



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

**(21) PI 0718636-3 A2**



(22) Data de Depósito: 19/11/2007  
(43) Data da Publicação: 26/11/2013  
(RPI 2238)

(51) Int.Cl.:  
B21B 19/04  
B21B 23/00  
B21B 25/00

**(54) Título:** MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA. **(57) Resumo:**

**(30) Prioridade Unionista:** 20/11/2006 JP 2006-312363

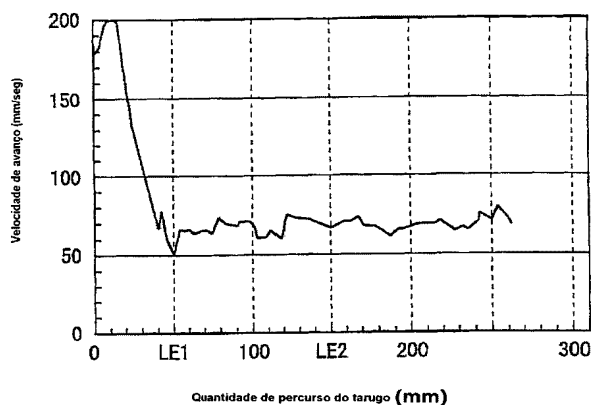
**(73) Titular(es):** Sumitomo Metal Industries, LTD.

**(72) Inventor(es):** Kazuhiro Shimoda, Tomio Yamakawa

**(74) Procurador(es):** Araripe & Associados

**(86) Pedido Internacional:** PCT JP2007072377 de 19/11/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2008/062752de  
29/05/2008



## **“MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA”.**

### **CAMPO DA TÉCNICA**

A presente invenção refere-se a um método de fabricação de tubos sem costura com uma taxa reduzida de ocorrência de falhas ou defeitos da superfície interna do tubo bruto, com irregularidades de espessura de parede reduzida, sem ocasionar problemas operacionais como interrupções de laminação e em altos níveis de eficiência de perfuração.

### **ANTECEDENTES**

Dentre várias tecnologias conhecidas na técnica para a fabricação de tubos de aço sem costura, os métodos mais eficientes adequados para a produção em massa são aqueles métodos de fabricação baseados em uma técnica de laminação (chamada processo Mannesmann) que compreende tarugos de perfuração usando um par de cilindros inclinados e um mandril peregrino.

Na perfuração pela técnica de laminação, um tarugo aquecido é transferido para uma máquina de perfuração (perfurador), empurrado por um propulsor e contido por um par de cilindros inclinados. Posteriormente, o tarugo avança enquanto o cilindro o gira. Nessa ocasião, um efeito de forjamento rotatório (efeito Mannesmann) é exercido na porção central do tarugo durante o período que termina quando o tarugo chega na ponta do mandril peregrino disposto ao longo da linha de passagem entre os cilindros e, como um resultado, a porção central se torna frágil. Então, o tarugo é submetido à laminação-perfuração pelo par de cilindros inclinados e pelo mandril para formar um tubo bruto oco (doravante também chamado de “tubo bruto” a título de simplificação). O tubo bruto oco é processado adicionalmente nas etapas subsequentes, incluindo a laminação por alongamento para proporcionar um tubo sem costura com um tamanho pré-determinado.

A laminação-perfuração mencionada acima é também aplicada aos tarugos feitos de, por exemplo, um material de fundição contínua com segregações e/ou porosidade centrais ou de uma espécie de aço inoxidável pobre em deformabilidade a quente. Nesse momento, o efeito de forjamento rotatório e a deformação de cisalhamento adicional causam a formação de falhas ou defeitos do tipo dobra, do tipo folha ou do tipo

nervura sobre a superfície interna do tubo bruto oco (tais defeitos são chamados conjuntamente de “defeitos de superfície interna”). Para evitá-los, a tração da ponta do mandril é geralmente reduzida para suprimir assim o efeito de forjamento rotatório tanto quanto possível e evitar a formação de tais defeitos de superfície interna. Entretanto, a

5 redução na tração da ponta do mandril tende a permitir a ocorrência de laminação errônea tal como uma falha de gripamento.

A tração da ponta do mandril é definida pela seguinte fórmula:

$$(Bd - dl)/Bd, \text{ a saber } 1 - (dl/Bd)$$

Portanto, para reduzir a uma tração da ponta do mandril significa que

10 quando o diâmetro do tarugo (Bd) for constante, dl (vão entre os cilindros na posição da ponta do mandril) é aumentado ou o mandril é deslocado para frente para o lado do tarugo para deslocar a ponta do mesmo em direção ao menor lado do diâmetro do cilindro (cf. Figura 1).

Os documentos de patente 1 e 2 descrevem métodos de fabricação tubos

15 sem costura, uma característica destes é empregar uma tração da ponta do mandril não inferior 95% ou não inferior a 97%. Entretanto, muito embora estes documentos definam tração da ponta do mandril como “vão entre os cilindros na posição da ponta do mandril /diâmetro do tarugo”, o supracitado “não inferior a 95%” e “não inferior a 97%” deve ser apropriadamente descrito como “não inferior a 0,95” e “não inferior a 0,97”,

20 respectivamente. E, estas faixas de tração da ponta do mandril correspondem a “não superior a 0,05” e “não superior a 0,03”, respectivamente, de acordo com a definição dada acima

(documento de patente 1) Publicação de patente do Japão não-examinada nº 2001-162307 (nº do pedido H11-346513)

25 (documento de patente 2) Publicação de patente do Japão não-examinada nº 2001-162306 (nº do pedido H11-346514)

Outra dificuldade originada de tal redução na tração da ponta do mandril consiste em uma diminuição na eficiência de perfuração. A eficiência de perfuração é porcentagem da velocidade de avanço longitudinal do tubo bruto para o componente de

direção longitudinal da velocidade periférica da garganta do cilindro e é definida pelo seguinte:

$$= (V_H/V_R \sin \alpha) \times 100 (\%)$$

5 onde  $\eta$  é a eficiência de perfuração (%),  $V_H$  é a velocidade longitudinal do tubo bruto (m/s) e  $V_R$  é a velocidade periférica da garganta do cilindro (m/s).

A Figura 4 mostra os resultados de testes executados para investigações da eficiência de perfuração usando mandris do mesmo formato sob as condições mostradas na Tabela 1. Conforme mostrado, a eficiência de perfuração diminui com o aumento na tração da ponta do mandril e, em particular, a diminuição na eficiência de perfuração  
10 extraordinária quando a tração da ponta do mandril é 0,04 ou inferior.

Tabela 1

Material e tamanho do tarugo	S45C, SUS304, diâmetro: 70 mm
Tamanho do tubo bruto oco	diâmetro: 75 mm, espessura da parede: 8 a 9 mm
Diâmetro da garganta do cilindro	410 mm
Ângulo de convergência (Toe angle)	15°
Ângulo de alimentação	10°
Tração da ponta do mandril TDFT	0 a 0,05
Diâmetro máximo do mandril	58 mm
Distância da ponta do mandril para o local de diâmetro máximo	115 mm

Uma redução na eficiência de perfuração significa uma diminuição na velocidade longitudinal do tubo bruto (supracitada  $V_H$ ) ou, em outras palavras, uma diminuição na velocidade longitudinal do tarugo e significa que o tempo durante o qual o efeito de forjamento rotatório é exercido sobre o tarugo é prolongado (o número de vezes  
15

do forjamento do cilindro na posição pré-determinada do tarugo é aumentado). Dessa forma, com as espécies de aço tendo defeitos na porção central, por exemplo, materiais de fundição contínua, um efeito de forjamento rotatório excessivo mesmo se a tração da ponta do mandril for ajustada em um nível baixo ocasiona defeitos de superfície interna.

5                   Adicionalmente, como um resultado da diminuição na eficiência de perfuração, o fluxo de metal do material-alvo da laminação é restrito na direção axial e é facilitado na direção circunferencial. Então, a deformação de cisalhamento adicional na direção circunferencial aumenta e os defeitos produzidos na frente do mandril são intensificados adicionalmente pela deformação de cisalhamento e, como um resultado,  
10 permanecem no tubo bruto como defeitos de superfície interna com tamanhos grandes. Adicionalmente, o tempo exigido para perfuração é prolongado pela diminuição na eficiência de perfuração, de modo que um problema adicional se origina, a saber, a carga térmica no mandril aumenta e vida útil do mandril é encurtada.

Os métodos descritos acima nos documentos de patente 1 e 2 supracitados,  
15 consistem na combinação de uma velocidade circunferencial de cilindro reduzida com a propulsão através de um propulsor. De acordo com esses métodos, a perfuração é executada com uma tração da ponta do mandril baixa mesmo na perfuração da porção mediana do tarugo, de modo que a fissuração proveniente do efeito de forjamento rotatório na frente do mandril possa ser suprimida de fato. Entretanto, sob determinadas condições  
20 de ajuste dos cilindros e de acordo com o formato do mandril, o deslizamento na perfuração do meio e das porções subsequentes do tarugo aumenta e, como um resultado, a eficiência de perfuração pode ser diminuída por meio disso, embora o problema de falha de gripamento possa ser resolvido.

Se a eficiência de perfuração na perfuração do meio e das porções  
25 subsequentes do tarugo for diminuída, conforme mencionado acima, a velocidade na direção de laminação do tarugo do lado de entrada é diminuída mesmo na região de laminação fixa, o número de revoluções do tarugo (número de vezes do contato entre o par de cilindros e o material-alvo da laminação durante o período de prensão do tarugo pelos cilindros até a chegada do tarugo na ponta do mandril) aumenta. Portanto, o número

de vezes que o tarugo se submete ao efeito de forjamento rotatório aumenta e, mesmo se a tração da ponta do mandril for menor, fissuras serão ocasionadas nas proximidades do centro do tarugo pelo efeito de forjamento rotatório excessivo e, dessa forma, permanecendo como defeitos de superfície interna no tubo bruto.

## 5 APRESENTAÇÃO DA INVENÇÃO

### Problemas a serem solucionados

Um objetivo da presente invenção consiste em fornecer uma tecnologia para a fabricação tubos sem costura excelente em qualidade com alta produtividade. Mais especificamente, é um objetivo da invenção fornecer um método de fabricação de tubos sem costura sem ocasionar uma redução na eficiência de perfuração por todo o comprimento do material-alvo de perfuração e sem ocasionar a interrupção da laminação ou eventos de laminação errônea similares enquanto evita o desenvolvimento de defeitos de superfície interna no tubo bruto e a redução das irregularidades da espessura da parede.

## 15 Meios para Solucionar os Problemas

A essência da invenção consiste em qualquer um dos métodos de fabricação tubos sem costura conforme definido abaixo em (1)-(3).

(1) Um método de fabricação de tubos sem costura através da execução de perfuração-laminação usando um perfurador fornecido com um propulsor disposto no lado de entrada ao longo da linha de passagem, um mandril disposto no lado de saída ao longo da linha de passagem e um par de cilindros inclinados dispostos a fim de fazerem face um com o outro por todo o mandril, cujo método é caracterizado pelo fato de ter as seguintes características de (a) a (d):

Característica (a): A perfuração-laminação é executada sob condições nas quais a tração da ponta do mandril (TDFT) não é superior a 0,04 e/ou a raiz do produto da tração da ponta do mandril (TDFT) e o número de revoluções do tarugo (N), a saber  $TDFT \times N)^{0.5}$ , não é superior a 0,4;

Característica (b): As posições dos cilindros inclinados são selecionadas de modo que a tração da garganta (GDFT) que indica a razão do vão do cilindro (Rg), que é

mínima na seção de garganta entre os cilindros inclinados, para o diâmetro externo do tarugo (Bd), a saber  $Rg/Bd$ , possa satisfazer as relações definidas pela fórmula (1) dada abaixo;

5 Característica (c): A perfuração-laminação é executada usando um mandril com um formato que satisfaz as relações definidas pela fórmula (2) dada abaixo;

Característica (d): O propulsor propulsiona o tarugo ao menos na região instável I da perfuração-laminação.

$$-0,01053 \times EL + 0,8768 \quad GDFT \quad -0,01765 \times EL + 0,9717 \quad \dots \quad (1)$$

$$-0,95 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 1,4 \quad L2/d2 \quad -1,4 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 3,15 \dots \quad (2)$$

10 Nas fórmulas acima

$$TDFT = 1 - (d1/Bd)$$

onde d1: distância mínima cilindro a cilindro (mm) na posição da ponta do mandril e

Bd: diâmetro externo do tarugo (mm),

$$15 \quad N = (Ld \times EL)/(0,5 \times \alpha \times Bd \times \tan \alpha)$$

onde Ld: comprimento do contato projetado (mm) a partir do ponto de prensão do tarugo para a ponta do mandril,

EL: razão da perfuração ou alongamento, a saber (comprimento do tubo bruto oco)/(comprimento do tarugo),

20  $\alpha$ : ângulo de alimentação do cilindro,

L2: comprimento da seção de laminação (mm) do mandril, e

d2: diâmetro externo (mm) do mandril na posição limítrofe entre a seção de laminação e uma seção de polimento da mesma.

(2) Um método de fabricação de tubos sem costura conforme definido acima em (1), sendo que na característica (d), o tarugo é propulsionado pelo propulsor na região instável e na região estável de perfuração o-laminação.

(3) Um método de fabricação de tubos sem costura conforme definido acima em (1) ou (2), sendo que a perfuração-laminação é executada enquanto a velocidade de avanço longitudinal do propulsor é ajustada em um nível não inferior à

velocidade do tarugo do lado da entrada na direção de avanço do mesmo no estado estável executada sem o uso do propulsor.

#### Efeitos da Invenção

De acordo com o método da invenção, os tubos brutos ocos com defeitos de superfície interna reduzidos e irregularidades de espessura da parede reduzidas podem ser fabricados com alta eficiência sem causar problemas operacionais como interrupções de laminação.

#### MELHORES MODOS PARA A EXECUÇÃO DA INVENÇÃO

A seguir, as características do método da invenção serão descritas uma por uma com referências aos desenhos.

A Figura 1 é uma vista plana esquemática que ilustra um exemplo do aparelho para execução do método da invenção e a Figura 2 é uma vista lateral que ilustra o local da perfuração no aparelho. Em ambas as figuras, uma parte é mostrada em seção.

Um perfurador 10 é fornecido com um par de cilindros inclinados em formato de cone (doravante chamado simplesmente de “cilindros”) 1, um mandril 2, uma barra de núcleo 3, um propulsor 4 e um HMD (detector de metal quente) 51. O par de cilindros 1 é disposto em um ângulo de convergência  $\gamma$  e um ângulo de alimentação em relação à linha de passagem X-X.

O mandril 2 é fixado a uma extremidade da barra de núcleo 3 e é disposto sobre a linha de passagem X-X entre os cilindros. O mandril a ser usado na execução do método da invenção tem um formato especial, conforme descrito na invenção posteriormente.

O propulsor 4 é disposto na linha de passagem X-X. No exemplo mostrado, o propulsor consiste em um corpo de cilindro hidráulico 41, um eixo de cilindro 42, um elemento de conexão 43 e uma haste de propulsão de tarugo 44, embora o tipo de propulsor não se limite a isto. Em suma, a única exigência é que o propulsor possa executar sua função de propulsionar forçadamente o tarugo 20 em direção ao perfurador através de uma força pré-determinada. O HMD 51 é um dispositivo de detecção e detecta a passagem ou não da ponta de um tubo bruto oco perfurado entre os cilindros.

## 1. Re: Característica (a)

A tração da ponta do mandril (TDFT) é ajustada a 0,04 ou abaixo a fim de inibir a formação de defeitos de superfície interna no tubo bruto através da diminuição da pressão. A raiz do produto da tração da garganta (GDFT) e o número de revoluções do tarugo (N), a saber  $(GDFT \times N)^{0,5}$ , é ajustada a 0,4 ou abaixo com o propósito de inibir a formação de defeitos de superfície interna e, além disso, estabilizar o processo de perfuração-laminação e, assim, evitando interrupções na laminação e outros problemas e reduzido as irregularidades de espessura da parede do tubo bruto. Quando o número de revoluções do tarugo (N) é muito alto, o grau do processamento da espessura da parede resultante do processamento pelos cilindros e mandril por metade de uma rotação do material-alvo da laminação se torna alto e o deslizamento se torna grande, causando uma diminuição na eficiência de perfuração, muito embora o efeito de forjamento rotatório e a deformação de cisalhamento adicional possam ser suprimidos. Adicionalmente, o processo de perfuração-laminação se torna instável e as irregularidades de espessura da parede do tubo bruto podem ser exageradas em determinadas circunstâncias. Portanto, a TDFT não deve ser maior que 0,04 e/ou a raiz  $(GDFT \times N)^{0,5}$  não deve ser maior que 0,4.

Um dos objetivos da invenção é reduzir as irregularidades de espessura da parede do tubo bruto. Geralmente, quando a tração da ponta do mandril é 0,04 ou menor, a eficiência de perfuração diminui e o giro do material-alvo da laminação durante a perfuração se torna intensificado, resultando em irregularidades de espessura da parede. De acordo com o método da invenção que compreende o aumento da força propulsora dos cilindros e a diminuição do arrasto do mandril, entretanto, o processo de perfuração-laminação é executado estavelmente e as irregularidades de espessura da parede são reduzidas.

## 25 2. Re: Característica (b)

A Figura 5 é uma representação dos resultados de uma investigação correspondente à relação entre a quantidade de percurso da prensão do tarugo pelos cilindros e a velocidade de avanço. Conforme mostrado, a velocidade de avanço do tarugo diminui abruptamente após o contato e a prensão do tarugo pelos cilindros. A velocidade

de avanço se torna mínima na posição 4 (o ponto LE1 na abscissa) do começo da perfuração seguindo o contato da frente do tarugo front com o mandril. Posteriormente, o tarugo é preso estavelmente (a saber, o tarugo avança sem deslizar) e, conforme a perfuração prossegue, a velocidade de avanço do tarugo aumenta gradualmente e chega a um nível quase constante, a saber, um estado estacionário.

Conforme mostrado na Figura 5, a velocidade de avanço do tarugo é menor no estado não-estacionário (de LE1 para LE2 na figura) do que após a chegada no estado estacionário (LE2 em diante). Por outro lado, a velocidade rotacional dos cilindros é constante durante a operação de perfuração. Portanto, o efeito de forjamento rotatório por unidade da quantidade de percurso do tarugo na região instável se torna maior que na região estável. Como um resultado, os defeitos de superfície interna são produzidos em muitos locais na porção de extremidade frontal do tubo bruto oco.

O “estado estacionário” se refere ao período a partir do instante de tempo de passagem da extremidade frontal do tarugo perfurado e laminado (a saber, a extremidade frontal do tubo bruto oco) através da extremidade traseira dos cilindros até o instante de tempo de contato da extremidade traseira do tarugo com os cilindros. O “estado não-estacionário” se refere a período a partir do instante de tempo a extremidade frontal do tarugo presa pelos cilindros, após o avanço, entrando em contato com o mandril até o instante de tempo que o tarugo alcança o estado estacionário mencionado acima.

Para evitar a formação de defeitos de superfície interna no tubo bruto oco, é necessário aumentar a velocidade de avanço do tarugo no estado não-estacionário. Isto se deve ao fato de que o efeito de forjamento rotatório supracitado por unidade de quantidade de percurso do tarugo é, então, reduzido. Um meio, portanto, é o uso de um propulsor. Posto que seja desejável aumentar a velocidade de avanço do tarugo também no estado estacionário, recomenda-se que a aplicação de pressão application através do propulsor sejam feita continuamente.

Quando o diâmetro externo do tarugo ( $B_d$ ) é constante, uma pequena tração da garganta (GDFT, ou seja,  $R_g/B_d$ ) significa um pequeno vão do cilindro ( $R_g$ ).

Nesse caso, a elipticidade do formato em seção transversal do tarugo durante a perfuração aumenta e o ângulo de prensão pelos cilindros na direção de rotação do material-alvo da laminação aumenta. Esse aumento no ângulo de prensão ocasiona o deslizamento do tarugo. Por outro lado, quando a tração da garganta (GDFT, ou seja,  $R_g/B_d$ ) é excessivamente alta, o vão do cilindro ( $R_g$ ) se torna grande e, portanto, a área de contato entre os cilindros e o tarugo diminui e força propulsora na direção de laminação, conforme aplicada ao material-alvo da laminação pelos cilindros, diminui e, neste caso, também pode ocorrer deslizamento. Em particular, dentro da range de tração baixa da ponta dos mandris, a influência da tração da garganta (GDFT) no deslizamento da material-alvo da laminação é mais significativa quando comparada com o caso onde a tração da ponta do mandril é relativamente alta. Portanto, para a tração da garganta (GDFT), existe uma faixa apropriada para a inibição de deslizamento e é necessário que disposições para fresa sejam feitas dentro desta faixa.

A razão de perfuração (EL, a saber, comprimento do tubo bruto oco /comprimento do tarugo) também influencia no deslizamento. Para aumentar a razão de perfuração, é necessário reduzir a espessura da parede do tubo bruto oco e, para este propósito, o diâmetro externo do mandril deve ser aumentado e, ainda, todo o mandril deve ser maior, de modo que a resistência do mandril aumente. Portanto, quando a razão de perfuração da perfuração-laminação aumenta no mesmo valor ajustado da tração da garganta (GDFT), o deslizamento tende a ocorrer com facilidade.

A Figura 6 é uma representação dos resultados dos testes de perfuração executados usando S45C tarugos com um diâmetro externo de 70 mm em um ângulo de alimentação de  $10^\circ$  e um ângulo de convergência de  $20^\circ$ , enquanto a razão de perfuração (EL) e a tração da garganta (GDFT) variam. Na perfuração-laminação, o tarugo foi propulsionado por um propulsor para fazer com que o tarugo fosse preso pelos cilindros e a propulsão fosse continuada até a chegada no estado estacionário de perfuração-laminação. Após a interrupção do propulsor, um exame foi feito para a ocorrência de não-ocorrência de deslizamento.

Na Figura 6, as marcas o indicam que a perfuração-laminação estável poderia ser executada sem laminação errônea devido ao deslizamento. As marcas indicam que o deslizamento ocorreu frequentemente durante a perfuração-laminação, resultando em laminação errônea. Nesses casos em que o tarugo parou de avançar durante a perfuração-laminação ou em que o tarugo parou de avançar durante a perfuração da extremidade traseira do tarugo (também conhecida como descontinuidade (tailing out failure), julga-se que tenha havido deslizamento.

Conforme evidenciado a partir da Figura 6, a região na qual a perfuração-laminação estável pode ser executada sem a ocorrência de deslizamento é a região circundada pelas duas linhas retas A e B. As linhas retas A e B são respectivamente representadas pelas seguintes equações:

$$\text{Linha reta A: GDFT} = -0,01053 \times \text{EL} + 0,8768;$$

$$\text{Linha reta B: GDFT} = -0,01765 \times \text{EL} + 0,9717.$$

Portanto, um valor apropriado de tração da garganta (GDFT) está na faixa representada pela seguinte fórmula (1):

$$-0,01053 \times \text{EL} + 0,8768 \leq \text{GDFT} \leq -0,01765 \times \text{EL} + 0,9717 \quad \dots (1)$$

### 3. Re: Característica (c)

Os testes de perfuração foram executados sob as condições especificadas na Tabela 2 enquanto L2 e d2 do mandril variaram. Conforme mostrado na Figura 3, L2 é o comprimento (mm) da seção de laminação do mandril e d2 é o diâmetro externo (mm) do mandril na posição limítrofe entre a seção de laminação 31 e a seção de polimento 32 do mandril. A seção de laminação é a seção de processamento para uma extensão de espessura da parede de processamento não inferior a 98% e a seção de polimento é a seção para dar um acabamento liso a espessura da parede do material-alvo da laminação. A seção de flanco 33 é a seção onde o diâmetro do tubo é reduzido ao mesmo diâmetro que o diâmetro máximo do mandril ou o diâmetro é reduzido no sentido retroativo.

Tabela 2

Material e tamanho do tarugo	S45C, diâmetro:70 mm
Tamanho do tubo bruto oco	diâmetro:75 mm, espessura da parede: 8 a 9 mm

Diâmetro da garganta do cilindro	410 mm
ângulo de convergência	20°
Ângulo de alimentação	8 a 14°
Tração da ponta do mandril TDFT	0 a 0,05
L2/d2	0,5 a 3,75
$(TDFT \times N)^{0.5}$	0 a 0,38

Os testes de perfuração-laminação foram executados usando um mandril com um formato determinado através do uso, como um parâmetro, da raiz do produto da tração da ponta do mandril e o número de revoluções do tarugo. Os resultados do teste são mostrados na Figura 7. Conforme mencionado acima no presente documento, já se tem conhecimento na técnica que quando a perfuração-laminação é executada de modo que a tração da ponta do mandril se torna pequena, a eficiência de perfuração diminui. Isto revelou, entretanto, que na perfuração-laminação na qual a tração da ponta do mandril se torna 0,04 ou menor, conforme mostrado na Figura 7, existe uma correlação também entre a razão L2/d2 e a eficiência de perfuração. Ou seja, à medida que o valor de L2/d2 aumenta, a eficiência de perfuração geralmente se torna maior e, além disso, a diminuição na eficiência de perfuração devido à diminuição na tração da ponta do mandril se torna menor.

Conforme mencionado acima, L2 é o comprimento da seção de laminação do mandril e d2 é o diâmetro do mandril no ponto terminal da seção de laminação (o ponto inicial da seção de polimento). A Figura 7 mostra que quando a perfuração-laminação is executada dentro de uma faixa apropriada do valor de L2/d2, a eficiência de perfuração pode ser mantida em um alto nível.

Então, referindo-se aos resultados mostrados na Figura 7, inúmeros testes foram executados através da variação adicional das condições de ajuste do cilindro e o

número de revoluções do tarugo (N) calculado a partir dos resultados de perfuração e foram obtidos os resultados mostrados na Figura 8. Na Figura 8, a abscissa denota o valor de  $(TDFT \times N)^2$  e a ordenada denota a razão  $L2/d2$ . Conforme mencionado previamente, o TDFT permanece para a tração da ponta do mandril.

5 Na Figura 8, as marcas  $\times$  indicam aqueles casos em que a obstrução do mandril (falha de gripamento do tarugo), obstrução do fundo ou encurtamento da vida útil do mandril ocorreram, as marcas  $\times$  indicam aqueles casos onde a eficiência de perfuração foi de 70% ou menos, as marcas  $\circ$  indicam aqueles casos em que a eficiência de perfuração foi acima de 70% mas menores que 75% e as marcas  $\square$  indicam aqueles casos em que a eficiência de perfuração foi de 75% ou superior e a perfuração estável poderia ser executada e não foram encontrados defeitos de superfície interna no tubo bruto. A região que inclui tais marcas  $\square$  é circundada pelas linhas retas A e B, onde as linhas retas são respectivamente representadas pelas seguintes equações:

$$\text{Linha reta A: } L2/d2 = -0,95 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 1,4$$

$$15 \quad \text{Linha reta B: } L2/d2 = -1,4 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 3,15$$

Tendo em vista o que fora citado anteriormente, a região que abrange as marcas  $\square$  mencionadas acima, ou seja, a região na qual a perfuração pode ser executada estavelmente com uma eficiência de perfuração não inferior a 75%, sem formação de defeitos de superfície interna do tubo bruto, é a região representada pela fórmula (2) dada abaixo.

$$20 \quad -0,95 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 1,4 \leq L2/d2 \leq -1,4 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 3,15 \quad \dots (2)$$

#### 4. Re: Característica (d)

Com referência à Figura 1, o tarugo 20 é preso pelos cilindros 1, mediante isto a etapa de perfuração é iniciada. Até a chegada em um estado estacionário no qual a extremidade frontal do tarugo presa (extremidade frontal do tubo bruto) deixa os cilindros ou, em outras palavras, durante um estado não-estacionário, o tarugo 20 é propelido pelo propulsor 4, de modo que a velocidade de avanço do tarugo possa não ser inferior à velocidade de avanço em um estado estacionário atingível sem o uso do propulsor. A velocidade de avanço do tarugo no estado não-estacionário é o valor da velocidade média

na região instável e a velocidade de avanço no estado estacionário é a velocidade de avanço média no estado estacionário de um tarugo quase idêntico em diâmetro externo e espécie de aço ao tarugo 20.

É mais preferido que o tarugo seja propelido pelo propulsor de modo que a  
5 carga de empuxo transmitida pelo mandril 2 no estado não-estacionário possa não ser  
mais alta que a carga de empuxo transmitida pelo mandril 2 no estado estacionário no  
caso de não usar propulsor. Por isso, se torna possível inibir o deslizamento do tarugo 20  
no estado não-estacionário. Adicionalmente, uma vez que a velocidade de avanço do  
tarugo no estado não-estacionário se torne maior que no caso em que não é usado  
10 propulsor, o efeito de forjamento rotatório se torna diminuído, de modo que a formação  
de defeitos de superfície interna no tubo bruto oco é inibida. A carga de empuxo  
transmitida pelo mandril no estado estacionário pode ser medida em avanço ou calculada  
com base em várias condições tais como a velocidade de rotação do cilindro e o formato  
do tarugo.

15 Adicionalmente, quando a velocidade de avanço do tarugo 20 no estado  
não-estacionário é maior que a velocidade de avanço do mesmo no estado estacionário  
sem o uso do propulsor, o efeito de forjamento rotatório se torna menor que o efeito de  
forjamento rotatório no estado estacionário sem o uso do propulsor e, como um resultado,  
a aparência de defeitos de superfície interna se torna menos frequente. A velocidade de  
20 avanço no estado estacionário sem o uso do propulsor pode ser medida em avanço ou  
calculada com base em várias condições tais como a velocidade de rotação de cilindro e o  
formato do tarugo.

Uma vez que a perfuração-laminação tenha chegado ao estado  
estacionário, ou seja, quando o HMD 51 detectar que a extremidade frontal do tubo bruto  
25 tenha deixado os cilindros, a operação do propulsor é cessada. Após a chegada da  
perfuração-laminação ao estado estacionário, o tarugo é perfurado enquanto avança em  
uma velocidade constante sem propulsão pelo propulsor. Entretanto, a propulsão através  
do propulsor pode ser continuada mesmo no estado estacionário. Através dessas ações,  
torna-se possível executar a perfuração-laminação em uma velocidade de avanço mais

alta do que no caso sem propulsor na região estável, por conseguinte, os efeitos de redução da aparência de defeitos de superfície interna e do aumento da eficiência de perfuração podem ser obtidos.

A Figura 9 é uma representação dos resultados obtidos através da perfuração-laminação sob as mesmas condições dos testes anteriores, cujos resultados são mostrados na Figura 5 exceto pela propulsão através do propulsor no estado não-estacionário que foi empregada. Na Figura 9, conforme se torna evidente mediante a comparação com a Figura 5, descobriu-se que a velocidade de avanço na região instável (região entre LE1 e LE2) aumentou para um nível quase comparável à velocidade na região estável.

Embora o método de perfuração descrito acima esteja principalmente baseado na técnica de laminação usando cilindros em formato de cone adotados a título de exemplo, os cilindros podem ser em formato de barril. O método da invenção também pode ser executado de acordo com o modo de perfuração de laminação inclinado usando cilindros de laminação com somente um ângulo de alimentação.

#### Exemplos

Os tarugos redondos com um diâmetro de 70 mm foram cortados a partir da porção central de lingotes de aço redondos com 1,0% de Cr - 0,7% de Mo com um diâmetro de 225 mm obtidos pela fundição contínua, foram submetidos à perfuração-laminação sob as condições de uma temperatura de aquecimento de 1200°C, um ângulo de convergência de 15° e um ângulo de alimentação de 10° para produzir tubos brutos com um diâmetro externo de 75 mm e uma espessura da parede de 8 mm. A tração da garganta (GDFT) e o formato do mandril foram selecionados de modo que as exigências respectivas representadas pelas fórmulas (1) e (2) possam ser satisfeitas e a tração da ponta do mandril fosse 0,01.

Os testes de perfuração foram executados usando 100 tarugos e, para cada tubo bruto, a condição de ocorrência de defeitos de superfície interna foi observada e a porcentagem média de irregularidade de espessura da parede (valor médio das

porcentagens da irregularidade da espessura da parede de direção periférica medidas em vários locais na direção longitudinal) e a eficiência de perfuração foram calculadas.

Os resultados da medição foram os seguintes. Não houve formação de defeito na superfície interna, o efeito de perfuração foi de 77 a 82% e a porcentagem  
5 media da irregularidade da espessura da parede não foi superior a 4%. A partir desses resultados, ficou evidente que tubos brutos de alta qualidade podem ser fabricados com alta eficiência de acordo com o método da invenção. Quando aquelas condições que falharam em satisfazer as condições de ajuste especificadas no presente documento foram empregadas, a eficiência de perfuração não foi superior a 60% e alguns casos resultaram  
10 em interrupções na laminação. Na perfuração-laminação de acordo com métodos da técnica anterior, a porcentagem média da irregularidade da espessura da parede é cerca de 6%.

#### APLICABILIDADE INDUSTRIAL

De acordo com a presente invenção, é possível fabricar tubos sem costura  
15 com irregularidades de espessura da parede reduzidas enquanto se evita a formação de defeitos de superfície interna em todo o comprimento dos tubos brutos, mesmo de materiais pobres em deformabilidade, por exemplo, materiais de fundição contínua e aços de alta liga que contêm Cr.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

20 A Figura é uma vista plana esquemática (parcialmente em seção) de uma fresa para perfuração-laminação para executar o método da invenção.

A Figura 2 é uma vista lateral (parcialmente em seção) que ilustra a seção de perfuração da Figura 1.

25 A Figura 3 é uma ilustração que mostra o formato de um mandril a ser usado na execução do método da invenção.

A Figura 4 é uma representação gráfica que mostra a relação entre a tração da ponta do mandril (TDFT) e a eficiência de perfuração.

A Figura 5 é uma representação gráfica que mostra a relação entre a quantidade de percurso do tarugo e a velocidade de avanço quando não é usado propulsor.

A Figura 6 é uma representação gráfica que mostra a relação entre a razão da perfuração razão (EL) e a tração da garganta (GDFT).

A Figura 7 é uma representação gráfica que mostra a relação entre o formato do mandril ( $L2/d2$ ), a tração da ponta do mandril (TDFT) e a eficiência de perfuração.

A Figura 8 é uma representação gráfica que mostra os efeitos da raiz do produto da tração da ponta do mandril (TDFT), o número de revoluções do tarugo (N) e o formato do mandril ( $L2/d2$ ) na condição de perfuração-laminação.

A Figura 9 é uma representação gráfica que mostra a relação entre a quantidade de percurso do tarugo e a velocidade de avanço quando um propulsor é usado.

#### Explicação dos Símbolos

1: cilindros, 2: mandril, 3: barra de núcleo, 4: propulsor, 20: tarugo, 51: HMD.

Figura 1

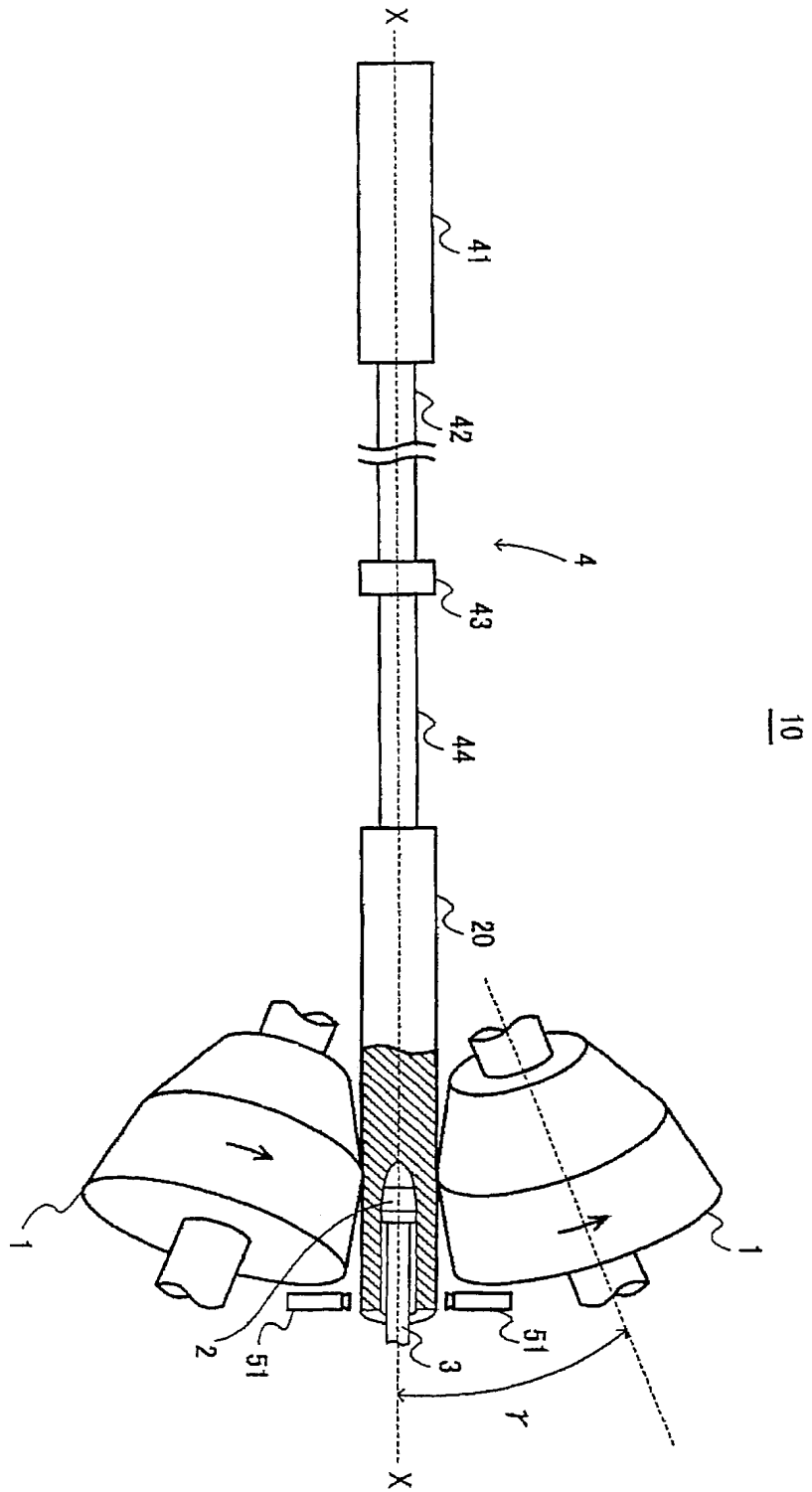


Figura 2

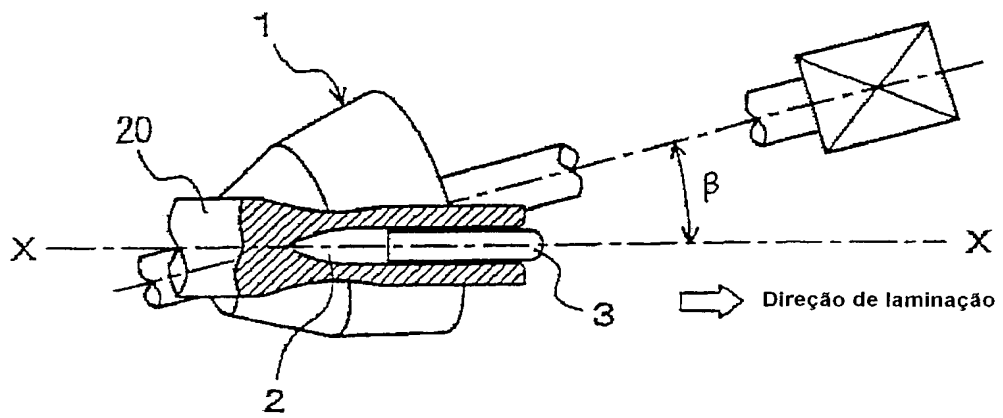


Figura 3

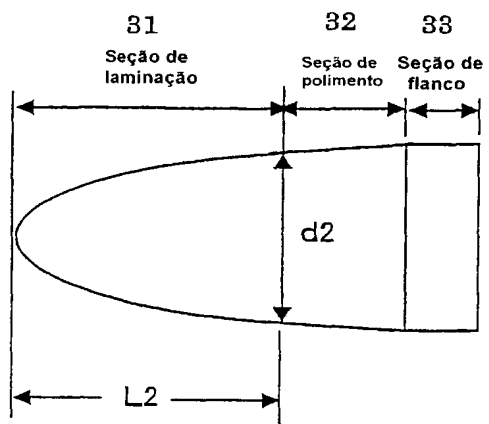


Figura 4

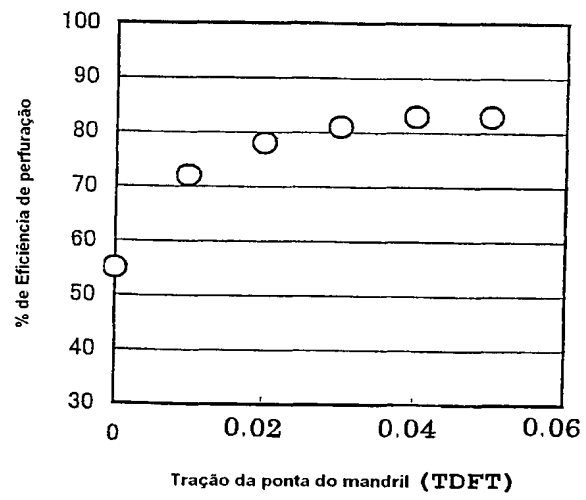


Figura 5

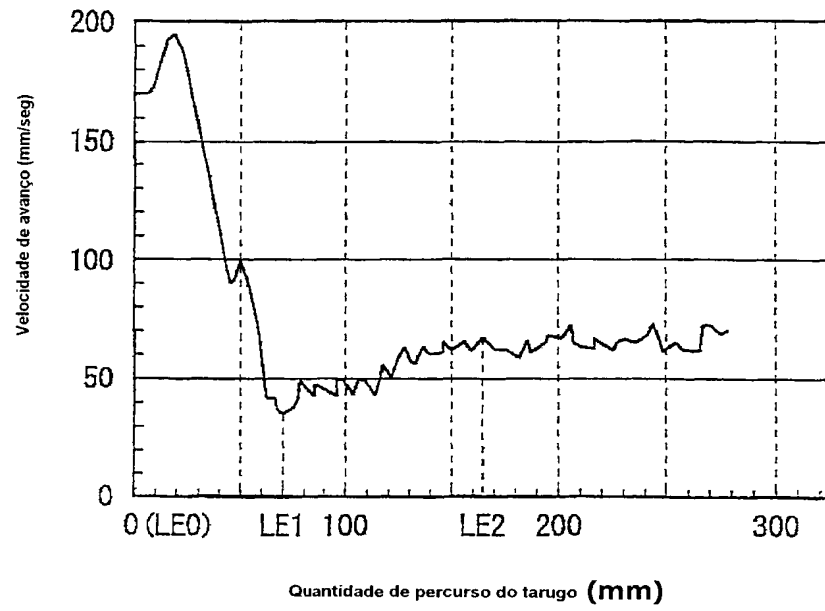


Figura 6

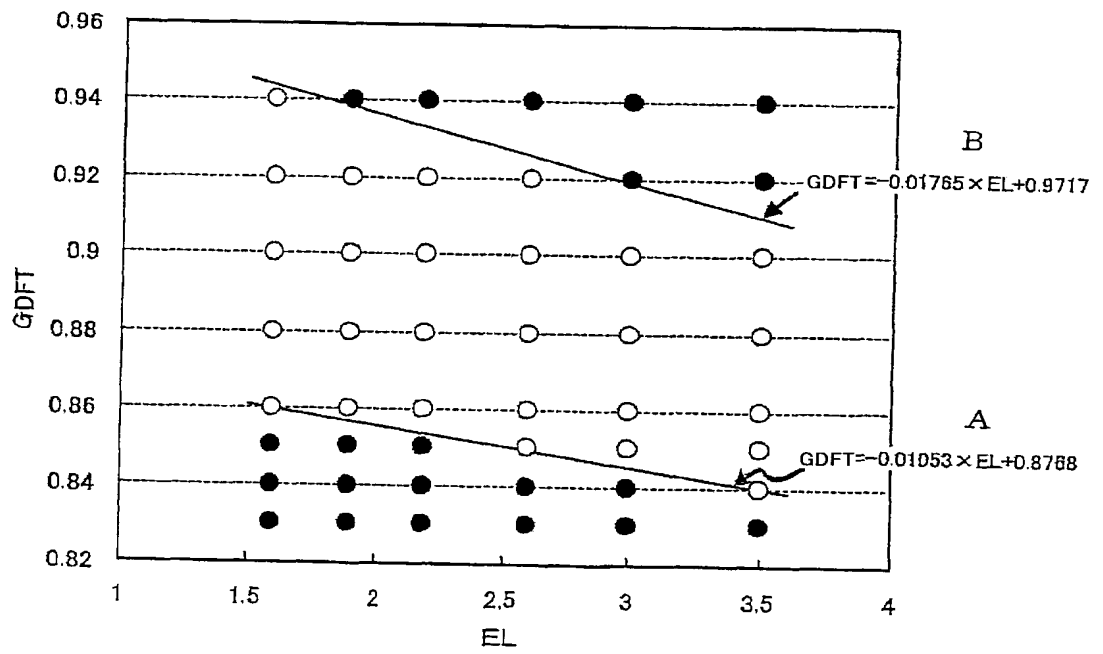


Figura 7

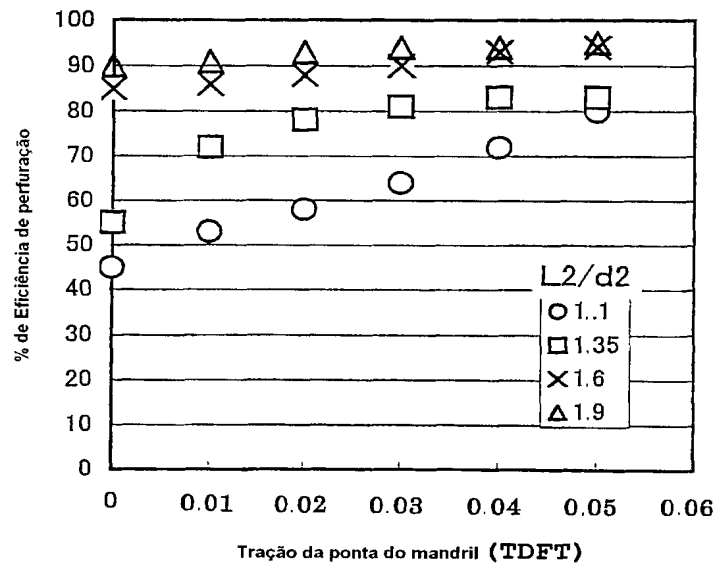


Figura 8

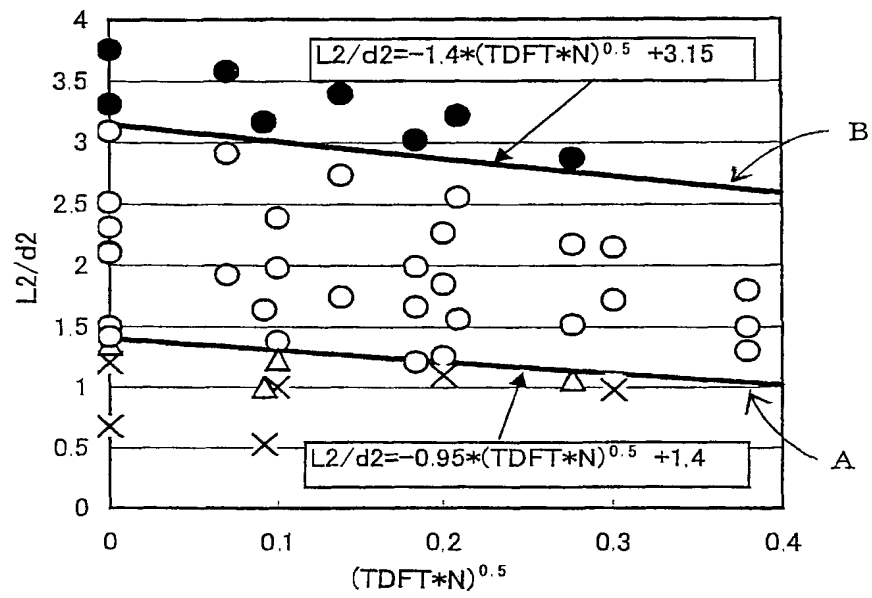
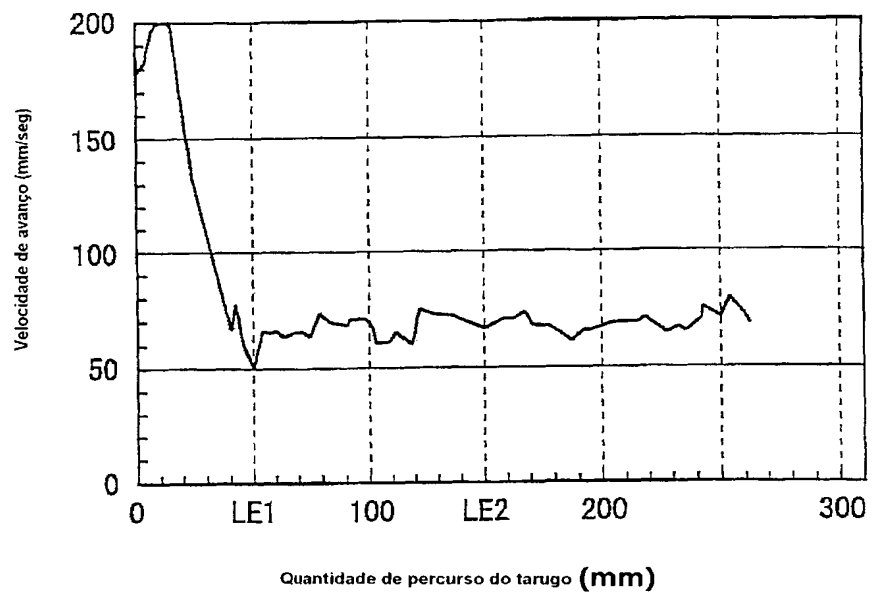


Figura 9



## RESUMO

### “MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA”.

Trata-se de fornecer uma tecnologia de fabricação de tubos sem costura excelente em características de qualidade e com alta produtividade.

5 Dessa forma, é fornecido um método de fabricação de tubos sem costura através da execução de perfuração-laminação usando um perfurador fornecido com um par de cilindros inclinados, cujo método é caracterizado por ter as seguintes características de (a) a (d):

10 Característica (a): A perfuração-laminação é executada sob condições de modo que a tração da ponta do mandril (TDFT) não seja superior a 0,04 ou a raiz do produto da tração da ponta do mandril (TDFT) e o número de revoluções do tarugo (N), ou seja,  $(TDFT \times N)^{0.5}$  não seja maior que 0,4.

15 Característica (b): As posições dos cilindros inclinados são selecionadas de modo que a tração da garganta (GDFT) que indica a razão do vão do cilindro ( $R_g$ ) que é mínima na seção da garganta entre os cilindros inclinados para o diâmetro externo do tarugo ( $B_d$ ) possa satisfazer as relações definidas pela fórmula (1) dada abaixo.

Característica (c): A perfuração-laminação é executada usando um mandril que possui um formato que satisfaz as relações definidas pela fórmula (2) dada abaixo.

20 Característica (d): O tarugo é propulsionado pelo propulsor ao menos na região instável da perfuração-laminação.

$$-0,01053 \times EL + 0,8768 \quad GDFT \quad -0,01765 \times EL + 0,9717 \dots \quad (1)$$

$$-0,95 \times (TDFT \times N)^{0.5} + 1,4 \quad L_2/d_2 \quad -1,4 \times (TDFT \times N)^{0.5} + 3,15 \dots \quad (2)$$

25 Nas fórmulas acima, TDFT é  $1 - (d_1/B_d)$ , onde  $d_1$ : distância mínima cilindro a cilindro (mm) na posição da ponta do mandril e  $B_d$ : diâmetro externo do tarugo (mm) e  $N = (L_d \times EL)/(0,5 \times \alpha \times B_d \times \tan \alpha)$ , onde  $L_d$ : comprimento do contato projetado (mm) a partir do ponto preso do tarugo à ponta do mandril,  $EL$ : razão de perfuração,  $\alpha$ : ângulo de alimentação do cilindro,  $L_2$ : comprimento da seção de laminação (mm) do mandril e  $d_2$ : diâmetro externo (mm) do mandril na posição limítrofe entre a seção de laminação e a seção de polimento do mesmo.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricação de tubos sem costura através da execução da perfuração-laminação usando um perfurador fornecido com um propulsor disposto no lado de entrada ao longo da linha de passagem, um mandril disposto no lado de saída ao longo da linha de passagem e um par de cilindros inclinados dispostos de tal modo a ficarem voltados um para o outro por todo o mandril, sendo que o método é **CARACTERIZADO** pelo fato de que tem as seguintes características de (a) a (d):

Característica (a): A perfuração-laminação é executada sob condições de modo que a tração da ponta do mandril (TDFT) não seja superior a 0,04 e/ou a raiz do produto da tração da ponta do mandril (TDFT) e o número de revoluções do tarugo (N), ou seja,  $(TDFT \times N)^{0,5}$ , não seja maior que 0,4;

Característica (b): As posições dos cilindros inclinados são selecionadas de modo que a tração da garganta (GDFT) que indica a razão do vão do cilindro (Rg) que é mínima na seção de garganta entre os cilindros inclinados para o diâmetro externo do tarugo (Bd), ou seja,  $Rg/Bd$  possa satisfazer as relações definidas pela fórmula (1) dada abaixo;

Característica (c): A perfuração-laminação é executada usando mandril que possui um formato que satisfaz as relações definidas pela fórmula (2) dada abaixo;

Característica (d): O propulsor propulsiona o tarugo ao menos na região instável da perfuração-laminação.

$$-0,01053 \times EL + 0,8768 \quad GDFT \quad -0,01765 \times EL + 0,9717 \quad \dots \quad (1)$$

$$-0,95 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 1,4 \quad L2/d2 \quad -1,4 \times (TDFT \times N)^{0,5} + 3,15 \dots (2)$$

Nas fórmulas acima

$$TDFT = 1 - (d1/Bd)$$

onde d1: distância mínima de cilindro a cilindro (mm) na posição da ponta do mandril e

Bd: diâmetro externo do tarugo (mm),

$$N = (Ld \times EL)/(0,5 \times \dots \times Bd \times \tan \dots)$$

