



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

(21) **PI0709458-2 A2**

(22) Data de Depósito: 02/04/2007
(43) Data da Publicação: 12/07/2011
(RPI 2114)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00 2006.01
C21D 8/00 2006.01

(54) Título: **MÉTODO DE MANUFATURAR UM COMPRIMENTO DE TABULAÇÃO DE AÇO, TUBO DE AÇO SEM EMENDA MANUFATURADO COM O MÉTODO E USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA**

(30) Prioridade Unionista: 03/04/2006 US 11/395,322

(73) Titular(es): Tenaris Connections AG

(72) Inventor(es): Edgardo Oscar Lopez, Eduardo Altschuler

(74) Procurador(es): DAVID DO NASCIMENTO
ADVOGADOS ASSOCIADOS.

(86) Pedido Internacional: PCT IB07000850 de 02/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/113642 de 11/10/2007

(57) Resumo: MÉTODO DE MANUFATURAR UM COMPRIMENTO DE TUBULAÇÃO DE AÇO, TUBO DE AÇO SEM EMENDA MANUFATURADO COM O MÉTODO E USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA Trata-se de um tubo de aço de liga de baixo teor de carbono e um método de manufaturar o mesmo, especialmente para um vaso de pressão de inflador de gás armazenado, em que o tubo de aço consiste essencialmente, em peso, em: aproximadamente 0,06% a aproximadamente 0,18% de carbono, aproximadamente 0,3% a aproximadamente 1,5% de manganês, aproximadamente 0,05% a aproximadamente 0,5% de silício, até aproximadamente 0,015% de enxofre, até aproximadamente 0,025% de fósforo, e pelo menos um dos seguintes elementos: até aproximadamente 0,30% de vanádio, até aproximadamente 0,10% de alumínio, até aproximadamente 0,06% de nióbio, até aproximadamente 1% de cromo, até aproximadamente 0,70% de níquel, até aproximadamente 0,70 % de molibdênio, até aproximadamente 0,35% de cobre, até aproximadamente 0,15% de elementos residuais, e o restante de ferro e impurezas sem importância. Após uma elevada taxa de aquecimento de aproximadamente 100°C por segundo; resfriamento brusco rápido e integral da tubulação de aço em uma solução de resfriamento brusco à base de água a uma taxa de resfriamento de aproximadamente 100°C por segundo. O aço tem um limite de resistência à tração de pelo menos aproximadamente 145 ksi e tão alto quanto 220 ksi, e exibe um comportamento dúctil a temperaturas tão baixas quanto -100°C.



MÉTODO DE MANUFATURAR UM COMPRIMENTO DE TUBULAÇÃO DE AÇO, TUBO DE AÇO SEM EMENDA MANUFATURADO COM O MÉTODO E USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a tubos de aço de liga de baixo teor de carbono que têm uma resistência ultra-alta e uma excelente dureza a baixa temperatura, e também a um método de manufaturar tal tubo de aço. O tubo de aço é particularmente apropriado para a fabricação de componentes para recipientes para sistemas de contenção automotivos, um exemplo dos quais é um inflador de airbag automotivo.

Além disso, composições de aço alternativas na categoria de aço de liga de baixo teor de carbono e processos diferentes de tratamento com aplicação de calor foram desenvolvidos e testados a fim de diminuir o custo da manufatura.

BREVE DESCRIÇÃO DA TÉCNICA ANTERIOR

A publicação japonesa n°. 10-140249 [Data de depósito: 05 de novembro de 1996] e a publicação japonesa n°. 10-140283 [Data de depósito: 12 de novembro de 1996] ilustram em termos gerais a química do aço considerado útil para um inflador de airbag automotivo. Estes documentos mencionam como uma condição final a ausência do tratamento com aplicação de calor, um alívio da tensão, e uma normalização ou um resfriamento brusco e revenido. Estas publicações não mencionam a possibilidade de apenas o resfriamento brusco como uma etapa de tratamento com aplicação de calor. Nenhuma propriedade mecânica é mencionada nas reivindicações. Nos vários exemplos, somente no exemplo #21 o aço é resfriado bruscamente e revenido, mas a LRT relatado é de somente 686 MPa (99 ksi). Até mesmo as propriedades mecânicas mais altas indicadas, no exemplo # 26, são relativamente baixas, com uma

LRT máxima de 863 MPa (125 ksi). Desse modo, estas publicações referem-se a graus que são relativamente baixos (o alvo pretendido é 590 MPa (86 ksi). Além disso, estas publicações mostram uma ductilidade a baixa temperatura com um teste de tipo de peso solto de achatamento (DW) a -40°C. O teste atualmente aceito para demonstrar a ductilidade a baixa temperatura é o teste de estouro, que é mais eficiente na demonstração da fragilidade. Acredita-se que a maior parte dos exemplos mostrados nestes documentos que são alegados como dúcteis após um teste de DW, deve realmente não apresentar um comportamento dúctil a baixa temperatura em um teste de estouro e, portanto, eles não devem ser qualificados para determinadas aplicações de inflador de airbag devido a uma não conformidade aos regulamentos governamentais (por exemplo, U.S. DOT).

A publicação japonesa n°. 2001-49343 [Data de depósito: 08 de outubro de 1999] é indicada como referente somente a aços a serem utilizados na fabricação de tubos soldados com resistência elétrica (o processo de ERW). As reivindicações especificam vários aspectos do processo de ERW e de um tratamento com aplicação de calor opcional para uma normalização ou um resfriamento brusco e revenido, uma trefilação a frio ulterior opcional, um tratamento com aplicação de calor ulterior opcional (normalização ou resfriamento brusco e revenido). Este documento refere-se a somente duas químicas de aço diferentes muito gerais, uma que é um aço com baixo teor de carbono, e a outra a anotação de limites comuns em vários elementos de aliagem. Este documento não sugere a possibilidade de apenas um tratamento com aplicação de calor de resfriamento brusco. Vários exemplos são fornecidos para um material de resfriamento brusco e revenido, mas as propriedades mecânicas obtidas são relativamente baixas. O resultado máximo obtido é de 852 MPa

(123 ksi) no teste de resfriamento brusco e revenido # 18.

5 Acredita-se que a "química" do aço apresentada pela Sumitomo em cada um dos documentos JP 10-140249; JP 10-140283; JP 2001-49343; bem como a química identificada posteriormente em Kondo et al., patente U.S. 6.878.219 B2, ou na continuação publicada como US 2005/0039826 A1, definem realmente aços com tais faixas largas de modo a incluir o aço para finalidades gerais SAE 1010 tal como manufaturado e vendido nos Estados Unidos há muito tempo antes de 1990. Os
10 requerentes estão cientes que, por diversos anos, um grau de aço SAE 1010 manufaturado com tecnologias modernas normalmente garante que uma quantidade de P estará abaixo de 0,025 e uma quantidade de S estará abaixo de 0,01 tal como descrito no pedido de patente mencionado.

15 Documentos adicionais que ilustram o estado da técnica anterior nos aços para aplicações de airbag incluem Erike, US 6.386.583 B2 e várias continuações da mesma publicadas, incluindo US 2004/0074570 A1 e US 2005/0061404 A1. Estes documentos não sugerem nenhuma vantagem tal como
20 aqui ensinado de uma austenitização de indução extremamente rápida e de um resfriamento brusco com água ultra-rápido ulterior, sem falar na utilização de apenas tal resfriamento brusco rápido e não a utilização posterior de uma etapa de revenido. Além disso, o documento JP 10-140283 apresenta a
25 química de sobreposição com US 6.878.219 B2, com somente um valor máximo ligeiramente mais baixo para P (0,02) e um valor máximo ligeiramente mais alto para S (0,02). Embora a publicação de patente US 20020033591 A1 sugira amplamente a
30 possibilidade de resfriamento brusco sem revenido, as reivindicações 6 e 7 não mencionam a necessidade de resfriamento brusco a fim de obter as propriedades mecânicas reivindicadas e preferivelmente essas reivindicações requerem pelo menos dois tratamentos com aplicação de calor.

Os infladores de airbag para sistemas de contenção de ocupantes de veículos são requeridos para satisfazer padrões estruturais e funcionais rígidos. Portanto, procedimentos e tolerâncias rígidos são impostos no processo de manufatura. Embora a experiência no campo indique que a indústria tem sido bem sucedida na satisfação de padrões estruturais e funcionais do passado, propriedades incrementadas e/ou novas se fazem necessárias para satisfazer os requisitos de desenvolvimento, enquanto que ao mesmo tempo uma redução contínua nos custos de manufatura também é importante.

Os airbags ou sistemas de contenção suplementares são uma característica de segurança importante em muitos dos veículos atuais. No passado, os sistemas de airbag eram do tipo que emprega produtos químicos explosivos, mas eles são caros, e devido aos problemas ambientais e de reciclagem, nos anos recentes, um novo tipo de inflador foi desenvolvido utilizando um acumulador feito de um tubo de aço preenchido com gás argônio ou um outro, e este tipo está sendo utilizado cada vez mais.

O acumulador acima mencionado é um recipiente que em horas normais mantém o gás ou algo do gênero a uma alta pressão que é soprado em um airbag no momento da colisão de um automóvel, em um único estouro ou um estouro de múltiplos estágios. Conseqüentemente, um tubo de aço utilizado como tal acumulador deve receber uma tensão a uma taxa elevada de tensão em um período de tempo extremamente curto. Portanto, em comparação com uma estrutura simples tal como um cilindro de pressão comum, o tubo de aço descrito acima deve ter uma precisão dimensional superior, uma excelente trabalhabilidade, e soldabilidade, e sobretudo deve ter uma alta resistência, dureza, e uma excelente resistência a estouros. A precisão dimensional é também importante para

assegurar um volume muito preciso do gás que será soprado no airbag.

As propriedades de formação a frio são muito importantes nos membros tubulares utilizados na manufatura de acumuladores, uma vez que eles são moldados na forma final depois que o tubo é manufaturado. As formas diferentes dependendo da configuração do vaso serão obtidas pela formação a frio. É crucial a obtenção de vasos de pressão sem rachaduras e defeitos superficiais após a formação a frio. Além disso, também é vital que se tenha uma rigidez muito boa até mesmo a baixas temperaturas após a formação a frio.

Os aços aqui apresentados têm uma soldabilidade muito boa, e não requerem, para aplicações de acumulador de airbag, um pré-aquecimento antes da soldagem, ou um tratamento com aplicação de calor após a soldagem. O equivalente de carbono, tal como definido pela fórmula,

$$C_{eq} = \% C + \% Mn/6 + (\% Cr + \% Mo + \% V)/5 + (\% Ni + \% Cu)/15$$

deve ser menor do que aproximadamente 0,63% a fim de obter a soldabilidade requerida. À medida que o C_{eq} diminui, a soldabilidade melhora. Na realização preferida da presente invenção, o equivalente de carbono tal como definido acima deve ser menor do que aproximadamente 0,60%, preferivelmente menor do que aproximadamente 0,56%, e mais preferivelmente menor do que aproximadamente 0,52%, ou até mesmo menor do que aproximadamente 0,48%, a fim de incrementar a soldabilidade de garantia.

Para produzir um recipiente de gás, um tubo trefilado a frio produzido de acordo com a presente invenção é cortado no comprimento e então formado a frio ao utilizar tecnologias conhecidas diferentes (tais como frisagem, forjamento rotatório, ou algo do gênero) a fim de obter a forma desejada. Alternativamente, um tubo soldado poderia ser

usado. Subseqüentemente, para produzir o acumulador, uma tampa de extremidade e um difusor são soldados a cada extremidade do recipiente por qualquer tecnologia apropriada, tal como soldagem com fricção, soldagem com arco de gás tungstênio ou soldagem a laser. Estas soldas são altamente críticas e dessa maneira requerem uma mão de obra considerável, e em determinados exemplos testes para assegurar a integridade da solda por todo o vaso de pressão e aplicação do airbag. Foi observado que estas soldas podem rachar ou falhar, desse modo, arriscando a integridade do acumulador, e possivelmente a operação do airbag.

Os infladores são testados para assegurar que retenham a sua integridade estrutural durante a aplicação do airbag. Um de tais testes é o chamado teste de estouro. Este é um teste do tipo destrutivo em que uma vasilha é sujeitada a pressões internas significativamente mais altas do que aquelas esperadas durante o uso operacional normal, isto é, a aplicação do airbag. Neste teste, o inflador é sujeitado a pressões internas crescentes até ocorrer a ruptura.

Na revisão dos resultados do teste de estouro e no estudo dos espécimes de vasilha de teste destes testes, foi verificado que a fratura ocorre através de maneiras alternativas diferentes: fratura dúctil, fratura frágil, e algumas vezes uma combinação destes dois modos. Foi observado que na fratura dúctil ocorre uma ruptura produzida exemplificada por uma protuberância aberta (tal como deve ser exibido por uma bolha de estouro). A superfície rompida é inclinada a aproximadamente 45 graus com respeito à superfície exterior do tubo, e fica localizada dentro de uma área sujeita. Em uma fratura frágil, por outro lado, é exibida uma rachadura longitudinal sem retenção ao longo do comprimento do inflador, a qual é indicativa de uma zona frágil no material. Neste caso, a superfície da fratura é

normal à superfície exterior do tubo. Estes dois modos de fratura têm superfícies distintas quando observados sob um microscópio eletrônico de exploração -- as ondulações são características da fratura dúctil, ao passo que a clivagem é uma indicação da fragilidade.

Algumas vezes, uma combinação destes dois modos de fratura pode ser observada, e as rachaduras frágeis podem se propagar da área rompida dúctil. Devido ao fato que o sistema inteiro, incluindo o inflador de airbag, pode ser utilizado em veículos que operam em climas muito diferentes, é crucial que o material exiba o comportamento dúctil em uma ampla faixa de temperatura, desde temperaturas muito frias até quentes.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

Em primeiro lugar, a presente invenção refere-se primeiramente a determinados aços de liga de baixo teor de carbono novos apropriados para a formação a frio que têm um limite de resistência à tração mais do que alto (UTS de 145 ksi mínimo) e preferivelmente um limite de resistência à tração ultra alto (UTS de 160 ksi mínimo e possivelmente 175 ksi ou 220 ksi) e, conseqüentemente, uma pressão de estouro muito alta. Além disso, o aço tem uma excelente dureza a baixa temperatura, com comportamento dúctil garantido a -60°C, isto é, uma temperatura de transição de dúctil a frágil (DBTT) abaixo de -60°C, e possivelmente tão baixa quanto -100°C.

Em segundo lugar, a presente invenção também se refere a um processo de manufatura de tal tubo de aço, o qual compreende essencialmente uma nova técnica austenitização de indução rápida/resfriamento brusco a alta velocidade/sem revenido. Em um método preferido, há uma austenitização de indução extremamente rápida com uma etapa de resfriamento brusco com água ultra rápido que elimina qualquer etapa de

revenido, de modo a criar um tubo de aço de liga de baixo teor de carbono que também é apropriado para a formação a frio que tem um limite de resistência à tração ultra alto (UTS de 145 ksi mínimo e até 220 ksi) e, conseqüentemente, uma pressão de estouro muito alta. Além disso, o aço tem uma excelente dureza a baixa temperatura, com um comportamento dúctil garantido a -60°C , isto é, uma temperatura de transição de dúctil a frágil (DBTT) que fica abaixo de -60°C , e possivelmente até mesmo tão baixa quanto -100°C .

O material da presente invenção tem utilidade particular nos componentes para recipientes para componentes de sistemas de contenção automotivos, um exemplo dos quais é um inflador de airbag automotivo. A química utilizada para criar cada um dos aços aqui apresentados é nova, e será identificada daqui por diante como aço A, aço B, aço C, aço D e aço E, com as composições para cada um deles resumidas na seguinte Tabela I:

Aço	C	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Si	Cu	Al	Equ. de Carbono
A	0,10	1,23	0,002	0,008	0,11	0,05	0,34	0,002	0,023	0,27	0,24	0,035	0,38
B	0,10	1,09	0,001	0,011	0,68	0,41	0,03	0,038	0,025	0,28	0,22	0,035	0,52
C	0,11	1,16	0,001	0,010	0,64	0,47	0,03	0,053	0,026	0,25	0,22	0,028	0,55
D	0,11	1,07	0,002	0,008	0,06	0,04	0,03	0,083	0,001	0,08	0,06	0,033	0,33
E	0,10	0,47	0,001	0,011	0,04	0,02	0,05	0,001	0,002	0,19	0,07	0,027	0,20

Os resultados dos teste utilizando cada um destes aços em uma nova técnica de austenitização de indução rápida/resfriamento brusco a alta velocidade/sem revenido revelaram resultados surpreendentes e diferentes, entre as cinco composições de aço, tal como resumido na seguinte Tabela II:

Aço	Rendimento		UTS		Alongamento (%)	Dureza (HRC)	Ahctamento (DOT)	Estouro	
	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)				-60°C	-100°C
A	920	133	1230	178	22	42	OK	dúctil	dúctil
B	940	136	1217	176	22	41	OK	dúctil	N/A
C	997	144	1260	183	20	42	OK	dúctil	N/A
D	781	113	1184	172	19	32	OK	dúctil	N/A
E	552	80	827	120	26	17	OK	dúctil	N/A

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As realizações preferidas da invenção são descritas em detalhes abaixo, apenas a título de exemplo, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

5 a FIGURA I é uma microestrutura de núcleo para um resfriamento brusco a alta velocidade no aço E;

a FIGURA II mostra os testes de estouro a -60°C para um resfriamento brusco a alta velocidade no aço E;

a FIGURA III mostra a microestrutura para um resfriamento brusco normal no aço E;

10 a FIGURA IV mostra uma microestrutura de núcleo de resfriamento brusco a alta velocidade no aço D;

a FIGURA V mostra o teste de estouro a -60°C para um resfriamento brusco a alta velocidade no aço D;

15 a FIGURA VI mostra a microestrutura para um resfriamento brusco normal no aço D.

DESCRIÇÃO DAS REALIZAÇÕES PREFERIDAS

Embora a presente invenção seja suscetível a realizações em várias formas, será descrita em seguida uma realização atualmente preferida, devendo ficar compreendido
20 que a presente descrição deve ser considerada como uma exemplificação da invenção e não se presta a limitar a invenção à realização específica ilustrada.

A presente invenção refere-se à tubulação de aço a ser utilizada para vasos de pressão de inflador de gás
25 armazenado. Mais particularmente, a presente invenção refere-se a um grau de aço de baixo teor de carbono de resistência ultra alta para aplicações de vasos de pressão sem emendas com um comportamento dúctil garantido a -60°C , isto é, uma temperatura de transição de dúctil a frágil abaixo de -60°C ,
30 e possivelmente até mesmo tão baixa quanto -100°C .

Mais particularmente, a presente invenção refere-se uma composição química e um processo de manufatura para obter uma tubulação de aço sem emenda a ser utilizada para

manufaturar um inflador.

Uma ilustração esquemática de um método de produção de aço de baixo teor de carbono de resistência ultra alta sem emenda poderia ser tal como segue:

- 5 1. Fabricação do aço
2. Vazamento do aço
3. Laminação a quente do tubo
4. Operações de acabamento oco laminado a quente
5. Trefilação a frio
- 10 6. Austenitização com resfriamento brusco (sem revenido)
7. Operações de acabamento de tubo trefilado a frio

Um dos objetivos principais do processo de
15 fabricação de aço consiste em refinar o ferro pela remoção de carbono, silício, enxofre, fósforo e manganês. Particularmente, o enxofre e fósforo são prejudiciais para o aço porque eles pioram as propriedades mecânicas do material. A metalurgia de panela de fundição é utilizada antes ou
20 depois do processamento básico para executar as etapas específicas de purificação que permitem um processamento mais rápido na operação de fabricação de aço básica.

O processo de fabricação de aço é executado sob uma prática limpa extrema a fim de obter um teor de enxofre e
25 fósforo muito baixo, o que é por sua vez crucial para obter a alta rigidez requerida pelo produto. Consequentemente, o objetivo de um nível de inclusão de 2 ou menos -- série fina -- e um nível de 1 ou menos -- série pesada -- sob as diretrizes da Norma E45 da ASTM - Método de Pior Campo
30 (Método A) foi imposto. Na realização preferida da presente invenção, o teor máximo de microinclusão tal como medido de acordo com o padrão acima mencionado deve ser:

Tipo de inclusão	Fina	Pesada
------------------	------	--------

A	0,5	0
B	1,5	1,0
C	0	0
D	1,5	0,5

Além disso, a prática limpa extrema permite obter um teor de inclusão de tamanho excessivo com 30 µm ou menos no tamanho. Estes teores de inclusão são obtidos, limitando o teor de oxigênio total a 20 ppm.

5 A prática limpa extrema na metalurgia secundária é executada ao borbulhar gases inertes na fornalha da panela de fundição para forçar a inclusão e a impurezas a flutuar. A produção de uma escória fluida com capacidade de absorver impurezas e inclusões, e a modificação do tamanho e da forma
10 das inclusões através da adição de SiCa ao aço líquido, produz um aço de alta qualidade com baixo teor de inclusões.

EXEMPLOS UTILIZANDO AÇOS DE LIGA DE BAIXO TEOR DE CARBONO

A composição química do aço obtido será tal como segue, e em cada caso "%" significa "por cento de massa":

15 Carbono (C)

O C é um elemento que aumenta de maneira barata a resistência do aço, mas se o seu teor for menor do que 0,06% é difícil obter a resistência desejada. Por outro lado, se o aço tiver um teor de C de mais de 0,18%, então a
20 trabalhabilidade, a soldabilidade e a dureza diminuem. Portanto, a faixa do teor de C varia de 0,06% a 0,18%. Uma faixa preferida para o teor de C varia 0,07% a 0,12%, e uma faixa ainda mais preferida varia de 0,10 a 0,12%.

Manganês (Mn)

25 O Mn é um elemento que é eficaz no aumento da temperabilidade do aço e, portanto, aumenta a resistência e a dureza. Se o teor for menor do que 0,3%, é difícil de obter a resistência desejada, ao passo que se exceder 1,5% então as estruturas ficam marcadas e a dureza diminui.
30 Conseqüentemente, o teor de manganês varia de 0,3% a 1,5%,

com uma faixa preferida do manganês de 0,60 a 1,40%.

Silício (Si)

O Si é um elemento que tem um efeito desoxidante durante o processo de fabricação de aço e também aumenta a
5 resistência do aço. Se o teor de silício for menor do que 0,05%, o aço é suscetível à oxidação, por outro lado, se exceder 0,50%, então a dureza e a trabalhabilidade diminuem. Portanto, o teor de silício varia de 0,05% a 0,5%, e uma faixa preferida do silício varia de 0,05% a 0,40%.

10 Enxofre (S)

O S é um elemento que faz com que a dureza do aço diminua. Conseqüentemente, o teor de S é limitado a 0,015% no máximo. Um valor máximo preferido é de 0,010%.

Fósforo (P)

15 O P é um elemento que faz com que a dureza do aço diminua. Conseqüentemente, o teor de P é limitado a 0,025% no máximo. Um valor máximo preferido é de 0,02%.

Níquel (Ni)

20 O Ni é um elemento que aumenta a resistência e a dureza do aço, mas é muito caro, portanto por razões de custo o Ni é limitado a 0,70% no máximo. Um valor máximo preferido é de 0,50%.

Cromo (Cr)

25 O Cr é um elemento que é eficaz no aumento da resistência, da dureza e da resistência à corrosão do aço. Se exceder 1%, a dureza nas zonas de soldagem diminui de maneira marcante. Conseqüentemente, o teor de Cr é limitado ao máximo a 1,0%, e um teor máximo preferido do Cr é de 0,80%.

Molibdênio (Mo)

30 O Mo é um elemento que é eficaz no aumento da resistência do aço e contribui para retardar o amolecimento durante o revenido, mas é muito caro. Conseqüentemente, o teor de Mo é limitado a 0,7% no máximo, e um teor máximo

preferido do Mo é de 0,50%.

Vanádio (V)

O V é um elemento que é eficaz no aumento da resistência do aço, mesmo se for adicionado em quantidades pequenas, e permite retardar o amolecimento durante o revenido. No entanto, esta ferroliga é cara, forçando a necessidade de reduzir o teor máximo. Portanto, o V é limitado a 0,3% no máximo, com um máximo preferido de 0,20%.

As faixas preferidas para outros elementos não listados acima são tal como segue:

<u>Elemento</u>	<u>% em Peso</u>
Alumínio	0,10% no máximo
Nióbio	0,06% no máximo
Sn	0,05% no máximo
Sb	0,05% no máximo
Pb	0,05% no máximo
As	0,05% no máximo

Os elementos residuais em uma única panela de fundição de aço utilizados para produzir tubulação ou câmaras devem ser:

$$\text{Sn+Sb+Pb+As} \leq 0,15\% \text{ no máximo, e}$$

$$\text{S} + \text{P} \leq 0,025$$

A etapa seguinte é o vazamento do aço para produzir uma barra de aço sólida que pode ser perfurada e laminada para formar um tubo de aço sem emenda. O aço é moldado na aciaria como um tarugo sólido redondo, que tem um diâmetro uniforme ao longo do eixo do aço.

O tarugo cilíndrico sólido de aço limpo ultra elevado é aquecido até uma temperatura de aproximadamente 1.200/C a 1.300°C, e submetido neste momento ao processo na usina de laminação. Preferivelmente, o tarugo é aquecido até uma temperatura de aproximadamente 1.250°C, e passado então

através da usina de laminação. O tarugo é perfurado, utilizando preferivelmente o processo Manessmann conhecido, e subseqüentemente o diâmetro exterior e a espessura de parede são reduzidos substancialmente enquanto o comprimento é
5 aumentado substancialmente durante a laminação a quente. Por exemplo, uma barra sólida com um diâmetro exterior de 148 mm é laminada a quente como um tubo laminado a quente com um diâmetro exterior de 48,3 mm, com uma espessura de parede de 3,25 mm.

10 A redução da área em seção transversal, medida como a relação entre a área em seção transversal do tarugo sólido e a área em seção transversal do tubo laminado a quente, é importante a fim de obter uma microestrutura refinada, é necessário obter as propriedades mecânicas desejadas.
15 Portanto, a redução mínima da área em seção transversal é de aproximadamente 15:1, com as reduções mínimas preferidas e mais preferidas da área em seção transversal de aproximadamente 20:1 e aproximadamente 25:1, respectivamente.

O tubo de aço laminado a quente sem emenda ultra
20 altamente limpo manufaturado dessa maneira é resfriado até a temperatura ambiente. O tubo de aço laminado a quente sem emenda ultra altamente limpo manufaturado dessa maneira tem uma espessura de parede aproximadamente uniforme, tanto
circunferencialmente em torno do tubo quanto
25 longitudinalmente ao longo do eixo do tubo.

O tubo laminado a quente é passado então através de etapas de acabamento diferentes, por exemplo, cortado no comprimento em dois a quatro pedaços, e as suas extremidades aparadas, endireitadas em um equipamento endireitador
30 giratório conhecido caso necessário, e testado de maneira não-destrutiva por uma ou mais de técnicas conhecidas diferentes, tais como o teste eletromagnético ou o teste de ultra-som.

A superfície de cada pedaço do tubo laminado a quente é condicionada então corretamente para a trefilação a frio. Este condicionamento inclui a decapagem por imersão em solução ácida, e a aplicação de uma camada apropriada de lubrificantes, tal como a combinação conhecida de fosfato de zinco e estearato de sódio, ou óleo reativo. Após o condicionamento de superfície, o tubo sem emenda é trefilado a frio, sendo puxado através de uma matriz externa que tem um diâmetro menor do que o diâmetro exterior do tubo que está sendo trefilado. Na maior parte dos casos, a superfície interna do tubo também é suportada por um mandril interno ancorado a uma extremidade de uma haste, de modo que o mandril permanece perto da matriz durante a trefilação. Esta operação de trefilação é executada sem a necessidade de aquecer previamente o tubo acima da temperatura ambiente.

O tubo sem emenda é então trefilado a frio pelo menos uma vez, e cada passagem reduz o diâmetro exterior e a espessura de parede do tubo. O tubo de aço trefilado a frio manufaturado dessa maneira tem um diâmetro exterior uniforme ao longo do eixo do tubo, e uma espessura de parede uniforme circunferencial em torno do tubo e longitudinalmente ao longo do eixo do tubo. O tubo trefilado a frio dessa maneira tem um diâmetro exterior preferivelmente entre 10 e 70 mm, e uma espessura de parede preferivelmente de 1 a 4 mm.

O tubo trefilado a frio é então tratado a quente em uma fornalha de austenitização a uma temperatura pelo menos igual à temperatura de austenitização superior, ou A_{c3} (que, para a química específica aqui apresentada, é de aproximadamente 880°C), mas preferivelmente acima de aproximadamente 920°C e abaixo de aproximadamente 1.050°C . Esta temperatura de austenitização máxima é imposta a fim de evitar o engrossamento dos grãos. Este processo pode ser executado em um forno de combustível ou em um forno de

indução, mas preferivelmente neste último. O tempo de trânsito no forno dependente bastante do tipo de forno utilizado. Foi verificado que a alta qualidade de superfície requerida por esta aplicação é melhor obtida se um tipo de
5 forno de indução for utilizado. Isto é devido à natureza do processo de indução, em que tempos muito curtos de trânsito são envolvidos, impossibilitando a ocorrência de oxidação. Preferivelmente, a taxa de austenitização com aquecimento é de pelo menos aproximadamente 100°C por segundo, mas mais
10 preferivelmente de pelo menos aproximadamente 200°C por segundo. A taxa de aquecimento extremamente elevada e, conseqüentemente, tempos de aquecimento muito baixos, são importantes para obter uma microestrutura de grão muito fina, que garante por sua vez as propriedades mecânicas requeridas.

15 Além disso, um fator de enchimento apropriado, definido como a relação entre a área redonda definida pelo diâmetro exterior do tubo e a área redonda definida pelo diâmetro interno da bobina do forno de indução, é importante para obter as taxas de aquecimento elevadas requeridas. O
20 fator de enchimento mínimo é de aproximadamente 0,16, e um fator de enchimento mínimo preferido é de aproximadamente 0,36.

Na zona de saída do forno ou perto da mesma, o tubo é resfriado bruscamente por meio de um fluido de resfriamento brusco apropriado. O fluido de resfriamento brusco é
25 preferivelmente a água ou uma solução de resfriamento brusco à base de água. A temperatura do tubo cai rapidamente até a temperatura ambiente, preferivelmente a uma taxa de pelo menos aproximadamente 100°C por segundo, e mais
30 preferivelmente a uma taxa de pelo menos aproximadamente 200°C por segundo. Esta taxa de resfriamento extremamente elevada é crucial para obter uma transformação completa da microestrutura.

Em uma técnica onde uma etapa de revenido é empregada, o tubo de aço é então revenido com uma temperatura e um tempo de ciclo apropriados, a uma temperatura abaixo de A_{c1} . Preferivelmente, a temperatura de revenido fica compreendida entre aproximadamente 400 e 600°C, e mais preferivelmente entre aproximadamente 450 e 550°C. Alternativamente, a temperatura de revenido pode ficar compreendida entre 200°C e 600°C, e mais preferivelmente entre 250°C e 550°C. O tempo de encharcamento deve ser suficientemente longo para garantir uma homogeneidade muito boa da temperatura, mas se for demasiadamente longo as propriedades mecânicas desejadas não são obtidas. Esta etapa de revenido é executada preferivelmente em uma atmosfera de proteção redutora ou neutra para evitar a descarburização e/ou a oxidação do tubo.

Em um método preferido, a etapa de revenido é eliminada e é empregado somente um resfriamento brusco a alta velocidade utilizando a água ou soluções à base de água, tal como descrito acima.

A fim de obter um resfriamento brusco a alta velocidade, o seguinte equipamento é o preferido, mas não requerido. Uma linha de resfriamento brusco com uma capacidade total de 2.200 kg por hora, segue um forno de indução com uma potência máxima de indutor estipulada em 500 Kw. Um resfriador brusco de coluna emprega 42 linhas com 12 bocais em cada linha. O fluxo de resfriamento brusco de água é ajustado em uma faixa de 10 a 60 m³ por hora, e a velocidade de avanço do tubo é controlada de 5 a 25 metros por minuto. Adicionalmente, em seguida rolos de constrição são configurados para produzir uma rotação sobre o tubo.

O tubo de aço de resistência ultra alta manufaturado dessa maneira é passado através de etapas de acabamento diferentes, endireitado em um equipamento

endireitador giratório conhecido, e testado de maneira não-destrutiva por uma ou mais técnicas conhecidas diferentes. Preferivelmente, para este tipo de aplicações, tubos devem ser testados por meio de técnicas de ultra-som e eletromagnéticas conhecidas.

A tubulação depois do tratamento com aplicação de calor pode ser quimicamente processada para obter um tubo com uma aparência desejável e aspereza de superfície muito baixa. Por exemplo, o tubo poderia ser decapado em uma solução de ácido sulfúrico e ácido clorídrico, fosfatado ao utilizar fosfato de zinco, e banhado em óleo ao utilizar um óleo à base de petróleo, um óleo à base de água, ou um óleo mineral.

Um tubo de aço obtido pelo primeiro ou segundo métodos descritos tem as seguintes propriedades mecânicas mínimas:

Limite convencional de elasticidade:
aproximadamente 110 ksi (758 MPa) no mínimo

Limite de resistência à tração:

aproximadamente 145 ksi (1.000 MPa) no mínimo

Alongamento: aproximadamente 9% no mínimo

O limite convencional de elasticidade, o limite de resistência à tração e o alongamento devem ser executados de acordo com os procedimentos descritos nas Normas E8 da ASTM. Para o teste de tensão, um espécime de tamanho integral para avaliar toda a seção tubular é o preferido.

O teste de achatamento deve se conformar aos requisitos da Especificação DOT 39 do 49 CFR, Parágrafo 178.65. Portanto, uma seção do tubo não irá rachar quando achatada com uma ferramenta em forma de V angulada a 60 graus, até que os lados opostos sejam afastadas seis vezes a espessura de parede do tubo. Este teste é totalmente satisfeito pelo aço desenvolvido.

A fim de obter um bom equilíbrio entre a

resistência e a dureza, o tamanho de grão austenítico anterior (algumas vezes indicada como a primeira) deve ser preferivelmente 7 ou mais fino, e mais preferivelmente 9 ou mais fino, tal como medido de acordo com a norma E-112 da
5 ASTM. Isto ocorre graças ao ciclo de aquecimento extremamente curto durante a austenitização.

O tubo de aço obtido pelo método descrito deverá ter as propriedades indicadas a fim de preencher os requisitos indicados para a invenção.

10 A demanda da indústria está empurrando continuamente os requisitos de aspereza para valores mais baixos. A presente invenção tem uma boa aparência visual, com, por exemplo, um acabamento de superfície da tubulação terminada de 3,2 micra no máximo, nas superfícies externas e
15 nas internas. Este requisito é obtido através de trefilação a frio, tempos de austenitização curtos, revenido em atmosfera redutora ou neutra, e um condicionamento químico de superfície adequado em etapas diferentes do processo.

Um teste de pressão de hidroestouro será realizado
20 ao vedar as extremidades da seção do tubo, por exemplo, ao soldar placas de aço lisas às extremidades do tubo. É importante que uma seção do tubo de 300 mm permaneça livre de restrições de modo que a tensão de aro total possa ser desenvolvida. A pressurização da seção do tubo será executada
25 ao bombear óleo, água, álcool ou uma mistura destes.

O requisito da pressão de teste de estouro depende do tamanho do tubo. Quando testado quanto ao estouro, o tubo de aço sem emenda de resistência ultra alta tem um comportamento dúctil garantido a -60°C . Os testes realizados
30 nas amostras produzidas mostra que este grau tem um comportamento dúctil garantido a -60°C , com uma temperatura de transição de dúctil a frágil abaixo de -60°C .

Os autores da presente invenção descobriram que um

revelaram características significativamente mais pobres.

Processo de Resfriamento Brusco a Alta Velocidade e sem Revenido Com a Inclusão Alternativa de Aços de Custo Mais Baixo de Acordo com o Método Preferido

5 Os parâmetros utilizados para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade nas amostras de aço E foram tal como segue: Fluxo da água de 40 m³/h; Velocidade de avanço do tubo de 20 m/min.; Potência do indutor de 80%; Temperatura de austenitização: 880 - 940°, visada 920°; 10 Transformação de martensita na superfície do OD e no material de núcleo foi observada.

A Figura 1 mostra o material de núcleo com 100% de transformação de martensita para o aço E.

O aço E, que tem uma química similar a um aço de 15 grau SAE 1010 de liga baixa, não atingiu os valores previstos mínimos quando sujeitado ao resfriamento brusco a alta velocidade.

Os resultados dos testes foram tal como segue:

Amostra	LCE (MPa)	LCE (psi)	% de Alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
20487	561	81,414	26	835	121,140
20477	570	82,680	32	827	119,988
20478	538	78,086	32	802	116,446
20479	552	80,177	32	831	120,613

20 Analogamente, o teste de estouro a baixa temperatura (-60°C) foi realizado a fim de observar o comportamento e o tipo de rachadura. A Figura II mostra as amostras do teste de estouro para o aço E. Ambas apresentaram um comportamento dúctil.

Um teste de controle no aço E envolveu a execução 25 de um processo de resfriamento brusco normal, cujos resultados são tal como segue:

Amostra	LCE (MPa)	LCE (psi)	% de Alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
20480	478	69,367	28	721	104,683
20481	469	68,059	32	713	103,531
20482	497	72,226	32	714	103,574

20483	478	69,367	32	703	102,009
-------	-----	--------	----	-----	---------

A Figura III apresenta as estruturas de núcleo para o aço E ao utilizar o processo de resfriamento brusco normal. Alguma estrutura de ferrita é observada ao longo da espessura de parede.

5 Foi descoberto que o aço D é muito promissor por causa do desempenho elevado para o valor de custo que ele apresentou. O aço D foi selecionado para manufaturar a tubulação de acordo com o método preferido. A composição química medida das amostras do aço D que foram utilizadas
10 para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade era tal como segue:

Elemento	Valor porcentual
C	0,11
Mn	1,07
S	0,002
P	0,008
Si	0,08
V	0,08
Al	0,03
Nb	0,008

Os parâmetros utilizados para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade em amostras do aço D foram tal como segue:

15 O processo de resfriamento brusco foi executado ao controlar a temperatura de austenita a 920 - 940°C. Fluxo da água de 40 m³/h.

Velocidade de avanço do tubo de 10 m/min.

Potência do indutor de 62% da capacidade total (500
20 Kw)

Uma rotação sobre o tubo foi obtida com um ângulo de rolos de constrição de 17 graus

Os resultados dos testes de resfriamento brusco a alta velocidade em amostras do aço D foram tal como segue:

Amostra	LCE (Mpa)	LCE (psi)	% de alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
19605	860	124,810	20	1.209	175,388

19606	781	113,360	19	1.184	171,860
-------	-----	---------	----	-------	---------

A Figura IV mostra uma microestrutura de aço D de resfriamento brusco a alta velocidade que apresenta a martensita a 100% e uma transformação completamente resfriada bruscamente.

5 Analogamente, os testes de estouro a baixa temperatura (-60°C) foram realizados a fim de observar o comportamento e o tipo de rachadura. A Figura V mostra as amostras do teste de estouro para o aço D. Ambas apresentaram um comportamento dúctil.

10 Um teste de controle no aço D que envolve um processo de resfriamento brusco normal foi executado, cujos resultados são tal como segue:

Amostra	LCE (Mpa)	LCE (psi)	% de alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
19609	618	89,635	24	861	124,952
19610	586	85,060	24	882	127,967

A Figura VI apresenta as estruturas de núcleo para o aço D ao utilizar o processo de resfriamento brusco normal.

15 O aço B foi selecionado para manufaturar a tubulação de acordo com o método preferido. A composição química medida das amostras do aço B que foram utilizadas para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade era tal como segue:

Elemento	Valor porcentual
C	0,10
Mn	1,09
S	0,001
P	0,011
Si	0,28
V	0,038
Cr	0,68
Mo	0,41
Nb	0,005

20 Os parâmetros utilizados para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade em amostras do aço B eram tal como segue:

O processo de resfriamento brusco foi realizado ao

utilizar o controle de uma temperatura de austenita a 920 - 940°C. Fluxo da água de 40 m³/h

Velocidade de avanço do tubo de 10 m/min.

Potência do indutor de 70% da capacidade total (500

5 Kw)

Uma rotação sobre o tubo foi obtida com um ângulo de rolos de constrição de 17 graus

Os resultados do teste para o resfriamento brusco a alta velocidade nas amostras do aço B eram tal como segue:

Amostra	LCE (Mpa)	LCE (psi)	% de alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
25222	940	136	22	1.217	176
25002	914	132	24	1.206	175

10 Analogamente, os testes de estouro a baixa temperatura (-60°C) foram realizados no aço B a fim de observar o comportamento e o tipo de rachadura. Ambos apresentaram um comportamento dúctil.

15 O aço A foi selecionado para manufaturar a tubulação de acordo com o método preferido. A composição química medida das amostras do aço A que foram utilizadas para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade era tal como segue:

Elemento	Valor porcentual
C	0,10
Mn	1,23
S	0,002
P	0,008
Si	0,27
V	0,002
Al	0,035
Cr	0,11
Mo	0,05
Nb	0,34

20 Os parâmetros utilizados para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade em amostras do aço A eram tal como segue:

O processo de resfriamento brusco foi realizado ao controlar a temperatura da austenita e 920 - 940°C.

Fluxo da água de 50 m³/h

Velocidade de avanço do tubo 20 m/min.

Potência do indutor de 90% da capacidade total (500 Kw)

Uma rotação sobre o tubo foi obtida com um ângulo de rolos de constrição de 17 graus.

Os resultados para os testes de resfriamento brusco a alta velocidade em amostras do aço A eram tal como segue:

Amostra	LCE (Mpa)	LCE (psi)	% de alongamento	LRT (MPa)	LRT (psi)
20313	920	133	22	1.230	178
21442	83	128	20	1.195	173

Analogamente, os testes de estouro a baixa temperatura (-60°C e -10°C) foram realizados no aço A a fim de observar o comportamento e o tipo de rachadura, e ambos apresentaram um comportamento dúctil.

Testes de Controle Com Um Resfriamento Brusco Elevado Seguido Por um Processo de Revenido Com Aços de Custo Mais Baixo Alternativos

Uma vez que foi verificado que as amostras do aço D preferido resultam em valores mecânicos surpreendentes com o uso de um resfriamento brusco a alta velocidade de acordo com o método preferido, um revenido foi então executado a fim de determinar o efeito da adição de um revenido nas propriedades mecânicas.

Um tratamento com aplicação de calor de revenido foi realizado a 580°C por uma duração total de quinze minutos. A média do LRT era de 116 Ksi (805 MPa), que não satisfaz os valores previstos.

Embora as realizações preferidas da presente invenção tenham sido mostradas e descritas a fim de satisfazer a descrição e os requisitos de capacitação do USC §112, deve ficar compreendido que o âmbito da invenção não fica limitado a nenhuma realização que tenha sido descrita, mas deve ser unicamente definido pelo âmbito das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE MANUFATURAR UM COMPRIMENTO DE TUBULAÇÃO DE AÇO, particularmente para um vaso de pressão de inflador de gás armazenado, caracterizado pelo fato de
5 compreender as seguintes etapas:

- produção de um comprimento de tubulação a partir de um material de aço que consiste em, em peso: 0,07% a 0,12% de carbono, 0,60% a 1,40% de manganês, 0,05% a 0,40% de silício, até 0,010% de enxofre, até 0,02% de fósforo, e pelo
10 menos um dos seguintes elementos: até 0,20% de vanádio, até 0,07% de alumínio, até 0,04% de nióbio, até 0,8% de cromo, até 0,50% de níquel, até 0,50% de molibdênio, até 0,35% de cobre, até 0,15% de elementos residuais, em que os ditos elementos compreendem Sn, Sb, Pb ou As em até 0,05% cada um,
15 e o restante de ferro e impurezas sem importância;

- sujeição da tubulação de aço a um processo de trefilação a frio para obter as dimensões desejadas;

- austenitização através de aquecimento da tubulação de aço trefilada a frio em um forno do tipo de
20 austenitização de indução até uma temperatura de pelo menos Ac3, a uma taxa de aquecimento de pelo menos 100°C por segundo;

- após a etapa de austenitização, resfriamento brusco da tubulação de aço em um fluido de resfriamento
25 brusco até a tubulação alcançar a temperatura aproximadamente ambiente, a uma taxa de resfriamento de pelo menos 100°C por segundo, e o método é completado pela etapa de resfriamento brusco sem empregar uma etapa subsequente de revenido,

em que o tubo de aço tem um limite de resistência à
30 tração de pelo menos 160 ksi e tem uma temperatura de transição de dúctil a frágil abaixo de -60°C, e preferivelmente abaixo de -100°C.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de que o tubo de aço tem um equivalente de carbono menor do que 0,52%, em que o equivalente de carbono é determinado de acordo com a fórmula:
$$C_{eq} = \% C + \% Mn/6 + (\% Cr + \% Mo + \% V)/5 + (\% Ni + \% Cu)/15.$$

5 3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o tubo de aço tem um equivalente de carbono menor do que 0,48%, em que o equivalente de carbono é determinado de acordo com a fórmula:
$$C_{eq} = \% C + \% Mn/6 + (\% Cr + \% Mo + \% V)/5 + (\% Ni + \% Cu)/15.$$

10 4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a tubulação de aço acabada tem um alongamento à ruptura de pelo menos 9%.

 5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa de austenitização com aquecimento, a tubulação de aço é aquecida até uma temperatura entre 860 e 1.050°C.

 6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa de austenitização com aquecimento, a tubulação de aço é aquecida a uma taxa de pelo menos 200°C por segundo.

 7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa de resfriamento brusco, a tubulação de aço é resfriada a uma taxa de pelo menos 200°C por segundo.

25 8. TUBO DE AÇO SEM EMENDA MANUFATURADO COM O MÉTODO, caracterizado pelo fato de que o tubo de aço tem um limite de resistência à tração de pelo menos 160 ksi, e tem uma temperatura de transição de dúctil a frágil abaixo de -60°C, e preferivelmente abaixo de -100°C, sendo o dito método tal como reivindicado em 1.

 9. TUBO DE AÇO SEM EMENDA, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o equivalente de carbono é menor do que 0,52%, em que o equivalente de

carbono é determinado de acordo com a fórmula: $C_{eq} = \% C + \% Mn/6 + (\% Cr + \% Mo + \% V)/5 + (\% Ni + \% Cu)/15$.

5 10. TUBO DE AÇO SEM EMENDA, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, caracterizado pelo fato de que o tubo de aço é um vaso de pressão de inflador de gás armazenado.

11. TUBO DE AÇO SEM EMENDA, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, caracterizado pelo fato de que o tubo de aço é um inflador de airbag automotivo.

10 12. USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA, caracterizado pelo fato de servir para um vaso de pressão de inflador de gás armazenado, sendo o dito tubo de aço sem emenda tal como reivindicado em 8.

15 13. USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA, caracterizado pelo fato de servir para um inflador de airbag automotivo, sendo o dito tubo de aço sem emenda tal como reivindicado em 8.

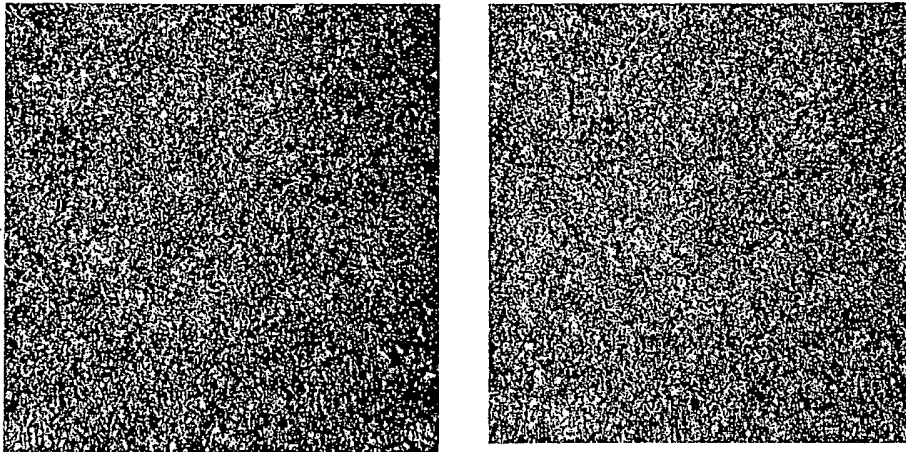


Fig. I - Resfriamento brusco a alta velocidade do aço E

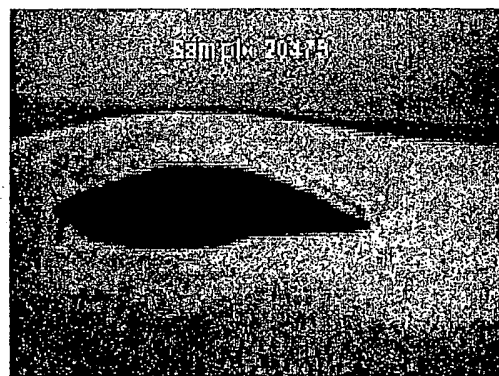
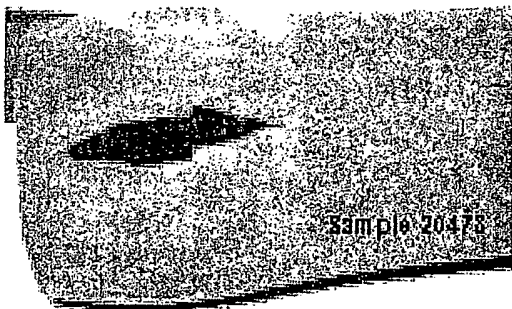


Fig. II - Testes de estouro a -60°C para o resfriamento brusco a alta velocidade do aço E. Comportamento dúctil

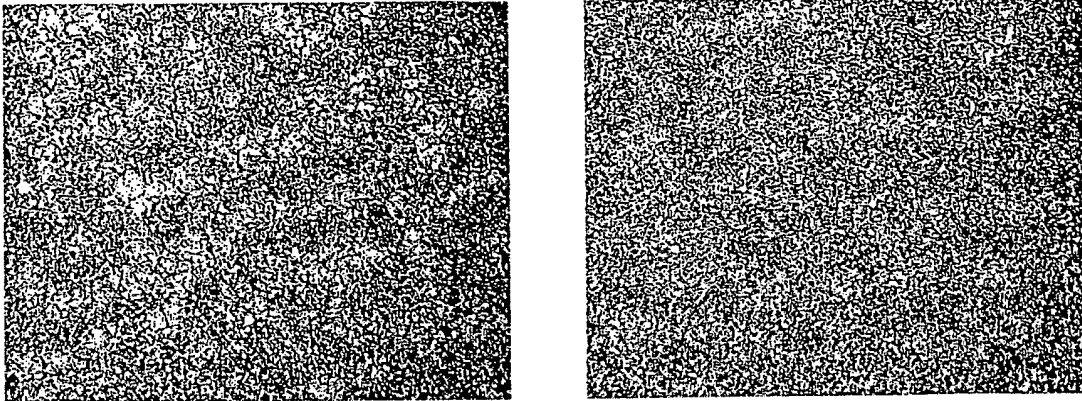


Fig. III - Resfriamento brusco normal do aço E

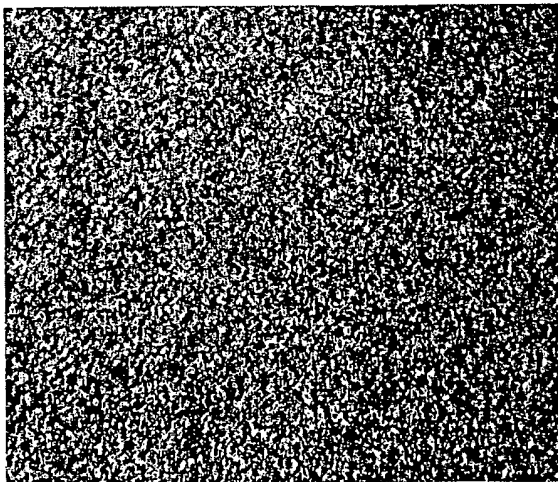


Fig. IV - Resfriamento brusco a alta velocidade do aço D

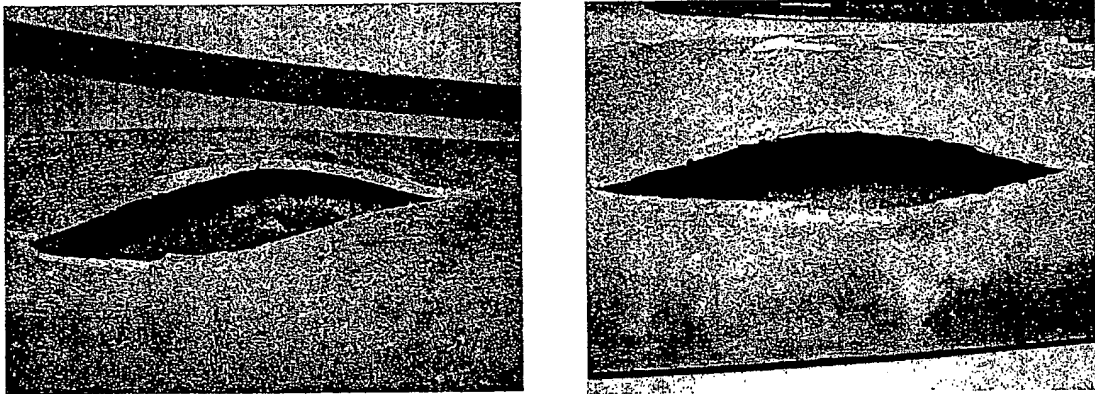


Fig. V - Testes de estouro a -60°C para o resfriamento brusco a alta velocidade do aço D. Comportamento dúctil

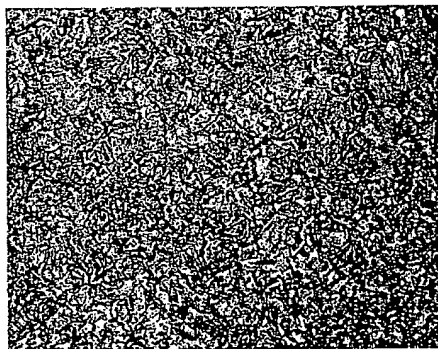


Fig. VI - Micro-estrutura para o resfriamento brusco normal do aço D.

RESUMO

MÉTODO DE MANUFATURAR UM COMPRIMENTO DE TUBULAÇÃO DE AÇO, TUBO DE AÇO SEM EMENDA MANUFATURADO COM O MÉTODO E USO DE UM TUBO DE AÇO SEM EMENDA

5 Trata-se de um tubo de aço de liga de baixo teor de carbono e um método de manufaturar o mesmo, especialmente para um vaso de pressão de inflador de gás armazenado, em que o tubo de aço consiste essencialmente, em peso, em: aproximadamente 0,06% a aproximadamente 0,18% de carbono, aproximadamente 0,3% a aproximadamente 1,5% de manganês, 10 aproximadamente 0,05% a aproximadamente 0,5% de silício, até aproximadamente 0,015% de enxofre, até aproximadamente 0,025% de fósforo, e pelo menos um dos seguintes elementos: até aproximadamente 0,30% de vanádio, até aproximadamente 0,10% 15 de alumínio, até aproximadamente 0,06% de nióbio, até aproximadamente 1% de cromo, até aproximadamente 0,70% de níquel, até aproximadamente 0,70 % de molibdênio, até aproximadamente 0,35% de cobre, até aproximadamente 0,15% de elementos residuais, e o restante de ferro e impurezas sem 20 importância. Após uma elevada taxa de aquecimento de aproximadamente 100°C por segundo; resfriamento brusco rápido e integral da tubulação de aço em uma solução de resfriamento brusco à base de água a uma taxa de resfriamento de aproximadamente 100°C por segundo. O aço tem um limite de 25 resistência à tração de pelo menos aproximadamente 145 ksi e tão alto quanto 220 ksi, e exibe um comportamento dúctil a temperaturas tão baixas quanto -100°C.