



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

(21) **PI 0712244-6 A2**



(22) Data de Depósito: 26/04/2007
(43) Data da Publicação: 17/01/2012
(RPI 2141)

(51) *Int.Cl.:*
B21B 17/14
B21B 23/00
B21B 25/04
C21D 8/10
C22C 38/00
C22C 38/18
C22C 38/58

(54) Título: PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL SUBMETENDO-SE UM AÇO INOXIDÁVEL DE MATÉRIA-PRIMA QUE CONTÉM, EM MASSA, 10 A 30% DE CR, PARA LAMINAÇÃO PERFORANTE PARA OBTENÇÃO DE UMA BLINDAGEM OCA, SUBMETENDO-SE A BLINDAGEM OCA À LAMINAÇÃO PARA A LONGAMENTO PARA OBTENÇÃO DE UM TUBO EM BRUTO DE LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO USANDO-SE UM BARRA DE MANDRIL, JUNTO COM UM LUBRIFICANTE ISENTO DE GRAFITE, E O AQUECIMENTO DO TUBO EM BRUTO EM UM FORNO DE REAQUECIMENTO E SUBMETENDO-SE O MESMO À LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO ATRAVÉS DA LAMINAÇÃO PARA PARA DIMENSIONAMENTO

(57) Resumo: PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL SUBMETENDO-SE UM AÇO INOXIDÁVEL DE MATÉRIA-PRIMA QUE CONTÉM, EM MASSA, 10 A 30% DE CR, PARA LAMINAÇÃO PERFORANTE PARA OBTENÇÃO DE UMA BLINDAGEM OCA, SUBMETENDO-SE A BLINDAGEM OCA À LAMINAÇÃO PARA A LONGAMENTO PARA OBTENÇÃO DE UM TUBO EM BRUTO DE LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO USANDO-SE UMA BARRA DE MANDRIL, JUNTO COM UM LUBRIFICANTE ISENTO DE GRAFITE, E O AQUECIMENTO DO TUBO EM BRUTO EM UM FORNO DE REAQUECIMENTO E SUBMETENDO-SE O MESMO À LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO ATRAVÉS DA LAMINAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO Trata-se de um processo para produção de tubo de aço inoxidável que compreende a laminação cortante de um aço inoxidável de matéria-prima contendo, em massa, 10 a 30% de Cr, para obter uma blindagem oca, a laminação para alongamento da blindagem oca usando-se uma barra de mandril, junto com um lubrificante isento de grafite, para obter um tubo em bruto de laminação para acabamento e o aquecimento do tubo em bruto em um forno de reaquecimento e submeter o mesmo à laminação para acabamento através da laminação para dimensionamento para produzir um tubo acabado a quente e, em seguida, submeter tal tubo, como um tubo mãe, ao trabalho a frio para produzir um tubo de aço inoxidável. No forno de reaquecimento, o tubo em bruto de laminação para acabamento é aquecido a 1000°C ou mais e submetido ao aquecimento no qual um gás oxidante é soprado para o interior do tubo, através do qual um tubo de aço inoxidável, o qual é impedido de formar uma camada carbonetada na superfície interna do tubo, pode ser produzido. Quando a laminação para acabamento através da laminação por dimensionamento para obter um tubo mãe trabalho a frio é executada através da laminação redutora de estiramento a 860 a 1050°C, um termotratamento de recozimento do tubo mãe para trabalho a frio pode ser omitido. Portanto, um tubo de aço inoxidável dotado de excelente qualidade da superfície pode ser produzido de modo eficaz.

(30) Prioridade Unionista: 28/04/2006 JP 2006-126315

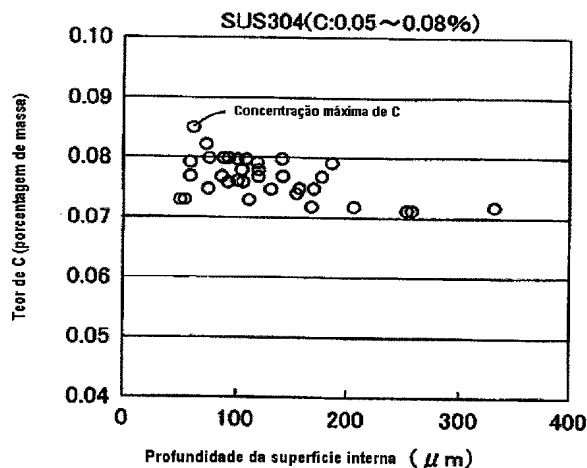
(73) Titular(es): Sumitomo Metal Industries, Ltd.

(72) Inventor(es): Hiroshi Nogami, Kouji Nakaïke, Satoshi Matsumoto, Sumio Iida, Sumitomo Metal Industries, Ltd., Toshihide Ono

(74) Procurador(es): Araripe & Associados

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007059072 de 26/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/126005de 08/11/2007





"PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL SUBMETENDO-SE UM AÇO INOXIDÁVEL DE MATÉRIA-PRIMA QUE CONTÉM, EM MASSA, 10 A 30% DE CR, PARA LAMINAÇÃO PERFORANTE PARA OBTER UMA BLINDAGEM OCA, SUBMETENDO-SE A
5 BLINDAGEM OCA À LAMINAÇÃO PARA A LONGAMENTO PARA OBTER UM TUBO EM BRUTO DE LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO USANDO-SE UMA BARRA DE MANDRIL, JUNTO COM UM LUBRIFICANTE ISENTO DE GRAFITE, E O AQUECIMENTO DO TUBO EM BRUTO EM UM FORNO DE REAQUECIMENTO E SUBMETENDO-SE O MESMO À LAMINAÇÃO PARA
10 ACABAMENTO ATRAVÉS DA LAMINAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO"

Campo da Técnica

A presente invenção refere-se a um processo para produção de tubo de aço inoxidável a partir de um material de aço inoxidável através de laminação perfurante, laminação para alongamento que usa uma barra de mandril e laminação para
15 dimensionamento e refere-se, ainda, a um processo de produção em que tal tubo de aço inoxidável, como um tubo mãe, é trabalhado a frio. De maneira mais particular, refere-se a um processo para produção de um tubo de aço inoxidável de acordo com o qual a carbonetação da superfície interna a ser gerada na etapa de laminação para alongamento que usa uma barra de mandril, por exemplo, laminação para esmerilhamento com
20 mandril, até mesmo quando um lubrificante isento de grafite é usado, pode ser inibida e quando o tubo então obtido, como um tubo mãe, é submetido ao trabalho a frio, o termotratamento de recozimento do mesmo antecedente ao trabalho a frio pode ser omitido.

Técnica Anterior

25 O processo de produção do tubo de aço inoxidável que compreende produzir tubos de aço inoxidável através da execução das etapas de laminação perfurante, de laminação para alongamento que usa uma barra de mandril, por exemplo, laminação para esmerilhamento com mandril, e de laminação para dimensionamento e, de modo adicional, compreende submeter os tubos então obtidos, como tubos mãe, ao
30 trabalho a frio é amplamente aplicado. A seguir, tal processo de produção é explicado em

conexão com o caso de aplicação da laminação para esmerilhamento com mandril como laminação para alongamento e laminação redutora de estiramento como laminação para dimensionamento.

Um bloco de aço redondo (palanquilha) é aquecido a uma temperatura pré-determinada (geralmente de 1150 a 1250°C) usando-se uma forno de aquecimento, como
5 um tipo de laboratório rotativo, e tal palanquilha atravessa uma máquina de laminação perfurante do tipo cilindro inclinado para produzir uma blindagem oca. Em seguida, uma barra de mandril revestida por um lubrificante é inserida em uma blindagem oca e a mesma é sujeita a uma laminação por passe único em um esmerilhamento com mandril
10 composto por 7 a 9 assentos para laminação por desbaste em bruto para fornecer um tubo em bruto para laminação por acabamento com dimensões pré-determinadas.

Após essa laminação por desbaste em bruto, um forno de reaquecimento é alimentado com o tubo em bruto a ser submetido à laminação por acabamento e este é reaquecido (de modo geral, de 900 a 1000°C), somente
15 a superfície externa do tubo desincrustada através injeção de um jato de água de alta pressão e o tubo em bruto atravessa um esmerilhamento de laminação redutora de estiramento para obter um tubo acabado a quente. Quando uma etapa de trabalho a frio ocorre, refere-se ao tubo como um tubo mãe de trabalho a frio.

No processo acima mencionado de laminação do tubo acabado a quente ou do tubo mãe trabalho a frio, a barra de mandril a ser usada na etapa de laminação por desbaste em bruto em um esmerilhamento com mandril é inserida na blindagem oca em uma condição de alta temperatura (geralmente
20 1100 a 1200°C), criando-se a oportunidade de causar prontamente uma gripagem na blindagem oca. O perfil do tubo e a espessura da parede após a laminação para esmerilhamento com mandril são influenciados pela velocidade giratória do cilindro e pelo perfil do calibre do cilindro na etapa de laminação e, adicionalmente, pela fricção entre a barra de mandril e a blindagem oca.

Portanto, para evitar a gripagem da barra de mandril na blindagem
30 oca e para realizar a fricção com a blindagem oca adequada, com o objetivo de

obter o perfil do tubo e a espessura da parede desejados, um lubrificante é aplicado à superfície externa da barra de mandril.

É conhecido como tal lubrificante, por exemplo, o lubrificante solúvel em água com base em grafite, o qual não é custoso e possui muitas boas propriedades de lubrificação, conforme descrito na patente japonesa publicada sob número 59-37317, e tal lubrificante têm sido usado com frequência até agora. Portanto, quando um material de aço inoxidável contém de 10 a 30% de Cr em massa é usado, a laminação por desbaste em bruto usando-se uma barra de mandril revestida com um lubrificante a base de grafite fica sujeita ao fenômeno de carbonetação durante a laminação e uma camada carbonetada dotada de uma concentração maior de carbono do que o material base é formada no lado da superfície interna do tubo.

Durante as etapas subsequentes de reaquecimento e laminação em um redutor de estiramento e, de modo adicional, durante as etapas de termotratamento, a saber, no termotratamento de recozimento do tubo mãe, o qual é desenvolvido antes do trabalho a frio, e o tratamento de solução, o qual é desenvolvido na etapa final, a concentração de carbono na camada carbonetada gerada na superfície interna do tubo diminui como resultado de difusão de carbono no interior do material base; portanto, a profundidade da camada carbonetada aumenta e a camada carbonetada dotada de uma alta concentração de carbono é mantida.

A causa principal da formação de uma camada carbonetada na superfície interna é o ingresso de gás CO no interior do aço, sendo que o gás CO é formado através da gaseificação de parte do grafite, o qual é o componente principal do lubrificante da superfície interna, e/ou de parte do carbono do aglutinante orgânico usado no presente documento, durante a laminação para esmerilhamento com mandril. Como resultado, a concentração de carbono na parte que atravessa cerca de 0,5 mm de profundidade a partir da superfície em uma direção relativa à espessura algumas vezes se torna mais alta em cerca de 0,1% em massa do que o material base, com o propósito de exceder o limite superior do Teor de C especificado no Padrão ou similares em alguns casos.

Na camada carbonetada restante com o nível que excede o limite

especificado, o Cr, o qual é o elemento principal formador de uma película de passivação, a saber, uma película anticorrosiva, em aço inoxidável, é imobilizado na forma de carbonetos para que a resistência à corrosão da superfície interna do tubo seja deteriorada de modo acentuado.

5 Portanto, tais tubos de aço inoxidável sem costura que foram submetidos à formação de uma camada carbonetada na superfície interna do tubo não podem ser enviados por navio como produtos no estado em que se encontram, pois assim as medições para a redução da camada carbonetada são realizadas. Por exemplo, a superfície interna do tubo em que a camada carbonetada é inteiramente polida ou, na
10 patente japonesa sob publicação de número, um método de termotratamento especial é proposto, o qual compreende submeter o tubo, após a laminação por acabamento, à desincrustação com o objetivo de reduzir a espessura da camada de crosta oxidada na superfície interna do tubo e, em seguida, manter a mesma de 3 a 20 minutos em uma atmosfera de oxidação a 1050 a 1250°C para decarbonetação. Portanto, tais métodos para
15 fazer com que a camada carbonetada desapareça apresentam um problema de que são exigidas, para o tratamento, muitas horas de trabalho e os custos são consideráveis.

Ademais, na patente japonesa publicada sob o número 08-90043, um processo para produzir tubos de aço inoxidável sem costura é proposto, no qual a etapa de laminação para esmerilhamento com mandril é aplicada usando-se um lubrificante a base de
20 grafite, que compreende reaquecer o tubo em bruto de laminação por acabamento após a laminação para esmerilhamento com mandril, na qual o tubo em bruto, cujo lado interno é preenchido com uma atmosfera que contém vapor em uma quantidade de não menos do que 10 % em volume, é reaquecido e, em seguida, é laminado por acabamento e, após isso, é submeterido, de modo adicional, ao termotratamento de solução. Portanto, o processo de
25 produção proposto na publicação supracitada exige um aparelho para produção de vapor em larga escala para passar vapor, de modo contínuo, de 10% em volume ou mais através do tubo no interior.

Ademais, a patente japonesa publicada sob o número 04-168221 propõe um processo para produzir tubos de aço inoxidável austenítico que compreende submeter um
30 tubo em bruto de laminação por acabamento, conforme obtido através de laminação com

mandril, usando-se um lubrificante a base de grafite para laminação por acabamento após 10 a 30 minutos de retenção do mesmo em uma atmosfera dotada de uma concentração de oxigênio de 6 a 15 % em uma variação de temperatura de 950 a 1200°C. Portanto, o processo de produção proposto na publicação supracitada é

5 Impraticável a partir do ponto de vista de produção, visto que a perda de crosta é grande devido a um longo período de tempo exigido para o aquecimento do tubo em bruto para laminação por acabamento.

 Ainda, na patente japonesa publicada sob o número 08-57505, um processo para produção de tubos austeníticos de aço inoxidável que compreendem substituir o gás de atmosfera no interior do tubo em bruto, após a laminação por blindagem oca em um esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante a base de grafite, com um gás oxidante antecedente ao processo de alimentação do forno de aquecimento e da blindagem oca com o mesmo durante o aquecimento do forno.

 Os processos de produção propostos na patente japonesa publicada sob o número 08-90043, 04-168221 e 08-57505 tentam inibir a carbonetação da superfície interna do tubo ao submeter o tubo em bruto à laminação por acabamento, como uma laminação redutora de estiramento, após a laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante a base de grafite e tentam aplicar o tratamento de decarbonetação em aquecimento; o uso de um lubrificante a base de grafite, portanto,

15 ainda resulta em uma carbonetação de grau elevado.

 Portanto, o efeito da decarbonetação ao fornecer um gás oxidante é restrito. Para uma decarbonetação mais segura, é necessário aumentar a temperatura do tratamento e prolongar o tempo do mesmo, o que deriva o problema de formação de crosta e o decréscimo resultante na produção. Ademais, em todos os processos de produção, nenhuma tentativa foi realizada para aprimorar a etapa de trabalho a frio adicional do tubo mãe laminado por acabamento.

25

 Por conseguinte, recentemente, esforços positivos foram realizados para o desenvolvimento de lubrificante isentos de grafite e métodos de uso do mesmo, em substituição do lubrificante a base de grafite acima e a patente japonesa publicada sob o número 09-78080, por exemplo, revela um lubrificante que compreende, como

30

ingredientes principais, óxidos em camada, a saber mica, e um sal de borato e é completamente isento de carbono ou, se houver, contém

O carbono somente em um componente aglutinante orgânico e, portanto, possui um Teor de carbono diminuído ao máximo.

5 O método de aplicação de tal lubrificante isento de grafite é o mesmo do caso de lubrificantes a base de grafite e a composição do lubrificante é projetada de modo que o desempenho do lubrificante da mesma possa ser igual àquela dos lubrificantes a base de grafite. Desse modo, o lubrificante isento de grafite revelado na patente japonesa publicada sob o número 09-78080, quando usado apropriadamente, pode impedir a
10 formação de camadas carbonetadas na superfície interna do tubo.

Na execução real das premissas, portanto, a superfície de barra de mandril é contaminada com grafite de modo freqüente.

Os lubrificantes isentos de grafite são mais dispendiosos do que os lubrificantes a base de grafite. Por conseguinte, no caso de produção de tubos de aço-carbono ou tubos de aço-liga através da laminação para alongamento usando-se uma barra
15 de mandril, por exemplo, laminação para esmerilhamento com mandril, em que nenhuma camada carbonetada é formada na superfície interna ou uma camada carbonetada, se formada, não causa qualquer problema particular, lubrificantes a base de grafite são utilizados a partir do ponto de vista econômico.

20 Como resultado, quando uma barra de mandril, a qual é utilizada na laminação para alongamento de tubos de aço-carbono ou tubos de aço-liga, é utilizada na produção de tubos de aço inoxidável, é inevitável que grafite continue aderente à superfície da barra de mandril.

25 O grafite aplicado à superfície da barra de mandril em uma laminação para alongamento dos tubos de aço-carbono ou tubos de baixo teor de aço-liga espalha-se de forma abundante na linha de transferência da barra de mandril, em particular a linha de transferência entre a área de aplicação de lubrificante e a área de inserção da barra de mandril na blindagem oca.

30 Portanto, mesmo quando um lubrificante isento de grafite é aplicado à superfície da barra de mandril para usar a mesma na laminação para

alongamento dos tubos de aço inoxidável, a superfície destes (a saber, a superfície da película do lubrificante isento de grafite) é parcialmente contaminada pelo grafite já espalhado na linha de transferência, sem levar em consideração se a barra de mandril foi submetida ou não à laminação para
5 alongamento dos tubos de aço-carbono ou tubos de baixo teor de aço-liga.

Esse grafite parcialmente aderente à superfície de película do lubrificante isento de grafite estabelece contato direto com o objeto a usinar, a saber, a blindagem oca; isso causa a formação de uma camada parcialmente carbonetada na superfície interna do tubo após a laminação. Portanto, a
10 formação de uma camada carbonetada é realizada, embora haja uma diferença na extensão, conforme comparado ao caso de uso do lubrificante a base de grafite.

Por outro lado, em casos em que a barra de mandril submetida à laminação para alongamento dos tubos de aço-carbono ou tubos de baixo teor de aço-liga é utilizada, o grafite se mantém aderente à mesma abaixo da película do lubrificante isento de grafite recentemente aplicada e, como resultado de
15 trabalho intenso no esmerilhamento da laminação para alongamento, o grafite restante abaixo da película também estabelece contato, de modo ocasional, com o objeto a usinar e causa a formação de uma camada parcialmente carbonetada na superfície interna do tubo durante a laminação e nas etapas subsequentes.

Desse modo, até mesmo onde um lubrificante isento de grafite é usado na laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril, uma camada carbonetada é formada na superfície interna do tubo e a camada carbonetada é corroída, de maneira seletiva, na etapa de desincrustação que compreende a decapagem de tubos acabados a quente ou decapagem antecedente
25 ao trabalho a frio, resultando no desbaste em bruto da superfície. A superfície de desbaste em bruto causada por decapagem é mantida, por exemplo, na forma de falhas riscadas da superfície interna do tubo, deteriorando, dessa maneira, a qualidade da superfície.

Revelação da Invenção

30 Conforme mencionado acima, nos casos em que a formação de uma

camada carbonetada na superfície interna de um tubo acabado a quente ou um tubo mãe a ser trabalhado a frio é permitida durante a laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril e surge um problema na etapa subsequente, a saber, o tubo de aço inoxidável produzido não pode ser enviado por navio como um produto no estado em que se encontra; o desenvolvimento de contra-recursos para superar tal problema é exigido.

De modo adicional, quando a laminação redutora de estiramento é aplicada como laminação para alongamento no processo convencional para produção de tubo de aço inoxidável, a temperatura de acabamento tende a se tornar baixa e a carga normal em trabalho a frio, em seguida, se torna alta como resultado do aumento na resistência do tubo mãe a ser trabalhado a frio; por conseguinte, após a laminação do tubo mãe a ser trabalhado a frio, o termotratamento é exigido para o recozimento do tubo mãe em um estágio anterior ao trabalho a frio.

Como consequência, ocorre um aumento no custo da energia e um decréscimo na produção devido à perda de crosta. Consequentemente, busca-se, também, a omissão do termotratamento de recozimento do tubo mãe, considerada essencial antecedente ao trabalho a frio.

A presente invenção deve satisfazer essas exigências e um objeto da mesma é fornecer um processo para produzir tubos de aço inoxidável excelentes em qualidade de superfície, de acordo com o qual a formação de uma camada carbonetada na superfície interna do tubo em bruto de laminação por acabamento pode ser contida na produção de tubos de aço inoxidável que contém, por porcentagem em massa, Cr: 10 a 30% através de meios de laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril revestida com um lubrificante isento de grafite e, de modo adicional, pode-se omitir o termotratamento de recozimento anterior ao trabalho a frio do tubo mãe, o qual é laminado por acabamento através da laminação redutora de estiramento como laminação para alongamento.

Para realizar o objeto acima, os presentes inventores executaram investigações detalhadas em relação às condições de formação de camada carbonetada na superfície interna dos tubos acabados a quente ou tubos mãe a serem trabalhados a frio

obtidos por laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite e na superfície interna dos tubos obtidos pelo trabalho a frio subsequente, quando os tubos de aço inoxidável são produzidos através de laminação perfurante, laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril, como a laminação para esmerilhamento com mandril, e laminação para alongamento, como a laminação redutora de estiramento.

De maneira mais específica, graus de teste para aço (graus de aço de Teor de C médio) com base em aço SUS 304 e aço SUS 316 (limite superior de Teor de C: 0,08% em massa) prescritos em alguns Padrões Industriais Japoneses (JIPs) com o Teor de C ajustado para 0,05 a 0,08% em massa foram usados como matéria-prima; foram utilizados na maneira da laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite e, em seguida, reaquecidos e submetidos à laminação redutora de estiramento e são executadas medições de concentração de C na superfície interna e nas partes da subsuperfície distantes da superfície interna dos tubos mãe obtidos.

Nas medições acima, a concentração de C na superfície interna do tubo após a remoção de substâncias estrangeiras aderentes, como a crosta de óxido a partir do mesmo, foi determinada através da medição da concentração de C usando-se um espectrofotômetro de emissão. As concentrações de C nas partes da subsuperfície distantes da superfície interna do tubo são determinadas através da remoção bem sucedida de camada por camada, após a remoção de crosta recente através da retificação a um espaçamento pré-determinado e através da sujeição da face recentemente formada a cada momento para a determinação da concentração de C usando-se um espectrofotômetro de emissão do mesmo tipo; as concentrações de C em posições respectivas correspondentes ao espaçamento pré-determinado em uma direção relativa à espessura foram determinadas através da repetição do procedimento acima.

A Figura 1 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos de C (ou concentrações de C) na superfície interna dos tubos em bruto obtidos usando-se, como matéria-prima, um aço SUS 304 com o Teor de C ajustado a 0,05 a 0,08% em massa e submetendo-se o material à laminação para esmerilhamento com mandril ao

usar um lubrificante isento de grafite. A Figura 2 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos de C (ou concentrações de C) na superfície interna dos tubos em bruto obtidos usando-se, como matéria-prima, um aço SUS 316 com o Teor de C ajustado a 0,05 a 0,08% em massa e submetendo-se o material à laminação para
5 esmerilhamento com mandril ao usar um lubrificante isento de grafite.

Conforme mostrado na Figura 1 e na Figura 2, as camadas carbonetadas de alta concentração de C são formadas na superfície interna dos tubos mãe que são submetidos à laminação redutora de estiramento que segue a laminação para esmerilhamento com mandril devido ao grafite residual aderente à barra de mandril e
10 às linhas de produção mesmo quando um lubrificante isento de grafite é usado na laminação para esmerilhamento com mandril. A profundidade da camada carbonetada alcança cerca de $200\mu\text{m}$ e a concentração de C na camada carbonetada é mais alta por um máximo de cerca de 0,015% em massa do que o Teor de C na matriz de graus de teste de aço. Ademais, as camadas carbonetadas contém precipitados de carboneto,
15 principalmente M_{23}C_6 .

Em relação aos precipitados de carboneto na camada carbonetada, quando o reaquecimento antecedente à laminação redutora de estiramento é executado em um estado de ocorrência de uma camada carbonetada na superfície interna do tubo após a laminação com mandril, o suprimento de oxigênio para o tubo se torna
20 insuficiente e o grafite é queimado de modo incompleto, com o objetivo de aumentar a pressão parcial de CO e avançar o fenômeno de carbonetação. Como consequência, a camada carbonetada se torna, aparentemente, mais funda e, ao mesmo tempo, a concentração de C também se torna mais alta e a quantidade de precipitados de carboneto, principalmente, M_{23}C_6 , aumenta.

Ademais, para conter a precipitação de carbonetos também no caso de uso de um tubo redutor de estiramento e acabado a quente, como um tubo mãe a ser trabalhado a frio, tentativas foram feitas, ainda, para difundir [C] na camada carbonetada e para converter a camada carbonetada restante na superfície interna do tubo para
25 incrustação no termotratamento de recozimento do tubo após a laminação redutora de estiramento e, em seguida, para remoção de tal parte através da decapagem para
30

desincrustação, a qual é desenvolvida como um pré-tratamento anterior ao trabalho a frio do tubo acabado a quente.

Portanto, por fazer com que [C] seja difundido na camada carbonetada e converter a camada carbonetada para incrustação no termotratamento de recozimento do tubo mãe, é necessário aumentar a temperatura de aquecimento e prolongar o tempo de aquecimento; como resultado, o custo de energia aumenta e a produção de produtos decai devido à perda de crosta e, adicionalmente, a necessidade de um período prolongado de tempo para o termotratamento do tubo mãe diminui a produtividade.

A quantidade de carboneto, principalmente $M_{23}C_6$, o qual se precipita na camada carbonetada na superfície interna do tubo aumenta à medida que a concentração de C na camada carbonetada aumenta. Na desincrustação através da decapagem, a qual é executada como um pré-tratamento anterior ao trabalho a frio, a superfície do tubo mãe a ser trabalhado a frio se torna, de maneira imediata, desbastada devido aos carbonetos que precipitaram nos arredores da camada de superfície na superfície interna do tubo.

Em particular, quando nenhum termotratamento de recozimento do tubo é desenvolvido, a difusão de [C] na camada carbonetada não ocorrerá e a precipitação dos carbonetos, principalmente $M_{23}C_6$, não pode ser contida, com o objetivo de que decapagem para desincrustação facilite a sujeição da superfície interna do tubo a ser trabalhado a frio ao desbaste em bruto da superfície com os carbonetos na superfície interna do tubo que atua como ponto de partida. Portanto, estima-se que a superfície interna desbastada se transforma em falhas riscadas durante o trabalho a frio subsequente, que ocorre no fim como produto final deteriorando, de modo destacado, a qualidade do produto.

Os presentes inventores realizaram investigações adicionais mais detalhadas em relação às condições de formação de camada carbonetada na superfície interna dos tubos acabados a quente e tubos mãe a serem trabalhados a frio, conforme obtido pela laminação para esmerilhamento com mandril seguida pela laminação por reaquecimento e redutora de estiramento. Como resultado, os inventores prestaram atenção no fato de que, mesmo no caso de laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite, a sopragem de um gás oxidante para o interior dos tubos em bruto com

laminação por acabamento e de um forno de reaquecimento é eficaz para reduzir a precipitação dos carbonetos, principalmente $M_{23}C_6$, na superfície interna dos tubos acabados a quente ou tubos mãe a serem trabalhados a frio.

5 A Figura 3 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos C (ou concentração de C) na superfície interna dos tubos mãe feitos de aço inoxidável SUS 304 como matéria-prima através da laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite e, em seguida, desenvolvendo-se o termotratamento em um forno de reaquecimento enquanto sopra ar (gás oxidante) para o interior dos tubos mãe a serem laminados por acabamento, seguido pela laminação redutora de estiramento.

10 A Figura 4 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos C (ou concentração de C) na superfície interna dos tubos mãe feitos de aço inoxidável SUS 316 como matéria-prima como ocorre no caso da Figura 3 através da laminação para esmerilhamento com mandril, do termotratamento em um forno de reaquecimento e da laminação redutora de estiramento.

15 A Figura 5 é uma representação que ilustra um método de sopragem ar, como um gás oxidante, para o interior dos tubos mãe a serem laminados por acabamento no termotratamento em um forno de reaquecimento. Para a sopragem de ar, como um gás oxidante, para o interior dos tubos mãe 1 a serem laminados por acabamento no forno de reaquecimento 2, bocais de sopragem de ar 3 são fornecidos em uma parede

20 lateral do forno de reaquecimento 2 e ar é soprado, por meio dos bocais 3, em direção ao fim do tubo de e para o interior de cada tubo em bruto para laminação por acabamento 1 que é aquecido a temperaturas de 1000°C ou mais no forno de reaquecimento 2 e laterais transportadoras.

25 Para executar uma atmosfera oxidante no interior do tubo em bruto durante o reaquecimento através de sopragem de ar para dentro de cada tubo em bruto de laminação por acabamento, a sopragem de ar foi desenvolvida sob as seguintes condições de padrão: taxa de fluxo de ar R de 2 litros/segundo; tempo de sopragem de ar de 5 minutos (300 segundos). O tubo em bruto para laminação de acabamento que está sendo tratado sob tais condições de sopragem de ar foi submetido à laminação redutora de

30 estiramento e a diversidade de tubos então produzida foi medida pelas concentrações de C

nas superfícies internas. As condições usadas na medição de concentrações de C na superfície interna de cada tubo mãe obtido através da laminação redutora de estiramento foram equivalentes às condições dos casos mostrados na Figura 1 e na Figura 2.

Na Figura 3 e na Figura 4, referidas acima, cada linha tracejada indica o conteúdo de C no meio da espessura da parede de tubo mãe após laminação redutora de estiramento. Desse modo, observa-se que, como resultado da sopragem de ar, como um gás oxidante, para o interior dos tubos em bruto para laminação de acabamento conforme aquecido a temperaturas de 1000°C ou mais em um forno de reaquecimento sob condições de uma taxa de fluxo de ar R de 4 litros/segundo e um tempo de sopragem de ar t de 5 minutos (300 segundos), as concentrações de C na superfície interna do tubo mãe elevadas a níveis que causam quase nenhum problema e, na maioria dos tubos mãe, decarbonetação completa foram alcançadas, embora um aumento máximo na concentração de C de cerca de 0,005% em massa tenha sido comparado aos conteúdos de C no meio da espessura da parede dos tubos mãe.

Os conteúdos de C (concentrações de C) na superfície interna do tubo mãe conforme mostrado na Figura 3 e na Figura 4, referidas acima, indicam que reduções significativas do mesmo podem ser alcançadas através de aquecimento dos tubos em bruto para laminação de acabamento a 1000°C ou mais em um forno de reaquecimento e de sopragem de um gás oxidante para o interior do mesmo para executar uma atmosfera oxidante no interior do tubo em bruto durante o reaquecimento, garantindo, através disso, a combustão completa de C.

Dessa maneira, ao reduzir os conteúdos de C na superfície interna do tubo em bruto para laminação de acabamento e eliminar as partes de alta concentração de C através do aquecimento em um forno de reaquecimento, torna possível impedir que os valores de concentração absoluta de C na camada carbonetada subam e evitar que a precipitação de carboneto MZ_3C_6 na camada carbonetada na superfície interna do tubo mãe. Conseqüentemente, a ocorrência de falhas riscadas na superfície interna do tubo após o trabalho a frio pode ser inibida mesmo quando o termotratamento de recozimento do tubo mãe é omitido, sem causar o desbaste em bruto da superfície em decapagem de tubos acabados a quente ou em decapagem para desincrustação, a qual é desenvolvida

como um pré-tratamento antes do trabalho a frio.

Nos processos convencionais para produção de tubos de aço inoxidável , o termotratamento de recozimento do tubo mãe antecedente ao trabalho a frio é empregado como uma etapa essencial e, em casos em que a laminação redutora de estiramento é aplicada como laminação para dimensionamento na base de tal premissa, nenhum controle rigoroso de temperatura é desenvolvido em relação à temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento e a temperatura é controlada, de modo geral, dentro da faixa de 750 a 850°C, que é considerada como a faixa de temperatura na laminação redutora de estiramento na qual a laminação redutora de estiramento é possível.

Portanto, conforme mostrado na camada descrita na Figura 7, de acordo com os resultados de investigações feitas pelos presentes inventores, o termotratamento de recozimento do tubo mãe antecedente ao trabalho a frio conforme considerado, até o momento, essencial na produção de tubos de aço inoxidável pode ser omitido quando a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento é controlada rigorosamente dentro da faixa limitada de 860 a 1050°C no lado de temperatura mais alta como comparado com a faixa empregada até o momento.

Ademais, a desincrustação em decapagem a ser desenvolvida como um pré-tratamento antecedente ao trabalho a frio pode ser aprimorada através do controle rigoroso da temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento no lado de temperatura mais alta. Foi então descoberto que, mesmo quando o termotratamento de recozimento do tubo mãe é omitido, nenhum tempo de desincrustação é exigido e o tempo exigido para isso continua no mesmo nível exigido para a decapagem após o termotratamento de recozimento convencional.

A presente invenção refere-se a um processo para produção de tubos de aço inoxidável como matéria-prima através da laminação perfurante, laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril e laminação para dimensionamento e refere-se a um processo para trabalho a frio dos tubos de aço inoxidável, de acordo com o qual, mesmo quando um lubrificante isento de grafite é usado, a carbonetação da superfície interna a ser gerada na etapa de laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril, como uma laminação para esmerilhamento com mandril, pode ser inibida e,

quando o tubo de aço então produzido é utilizado como um tubo mãe e submetido ao trabalho a frio, o termotratamento de recozimento antecedente ao trabalho a frio pode ser omitido.

O processo para a produção de um tubo de aço inoxidável, de acordo com a presente invenção, é baseada nos resultados das investigações detalhadas conforme descritas acima e é um processo para produção de tubos de aço inoxidável que compreendem submeter um aço inoxidável como matéria-prima que contém, em massa, Cr: 10 a 30% para a laminação perfurante com o objetivo de produzir uma blindagem oca, sendo que submete-se a blindagem oca à laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril com um lubrificante isento de grafite para fabricar um tubo em bruto de laminação por acabamento, aquece-se o tubo em bruto então feito em um forno Para fabricar um tubo em bruto para laminação de acabamento, aquece-se o tubo em bruto então feito em um forno de reaquecimento e submete-se o mesmo à laminação por acabamento através da laminação para dimensionamento e, além disso, é um processo para produção de tubo de aço inoxidável que compreende submeter o tubo obtido da maneira acima, como um tubo mãe, ao trabalho a frio, em que a formação de camada carbonetada

Na superfície interna do tubo pode ser inibida através do aquecimento do tubo em bruto para laminação de acabamento a uma temperatura de 1000°C ou mais no forno de reaquecimento supramencionado enquanto ocorre a sopragem de um gás oxidante para o interior do mesmo.

Ademais, através do desenvolvimento da laminação por acabamento por meios de laminação redutora de estiramento como laminação para dimensionamento dentro da faixa de temperatura de 860 a 1050°C, de acordo com o processo para produção de tubo de aço inoxidável, em conformidade com a presente invenção, se torna possível executar o trabalho a frio enquanto omite-se o termotratamento de recozimento do tubo mãe.

No processo para produção de tubo de aço inoxidável, de acordo com a presente invenção, deseja-se que a taxa de fluxo de ar R (litros/segundo) e o tempo de sopragem do ar t (segundos) na ocasião de sopragem do ar, como um gás oxidante, para

o interior do tubo em bruto para laminação de acabamento no forno de reaquecimento satisfaça as condições representadas pela seguinte fórmula (1)

$$240 R \times t \leq 2100 \dots (1)$$

A "laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril" ora referida não é limitada à laminação para esmerilhamento com mandril mencionada acima com propósitos exemplificativos, mas inclui métodos de laminação que compreende a execução de laminação para alongamento com uma barra de mandril que é inserida no interior de uma blindagem oca produzida através da laminação perfurante, como também uma laminação com laminador de passo peregrino ou uma laminação com laminador Assel. Em cada caso, o problema de carbonetação na superfície interna do tubo surge devido ao lubrificante aplicado à superfície da barra de mandril.

Além disso, a "laminação para dimensionamento" ora referida é uma operação de laminação para ajustar o formato externo, a espessura da parede do tubo em bruto para laminação de acabamento conforme obtido através da "laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril" acima para as dimensões desejadas, a laminação redutora de estiramento e a laminação para dimensionamento correspondente a mesma.

Ao executar a laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril, como uma laminação para esmerilhamento com mandril, que usa um lubrificante isento de grafite, e ao executar o aquecimento no forno de reaquecimento enquanto a sopragem de um gás oxidante para o interior do tubo, de acordo com o processo para produção do tubo de aço inoxidável, em conformidade com a presente invenção, a formação da camada carbonetada na superfície interna do tubo a ser gerado na laminação para dimensionamento subsequente pode ser inibida. Ademais, ao controlar a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento como laminação para dimensionamento, o termotratamento de recozimento do tubo mãe antecedente ao trabalho a frio pode ser omitido e, portanto, produtos trabalhados a frio com excelente qualidade de superfície podem ser obtidos com uma produção de alta eficiência.

Breve Descrição dos Desenhos

A Figura 1 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos de C

(ou concentrações de C) na superfície interna dos tubos em bruto obtidos usando-se, como material bruto, um aço SUS 304 com o conteúdo de C ajustado para 0,05 a 0,08% em massa e submetendo-se o material à laminação para esmerilhamento com mandril utilizando um lubrificante isento de grafite.

5 A Figura 2 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos de C (ou concentrações de C) na superfície interna dos tubos em bruto obtidos usando-se, como material bruto, um aço SUS 316 com o conteúdo de C ajustado para 0,05 a 0,08% em massa e submetendo-se o material à laminação para esmerilhamento com mandril utilizando um lubrificante isento de grafite.

10 A Figura 3 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos C (ou concentração de C) na superfície interna dos tubos mãe feitos de aço inoxidável SUS 304 como material bruto através da laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite e, em seguida, desenvolvendo-se o termotratamento em um forno de reaquecimento enquanto sopra ar (gás oxidante) para o interior dos tubos
15 mãe a serem laminados por acabamento, seguido pela laminação redutora de estiramento.

 A Figura 4 é uma representação gráfica da distribuição de conteúdos C (ou concentração de C) na superfície interna dos tubos mãe feitos de aço inoxidável SUS 316 como material bruto através da laminação para esmerilhamento com mandril usando-se um lubrificante isento de grafite e, em seguida, desenvolvendo-se o termotratamento em
20 um forno de reaquecimento enquanto sopra ar (gás oxidante) para o interior dos tubos mãe a serem laminados por acabamento, seguido pela laminação redutora de estiramento.

 A Figura 5 é uma representação que ilustra um método de sopragem ar, como um gás oxidante, para o interior dos tubos em bruto a serem laminados por acabamento no termotratamento em um forno de reaquecimento.

25 A Figura 6 é uma representação que ilustra o processo de produção do tubo de aço inoxidável, de acordo com a presente invenção. A Figura 6 mostra o processo para produção de tubos acabados a quente e a Figura 6 mostra o processo para produção de tubos acabados a frio.

 A Figura 7 é uma representação gráfica da relação entre a temperatura de
30 acabamento na laminação redutora de estiramento e os resultados de teste relativos à

tensão. A Figura 7 (a) mostra os resultados das medições de resistência de produção e a Figura 7 (b) mostra os resultados de medições de resistência relativa à tensão.

Melhores Maneiras para Executar a Invenção

5 A Figura 6 é uma representação que ilustra o processo de produção do tubo de aço inoxidável, de acordo com a presente invenção. A Figura 6 mostra o processo para produção de tubos acabados a quente e a Figura 6 mostra o processo para produção de tubos acabados a frio. Em aquecimento de palanquilha, um material inicial, a saber, um bloco de aço redondo (palanquilha), é aquecido, de modo geral, a 1150 a 1250°C usando-se um fornalha de aquecimento, como um do tipo soleira rotativa, e, em seguida, 10 na laminação perfurante, a palanquilha é moldada em uma blindagem oca que utiliza uma máquina de laminação perfurante do cilindro inclinado, tipicamente um perfurador Mannesmann.

Em laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril, como uma laminação para esmerilhamento com mandril, uma barra de mandril revestida com 15 um lubrificante isento de grafite é inserida na blindagem oca então obtida e a blindagem oca é laminada por desbaste em bruto com o objetivo de obter um tubo em bruto para laminação de acabamento com dimensões pré-determinadas. Após essa laminação por desbaste em bruto, o tubo em bruto laminado por acabamento, em um forno de reaquecimento, a 1000°C ou mais para o recozimento do tubo enquanto a sopragem de um 20 gás oxidante para o interior do tubo em bruto e, na laminação para dimensionamento (por exemplo, laminação redutora de estiramento), o tubo em bruto é laminado por acabamento, em que uma redução de diâmetro externo obtém um tubo acabado a quente ou um tubo mãe a ser trabalhado a frio, cada dotado de dimensões pré-determinadas.

Ao executar o aquecimento no forno de reaquecimento enquanto um gás 25 oxidante é soprado para o interior do tubo, o gás oxidante é soprado, de modo desejável, para dentro do tubo em bruto para laminação de acabamento a uma taxa de fluxo (litros/segundo) para um tempo (segundos) de sopragem pré-determinado com o objetivo de que o efeito descarbonizante possa ser produzido de maneira eficaz.

Conforme mostrado na Figura 6 (a), como um tubo laminado a quente e 30 acabado a quente, o termotratamento de solução, como um termotratamento final ou

tratamento de decapagem, é aplicado para produzir um tubo do produto. No processo de produção do tubo acabado a frio mostrado na Figura 6 (b), o tubo mãe laminado a quente a ser trabalhado a frio, após o termotratamento de recozimento, se necessário, é submetido à decapagem para desincrustação e a crosta nas superfícies externa e interna do tubo mãe são removidas através do mesmo. Nos casos em que a laminação redutora de estiramento é aplicada, como laminação para dimensionamento, e o termotratamento de recozimento no estágio do tubo mãe é omitido, o tubo é diretamente submetido à decapagem e a crosta das superfícies externa e interna do tubo mãe são removidas. Em seguida, no trabalho a frio, o tubo mãe é submetido à trefilação a frio usando-se uma matriz ou usando-se uma matriz e um tampão e/ou submetido um laminador de passo peregrino a frio para processar as dimensões do produto e, em seguida, submetido ao termotratamento de solução e/ou tratamento de decapagem como um tratamento final para obter um tubo do produto acabado a frio.

Nos casos em que a laminação redutora de estiramento é aplicada como laminação, deseja-se que a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento seja controlada na faixa de 860 a 1050°C com o objetivo de que o termotratamento de recozimento do tubo mãe a ser trabalhado a frio possa ser omitido.

Nos casos em que o termotratamento de recozimento do tubo mãe a ser trabalhado a frio é omitido, o trabalho a frio de passe único pode acompanhar uma alta taxa de redução em algumas programações de trabalho a frio e, portanto, se torna necessário, às vezes, executar o trabalho a frio de diversos passes. Em tais casos, o termotratamento de recozimento do tubo mãe é omitido, mas o objeto a soldar é submetido, às vezes, ao termotratamento para recozimento na etapa intermediária entre o trabalho a frio e, em seguida, trabalhado a frio adicional e, após o acabamento de trabalho a frio, é submetido ao termotratamento e/ou tratamento de decapagem de solução como um tratamento final para obter um tubo de produto acabado a frio.

O conteúdo de Cr do aço inoxidável como matéria-prima no processo de produção, de acordo com a presente invenção, é limitado, visto que,

nos níveis de conteúdo de Cr abaixo de 10% em massa, o nível desejado de resistência à corrosão não pode ser garantida e, nos níveis de conteúdo que excedem 30% em massa, o efeito já foi alcançado a um nível de saturação e o custo, por si só, aumenta. Portanto, o conteúdo de Cr no aço inoxidável como

5 matéria-prima deve ser de 10 a 30% em massa.

Como exemplos do aço inoxidável como matéria-prima no processo de produção, de acordo com a presente invenção, pode-se mencionar os aços inoxidáveis prescritos em determinados Padrões Industriais Japoneses (JISs), por exemplo, aços inoxidáveis SUS 405, SUS 410, SUS 430, SUS 304, SUS 309,

10 SUS 310, SUS 316, SUS 347, SUS 329 J1, NCF 800 e NCF 825 e aços-liga correspondentes aos mesmos.

Como exemplos do lubrificante isento de grafite que podem ser empregados no processo de produção, de acordo com a presente invenção, pode-se mencionar (a) lubrificantes compósitos compostos, com proporção arbitrária na mistura,

15 de: óxidos do tipo camada granulada selecionados a partir de um grupo que consiste em micas artificiais e micas naturais, como mica tetrasílica de potássio, mica tetrasílica de sódio, flogopita natural, bentonita, montmorilonita e vermiculita; óxido de boro; ácido bórico; borato de metal alcalino; carbonato de sódio; carbonato de potássio; silicato de potássio, (b) lubrificantes compostos principalmente de nitrito de boro (BN) e (c)

20 lubrificantes compostos principalmente de vidro de silicato e vidro de borosilicato.

O motivo pelo qual o tubo em bruto para laminação de acabamento é aquecido a 1000°C ou mais em um forno de reaquecimento no processo de produção, de acordo com a presente invenção, é que a temperatura de aquecimento está abaixo de 1000°C, a decarbonetação na superfície interna do tubo em bruto com laminação para

25 acabamento se torna insuficiente quando uma quantidade suficiente de um gás oxidante é soprada para o interior do tubo. Enquanto não é necessário prescrever qualquer limite superior à temperatura de aquecimento, a temperatura de aquecimento não é, de modo desejável, maior do que 1200°C, visto que, as temperaturas de aquecimento que excedem 1200°C, a formação de crosta aumenta rapidamente, causando o problema de produção

30 de produto devido à perda de crosta.

No processo de produção, de acordo com a presente invenção, é essencial executar o aquecimento que compreende o aquecimento do tubo em bruto de laminação para acabamento a uma temperatura de 1000°C ou mais em um forno de reaquecimento enquanto ocorre a sopragem de um gás oxidante para o interior do mesmo. Embora em
 5 alguns casos em que a laminação para alongamento é realizada usando-se um lubrificante isento de grafite, a carbonetação continua na superfície interna no tubo em bruto de laminação para acabamento, a concentração máxima de C na superfície interna da mesma pode ser diminuída, até mesmo nesse caso, através da ação de decarbonetação do gás oxidante soprado para interior do mesmo, conforme mostrado na Figura 3 e na
 10 Figura 4 referidas acima.

Os ditos gases passíveis de serem usados como o gás oxidante a ser aplicado no processo de produção, de acordo com a presente invenção, são o ar, oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e vapor (H₂O), assim como misturas de gases compostas por um ou mais desses gases oxidantes como hidrogênio, nitrogênio ou gás raro. Do
 15 ponto de vista da fácil manipulação e/ou custo de obtenção, o uso do ar como gás oxidante é desejável.

Muito embora o efeito descarbonizante possa ser produzido, mesmo quando a quantidade de um gás oxidante soprada no interior do tubo em bruto está executando a decarbonetação na superfície interna do tubo em bruto de laminação de acabamento, é
 20 desejável, no caso de se usar o ar como o gás oxidante, que as condições representadas pela fórmula seguinte (1) sejam satisfeitas, de modo que o efeito descarbonizante do gás oxidante possa ser efetivamente atingido:

$$240 R \times t \geq 2100 \quad \dots (1)$$

onde R é a taxa de fluxo de ar (litros/segundo) e t é o tempo de sopragem
 25 do ar (segundos).

De acordo com os resultados das investigações efetuadas pelos presentes inventores, é necessário, para reduzir a concentração de C na superfície interna do tubo em bruto até um nível equivalente à concentração de C no material base (teores de C no meio da espessura da parede), realizar a decarbonetação até uma medida suficiente, de
 30 modo que a quantidade de gás oxidante soprada no tubo $\{R \text{ (litros/segundo)} \times t$

(segundos)} possa totalizar ao menos 240 (litros).

Por outro lado, quando a quantidade de gás oxidante soprada {R (litros/segundo) x t (segundos)} ultrapassa 2100 (litros), a formação de crosta na superfície interna do tubo em bruto é promovida e a perda da crosta aumenta. Ademais, é preocupante que a temperatura do tubo em bruto para laminação de acabamento seja reduzida pelo ar soprado no mesmo, e o reaquecimento se torne insuficiente, e que a resistência do tubo de usinagem na subsequente laminação redutora de estiramento se torne excessivamente elevada, exigindo um aumento da carga de laminação, causando possivelmente os ditos problemas, já que o cilindro de laminação falha. Confirmou-se que, quando a quantidade de sopragem não é superior a 2.100 (litros), a redução da temperatura do tubo em bruto para laminação de acabamento permanece em 5°C, e a temperatura de acabamento da laminação redutora de estiramento não será nunca afetada .

No processo de produção, de acordo com a presente invenção, em que a laminação redutora de estiramento é aplicada como laminação de dimensionamento, a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento deveria ser de 860°C ou superior. Se essa temperatura for inferior a 860°C, o tubo mãe será amaciado em na medida suficiente, de modo que a superfície interna axial é fraturada, ou outras falhas relacionadas à usinagem serão causadas imediatamente no subsequente trabalho a frio; de forma correspondente, não será possível assegurar uma viabilidade suficiente. Ademais, a crosta fina é encontrada formada na superfície do tubo mãe após a laminação redutora de estiramento, dificultando a remoção da crosta na etapa de desincrustação por meio de decapagem, o que é realizado como um pré-tratamento antes do trabalho a frio, e prolongando o tempo de decapagem.

Além disso, controlando-se a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento ao nível de 860°C ou superior, é possível reduzir a resistência de produção do tubo mãe laminado por redutor de estiramento até um nível em que seu trabalho a frio seja possível.

Por outro lado, a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento não deveria ser superior a 1050°C. Isto ocorre porque, mesmo quando aquela temperatura não é superior a 1050°C, a extensão do amaciamento do tubo mãe laminado

não é afetada desta forma mas, de modo contrário, a crosta é formada de modo bastante abundante, de modo que não apenas a qualidade da superfície do produto é prejudicada, mas também a produção do produto é reduzida devido à perda da crosta. Considerando a viabilidade no trabalho a frio, e a qualidade da superfície do produto, recomenda-se que a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento seja controlada na faixa de 870-1000°C, mais desejavelmente e restritamente, na faixa de 870-1000°C.

EXEMPLOS

(Exemplo 1)

No Exemplo 1, dois graus de aço SUS 304 que possuem as respectivas composições mostradas na Tabela 1, foram preparados como aço inoxidável de matéria prima para ser laminado.

Tabela 1

Graus do aço	Composição química (% por massa, sendo o resíduo de Fé e impurezas)								Designação do JIS
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
A	0,03	0,30	1,85	0,020	0,003	8,2	18,2	0,09	SUS304
B	0,10	0,28	1,80	0,018	0,002	8,0	18,1	0,10	SUS304

Uma barra de mandril que possui um diâmetro externo de 94,5 mm e que possui uma película, cerca de 100 m de espessura, de um lubrificante isento de grafite preparado através da mistura de mica tetrassílica de sódio e sal de ácido bórico na proporção de 1:1, conforme aplicado pela escovação em temperatura ambiente, seguida de secagem, foi preparada.

Em seguida, usando esta barra de mandril com a película do lubrificante isento de grafite formada na mesma, as blindagens ocas dos dois graus de aço mencionados acima, conforme obtidas pela laminação/perfuração em uma máquina de laminação/perfuração de cilindro inclinado, sendo que cada uma das blindagens ocas que

possui um diâmetro externo de 136,0 mm, uma espessura da parede de 16,8 mm, um comprimento de 7700 mm e uma temperatura de 1100 °C, foram passadas através de um laminador com mandril consistindo de sete suportes para fornecer tubo em bruto para laminação de acabamento laminados por desbaste, 110,0 mm de diâmetro externo, 5,8 mm de espessura da parede e comprimento de 25600 mm.

Subseqüentemente, no reaquecimento dos tubos em bruto obtidos pela laminação de laminação com mandril, a configuração do aparelho mostrada na Figura 5 citada acima foi empregada, os bocais de sopragem do ar 3 foram colocados em uma parede lateral de um forno de reaquecimento 2, e o ar, como um gás oxidante, foi soprado, dos bocais de sopragem do ar 3, através da extremidade do tubo e para o interior de cada tubo em bruto para laminação de acabamento 1 que é aquecido no forno de reaquecimento 2, e que é transferido para o lado. A quantidade de ar soprado variou na faixa de 0-3.600 (litros) variando a taxa de fluxo de ar R (litros/segundo), e o tempo de sopragem do ar t (segundos).

Após o reaquecimento, cada tubo foi fornecido a um redutor de estiramento compreendendo 26 suportes e laminado para fornecer um tubo mãe a ser trabalhado a frio (tubo acabado a quente) com um diâmetro externo de 45,0 mm, uma espessura da parede de 5,0 mm e um comprimento de 76.000 mm; a temperatura de acabamento era de 900-1000°C. O tubo mãe laminado desta forma, após o resfriamento até a temperatura ambiente e cortando-se as pontas, foi dividido em cinco segmentos, cada um deles com 14.000 mm de comprimento. A superfície interna de cada um dos tubos mãe obtidos dessa forma para serem trabalhados a frio foi examinada para o estado de carbonetação (concentração de C na superfície interna do tubo mãe), e o estado de desbaste da superfície após a decapagem. Os resultados obtidos desta forma são mostrados na Tabela 2.

Conforme mencionado acima, a concentração de C na superfície interna do tubo mãe foi determinada, após a remoção completa das substâncias estranhas, como a crosta do óxido, aderindo à superfície interna, medindo-se a concentração de C usando um espectrofotômetro de emissão, e a diferença C (% por massa) a partir do teor de C no meio da espessura da parede do material de base foi relatada. Além disso, após a

decapagem por 60 minutos de imersão do tubo mãe em uma solução de ácido fluorídrico e nítrico, a qualidade da superfície interna do tubo mãe foi observada a olho nu e avaliada em termos do estado do desbaste em bruto da superfície.

Tabela 2

5

Nº teste	Grau do aço	Temperatura de aquecimento no forno de reaquecimento	Condições de sopragem de ar			Condições de qualidade da superfície interna		Observações
			Taxa de fluxo R (l/s)	Tempo t (segundos)	Quantidade de ar soprado (l)	C (% por massa)	Condição da superfície após decapagem	
1	A	1050	-	-	*0	0,015	Notou-se desbaste em bruto da superfície	Exemplo comparativo
2	B	1050	4	30	120	0,0125	Leve desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo
3	A	1050	4	30	240	0,009	Sem desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo

Nº teste	Grau do aço	Temperatura de aquecimento no forno de reauecimen to	Condições de sopragem de ar			Condições de qualidade da superfície interna		Observaçõ es
			Taxa de fluxo R (l/s)	Tempo t (segundos)	Quantidad e de ar soprado (l)	C (% por massa)	Condição da superfície após decapagem	
4	A	1050	4	480	1920	0,007	Sem desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo
5	B	1050	-	-	*0	0,015	Notou-se desbaste em bruto da superfície	Exemplo comparativo
6	B	1050	4	60	240	0,010	Sem desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo
7	B	1050	4	480	1920	0,009	Sem desbaste em bruto da	Exemplo inventivo

Nº teste	Grau do aço	Temperatura de aquecimento no forno de reaquecimento	Condições de sopragem de ar			Condições de qualidade da superfície interna		Observações
			Taxa de fluxo R (l/s)	Tempo t (segundos)	Quantidade de ar soprado (l)	C (% por massa)	Condição da superfície após decapagem	
							superfície	
8	A	*950	4	900	3600	0,015	Notou-se desbaste em bruto da superfície	Exemplo comparativo
9	A	1000	4	60	240	0,010	Sem desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo
10	A	1100	4	300	1200	0	Sem desbaste em bruto da superfície	Exemplo inventivo

Notas: Na tabela, o sinal * indica que o valor se encontra fora da faixa definida, de acordo com a presente invenção..

Na tabela, a taxa de fluxo R e a quantidade de ar soprado são mostrados em termos de (litros/segundo) e (litros), respectivamente.

Conforme podemos observar a partir dos resultados fornecidos na Tabela 2, as amostras do tubo mãe resultantes do aquecimento a 1000°C ou superior no forno de reaquecimento e no ar de sopragem, como um gás oxidante, para sua superfície interna forneceram valores reduzidos de C (% por massa) e, portanto, mostraram reduções de carbonetação e foram suavizadas no desbaste em bruto da superfície interna, se comparado com as amostras do tubo mãe obtidas sem sopragem do ar no mesmo, apesar do fato de que a quantidade de ar soprado era menor (por exemplo, N° de Teste 2) .

Com relação à quantidade de ar soprado, as amostras do tubo mãe resultantes da sopragem de ar no mesmo, em uma quantidade não inferior a 240 (litros), por meio da variação da taxa de fluxo de ar R (litros/segundo) e o tempo de sopragem do ar t (segundos) mostraram valores de C (% por massa) da superfície interna mais reduzidos e, ao mesmo tempo, não apresentou desbaste em bruto da superfície após a decapagem.

De modo inverso, as amostras do tubo mãe obtidas como exemplos comparativos sem sopragem de ar no mesmo apresentaram carbonetação da superfície interna residual, e mostraram desbaste em bruto da superfície resultante do mesmo (Teste n° 1 e 5) No caso das amostras do tubo mãe para as quais a temperatura de aquecimento no forno de reaquecimento foi inferior a 1000°C, a descarbonetação na superfície interna do tubo mãe não foi realizada em medida suficiente, porém notou-se desbaste em bruto da superfície (Teste n° 8).

(Exemplo 2)

Os tubos mãe a serem trabalhados a frio conforme produzido nos Testes N° 4, 5 e 7 no Exemplo 1, após a confirmação da ausência ou presença de desbaste em bruto da superfície no estágio do tubo mãe, foram submetidos ao trabalho a frio. O termotratamento de recozimento do tubo mãe como um pré-tratamento antes do trabalho a frio foi suprimido, e os tubos mãe com diâmetro externo de 450 mm, uma espessura da parede de 5,0 mm cortada em um comprimento de 14000 mm, na condição "no estado",

foram submergidos em uma solução de ácido fluorídrico nítrico por 60 minutos para efetuar a desincrustação por decapagem .

O trabalho a frio foi conduzido por meio de laminação a frio. Na laminação a frio, os tubos mãe foram laminados por acabamento usando um laminador de passo peregrino a frio com diâmetro externo de 2,1 mm e uma espessura da parede de 2,1 mm (taxa de redução em área (Rd): 75%) .

A condição da superfície interna de cada tubo após o trabalho a frio foi verificada visualmente. Os resultados da observação no estágio do tubo mãe e após o trabalho a frio são mostrados na Tabela 3.

10 Tabela 3

N° Teste	Grau do aço	Quantidade de ar soprado (litros)	Condição da superfície		Observações
			Estágio do tubo mãe	Após o trabalho a frio	
4	A	1920	sem desgaste em bruto da superfície	sem falha na superfície interna	exemplo inventivo
5	B	* 0 (sem sopragem)	notou-se desgaste em bruto da superfície	notou-se falhas riscadas	exemplo comparativo
7	B	1920	sem desgaste em bruto da superfície	sem falhas na superfície	exemplo inventivo

Notas: Na tabela, o sinal * indica que o valor se encontra fora da faixa definida, de acordo com a presente invenção.

Conforme mostram com nitidez os resultados da Tabela 3, o desgaste em

bruto da superfície ocorrido no estágio do tubo mãe no exemplo comparativo (Teste nº 5) e após o trabalho a frio, foram encontradas falhas riscadas na superfície interna do tubo. De modo inverso, os exemplos de acordo com a presente invenção (Teste N° 4 e 7) não ocorreu desgaste em bruto até mesmo no estágio do tubo mãe, e não constatou-se a ocorrência de falhas na superfície interna do tubo após o trabalho a frio; portanto, foram obtidos tubos de aço inoxidável com boas condições de superfície .

(Exemplo 3)

Os dois graus de aço SUS 316 e SUS 304 que possuem as respectivas composições mostradas na Tabela 4, foram preparados como aço inoxidável de matéria prima para ser laminado. Quanto aos teores de C no aço de teste, quatro graus de aço (C, D, E e F), onde um nível de teor de C que variou para 0,02% e 0,04% (graus baixos de C) e dois graus de aço (G e H) contendo 0,08% de C (graus medianos de C), foram preparados.

Tabela 4

15

Graus do Aço	Composição química (% por massa, sendo o resíduo de Fe e impurezas)								Designação JIS
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
C	0,026	0,28	1,89	0,026	0,001	8,15	18,32	0,09	SUS 304
D	0,039	0,33	1,75	0,025	0,004	8,09	18,01	0,10	SUS 304
E	0,022	0,32	0,97	0,030	0,001	11,09	16,21	2,13	SUS 316
F	0,040	0,30	1,81	0,034	0,003	10,22	16,30	2,15	SUS 316
G	0,072	0,24	1,85	0,034	0,002	8,08	18,70	0,19	SUS 304
H	0,055	0,25	1,72	0,032	0,005	10,04	16,07	2,12	SUS 316

Uma barra de mandril com diâmetro externo de 94,5 mm foi preparada e uma película, com cerca de 100 m de espessura, de um lubrificante isento de grafite composto de mica tetrassilica de sódio e um composto de sal de ácido bórico, uma taxa

de mistura de 1:1, foi formada na superfície da barra de mandril, escovando-se à temperatura ambiente, seguida de secagem.

Em seguida, usando esta barra de mandril, blindagens ocas de 136,00 mm de diâmetro externo, 16,8 mm de espessura da parede, 7700 mm de comprimento e 1100°C de temperatura, as quais foram obtidas a partir de seis graus de aço especificados na Tabela 4 através de laminação/perfuração em uma máquina de laminação/perfuração de cilindro inclinado na, foram passadas através de um laminador com mandril. o qual compreende 7 suportes, e laminadas por desbaste em bruto nos tubos em bruto para laminação de acabamento de 110,0 mm de diâmetro externo, 5,8 mm de espessura da parede e 25.600 mm de comprimento. Depois, realizou-se a desincrustação injetando um jato de água de alta pressão através do bocal anular colocado próximo à lateral de saída.

Subseqüentemente, os tubos obtidos por meio de laminação por laminador com mandril foram reaquecidos a 1.100°C e fornecidos a um redutor de estiramento que compreende 26 suportes e laminados, enquanto a temperatura de acabamento variou na faixa de 840 a 1.050°C, para fornecer tubos mãe para serem trabalhados a frio, com diâmetro externo de 45,0 mm, espessura da parede de 5,0 mm e comprimento de 76.000 mm (taxa de redução na área (Rd): 67%).

Os tubos mãe laminados desta forma, após o resfriamento à temperatura ambiente e o corte das pontas, foram divididos, cortando-os em cinco segmentos de comprimento de 14.000 mm. As amostras de teste JIS N° 11 foram obtidas de cada tubo mãe na direção longitudinal, e foram submetidas ao teste de tração para resistência de produção e determinações de resistência à tração.

A Figura 7 é uma representação gráfica da relação entre a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento e os resultados do teste de tração. A Figura 7(a) mostra os resultados das medições de resistência de produção, e a Figura 7(b) mostra os resultados das medições de resistência à tração. A resistência de produção e a resistência à tração diminuíram com o aumento da temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento e, na temperatura de acabamento de 860°C, a resistência de produção baixou a 600 MPa ou inferior, o que é um nível de resistência

que possibilita o trabalho a frio (trefilação a frio e/ou laminação a frio).

Com todos os graus de aço SUS 304 e SUS 316, desconsiderando se possuíam níveis médios ou baixos de C, a temperatura de acabamento exerceu uma grande influência, induzindo a níveis de resistência praticamente idênticos.

5 Aplicabilidade Industrial

Ao realizar a laminação por alongamento usando uma barra de mandril, como uma laminação através de laminador com mandril, usando um lubrificante isento de grafite, e ao realizar o termotratamento no forno de reaquecimento, enquanto executa a sopragem de um gás oxidante no interior do tubo, segundo o processo de produção do tubo de aço inoxidável, de acordo com a presente invenção, a formação da camada carbonetada na superfície interna do tubo, que deve ocorrer na subsequente laminação para dimensionamento, pode ser inibida e, além disso, controlando-se a temperatura de acabamento na laminação redutora de estiramento, como a laminação para dimensionamento, o termotratamento de recozimento do tubo mãe antes do trabalho a frio pode ser suprimido e, portanto, a excelência da qualidade da superfície dos produtos trabalhados a frio pode ser alcançada com elevada eficiência de produção. De modo correspondente, o processo de produção de acordo com a presente invenção pode ser aplicado de forma abrangente como um processo para a produção de aço inoxidável acabado a quente e, também, tubos de aço inoxidável trabalhados a frio.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produção de tubos de aço inoxidável submetendo-se um aço inoxidável de matéria-prima que contém, em massa, 10 a 30% de Cr, para laminação perfurante para obter uma blindagem oca, submetendo-se a blindagem oca à laminação para alongamento para obter um tubo em bruto de laminação para acabamento usando-se uma barra de mandril, junto com um lubrificante isento de grafite, e o aquecimento do tubo em bruto em um forno de reaquecimento e submetendo-se o mesmo à laminação para acabamento através da laminação para dimensionamento, **CARACTERIZADO** pelo fato de que

o tubo em bruto de laminação para acabamento é submetido ao aquecimento no qual o mesmo é aquecido a uma temperatura que não seja menor do que 1000°C no forno de reaquecimento e um gás oxidante é soprado para o interior desse.

2. Processo para produção de tubos de aço inoxidável submetendo-se um aço inoxidável de matéria-prima que contém, em massa, 10 a 30% de Cr, para laminação perfurante para obter uma blindagem oca, submetendo-se a blindagem oca à laminação para alongamento para obter um tubo em bruto de laminação para acabamento usando-se uma barra de mandril, junto com um lubrificante isento de grafite, e o aquecimento do tubo em bruto em um forno de reaquecimento e submetendo-se o mesmo à laminação para acabamento através da laminação para dimensionamento, **CARACTERIZADO** pelo fato de que

o tubo em bruto de laminação para acabamento é submetido ao aquecimento no qual o mesmo é aquecido a uma temperatura que não seja menor do que 1000°C no forno de reaquecimento e um gás oxidante é soprado para o interior desse.

3. Processo para produção de tubos de aço inoxidável submetendo-se um aço inoxidável de matéria-prima que contém, em massa, 10 a 30% de Cr, para laminação perfurante para obter uma blindagem oca, submetendo-se a blindagem oca à laminação para alongamento para obter um tubo em bruto de laminação para acabamento usando-se uma barra de mandril, junto com um lubrificante isento de grafite, e o aquecimento do tubo em bruto em um forno de reaquecimento e submetendo-se o mesmo à laminação para acabamento através da laminação para dimensionamento, **CARACTERIZADO** pelo

fato de que

o tubo em bruto de laminação para acabamento é submetido ao aquecimento no qual o mesmo é aquecido a uma temperatura não menor do que 1000°C no forno de reaquecimento e um gás oxidante é soprado para o interior desse e a laminação para
5 acabamento para obter um tubo mãe trabalhado a frio é executada na faixa de temperatura de 860 a 1050°C para fazer com que seja possível realizar o trabalho a frio enquanto omite-se o termotratamento de recozimento do tubo mãe.

4. Processo para produção de tubos de aço inoxidável, de acordo com quaisquer das reivindicações de 1 a 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que, na ocasião
10 de sopragem de ar, como o gás oxidante, para o interior do tubo em bruto de laminação para acabamento no forno de reaquecimento, a taxa de fluxo de ar R (litros/segundo) e o tempo de sopragem do ar t (segundos) satisfazem as condições especificadas pela fórmula a seguir (1):

$$240 \quad R \times t \quad 2100 \quad (1)$$

FIG. 1

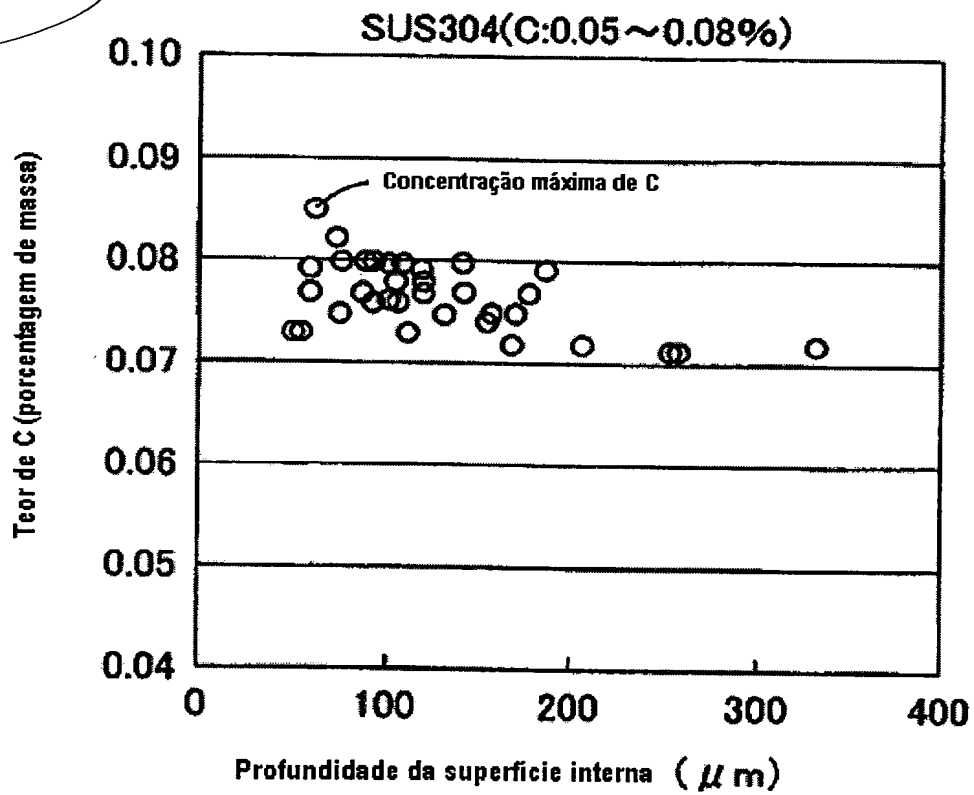


FIG. 2

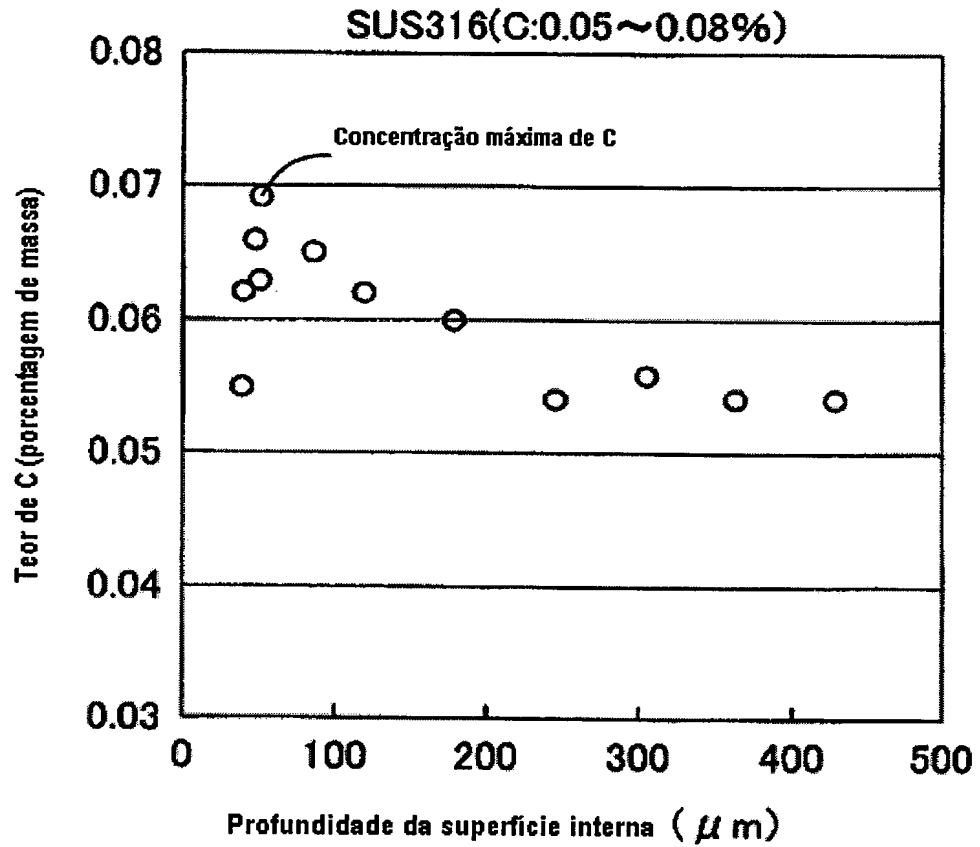


FIG. 3

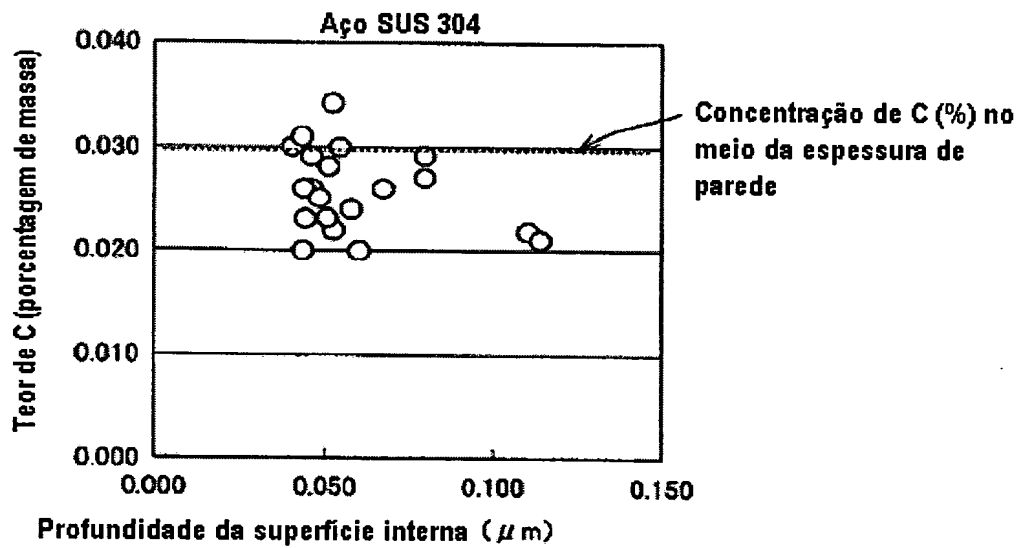


FIG. 4

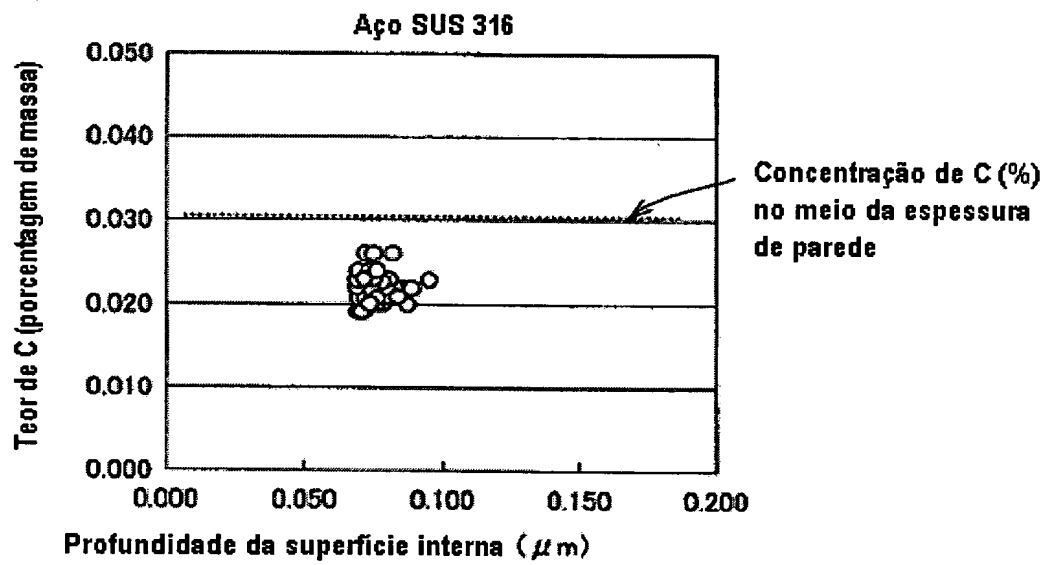


FIG. 5

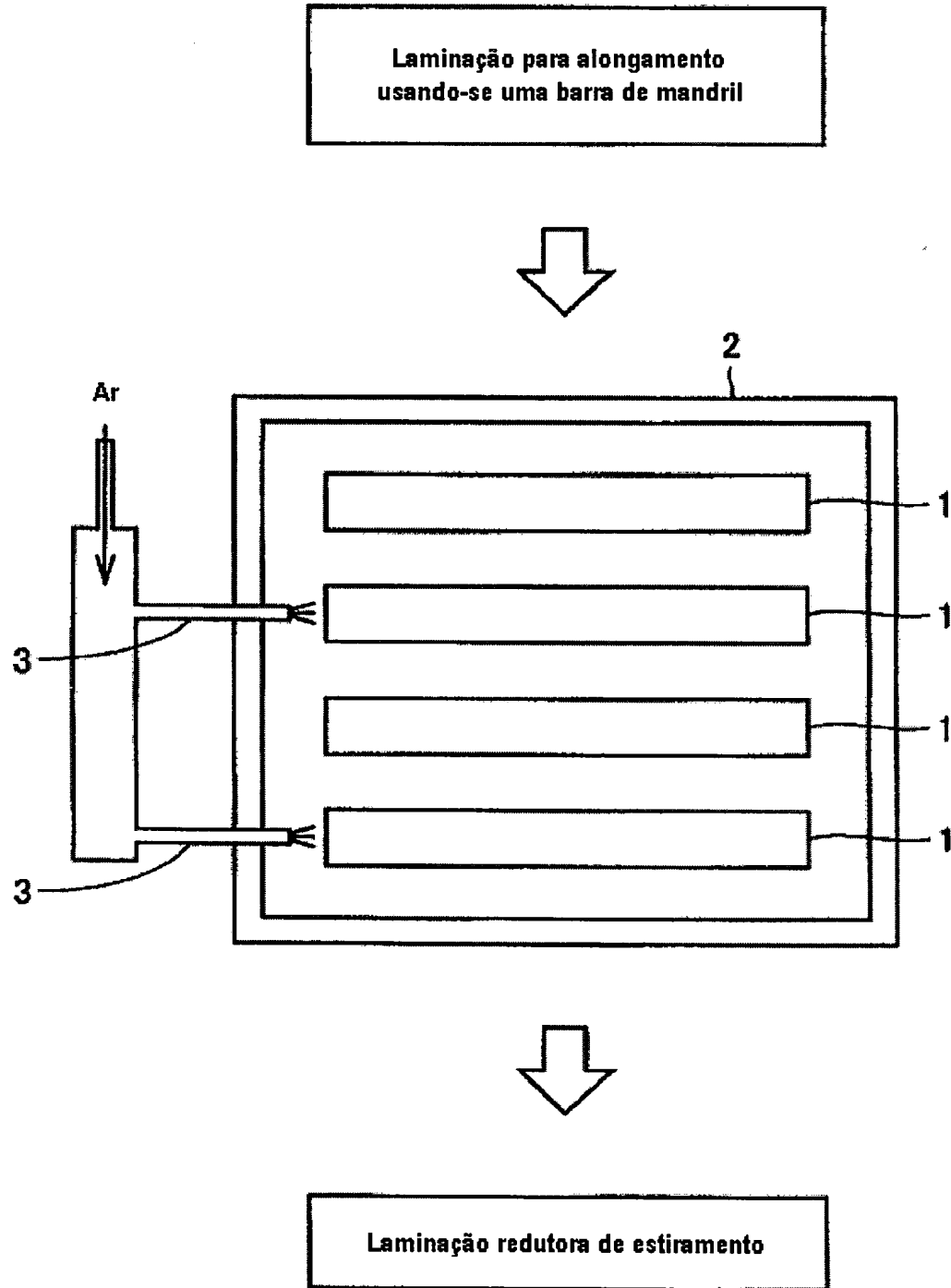
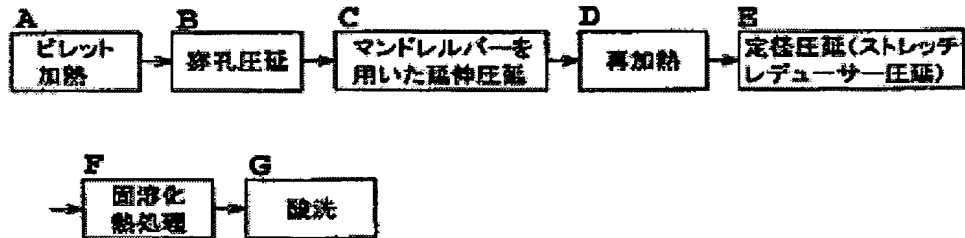
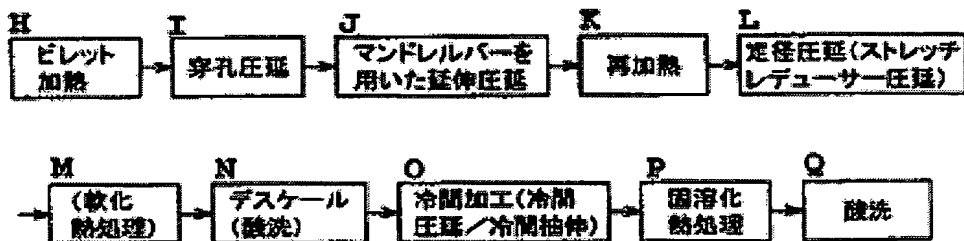


FIG. 6

(a) Tubo acabado a quente



(b) Tubo acabado a frio



A: Aquecimento de palanquilha

B: Laminação Perfurante

C: Laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril

D: Reaquecimento

E: Laminação para dimensionamento

F: Termotratamento de solução

G: Decapagem

H: Aquecimento de palanquilha

I: Laminação perfurante

J: Laminação para alongamento usando-se uma barra de mandril

K: Reaquecimento

L: Laminação para dimensionamento (laminação redutora de estiramento)

M: (Termotratamento de recozimento)

N: Desincrustação (decapagem)

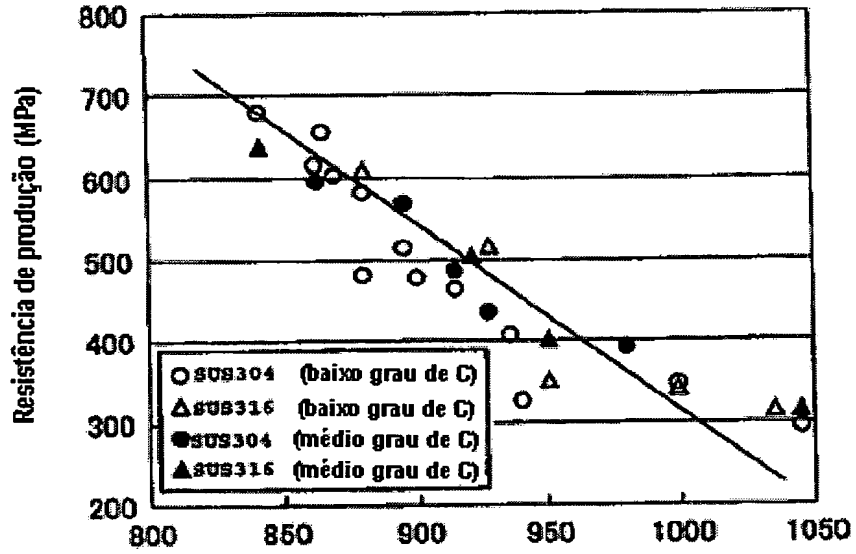
O: Trabalho a frio (laminação a frio/extração a frio)

P: Termotratamento de solução

Q: Decapagem

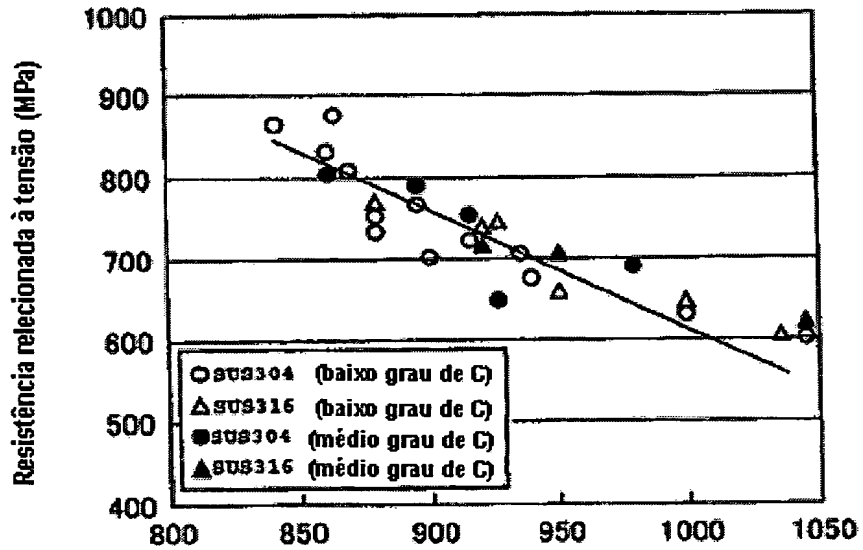
FIG. 7

(a)



Temperatura de acabamento de laminação redutora de estiramento (°C)

(b)



Temperatura de acabamento de laminação redutora de estiramento (°C)

RESUMO

"PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL SUBMETENDO-SE UM AÇO INOXIDÁVEL DE MATÉRIA-PRIMA QUE CONTÉM, EM MASSA, 10 A 30% DE CR, PARA LAMINAÇÃO
5 PERFURANTE PARA OBTER UMA BLINDAGEM OCA, SUBMETENDO-SE A BLINDAGEM OCA À LAMINAÇÃO PARA ALONGAMENTO PARA OBTER UM TUBO EM BRUTO DE LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO USANDO-SE UMA BARRA DE MANDRIL, JUNTO COM UM LUBRIFICANTE ISENTO DE GRAFITE, E O AQUECIMENTO DO TUBO EM BRUTO EM UM FORNO DE
10 REAQUECIMENTO E SUBMETENDO-SE O MESMO À LAMINAÇÃO PARA ACABAMENTO ATRAVÉS DA LAMINAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO"

Trata-se de um processo para produção de tubo de aço inoxidável que compreende a laminação cortante de um aço inoxidável de matéria-prima contendo, em massa, 10 a 30% de Cr, para obter uma blindagem oca, a laminação para alongamento
15 da blindagem oca usando-se uma barra de mandril, junto com um lubrificante isento de grafite, para obter um tubo em bruto de laminação para acabamento e o aquecimento do tubo em bruto em um forno de reaquecimento e submeter o mesmo à laminação para acabamento através da laminação para dimensionamento para produzir um tubo acabado a quente e, em seguida, submeter tal tubo, como um tubo mãe, ao trabalho a frio para
20 produzir um tubo de aço inoxidável. No forno de reaquecimento, o tubo em bruto de laminação para acabamento é aquecido a 1000°C ou mais e submetido ao aquecimento no qual um gás oxidante é soprado para o interior do tubo, através do qual um tubo de aço inoxidável, o qual é impedido de formar uma camada carbonetada na superfície interna do tubo, pode ser produzido. Quando a laminação para acabamento através da laminação
25 por dimensionamento para obter um tubo mãe trabalho a frio é executada através da laminação redutora de estiramento a 860 a 1050°C, um termotratamento de recozimento do tubo mãe para trabalho a frio pode ser omitido. Portanto, um tubo de aço inoxidável dotado de excelente qualidade da superfície pode ser produzido de modo eficaz.