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

(11) **PI 0621843-1 B1**

BRPI0621843B1

(22) Data de Depósito: 29/06/2006

(45) Data da Concessão: 15/09/2015
(RPI 2332)

(54) Título: TUBOS DE AÇO DE PRECISÃO SEM COSTURA COM TENACIDADE ISOTRÓPICA A BAIXA TEMPERATURA APRIMORADA E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, TAMBORES PARA UM CILINDRO HIDRÁULICO E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, CILINDRO HIDRÁULICO

(51) Int.Cl.: C21D1/18; C21D8/10; C21D9/08; C22C38/02; C22C38/04

(73) Titular(es): TENARIS CONNECTIONS AG., TENARIS CONNECTIONS LIMITED

(72) Inventor(es): Andrea Poli, Emanuele Paravicini Bagliani, Gianmario Agazzi

TUBOS DE AÇO DE PRECISÃO SEM COSTURA COM TENACIDADE ISOTRÓPICA A BAIXA TEMPERATURA APRIMORADA E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, TAMBORES PARA UM CILINDRO HIDRÁULICO E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, CILINDRO HIDRÁULICO

CAMPO DA INVENÇÃO

A invenção está relacionada a tubos de aço de precisão sem costura, com tenacidade isotrópica aprimorada a baixa temperatura para cilindros hidráulicos. A invenção também está relacionada a um novo processo para a obtenção do mesmo.

ANTECEDENTES TÉCNICOS

O cilindro hidráulico é um atuador que converte energia hidráulica em energia mecânica. Produz movimento linear e transmite uma força que depende da pressão do óleo e da área do pistão. Possui muitas aplicações em sistemas óleo-hidráulicos e é empregado, por exemplo, em máquinas escavadeiras, guindastes, prensas, máquinas industriais etc.

O dispositivo é composto de um invólucro cilíndrico (também chamado de calibre ou tambor), uma haste com um pistão, fechado por uma tampa em ambas as extremidades. Pelo termo "tubos para cilindros hidráulicos" entendemos os tubos para a produção do invólucro cilíndrico externo, que é comum a todos os tipos de cilindros hidráulicos, ver, por exemplo, a Figura 1.

Os requisitos técnicos para este produto podem ser revistos da seguinte maneira.

- Para garantir a transmissão da força apropriada e para evitar perdas do meio hidráulico, o tambor deve ter boa tenacidade e tolerâncias geométricas estreitas no diâmetro interno. Se estas características de alta precisão não puderem ser diretamente, ou quase, obtidas através de processo de produção metalúrgico do tubo sem costura empregado para o tambor, são necessárias, em seguida, operações de usinagem compreendendo, neste caso, tratamentos de superfície altamente ablativos (por exemplo, brochamento [*skiving*] mais polimento [*roller burnishing*] ou esmerilhamento [*honing*] ou furação [*boring*] mais esmerilhamento). Significativamente, a etapa anterior de usinagem aumenta os custos de produção sensivelmente, uma vez que os tratamentos altamente ablativos devem ser seguidos, por sua vez, por um (gradativo) refinamento da superfície, para equalizar a superfície recém criada. Em geral, a solução mais econômica é o processo de brochamento e polimento [*burnishing*], que requer tolerâncias dimensionais repetíveis e precisas. Se estas condições não forem satisfeitas, soluções mais caras devem ser adotadas, por exemplo, furação mais esmerilhamento ou furação mais brochamento e polimento.

Como conseqüência, portanto, os custos finais de usinagem aumentam de maneira mais que proporcional com o aumento das tolerâncias geométricas.

- O tambor é submetido a ciclos de fatiga durante sua vida útil e, além disso, em muitas aplicações como seu uso em escavadeiras, guindastes e outros, ele deve ser capaz de operar em condições externas de baixa temperatura. A tenacidade (pelo menos até -20°C e, de preferência, até -40°C) é, portanto, um requisito essencial para se obter um comportamento "vazar antes

de quebrar" ("*leak before break*"), evitando desta forma a fratura rúptil, que envolve tipicamente uma condição perigosa. De fato, para algumas aplicações tais como equipamentos de pressão, as leis já determinam comportamento dúctil em ensaios de fratura, ou tenacidade transversal e longitudinal de 27 J na temperatura mínima de operação [1,2,3].

O processo de produção de um tambor cilíndrico é economicamente mais vantajoso usando um tubo de acabamento a frio em vez de um tubo laminado a quente, devido à possibilidade de se obter:

- Dimensões mais próximas do tamanho final, com tolerâncias mais estreitas, desta forma tornando o processo de usinagem à jusante, se houver, comparativamente mais barato, devido à necessidade de apenas um número muito limitado de correções dimensionais.

- Propriedades de tensão mais altas.

- Melhor qualidade de superfície.

O ciclo padrão é, portanto:

- Laminação a quente - decapagem - trefilação a frio - alívio de tensões - retificação - usinagem da superfície - corte - montagem das partes.

No ciclo padrão, trefilação a frio a alívio de tensões são necessários para aumentar a tensão de escoamento a níveis comumente requeridos (pelo menos 520 MPa, de preferência 620 MPa), mas eles reduzem a tenacidade do material e, mais

importante, causam uma alta anisotropia entre a direção longitudinal e transversal do tubo, em particular em detrimento da tenacidade transversal. Portanto, com o ciclo padrão, não é possível garantir as características a baixa temperatura requeridas, por exemplo, por aplicações em condições climáticas específicas como podem ser encontradas, por exemplo, no norte da Europa. De fato, em tais casos, mesmo à temperatura ambiente a tenacidade transversal não é suficiente para evitar fratura rúptil.

Os ciclos alternativos, hoje disponíveis, para melhorar a tenacidade a baixa temperatura são:

(1) Laminação a quente - trefilação a frio - normalização - retificação - usinagem de superfície - corte - montagem das partes.

Esta solução diminui, no entanto, as propriedades tênseis (tensão de escoamento), de forma que uma espessura de parede maior é necessária para operar à mesma pressão, aumentando o peso e, conseqüentemente, o consumo de energia relacionado à operação do respectivo equipamento.

(2) Laminação a quente - resfriamento e têmpera - retificação - usinagem da superfície - corte - montagem das partes.

(3) Laminação a quente - decapagem - trefilação a frio - resfriamento e têmpera - retificação - usinagem de superfície - corte - montagem das partes.

Em ambos os casos (2) e (3), a qualidade da superfície e tolerâncias não alcançam o padrão requerido pelo mercado para tubos de precisão sem costura e, logo, requerem operações particularmente caras de usinagem altamente ablativas à jusante. O caso (2) requer uma remoção de material preventiva e consistente através de uma operação de furação, seguida de brochamento e polimento ou furação. No caso (3) variações geométricas e distorções induzidas por transformação martensítica aumentam a ovalidade e a variabilidade de diâmetros, afetando a repetibilidade e a vantagem de se produzir um tubo de aço de precisão. O tratamento de resfriamento e têmpera (*Q&T*) também aumenta o custo de produção.

Isto significa que, até agora, é necessário ou (i) o uso de uma alta espessura de parede ou (ii) altos custos de produção para melhorar a performance a baixa temperatura de cilindros hidráulicos.

Em um esforço para chegar a um processo de produção que não apresente as desvantagens dos ciclos (1) a (3), um ciclo alternativo foi adotado no passado.

(4) Laminação a quente - normalização (ou normalização em linha [*on-line normalising*]) - trefilação a frio - alívio de tensões - retificação - usinagem de superfície - corte - montagem das partes.

Embora o ciclo (4) é vantajoso do ponto de vista dos custos de produção, ele garante, todavia, boa tenacidade longitudinal apenas a temperatura ambiente e uma tenacidade suficiente a 0°C. A temperaturas abaixo de zero grau, a variabilidade do processo

torna-se muito alta e é difícil obter valores consistentes. A tenacidade transversa é, além de tudo, freqüentemente insatisfatória.

Isto significa que o ciclo (4) não melhora a segurança do cilindro hidráulico, exceto em condições climáticas mais quentes.

Assim, permanece uma necessidade urgente no estado da técnica para a provisão de novos tubos de aço de precisão, sem costura, com tenacidade isotrópica aprimorada a baixa temperatura para cilindros hidráulicos. É desejável, a uma temperatura de trabalho de -40°C – que reflete condições usuais em áreas específicas do planeta – a tenacidade mínima isotrópica (isto é longitudinal e transversal) deveria ser maior que o limite mínimo prescrito de 27J. Além disso, permanece uma necessidade urgente no estado da técnica para a provisão de um novo processo para a obtenção dos novos tubos mencionados, o referido novo processo sendo menos caro que os ciclos conhecidos (1) a (4) acima.

O novo processo deveria ser capaz de empregar aços baixo carbono, com um conteúdo mínimo de Mn e Si e, possivelmente, mas não necessariamente, micro-ligas de um ou mais dos elementos adicionais, tais como Cr, Ni, Mo, V, Nb, N, Al, Ca.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Os titulares descobriram agora que, surpreendentemente, os problemas identificados acima e outros problemas que vão ser mostrados adiante, podem ser resolvidos por um novo processo

para a produção de tubos de aço de precisão, sem costura, com tenacidade isotrópica aprimorada a baixa temperatura para cilindros hidráulicos, compreendendo as seguintes etapas:

-(i) providenciar um aço tendo uma composição compreendendo entre 0,06 e 0,15% em peso de carbono, entre 0,30 e 2,5% em peso de Mn e entre 0,10 e 0,60% em peso de Si,

-(ii) laminar a quente o referido aço a uma temperatura superior a Ac3 de forma a obter um tubo de aço sem costura,

-(iii) aquecer o referido tubo de aço sem costura a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3,

-(iv) temperar o referido tubo de aço sem costura, de forma a estabelecer uma microestrutura bi(ou multi)fásica no aço empregado, composta de ferrite e martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida,

-(v) trefilar a frio do tubo de aço sem costura temperado de forma a prover um tubo de aço de precisão sem costura de dimensões desejadas,

-(vi) sujeitar o tubo de aço de precisão sem costura, assim obtido, a tratamento de alívio de tensões para aprimorar sua tenacidade, e opcionalmente

-(vii) retificar o tubo de aço de precisão sem costura assim obtido.

De acordo com uma concretização específica, a etapa de processo (ii) pode ser seguida por uma etapa de normalização (iia) depois de laminação a quente ou pode ser definida como uma laminação normalizante (ii)' com o objetivo de, intermediariamente, refinar grão e homogeneizar a estrutura antes da etapa subseqüente (iii).

Os titulares também descobriram que os tubos de aço de precisão sem costura, obteníveis pelo processo supracitado, apresentam uma tensão de escoamento de pelo menos 520 MPa e uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 27J, de preferência mesmo uma tenacidade longitudinal e transversal de pelo menos 90J a -20°C e pelo menos 45J a -40°C.

Portanto os novos tubos de aço de precisão com tenacidade isotrópica aprimorada permitem a provisão de novos cilindros hidráulicos empregáveis a temperaturas muito baixas.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

As seguintes Figuras 1 a 3 estão anexas ao presente Pedido para o único propósito de ilustrar alguns aspectos da presente invenção, todavia sem limitar o mesmo.

A Figura 1 é uma representação gráfica de um exemplo de um cilindro hidráulico, como contemplado pela invenção.

A Figura 2 é uma representação de um exemplo de uma curva de transição CVN de um típico tubo de precisão sem costura obtenível de acordo com a presente invenção depois de produzir o mesmo em escala industrial com o processo aqui descrito.

A Figura 3 é uma representação mostrando os valores de tenacidade longitudinal e transversal [J] de um tubo sem costura de composição de acordo com o exemplo aqui descrito a -20°C, obtido depois de certas etapas do ciclo de trabalho de acordo com a presente invenção (metade direita do gráfico), em oposição ao mesmo tubo obtido, em vez disso, através do ciclo tradicional (4) isto é compreendendo o tratamento de normalização (metade esquerda do gráfico).

Em particular, na metade esquerda do gráfico, primeiro ponto, são informadas a tenacidade longitudinal e transversa a -20°C medidas antes da etapa de trefilação a frio de um tubo obtido de acordo com o ciclo (4). O segundo ponto mostra a tenacidade longitudinal a -20°C do mesmo tubo, medida depois das etapas de trefilação a frio e alívio de tensões. O terceiro ponto mostra a tenacidade transversal a -20°C do mesmo tubo, medida depois das etapas de trefilação a frio e alívio de tensões.

Em particular, na metade direita do gráfico, primeiro ponto, são informadas a tenacidade longitudinal e transversa a -20°C medidas antes da etapa de trefilação a frio de um tubo obtido de acordo com a presente invenção. O segundo ponto mostra a tenacidade longitudinal a -20°C do mesmo tubo, medida depois das etapas de trefilação a frio e alívio de tensões. O terceiro ponto mostra a tenacidade transversal a -20°C do mesmo tubo, medida depois das etapas de trefilação a frio e alívio de tensões.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Os inventores, com o objetivo de solucionar os problemas acima mencionados, estudaram criteriosamente os ciclos (1) a (4) e analisaram a contribuição de cada etapa de produção às características obtidas (em oposição às desejadas) dos tubos assim produzidos.

Em particular, eles notaram que apesar de uma tenacidade satisfatória ser obtida através do tratamento de normalização de acordo com o ciclo (4), a referida tenacidade e, em particular, sua isotropicidade é quase completamente perdida durante a etapa subseqüente de trefilação a frio e não pode ser integralmente restaurada através da etapa subseqüente de tratamento de alívio de tensões. De acordo com o tratamento tradicional, tal perda é particularmente pronunciada para a tenacidade transversal (ver Figura 3, parte esquerda).

Entretanto, o emprego de uma etapa de trefilação a frio em um novo processo aprimorado é considerado altamente desejável porque é benéfico não só para a tensão de escoamento alcançável, mas também à precisão dimensional do tubo assim obtido.

Por outro lado, embora seja conhecido, por exemplo, da patente norte-americana US 6.846.371, que o chamado aquecimento intercrítico (em oposição à normalização) - em virtude da chamada microestrutura bi(ou multi)fásica assim criada - possa ser benéfico para várias características de um tubo, compreendendo sua tensão de escoamento, sua tenacidade e até a isotropicidade da tenacidade, qualquer tratamento, à jusante, de

trabalho a frio dos tubos, assim obtidos, é, todavia, cuidadosamente evitado.

Isto porque, como amplamente conhecido, e como o próprio documento US 6.846.371 destaca, o trabalho em tubos a uma faixa de temperatura de não-recristalização - devido ao alongamento feito durante tal trabalho - cria uma inerente anisotropia no material, aprimorando as características desejadas na direção da deformação, entretanto inevitavelmente diminuindo as mesmas transversalmente à direção de trabalho.

Por outro lado, sem trabalho a frio, não são obtidos tubos de precisão, e, portanto, os tubos obtidos de acordo com US 6.846.371 - embora satisfatórios para o uso intencionado (OTCG) - teriam, de maneira similar aos tubos obteníveis com o ciclo de trabalho (2) acima, necessidade de operações de usinagem, à jusante, substanciais e altamente ablativas antes de servirem às aplicações de precisão, como o contemplado pela presente invenção.

Entretanto, os inventores descobriram agora que, diferente do caso do ciclo de trabalho (4), quando um tratamento de aquecimento intercrítico com têmpera subseqüente é seguido por uma etapa de trefilação a frio dentro de um processo para a obtenção de tubos de precisão, é, entretanto, inesperadamente possível alcançar alta isotropia da tenacidade do tubo trabalhado a frio através do tratamento subseqüente de alívio de tensões. Em particular, é possível atingir, durante o alívio de tensões, um aumento extraordinário da tenacidade transversal (e também longitudinal). Ver Figura 3, parte direita.

Parece, então, que, além de proporcionar, pela primeira vez, sem a necessidade de operações de usinagem altamente ablativas à jusante, tubos de aço de precisão, sem costura, apropriados para cilindros hidráulicos empregáveis, se desejado, a temperaturas muito baixas (mais baixas que outrora alcançáveis), o novo processo também traz uma economia de energia, devido à menor temperatura aplicada durante o aquecimento intercrítico em oposição à etapa tradicional de normalização.

Como é aparente, por exemplo, da Figura 2, com o novo processo, uma excelente tenacidade isotrópica (longitudinal e transversal), por exemplo, pelo menos 90J a -20°C e de pelo menos 45J a -40°C (e mais), é alcançável.

A invenção será, agora, explicada mais detalhadamente.

Para a produção de tubos de aço de precisão, sem costura, de acordo com a presente invenção, são empregáveis aços com um conteúdo de carbono na faixa de 0,06% a 0,15% em peso de carbono. A invenção não é limitada a composições particulares de aço, mas, tipicamente, o aço compreenderá, além de 0,06 a 0.15% em peso de carbono, 0,30 a 2,5% em peso de Mn, 0,10 a 0,60% em peso de Si. De preferência, o aço típico compreenderá 0,40 a 2,10% em peso de Mn, e ainda mais preferível 0,60 a 1,80% em peso de Mn. Opcionalmente, o aço supracitado compreenderá adicionalmente um ou mais dos seguintes elementos: Cr, Ni, Mo, V, Nb, N e Al. Os elementos de liga empregados deveriam ser adequadamente balanceados com o objetivo de obter a temperabilidade e resistência mecânica desejadas, a baixo custo. Os versados na técnica não apenas serão capazes de conduzir tal balanceamento, mas também irão entender que a aquisição da

temperabilidade desejada também é possível através do emprego de diferentes misturas de elementos de liga como os descritos aqui. É claro que também é possível, quando desejado, contar com quantidades dos elementos de liga diferentes daquelas aqui descritas, obtendo, entretanto, a temperabilidade desejada.

Logo, as composições de aço preferidas empregadas na presente invenção compreendem, em peso, 0,06 a 0,15% de C, 0,60 a 1,80% de Mn, 0,10 a 0,60% de Si e, opcionalmente, 0,0 a 0,60% de Cr, 0,0 a 0,60% de Ni, 0 a 0,50% de Mo, 0 a 0,12% de V, 0 a 0,040 de Nb, 0,0040 a 0,02% de N, 0,0 a 0,040% de Al, o restante sendo ferro e impurezas inevitáveis. De preferência, nos aços como acima, o conteúdo dos seguintes elementos adicionais deveria ser limitado como segue: P 250 ppm máx., S 100 ppm máx., preferencialmente 50 ppm máx., Ca 30 ppm máx.

Com o novo ciclo proposto pelos inventores do presente Pedido e adotando a química aqui descrita, é possível alcançar propriedades mecânicas excelentes com aços baixo carbono. Nota-se que a limitação ao conteúdo de carbono mais baixo quando comparada com os aços comumente usados nos ciclos padrão outrora conhecidos ocasiona uma soldabilidade melhor.

Mn e Si são elementos sempre presentes em aços carbono e baixa-liga, pois seu papel é a obtenção de resistência mecânica suficiente, através do reforço da matriz de ferrite por solução sólida; em particular Mn aumenta significativamente a temperabilidade. Entretanto, valores de Mn mais altos que os descritos aqui não são necessários por causa do custo e porque níveis muito altos de Mn poderiam produzir segregação na barra durante a solidificação.

Cr, Mo, V podem ser adicionados nos níveis aqui especificados para aprimorar a temperabilidade e resistência mecânica depois do alívio de tensões, graças a um endurecimento secundário durante o tratamento por aquecimento; Nb nos níveis especificados controla o refinamento de grão durante o processo de produção, ajudando a aprimorar a tenacidade e escoamento. O conteúdo de Nitrogênio pode ser controlado até os níveis especificados aqui obter refinamento de grão com Al, o qual, nos níveis aqui especificados também pode estar presente como um desoxidante.

Nos aços empregados na presente invenção, S deveria ser, de preferência, limitado a um valor de 0,010% (100 ppm) para evitar a formação de MnS, o que seria prejudicial à tenacidade transversal, e, de preferência, a 0,050% (50ppm). P é considerado uma impureza e deveria estar limitado a 0,025% (250ppm). Ca pode ser adicionado, em níveis até 30ppm máx., para modificar as inclusões de alumina eventualmente geradas pelo processo de desoxidação opcional.

De acordo com a presente invenção, a laminação a quente do aço de acordo com a etapa (ii) a temperatura maior que Ac3 é conduzida como segue: aquecimento de um lingote a uma temperatura acima de Ac3, perfuração, laminação e, opcionalmente, acabamento com um *stretch reducing mill* ou um *sizing mill*. Desse modo, ao conduzir a etapa (ii), um tubo de aço sem costura acabado a quente é obtido.

De acordo com uma concretização específica, a etapa de processo (ii) pode ser seguida por uma etapa de normalização (iia) depois

da laminação a quente ou pode ser definida como uma laminação normalizante (ii)' com o objetivo de, intermediariamente, refinar grão e homogeneizar a estrutura antes da etapa (iii) subseqüente. Deve ser apontado, entretanto, que a laminação a quente convencional, conforme a etapa (ii) é inteiramente suficiente para alcançar as vantagens da invenção aqui descrita.

De acordo com a presente invenção, o aquecimento do supracitado, tubo de aço sem costura acabado a quente a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3 e sua têmpera subseqüentes de acordo com as etapas (iii) e (iv) pode ser conduzido por (a) tratamento intercrítico do aço como laminado até que alcance uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3, e então têmpera do mesmo até temperatura ambiente, ou (b) recozimento do aço a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3 e então têmpera do mesmo até temperatura ambiente. A têmpera deve ser conduzida tão rapidamente quanto possível (de preferência, com água), a taxa mínima de resfriamento exata empregável dependendo da química da liga empregada. Aqueles versados na técnica serão capazes de estabelecer taxas mínimas de resfriamento adequadas para ocasionar, nos aços empregados, a microestrutura bi(ou multi)fásica desejada. Tal microestrutura é constituída por uma matriz de ferrite, na qual martensita e, opcionalmente, bainita e/ou austenita retida estão despersas.

Desse modo, através das etapas (iii) e (iv), são obtidos tubos de aço sem costura temperados.

De acordo com a presente invenção, a trefilação a frio do tubo de aço sem costura temperado de acordo com a etapa (v), para proporcionar um tubo de aço de precisão sem costura de dimensões

desejadas, é conduzida, de preferência, dando uma redução de área entre 8 e 30%, preferencialmente entre 10 e 25%. Os primeiros valores são preferidos para chegar às propriedades tênseis e tolerâncias superficiais.

Dessa forma, através da etapa (v), são obtidos tubos de aço de precisão sem costura.

De acordo com a presente invenção, a disposição dos tubos de aço de precisão sem costura, assim obtidos, ao tratamento de alívio de tensões de acordo com a etapa (vi) para aprimorar sua tenacidade isotrópica, é conduzida através do aquecimento dos tubos a uma temperatura preferencialmente entre pelo menos 0,72 Ac1 e 0,95 Ac1 e do resfriamento deles em forno de atmosfera controlada ou no ar a temperatura ambiente. Foi descoberto ainda pelos inventores que através da condução do tratamento de alívio de tensões na faixa compreendida entre 0,85Ac1 e 0,92Ac1, preferencialmente entre 0,87Ac1 e 0,91Ac1, é possível obter tenacidade transversal a baixa temperatura particularmente alta (e, além disso, isotropicidade de tenacidade extraordinária), mantendo, no entando a tensão de escoamento definitivamente mais alta do que os níveis normalmente requeridos.

De acordo com a presente invenção, a retificação opcional do tubo de aço de precisão sem costura com tenacidade aprimorada, assim obtido, de acordo com a etapa (vii), pode ser conduzida passando o tubo através de uma série de rolos que dobram e pressionam (esmagam) o tubo. Com esta operação, se for mesmo necessária, uma retidão de 1 mm / 1000 mm pode ser alcançada, o que é benéfico tanto para o refinamento da superfície posterior, quanto para o próprio uso dos tubos como cilindros.

É uma característica importante da invenção que os tubos, obtidos pelo processo da presente invenção, tenham tolerâncias dimensionais estreitas, muito próximas daquelas requeridas para seu uso como cilindros hidráulicos. Tipicamente, para valores de diâmetro interno até 100mm, uma variação igual ou menor que 0,60% é alcançada, enquanto que variações de menos de 0,45%, preferencialmente menos de 0,30%, são alcançáveis para valores de diâmetro interno maiores.

Isto significa que, não apenas os tubos são adequados para a usinagem subseqüente, mas, mais importante, que a referida usinagem, em vez de ocasionar uma alta ablação do material, é apenas um refinamento de superfície, assim reduzindo consideravelmente as perdas de material e tempo normalmente associadas a estas operações. Depois da usinagem, as tolerâncias atendem àquelas requeridas para o uso intencionado como cilindros hidráulicos, por exemplo, ISO H8.

A invenção será ilustrada, embora não limitada, através dos exemplos seguintes.

EXEMPLOS

Procedimento Experimental.

Um aço de composição dada abaixo foi obtido e processado de acordo com a invenção.

Uma sintonização fina foi feita primeiro por testes de laboratório para examinar as condições de processamento adequadas. Os corpos de prova foram tomados de tubos sem

costura, como laminados, e sujeitos a tratamento de aquecimento a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3. Tal tratamento foi feito em uma mufla a temperaturas de 750°C a 820°C (tratamento intercrítico ou recozimento) seguido de têmpera em água agitada com uma taxa de resfriamento (CR) de 60 a 70 °C/s, medida por um termopar inserido no ponto médio da espessura.

Ensaios Tênsil e de choque Charpy (*Charpy v-notch*) (CVN) de acordo com EN10002-1 e 10045-1 respectivamente foram feitos nos corpos de prova tomados, nas direções transversa e longitudinal. As curvas de transição na faixa de temperatura - 60°C a 20°C, junto com a Temperatura de Transição de Aparecimento de Fratura (50% FATT), foram determinadas para o material testado.

Um ensaio industrial foi então projetado com base nos resultados dos testes laboratoriais.

Projeto do Tratamento Intercrítico

A composição química de um aço industrial selecionado para a investigação é mostrada na Tabela 1.

C	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**Ni**	**Cr**	**Mo**	**V**	**Nb**	**Cu**	**Al**	**Ca**	**N**
%	%	%	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
0,09	1,14	0,27	130	20	0,41	0,13	0,14	0,07	0,024	0,17	0,028	17	48

Tabela 1 Composição química do aço investigado.

O material estava disponível na forma de tubos com as seguintes dimensões: OD = 219 mm e WT = 17 mm.

As temperaturas críticas, calculadas por correlações empíricas de Andrews (ver K.W. Andrews: JISI Vol. 193 Julho (1965), p. 721) para o aço considerado são como segue: A_{c1} = 714-715 °C, A_{c3} = 831-833 °C e M_S = 456-458 °C.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos depois da normalização e tratamento intercrítico como especificado:

Tabela 2: Propriedades tênseis e valores de tenacidade de corpos de prova de laboratório IQ.

	IT	YS*	UTS	Y/T	EI	Energia CVN (J)**			
	[°C]	[MPa]	[MPa]	[-]	[%]	Direção	+20°C	-20°C	-40°C
Temperatura do tratamento intercrítico	750	363	743	0,49	21,0	Long.	27	13	11
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Transversa	n.d.	14	n.d.
Temperatura do tratamento intercrítico	785	400	784	0,51	22,5	Long.	60	29	20
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Transversa	n.d.	28	n.d.
Temperatura do tratamento intercrítico	820	443	807	0,55	23,0	Long.	66	29	19
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Transversa	n.d.	25	n.d.

* escoamento contínuo ($R_{p0,2}$); ** média de três valores (tamanho do corpo de prova: 10 x 10 x 55 mm³)

Da tabela acima, mostra-se então que depois de feita a etapa (iv) de acordo com a presente invenção, ambas as tenacidades longitudinal e transversa dos tubos obtidos até agora são insuficientes.

Ensaios Industriais.

Os ensaios industriais, feitos no aço como acima incluem as seguintes etapas: laminação a quente, tratamento de aquecimento intercrítico seguido de temperamento (IQ), trefilação a frio (CD), alívio de tensões (SR), retificação (S).

Em alguns casos a etapa de normalização (etapa (iia)) antes de IQ foi conduzida.

Com normalização intermediária.

Para os ensaios industriais, uma temperatura de 780°C ("Ciclo A") e 810°C ("Ciclo B"), respectivamente reproduzindo duas das condições acima testadas antes em laboratório, foi determinada para o tratamento intercrítico da cavidade. Além disso, a influência de duas reduções de área diferentes foi investigada em relação à trefilação a frio no Ciclo B. As reduções de área adotadas foram 12,5% e 17,5%, com dimensões finais de 160 x 13,0 mm e 160 x 12,1 mm respectivamente, ver tabela a seguir:

Ciclo A: IQ 780°C - 17,5% - SR 580°C
Ciclo B: IQ 810°C - 17,5% - SR 580°C
Ciclo C: IQ 810°C - 12,5% - SR 580°C

As propriedades mecânicas dos tubos IQ confirmaram os resultados obtidos no laboratório: baixa razão Y/T e altos valores de coeficiente de endurecimento por trabalho (n = 0,19-0,21). A obtenção de um alto valor de n é importante em que o mesmo é necessário para obter altos valores de resistência mecânica depois da trefilação a frio. Depois de CD a resistência tênsil última (UTS) foi maior que 950 Mpa e a tenacidade foi fortemente reduzida (energia CVN < 10J a -20°C). Ainda assim, a SR subseqüente permitiu recuperar a tenacidade (longitudinal e transversal) a níveis iguais ou maiores que 150J mesmo a baixa temperatura (-20°C). A temperaturas ainda mais baixas (-40°C), a tenacidade (longitudinal e transversal) era ainda maior que 70J.

O referido tratamento de alívio de tensões industrial foi conduzido em um forno Nassehuer, com zona de aquecimento de 14,150 m de comprimento. A temperatura foi determinada a 580°C, com uma velocidade de tubo de 15 m/h. Os resultados específicos são os seguintes:

			Teste tênsil			KV Long. (10x10 mm - Joule)						KV Transv. (10x10 mm - Joule)					
Ciclo	RA%	Alívio de tensões	Rs (MPa)	Rm (MPa)	E%	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C
A	17,5%	580°C	713	762	19,0	211	183	nd	158	nd	117	189	154	nd	135	nd	102
B	17,5%	580°C	719	776	20,0	223	206	130	97	83	78	198	150	98	73	58	55
C	12,5%	580°C	668	730	18,4	221	218	206	196	nd	148	208	191	182	134	nd	105

O material originado no Ciclo A também foi tratado em laboratório em condições controladas, a diferentes temperaturas (560°C, 610°C, 650°C) para averiguar a influência do tratamento SR. Os seguintes resultados foram obtidos:

		Teste tênsil			KV Long. (10x10 mm - Joule)			KV Trasv. (10x10 mm - Joule)		
RA%	Alívio de tensões	Rs (MPa)	Rm (MPa)	E%	+20°C	-20°C	-40°C	+20°C	-20°C	-40°C
17,5%	560°C x 15'	692	774	18,1	219	210	nd	202	206	nd
17,5%	610°C x 15'	688	765	19,1	221	230	nd	214	206	nd
17,5%	650°C x 15'	657	730	19,3	271	273	nd	242	215	nd

Sem etapa intermediária de normalização.

Uma cavidade de 177,8 x 14,5 mm, com a seguinte análise química:

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Cu	Al	Ca	N
%	%	%	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
0,09	1,10	0,30	120	10	0,40	0,12	0,14	0,06	0,022	0,17	0,030	20	48

foi tratada depois de laminada a quente a 770°C e temperada com água.

As temperaturas críticas, calculadas por correlações empíricas de Andrews (ver K.W. Andrews: JISI Vol. 193 Julho (1965), p. 721) para este material, muito similar ao primeiro, são como segue: A_{c1} = 714-715 °C, A_{c3} = 831-833 °C e M_S = 456-458 °C.

Os tubos foram trefilados a frio até a dimensão de 165 x 12,75 com uma redução de área de 18%.

Uma batelada foi tratada a 560°C, tendo os seguintes resultados:

		Teste tênsil			KV Long. (10x10 mm - Joule)						KV Transv. (10x10 mm - Joule)					
RA%	Alívio de tensões	Rs (MPa)	Rm (MPa)	E%	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C
18%	560°C	865	890	18,3	n.d.	170	n.d.	173	n.d.	74	n.d.	118	n.d.	60	n.d.	n.d.

Neste caso, propriedades tênseis muito altas foram obtidas (Rs: 865 Mpa) com tenacidade transversal a -40ºC ainda acima de 45J.

Uma segunda batelada foi tratada a 640°C, resultando:

		Teste tênsil			KV Long. (10x10 mm - Joule)						KV Transv. (10x10 mm - Joule)					
RA%	Alívio de tensões	Rs (MPa)	Rm (MPa)	E%	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C	+20°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	-60°C
18%	640°C	743	785	17	312	289	n.d.	317	n.d.	313	277	316	n.d.	322	n.d.	299

Neste caso, as propriedades tênseis foram reduzidas, mas ainda bastante aceitáveis, enquanto que valores de tenacidade transversal excepcionais foram alcançados.

Parece, portanto, que em todos os casos a habilidade do novo processo de obter tensão de escoamento maior que 620 Mpa, preferencialmente maior que 650 Mpa, e excelente tenacidade isotrópica a baixa temperatura, é confirmada.

CONCLUSÕES

Os ensaios industriais confirmaram que o novo processo proporcionado pela presente invenção pode ser usado para produzir tubos de aço de precisão sem costura apresentando altos níveis de tensão de escoamento (YS > 620 Mpa) depois de CD e SR, mantendo excelente tenacidade, até -40°C, tanto na direção transversa quanto longitudinal, assim apresentando, apesar da etapa CD intermediária, uma isotropicidade da tenacidade extraordinária a baixa temperatura. Os resultados aqui alcançados são significativamente melhores que aqueles obteníveis com os processos outrora conhecidos. Em particular, parece que com a presente invenção, a -20ºC, uma tenacidade longitudinal e transversal (energia CVN) de pelo menos 90J, preferencialmente de pelo menos 140J, e especialmente de pelo menos 150J pode ser alcançada, enquanto que a -40°C, uma tenacidade longitudinal e transversal (energia CVN) de pelo menos 45J, preferencialmente de pelo menos 60J, e especialmente de pelo menos 70J pode ser alcançada. Valores de pico de tenacidade transversal até pelo menos 200 kJ e mais a -40°C e excelente isotropicidade podem ser obtidos.

As propriedades tênseis e a tenacidade podem ser moduladas com uma sintonia fina apropriada da temperatura de alívio de tensões.

LITERATURA CITADA

[1] D. O. T. § 178.65 Spec. 39 Non reusable (non refillable) cylinders.

[2] Pressure Equipment Directive 97/23/EC.

[3] EN 10216-1/2/3/4, "Seamless steel tubes for pressure purposes", European Standard.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produção de tubos de aço de precisão sem costura para cilindros hidráulicos caracterizado por compreender as seguintes etapas:

-(i) providenciar um aço tendo uma composição compreendendo 0,06 a 0,15% em peso de carbono, 0,30 a 2,5% em peso de Mn e 0,10 a 0,60% em peso de Si, adicionalmente incluindo um ou mais dos elementos Cr, Ni, Mo, V, Nb, N, Al, o restante sendo ferro e impurezas inevitáveis,

-(ii) laminar a quente o referido aço a uma temperatura maior que Ac3 de forma a obter um tubo de aço sem costura,

-(iii) resfriar o aço a partir de uma temperatura acima de Ac3 para uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3 com ar ou água

-(iv) aquecer o referido tubo de aço sem costura a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3,

-(v) temperar o referido tubo de aço sem costura aquecido, de forma a estabelecer uma microestrutura bi(ou multi)fásica no aço empregado, composta de ferrite e martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida,

-(vi) trefilar a frio o tubo de aço sem costura temperado, de forma a prover um tubo de aço de precisão sem costura das dimensões desejadas,

-(vii) submeter o tubo de aço de precisão sem costura, assim obtido, a tratamento de alívio de tensões para aprimorar sua tenacidade isotrópica, tal tratamento sendo conduzido a uma temperatura entre 0,72Ac1 e 0,95Ac1, e opcionalmente

-(viii) retificar o tubo de aço de precisão sem costura com tenacidade aprimorada assim obtido.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o aço possui uma composição compreendendo 0,40 a 2,10% em peso de Mn, de preferência 0,60 a 1,80% em peso de Mn.

3. Processo de acordo com as reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a composição do aço em peso compreende os seguintes elementos: 0 a 0,60% Cr, 0 a 0,60% Ni, 0 a 0,50% Mo, 0 a 0,12% V, 0 a 0,040% Nb, 0,0040 a 0,02% N, 0,0 a 0,040% Al, o restante sendo ferro e impurezas inevitáveis.

4. Processo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a composição do aço em peso compreende ainda os seguintes elementos: P 250 ppm máx., S 100 ppm máx., de preferência 50 ppm máx., Ca 30 ppm máx.

5. Processo de acordo com uma ou mais das reivindicações de 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a etapa de processo (ii) pode ser seguida por uma etapa de normalização (iia) depois da

laminação a quente ou pode ser definida como uma laminação normalizante (ii)'.

6. Processo de acordo com uma ou mais das reivindicações de 1 a 5, caracterizado pelo fato de que as etapas (iv) e (v) são conduzidas por tratamento intercrítico do aço como laminado até que ele alcance uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3 e, então, têmpera do mesmo, de forma a estabelecer a microestrutura bi(ou multi)fásica composta de ferrite martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida.

7. Processo de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que as etapas (iv) e (v) são conduzidas por recozimento do aço a temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3 e, então, têmpera do mesmo, de forma a estabelecer uma microestrutura bi(ou multi)fásica composta de ferrite martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida.

8. Processo de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que a têmpera é conduzida em água.

9. Processo de acordo com uma ou mais das reivindicações de 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a etapa de trefilação a frio (vi) é conduzida de forma a fazer uma RA entre 8 e 30%, de preferência entre 10% e 25%.

10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa (vii) é conduzida em uma temperatura entre 0,85Ac1 e 0,92Ac1, de preferência entre 0,87Ac1 e 0,91Ac1.

11. Tubos de aço de precisão sem costura caracterizados por serem obteníveis pelo processo de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 10, possuírem uma microestrutura bi(ou multi)fásica composta por ferrite e martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida, apresentarem uma tensão de escoamento de pelo menos 520 MPa e uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 27J, apresentarem uma variação de diâmetro interno igual ou inferior a 0,6% quando o diâmetro interno medir até 100 mm e apresentarem uma variação de diâmetro interno de menos de 0,45% quando o diâmetro interno for maior que 100 mm.

12. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 11, caracterizados pelo fato de que apresentam uma variação de diâmetro interno de menos de 0,30% quando o diâmetro interno é maior que 100 mm.

13. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 11, caracterizados pelo fato de que apresentam uma tensão de escoamento de pelo menos 650 MPa.

14. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 11 ou 13, caracterizados pelo fato de que possuem uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 45J.

15. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 14, caracterizados pelo fato de que possuem uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 60J.

16. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 15, caracterizados pelo fato de que são obteníveis conduzindo a etapa de alívio de tensões de acordo com a reivindicação 12, tendo uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 70J.

17. Tubos de aço de precisão sem costura de acordo com a reivindicação 16, caracterizados pelo fato de que possuem uma tenacidade longitudinal e transversal a -40°C de pelo menos 100J, de preferência pelo menos 150J, especialmente pelo menos 200J.

18. Processo para a produção de tambores para um cilindro hidráulico caracterizado pelo fato de que compreende usinar os tubos de aço de precisão sem costura de acordo com uma ou mais das reivindicações de 11 a 17.

19. Tambor para um cilindro hidráulico caracterizado por ser obtenível pelo processo de acordo com a reivindicação 18.

20. Cilindro hidráulico caracterizado por compreender o tambor de acordo com a reivindicação 19.

FIGURA 1

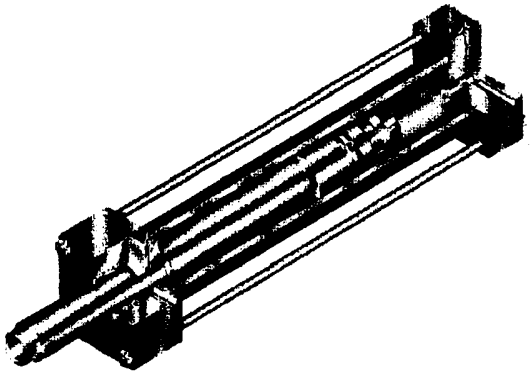


FIGURA 2

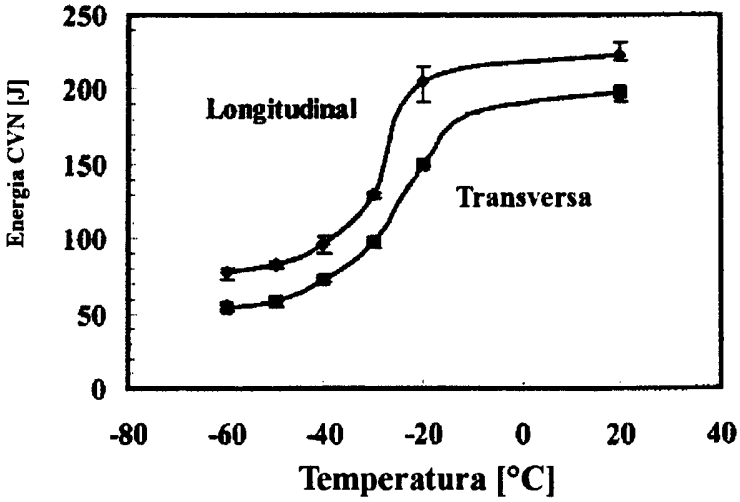
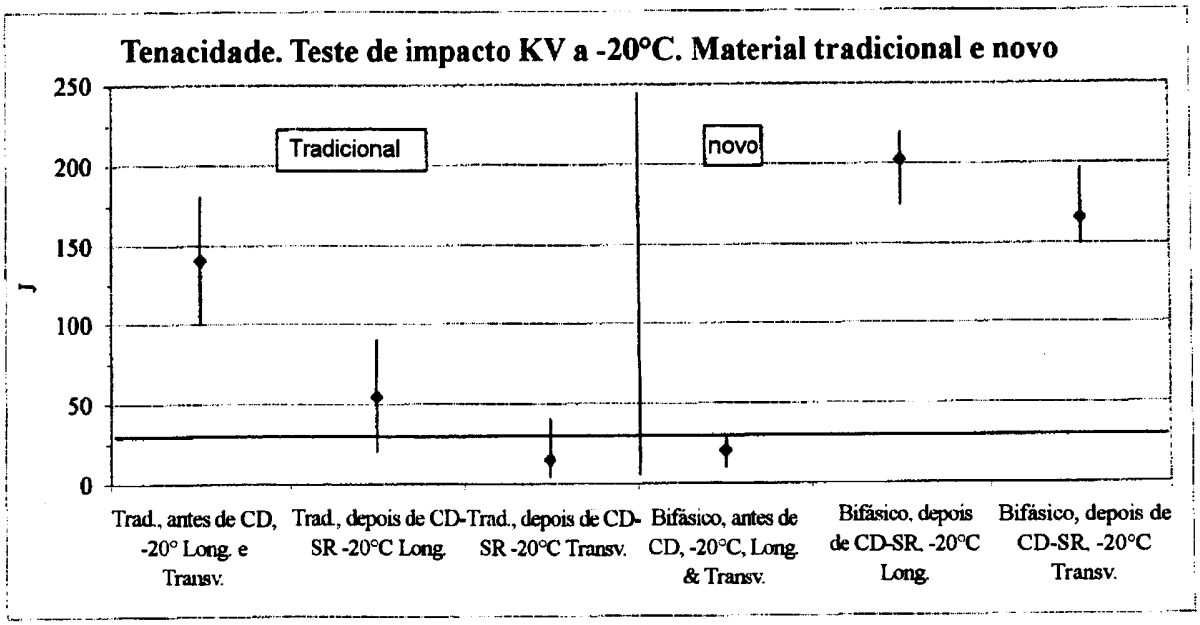


FIGURA 3


Tenacidade. Teste de impacto KV a -20°C. Material tradicional e novo
250
200
150
100
50
0
J
Tradicional
novo
Trad., antes de CD, -20° Long. e Transv.
Trad., depois de CD-SR -20°C Long.
Trad., depois de CD-SR -20°C Transv.
Bifásico, antes de CD, -20°C, Long. & Transv.
Bifásico, depois de CD-SR, -20°C Long.
Bifásico, depois de CD-SR, -20°C Transv.

RESUMO

TUBOS DE AÇO DE PRECISÃO SEM COSTURA COM TENACIDADE ISOTRÓPICA A BAIXA TEMPERATURA APRIMORADA E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, TAMBORES PARA UM CILINDRO HIDRÁULICO E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS MESMOS, CILINDRO HIDRÁULICO

Processo para produção de tubos de aço de precisão sem costura com tenacidade isotrópica a baixa temperatura aprimorada para cilindros hidráulicos caracterizado por compreender as seguintes etapas; -(i) providenciar um aço tendo uma composição compreendendo 0,06 a 0,15% em peso de carbono, 0,30 a 2,5% em peso de Mn e 0,10 a 0,60% em peso de Si, -(ii) laminar a quente o referido aço a uma temperatura maior que Ac3 de forma a obter um tubo de aço sem costura, -(iii) aquecer o referido tubo de aço sem costura a uma temperatura na faixa entre Ac1 e Ac3, -(iv) temperar o referido tubo de aço sem costura aquecido, de forma a estabelecer uma microestrutura bi(ou multi)fásica no aço empregado, composta de ferrite e martensita e opcionalmente bainita e/ou austenita retida, -(v) trefilar a frio o tubo de aço sem costura temperado, de forma a prover um tubo de aço de precisão sem costura das dimensões desejadas, -(vi) submeter o tubo de aço de precisão sem costura, assim obtido, a tratamento de alívio de tensões para aprimorar sua tenacidade isotrópica, e opcionalmente -(vii) retificar o tubo de aço de precisão sem costura com tenacidade aprimorada assim obtido.