.

Através desse acompanhamento dos 205 esboços de



5 aço microligado "DH", para construção naval, foi-se estabelecendo o esquema de resfriamento intermediário forçado do esboço para cada produto final, resultando num conjunto de condições como é visto na tabela 1, que reúne os produtos em faixas de espessura e largura.

| Largura (mm) | Espessura (mm) | | | |
|---------------|----------------|----------------------|----------------------|------------|
| | $e \leq 12,7$ | $12,7 < e \leq 18,0$ | $18,0 < e \leq 25,4$ | $e > 25,4$ |
| $L \leq 2000$ | Desc, 3X | V1, 1X | V1, 2X | V1, 2X |
| $2000 < L$ | | | | |
| $L \leq 2700$ | Desc, 3X | V2, 2X | V1, 1X | V1, 2X |
| $L > 2700$ | Desc, 2X | V2, 1X | V2, 1X | V1, 1X |

15 Tabela 1: Condições de Resfriamento Forçado Intermediário, determinadas de forma preferida para as condições existentes. A vazão de água foi mantida fixa; "Desc." indica uso exclusivo da Descamação; "V1 e V2" são velocidades da mesa; "1X, 2X, 3X" indicam o número de passagens do esboço pelo resfriamento.

25 Por razões de segurança, quando a temperatura de fim de esboçamento for menor que 1000 graus Celsius, não deve ser usado o sistema de resfriamento por "sprays", pois o tempo total de resfriamento, incluindo o desloca-

mento até o sistema de "sprays" e o retorno ao laminador, poderá ser excessivo levando a temperatura de início de acabamento a ficar abaixo do mínimo especificado para obter o produto desejado. Nesses casos o esboço é
5 resfriado com passes pelo sistema de descamação com o laminador aberto. É o que se observa pela tabela 1 com os materiais de espessura menor que 12,7mm.

Os resultados permitiram avaliar a redução do tempo de espera em relação ao processo convencional de
10 resfriamento ao ar. O ganho médio de tempo entre os esboços de diferentes dimensões foi de 40s, como mostra a figura 1. Em relação ao tempo total de processamento a redução é mais significativa para os produtos de espessura até 18mm, conforme se observa na figura 2.

15 Isto pode indicar que os parâmetros de resfriamento intermediário forçado talvez ainda possam ser otimizados para materiais de maior espessura. Contudo, um resfriamento mais intenso requer maior regularidade nas condições de encharque da placa, para que não ocorra
20 super-resfriamento eventual do esboço. Como já foi dito, as condições de resfriamento estabelecidas deixam margem de segurança para as flutuações do processo. Por outro lado, as velocidades de resfriamento variaram entre 0,8 e 1,9 graus Celsius por segundo, muito baixas para
25 causar alteração prejudicial na microestrutura final do produto.

O ganho de produtividade obtido com o processo



da invenção pode ser visualizado considerando um ritmo hipotético dos mais baixos para laminação controlada de chapa grossa, que para exemplo tomamos uma produção de 15 placas/hora, ou 4 min. por placa. Sendo a redução média do tempo de espera 40s por placa, resulta que com o resfriamento forçado o ritmo passa a ser 17,5 placas/hora, que a uma média de 6t/placa significa passar a produção de 90 para 105t/h, aumentando a produtividade em 16,7%. A um preço médio do aço para construção naval tipo "DH" de U\$400/t, resulta em ganho de U\$6.000/h.

Nos levantamentos de dados reais coletados nos registros da área em tonelagem/hora, observou-se resultados até melhores que os obtidos teoricamente, pois o aumento de produtividade foi em média 39% para produtos de grau Naval "DH", espessura menor que 18mm e largura entre 2.000 e 2.700 mm, conforme se vê na figura 3.

Reivindicações

1- PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO, cujo objetivo central é abreviar o tempo de espera necessário, desse processo de
5 laminação, para o esboço de chapa atingir a temperatura adequada para o início da laminação de acabamento que proporciona ao aço alta resistência mecânica e tenacidade, com velocidade de esfriamento otimizada para não prejudicar a microestrutura da chapa de aço, caracteri-
10 zado por ser o processo composto de passagens do esboço de chapa por uma mesa de "sprays" de água impulsionada por ar comprimido e ou de passagens pelos bicos injetores de água bombeada, do sistema de descamação usado com o laminador aberto, até temperatura pouco superior àque-
15 la de início da laminação de acabamento.

2- PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a temperatura final do esboço após o resfriamento forçado ser tal que o
20 tempo requerido para resfriar ao ar até a temperatura inicial de acabamento seja suficiente para uniformizar a temperatura ao longo da espessura do dito esboço de chapa.

3- PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a velocidade ou taxa de resfriamento causada pelo sistema não ser superior a 5 graus Celsius por segundo em qualquer momento do resfriamento.

4- PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o número de passagens combinado com a velocidade de passagem do esboço de chapa pelos resfriadores, "sprays" e ou injetores da Descamação, constitui o esquema de resfriamento que é determinado para cada produto, o qual é classificado pela espessura, largura e o tipo de aço, conforme tabela 1, a qual representa uma realização preferida da invenção para o aço micro-ligado grau Naval "DH".

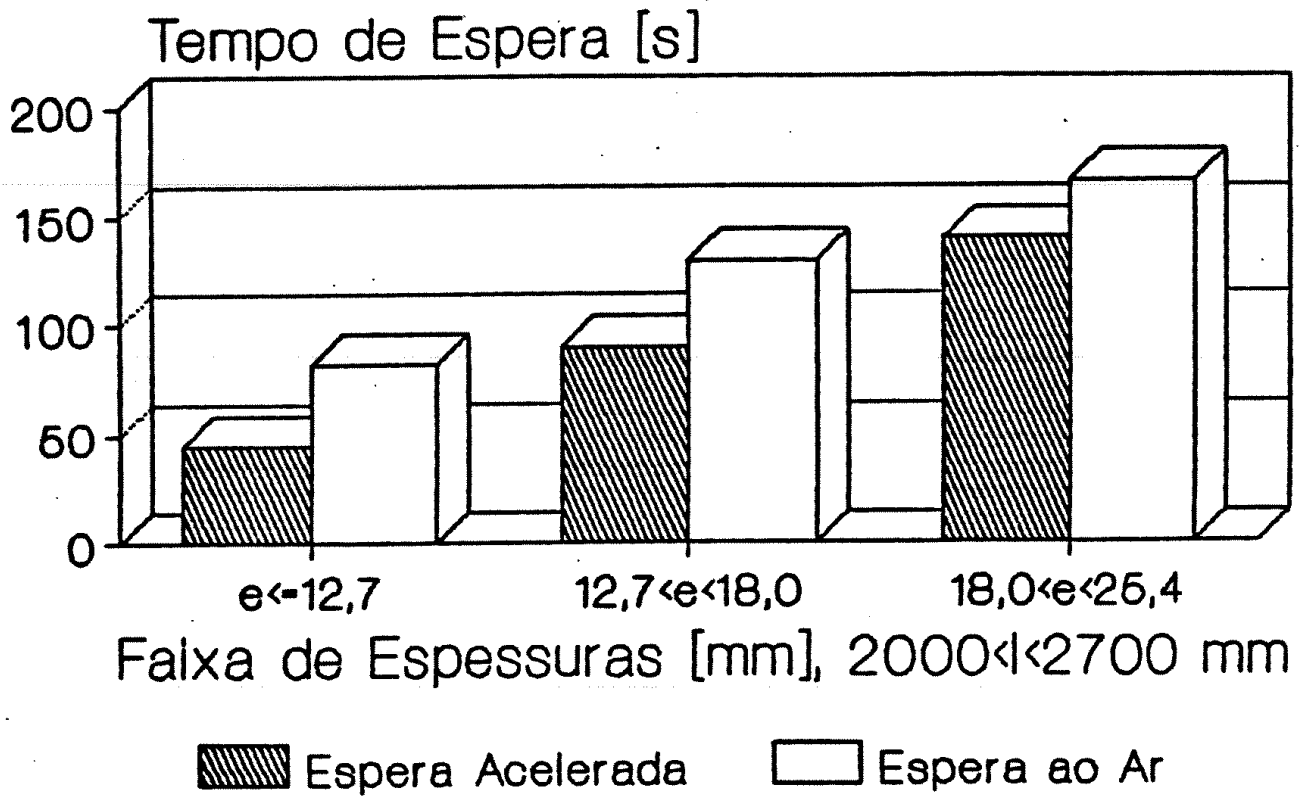


FIGURA 1

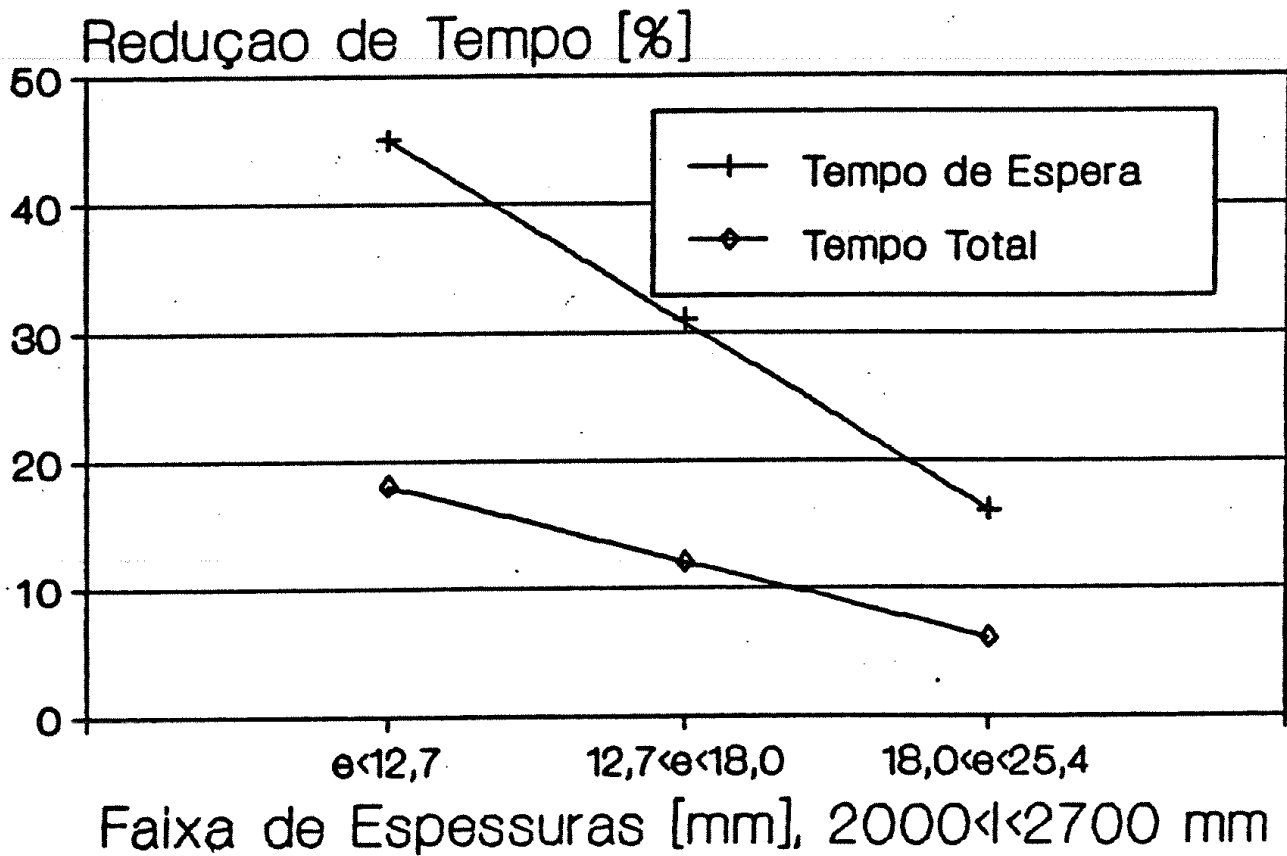


FIGURA 2

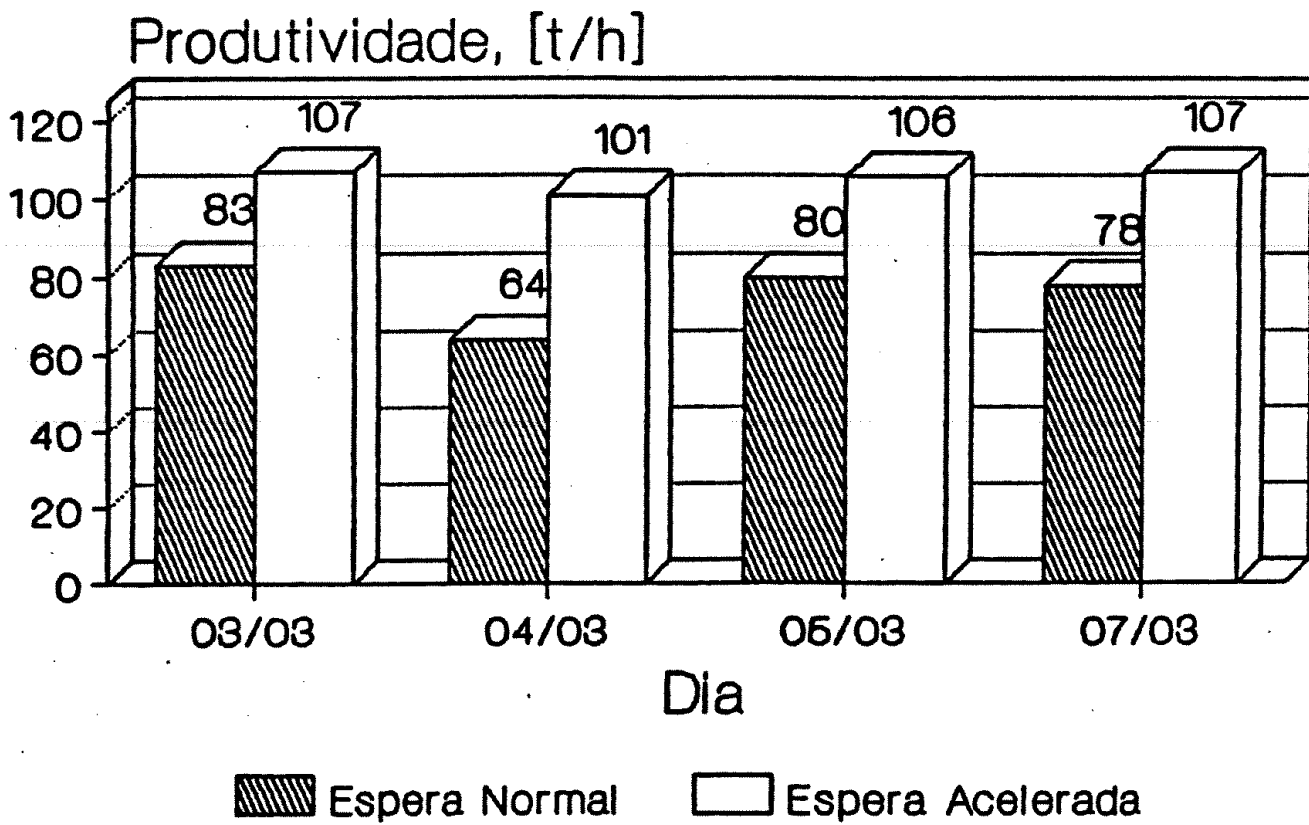


FIGURA 3

Resumo

Patente de Invenção para PROCESSO DE RESFRIAMENTO FORÇADO INTERMEDIÁRIO NA LAMINAÇÃO CONTROLADA DE CHAPA DE AÇO

A invenção consiste em um processo para abreviar o período de espera a que o esboço de chapa é submetido para que sua temperatura, que é alta após o final da laminação de esboçamento, atinja a temperatura adequada para se iniciar a fase de acabamento. O processo consiste de estabelecer esquema de número de passes e velocidade de passagem do esboço de chapa por resfriadores, "sprays" e ou bicos injetores da Descamação com laminador aberto, para cada produto, definido pelo tipo de aço, espessura e largura do esboço de chapa, como é mostrado na tabela 1.

PARA ANOTAÇÕES DO INPI

MINULUA a Alteração de Sede do titular p.
Av. do Café n.º 277, Torre B, 8.º e 9.º anda
res, Jabaquara, São Paulo, SP, Cep. 04311-000
conforme publicação na RPI n.º 1601 de 11/09/2001
Em 24/09/2001


JOSE HENRIQUE DA SILVA
Técnico 3.ª Mat. 449160
DIRPA/SAAPAT/SECARP