



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

(21) **PI 0710722-6 A2**

(22) Data de Depósito: 11/04/2007
(43) Data da Publicação: 31/01/2012
(RPI 2143)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00
C22C 38/38
F02M 55/02
F16L 9/02

(54) **Título:** TUBULAÇÃO EM AÇO COMO TUBULAÇÃO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

(30) **Prioridade Unionista:** 13/04/2006 JP 2006-110471

(73) **Titular(es):** Sumitomo Metal Industries LTD., Usui Kokusai Sangyo Kaisha, Ltd

(72) **Inventor(es):** Katsunori Nagao, Keisuke Hitoshio, Kikuo Asada, Osamu Endo

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

(86) **Pedido Internacional:** PCT JP2007057949 de 11/04/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/119734de 25/10/2007

(57) **Resumo:** TUBULAÇÃO EM AÇO COMO TUBULAÇÃO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL L. A presente invenção tem por objetivo fornecer uma tubulação em aço como tubulação de injeção de combustível com material de alta resistência, alto limite de pressão interna livre de falha por fadiga, prolongada resistência à fadiga, e alta confiabilidade. A dita tubulação em aço como tubulação de injeção de combustível de 500 N/m² ou maior resistência a tensão compreendendo, por massa, C: 0,12 a 0,27%, Si: 0,05 a 0,40%, e Mn: 0,8 a 2,0%, e o balanço sendo com Fe e impurezas, o teor de Ca, P e S nas impurezas sendo: Ca: 0,001% ou menos, P: 0,02% ou menos, e S 0,01% ou menos, respectivamente, caracterizado pelo diâmetro máximo das inclusões não metálicas apresentar, pelo menos numa região que se estende da superfície interna da tubulação em aço até uma profundidade de 20 µm, 20 µm ou menos. Além disso, esta tubulação em aço pode conter, no lugar de uma porção de Fe, pelo menos um selecionado entre Cr: 1% ou menos, Mo: 1% ou menos; Ti: 0,04% ou menos, Nb: 0,04% ou menos, e V: 0,1% ou menos.

“TUBULAÇÃO EM AÇO COMO TUBULAÇÃO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL”

Campo Técnico

A presente invenção relaciona-se a um tubo de aço usado para injetar
5 combustível em uma câmara de combustão, e mais em particular a um tubo de aço
como um tubo de injeção de combustível para fornecer gotas de combustível nas
câmaras de combustão de motores diesel.

Fundamentos da Arte

Medidas para se prevenir a futura depleção de recursos de energia
10 estão sendo feitas intensivamente inclusive movimentos para promover economia de
energia e reciclagem de recursos, e o desenvolvimento de tecnologia de permitir esses
movimentos.

Nos últimos anos, um esforço intenso tem sido feito no mundo inteiro
para diminuir as emissões de CO₂ que ocorrem na combustão de combustível para
15 prevenir o aquecimento global.

Os exemplos de motores de combustão interna com baixas emissões de
CO₂ incluem motores diesel usados em automóveis. Contudo, embora as emissões de
CO₂ sejam baixas, o motor diesel tem um problema de emissão de fumaça preta. A
fumaça preta ocorre quando não há bastante oxigênio no combustível que é injetado.
20 Isto é, uma reação de desidrogenação ocorre devido a decomposição térmica
parcial do combustível, produzindo um precursor da fumaça preta. Este precursor
decompõe-se termicamente novamente, e aglomera e coalesce, resultando em fumaça
preta. Esta fumaça preta causa a poluição do ar e adversamente afeta o corpo
humano.

25 A elevação da pressão de injeção do combustível injetado no motor
diesel na câmara de combustão pode reduzir a fumaça preta. Contudo, isto necessita
que o tubo de aço usado para a injeção de combustível tenha alta resistência à
fadiga. Os exemplos das invenções relacionadas ao método para produzir um tubo de
aço para este tipo de injeção de combustível inclui o seguinte.

30 O documento de patente 1 revela um método para produzir um tubo de

5 aço para injeção de combustível em motores diesel onde a superfície interior de um material de tubo de aço sem costura laminado quente é girado e polido com jato de areia, e logo submetido a estiragem a frio. A utilização deste método de produção reduz a profundidade de defeitos (irregularidade, escamas, fendas muito pequenas, etc.) na superfície interna do tubo de aço dentro de 0,10 mm, e por isso aumenta a resistência do tubo de aço usado para injeção de combustível.

O documento de patente 1 citado é JP H0957329A.

10 Embora o tubo de aço de injeção de combustível produzido pelo método revelado no documento de patente 1 tenha alta resistência, o tempo de vida de fadiga não se relaciona com a resistência do tubo de aço. O aumento da resistência do material de tubo de aço permite aumentar a carga de pressão do lado interno do tubo de aço. Contudo, a resistência do material do tubo de aço não é o único parâmetro que determina a pressão interna (aqui referido como "limite de pressão interna") que serve como um limite abaixo do qual nenhuma falha de fadiga ocorre
15 quando a pressão é aplicada ao lado interno do tubo de aço. Em outras palavras, o limite de pressão interna desejado ou mais alto não pode ser obtido somente aumentando a resistência do material do tubo de aço. O tempo de vida de fadiga é preferivelmente tão longo quanto possível considerando a confiabilidade do produto final, mas se o limite de pressão interna for baixo, então o tubo de aço estará sujeito
20 à fadiga em aplicações de altas pressões internas, resultando em um tempo de vida de fadiga encurtado.

Revelação da Invenção

Problemas a Serem Resolvidos pela Invenção

25 Um objetivo da presente invenção é fornecer um tubo em aço altamente confiável como tubo de injeção de combustível com o tempo de vida de fadiga prolongado aperfeiçoando a resistência do material enquanto mantém o limite de pressão interna alto.

Meios de Resolver os Problemas

30 Para resolver os problemas acima mencionados, os presentes inventores fizeram um estudo detalhado da relação entre a resistência elástica do

material do tubo de aço e o limite de pressão interna do tubo de aço. Especificamente, preparamos uma pluralidade de tubos de aço com composições materiais variadas e assim variamos as resistências elásticas, para examinar a relação entre a resistência elástica e o limite de pressão interna. Durante o exame
5 do limite de pressão interna, alguns tubos de aço sofreram falha de fadiga, e também examinamos as porções danificadas.

Os resultados do exame revelaram isto quando os tubos de aço compostos de materiais com substancialmente a mesma resistência elástica que é abaixo de 500 N/mm^2 têm limites de pressão interna diferentes, então o dano toma
10 a mesma forma, ao passo que quando os tubos de aço compostos com materiais com substancialmente a mesma resistência elástica que é igual a ou mais alta do que 500 N/mm^2 tem limites de pressão interna diferentes, então o dano toma formas diferentes dependendo do grau do limite de pressão interna.

Mais especificamente, quando a resistência elástica do material do
15 tubo de aço é 500 N/mm^2 ou mais alto, um tubo de aço com o limite de pressão interna relativamente grande tem o dano em uma forma semelhante à forma do dano encontrado quando a resistência elástica é abaixo de 500 N/mm^2 . Para um tubo de aço com o limite de pressão interno relativamente pequeno, a avaria origina-se nas inclusões presentes na vizinhança da superfície interna do tubo de
20 aço, que indica que o limite de pressão interna pode ser aumentado suprimindo essas inclusões.

A presente invenção foi concluída com base no acima mencionado - achados descritos, e é resumida por um tubo de aço como um tubo de injeção de combustível descrito como se segue (I).

25 (I) Um tubo de aço como um tubo de injeção de combustível de 500 N/mm^2 ou resistência elástica mais alta compreendido de, em massa, C: 0,12 a 0,27 %, Si: 0,05 a 0,40 %, e Mn: 0,8 a 2,0%, e o balanço sendo de Fe e impurezas, os teores de P, Ca e S nas impurezas sendo de Ca: 0,001% ou 7 menos, P: 0,02% ou menos, e S: 0,01% ou menos, respectivamente, caracterizado pelo diâmetro
30 máximo das presentes inclusões não metálicas em pelo menos uma região que se

estende da superfície interna do tubo de aço a uma profundidade de 20 μm são 20 μm ou menos.

O tubo de aço como um tubo de injeção de combustível descrito em (l) preferivelmente contém, no lugar de uma porção de Fe, pelo menos um
5 selecionado entre Cr: 1 % ou menos, Mo: 1 % ou menos, Ti: 0,04 % ou menos, Nb: 0,04 % ou menos, e V: 0,1 % ou menos.

Efeito da Invenção

O tubo de aço da presente invenção encontra aplicações na provisão de combustível nas câmaras de combustão de motores diesel. A utilização deste tubo
10 de aço permite aumentar a pressão de injeção do combustível nas câmaras de combustão, por meio disso permitindo uma redução de emissões de fumaça preta reduzindo as emissões de CO_2 .

O Melhor Modo para Executar a Invenção

Como aqui usado, o tubo de aço como um tubo de injeção de
15 combustível refere-se a um tubo de aço que é submetido à aplicação repetida de pressão na superfície interna devido à injeção do combustível. Em alguns casos, a pressão extremamente alta aplica-se a superfície interna por um tempo curto, enquanto em outros casos a alta pressão se aplica constantemente à superfície interna, com graus ocasionalmente flutuantes. Os impactos associados causam fadiga
20 extremamente grande ao material. O tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção tem propriedades de fadiga capazes de resistir suficientemente até a essas aplicações pressurizadas.

Os exemplos de aplicações do tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção inclui motores diesel que empregam um sistema
25 de injeção de combustível do tipo de acumulação de pressão, onde o tubo de aço é unido à bomba de combustível ao carril comum e dali ao bocal de injeção, para guiar o combustível através deste.

Como descrito a cima, em motores diesel, o combustível deve ser injetado em pressão extremamente alta para suprimir as emissões de fumaça preta, e
30 por isso a superfície interna do tubo de aço como um tubo de injeção de

combustível deve ser capaz de resistir a esta pressão. Será prontamente apreciado que enquanto o tubo de aço da presente invenção foi desenvolvido para tubos de injeção de combustível usados em motores diesel, que são submetidos à alta pressão interna, o tubo de aço também pode ser usado para a injeção de combustível em
5 motores de gasolina do tipo de injeção direta.

O tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção necessita que o seu material de tubo de aço tenha uma resistência elástica de 500 N/mm² ou mais alta. Como descrito a cima, desde que o tubo de aço como um tubo de injeção de combustível é submetido à alta pressão interna, o material de
10 tubo de aço deve ter um nível substancial de resistência elástica. A resistência elástica do tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção é estabelecida em 500 N/mm² ou mais alta porque a resistência elástica neste valor é capaz de suficientemente reter a pressão aplicada no lado interno do tubo de aço do combustível pressurizado, e devido a resistência elástica de 500
15 N/mm² serve como um limite ou abaixo que a forma de dano de modificações de falha de fadiga.

A forma do dano será descrita detalhadamente com referência a exemplos específicos na seção de exemplos descrita abaixo. Quando os tubos de aço têm substancialmente a mesma resistência elástica que é igual a ou mais alta do
20 que 500 N/mm², o grau do limite de pressão interna varia dependendo da forma do dano. No caso onde a forma do dano se origina em uma inclusão, o limite de pressão interna não aumenta relativamente à resistência elástica. A presente invenção pode aumentar o limite de pressão interna relativamente à resistência elástica satisfazendo outras exigências.

25 No tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção, o diâmetro máximo de inclusões não metálicas na proximidade da superfície interna do tubo de aço deve estar dentro de 20 μ m. O termo inclusão não metálica é uma inclusão definida por 3131 no “Glossary of Terms Used in Iron and Steel” de JIS G0202. A precipitação da inclusão não metálica é determinada pela
30 composição do tubo de aço e o método de produção, e a presença de precipitação

pode ser confirmada pelo método do ensaio microscópico da inclusão não metálica no aço especificado em JIS G 05555 depois de cortar o tubo de aço para obter uma seção transversal e poli-lo, a superfície polida é observada com um microscópio ótico.

No tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção, o diâmetro máximo, que é o diâmetro da maior inclusão não metálica entre as numerosas inclusões não metálicas precipitadas, deve ser 20 μm ou menos.

Isto é porque quando este diâmetro máximo excede 20 μm , a forma das modificações de falha de fadiga para que a inclusão não metálica com o diâmetro máximo que excede 20 μm fique no ponto de partida da falha de fadiga, que diminui a resistência de fadiga, em outras palavras, o limite de pressão interna.

Desde que as inclusões não metálicas não são sempre na forma esférica, o diâmetro máximo das inclusões não metálicas é definido como $(L+S)/2$ onde L denota o comprimento da inclusão equivalente ao diâmetro longitudinal, e S denota o comprimento da inclusão equivalente ao diâmetro mais curto. O diâmetro máximo das inclusões não metálicas deve ser 20 μm ou menos em pelo menos uma região que se estende da superfície interna do tubo de aço, que é submetido à alta pressão, a uma profundidade de 20 μm . Fora da região, uma inclusão não metálica com um diâmetro máximo que excede 20 μm não se tornará o ponto de partida da falha de fadiga.

Para reduzir o diâmetro máximo de inclusões do tipo A, S contido no tubo de aço pode ser estabelecido em 0,01 % ou menos em massa. Para reduzir o diâmetro máximo de inclusões do tipo B, a área de seção transversal da parte que é fundida pode ser aumentada. Isto é porque durante a fundição antes da solidificação, grandes inclusões são retiradas. A área de seção transversal da peça fundida é preferivelmente 200000 mm^2 ou mais.

Para reduzir o diâmetro máximo de inclusões tipo C, o teor de Ca no tubo de aço pode ser diminuído. Com esta finalidade, O teor de Ca no tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção é 0,001 % ou menos em massa. Desde que Ca tem o efeito de coagular as inclusões do tipo C, a restrição do teor de Ca impede que as inclusões do tipo C aumentem, o que ajuda a evitar os

efeitos adversos das inclusões do tipo C.

Mesmo que um tipo A, tipo B, ou tipo C seja considerado, a redução da velocidade de arremesso (p. ex., para fundição contínua, uma velocidade de fundição de 0,5 m/minuto) suspende as inclusões não metálicas de peso leve como escória no aço para que as próprias inclusões não metálicas possam ser reduzidas no aço.

O tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção contém C, Si, e Mn. O seguinte descreve a operação e razão da limitação do teor desses elementos no tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção. Na descrição seguinte, "%" para teor de componente significa "% em massa".

C: 0,12 a 0,27 %

C é preferível para melhorar a resistência do material do tubo de aço. A melhoria da resistência necessita um teor de C de 0,12 % ou mais. Contudo, quando o teor de C excede 0,27 %, a capacidade de ser manuseado declina e a moldagem do tubo de aço se torna difícil. O teor de C é mais preferivelmente 0,12 a 0,2 %.

Si: 0,05 a 0,40 %

Si é preferível para desoxidar o material de tubo de aço. Para assegurar o efeito desoxidante é necessário um teor de Si de 0,05 % ou mais. Contudo, quando o teor de Si excede 0,40 %, a dureza pode se deteriorar

Mn: 0,8 a 2,0 %

O Mn é preferível para melhorar a resistência do material do tubo de aço. A melhoria da resistência necessita de um teor de Mn de 0,8 % ou mais. Contudo, um teor de Mn de 2,0 % excessivo promove a segregação e às vezes causa que a dureza se deteriore.

A composição de um tubo de aço da presente invenção também inclui como balanço Fe e impurezas além dos elementos precedentes. Contudo, Ca nas impurezas deve ser de 0,001 % ou menos, como descrito a cima, e P e S devem ser restringidos como descrito abaixo.

P: 0.02 % ou menos, S-0.01 % ou menos

Tanto P como S são elementos de impureza que adversamente afetam

capacidade de manuseio a quente e a dureza, e por isso o teor de P e o teor de S são preferivelmente tão baixos quanto possíveis no aço. Quando o teor de P excede 0,02 % ou o teor de S excede 0,01 %, a deterioração da capacidade de manuseio a quente e a dureza é notável.

5 Outro tubo de aço da presente invenção contém pelo menos um selecionado dos componentes descritos abaixo além do precedente dos componentes anteriores.

Cr: 1 % ou menos

10 O Cr não é essencial mas preferível por causa dos seus efeitos de melhorar a resistência de abrasão e temperabilidade. Para obter esses efeitos, os teores de Cr são preferivelmente 0,3 % ou mais. Contudo, quando o teor de Cr excede 1 %, a bainita é gerada em grandes quantidades e a dureza deteriora-se.

Mo: 1 % ou menos

15 Semelhantemente Mo não é essencial mas preferível por causa dos seus efeitos de melhoria da dureza bem como a temperabilidade. Para se obter esses efeitos, o teor de Mo é preferivelmente 0,03 % ou mais. Contudo, quando o teor de Mo excede 1 %, a bainita é gerada em grandes quantidades e a dureza deteriora-se.

Ti: 0,04 % ou menos

20 Ti não é essencial mas preferível por causa dos seus efeitos de melhorar a resistência e dureza. Para obter esses efeitos, o teor de Ti é preferivelmente 0,005 % ou mais. Contudo, quando o teor de Ti excede 0,04 %, forma inclusões de compostos de nitrogênio no tubo de aço, e a dureza deteriora-se. O teor de Ti é mais preferivelmente 0,01 a 0,04 %.

Nb: 0,04 % ou menos

25 Nb não é essencial mas preferível por causa dos seus efeitos de melhorar a resistência e dureza. Para obter esses efeitos, o teor de Nb é preferivelmente 0,005 % ou mais. Contudo, quando o teor de Nb excede 0,04 %, forma inclusões de compostos de nitrogênio no tubo de aço, e a dureza deteriora-se. O teor de Nb é mais preferivelmente 0,01 a 0,04 %.

30 V = 0.1 % ou menos

V não é essencial mas preferível por causa dos seus efeitos de melhorar a resistência. Para obter este efeito, o teor de V é preferivelmente 0,01 % ou mais. Contudo, quando o teor de V excede 0,1 %, a dureza deteriora-se.

Exemplos

5 Para confirmar os efeitos da presente invenção, dez peças de teste com as composições químicas mostradas na Tabela 1 foram produzidas. Cada peça de teste foi continuamente fundida em uma respectiva velocidade de fundição e com uma respectiva área de seção transversal de fundição mostrada na Tabela 2, e submetido a laminação e perfuração de Mannesmann, laminação de alongamento que passa um
10 moinho, e dimensionado por um redutor elástico, assim formando a quente um tubo de 34 mm de diâmetro externo e 25 mm de diâmetro interno. Para estirar este tubo formado a quente, a extremidade do tubo foi primeiro pendurada e coberta com lubrificante. O tubo então foi estirado usando um molde e um obturador, o diâmetro do tubo foi gradualmente reduzido, a superfície interna do tubo foi girada
15 e polida, e o processo de redução do diâmetro foi conduzido como um processo de acabamento para produzir um tubo de aço de 6,4 mm de diâmetro externo e 3,0 mm de diâmetro interno. Então, como um processo final, o tratamento com calor foi executado tal que esses tubos de aço foram transferidos para um forno de recozimento mantido em uma temperatura de 1000 °C, mantido lá durante 20
20 minutos, e então deixado descansar para esfriar.

Tabela 1

Peça de teste No.	Composições Químicas (% em massa, o balanço: Fé e impurezas)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	0,17	0,31	1,38	0,014	0,005	0,06	0,01
2	0,17	0,31	1,38	0,014	0,005	0,06	0,01
3	0,18	0,30	1,40	0,013	0,006	0,08	0,02
4	0,18	0,30	1,40	0,013	0,006	0,08	0,02
5	0,19	0,32	1,36	0,016	0,006	0,05	0,19
6	0,19	0,32	1,36	0,016	0,006	0,05	0,19

7	0,11	0,19	0,61	0,009	0,002	0,02	-
8	0,11	0,23	0,64	0,015	0,005	0,01	-
9	0,19	0,25	1,31	0,011	0,013	0,04	0,19
10	0,19	0,25	1,31	0,011	0,013	0,04	0,19

Tabela 1 (continuação)

Peça de teste No.	Composições Químicas (% em massa, o balanço: Fé e impurezas)				
	Ti	Nb	V	Ca	Observações
1	0,020	-	0,07	0,0027	Comparativo
2	0,020	-	0,07	0,0003	Invenção
3	0,007	-	0,08	0,0032	Comparativo
4	0,007	-	0,08	0,0008	Invenção
5	0,018	0,033	0,06	0,0027	Comparativo
6	0,018	0,033	0,06	0,0001	Invenção
7	-	-	-	0,0030	Comparativo
8	-	-	-	0,0035	Comparativo
9	0,020	0,030	0,06	0,0002	Comparativo
10	0,020	0,030	0,06	0,0012	Comparativo

Tabela 2

Peça de teste No.	Classificação	Velocidade de fundição (m/min)	Área de seção transversal de fundição (mm ²)	Diâmetro máximo de inclusão (μm)		
				Tipo A	Tipo B	Tipo C
1	Comparativo	2,3	28000	-	18	33
2	Invenção	0,5	220000		9	18
3	Comparativo	2,3	28000	1	22	32
4	Invenção	0,5	220000	2	5	11
5	Comparativo	2,3	28000	-	25	38

6	Invenção	0,5	220000	-	7	9
7	Comparativo	0,5	220000	-	-	12
8	Comparativo	2,3	28000	-	20	40
9	Comparativo	0,5	220000	25	6	7
10	Comparativo	2,3	220000	2	30	15

Tabela 2 (continuação)

Peça de teste No.	Resistência elástica (μm)	Limite de pressão interna (MPa)	Condição de falha de fadiga
1	560	220	Falha de fadiga da superfície interna do tubo devido a inclusão do tipo C como ponto de partida
2	549	200	Falha de fadiga da superfície interna do tubo
3	637	210	Falha de fadiga da superfície interna do tubo devido a inclusão do tipo C como ponto de partida
4	641	235	Falha de fadiga da superfície interna do tubo
5	720	230	Falha de fadiga da superfície interna do tubo devido a inclusão do tipo C como ponto de partida
6	724	255	Falha de fadiga da superfície interna do tubo
7	410	160	Falha de fadiga da superfície interna do tubo
8	412	150	Falha de fadiga da superfície interna do tubo
9	711	210	Falha de fadiga da superfície interna do tubo devido a inclusão do tipo A como

			ponto de partida
10	721	215	Falha de fadiga da superfície interna do tubo devido a inclusão do tipo B como ponto de partida

Parte de cada peça de teste foi cortada como uma amostra, que foi processada a um tamanho de peça de teste estipulado como peça de teste No. 11 em JIS e submetida ao teste elástico. Esta amostra observada sob um microscópio ótico em uma região correspondente a uma região que se estende do tubo de aço superfície interna a uma profundidade de 20 μm , e as inclusões precipitadas foram examinadas.

Tabela 2 mostra as resistências elásticas das peças de ensaio e o diâmetro máximo das inclusões. Os números na Tabela 2 correspondem à queles na Tabela 1. As peças de ensaio numeradas 1, 3, e 5 contêm mais Ca do que as peças de teste numeradas 2, 4 e 6, respectivamente. A Tabela 2 mostra que enquanto as peças numeradas 1 e 2, 3 e 4, e 5 e 6 têm substancialmente as mesmas resistências elásticas, o diâmetro máximo das inclusões do tipo C são maiores nas peças numeradas 1, 3, e 5, que têm maiores teores de Ca, do que nas peças de teste numeradas 2, 4, e 6, respectivamente. Além disso, o diâmetro máximo de uma inclusão do tipo A são maiores na peça numerada 9, e o diâmetro máximo das inclusões do tipo B é maior na peça numerada 10.

Cada peça de teste foi submetida a um teste de fadiga onde a pressão foi aplicada no lado interno do tubo de aço. No teste de fadiga, a pressão interna mínima foi 18 MPa, a aplicação da pressão foi tal que a carga seguiu a forma de uma onda de seno com o tempo, e a pressão interna máxima na qual nenhuma avaria foi observada contra 10^7 vezes de repetição foi assumida o limite de pressão interna. Quando uma avaria ocorreu, a peça quebrada foi observada sob um microscópio ótico.

Tabela 2 mostra os limites de pressão internos das peças de teste e as condições de avaria. Também neste caso, o limite de pressão interna é menor nas peças de teste numeradas 1, 3, e 5, que têm maior teor de Ca, do que nas peças de teste numeradas 2, 4, e 6, respectivamente. Para as condições de quebra, a falha de

fadiga ocorreu na superfície interna de cada tubo de aço, que foi submetido à pressão mais alta. Contudo, nas peças de teste numeradas 1, 3, e 5, diferentemente das peças de teste numeradas 2, 4, e 6, a avaria origina-se nas inclusões presentes do tipo C em uma região que se estende da superfície interna de cada tubo de aço a uma profundidade de 20 μm . Também, na peça de teste numerada 9, a falha de fadiga origina-se em umas inclusões do tipo A presente em uma região que se estende da superfície interna do tubo de aço à profundidade de 20 μm . Do mesmo modo, na peça de teste numerada 10, a falha de fadiga origina-se nas inclusões presentes do tipo B em uma região que se estende da superfície interna do tubo de aço a uma profundidade de 20 μm .

Como é claro a partir dos resultados de teste acima mencionados, entre as peças de teste com substancialmente a mesma resistência elástica, aqueles que minimizam o diâmetro máximo das inclusões não metálicas podem evitar o falha de fadiga que se origina nas inclusões não metálicas, por meio disso elevando o limite de pressão interna.

Aplicabilidade Industrial

O tubo de aço como um tubo de injeção de combustível da presente invenção evita falhas de fadiga que se originam nas inclusões não metálicas presentes na proximidade da superfície interna do tubo de aço, e por isso aumenta o limite de pressão interna. Por isso, a aplicação deste tubo de aço a um tubo de injeção de combustível para fornecer combustível nas câmaras de combustão de motores diesel minimizará a fadiga até em pressões de injeção de combustível substancialmente alta em câmara de combustão.

REIVINDICAÇÕES

1. Tubulação em aço como tubulação de injeção de combustível de 500 N/m² ou resistência a tensão mais alta compreendendo em massa, C: 0,12 a 0,27%, Si: 0,05 a 0,40%, e Mn: 0,8 a 2,0%, e o balanço sendo com Fe e impurezas, o teor de Ca, P e S nas impurezas sendo: Ca: 0,001% ou menos, P: 0,02% ou menos, e S 0,01% ou menos, respectivamente, **CARACTERIZADA** pelo diâmetro máximo das inclusões não metálicas apresentar, pelo menos numa região que se estende da superfície interna da tubulação em aço até uma profundidade de 20 µm, 20 µm ou menos.

2. Tubulação em aço como tubulação de injeção de combustível de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por ainda compreender, no lugar de uma porção de Fe, pelo menos um selecionado entre Cr: 1% ou menos, Mo: 1% ou menos; Ti: 0,04% ou menos, Nb: 0,04% ou menos, e V: 0,1% ou menos.

RESUMO**“TUBULAÇÃO EM AÇO COMO TUBULAÇÃO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL”**

A presente invenção tem por objetivo fornecer uma tubulação em aço como
5 tubulação de injeção de combustível com material de alta resistência, alto limite de
pressão interna livre de falha por fadiga, prolongada resistência à fadiga, e alta
confiabilidade. A dita tubulação em aço como tubulação de injeção de combustível de
500 N/m² ou maior resistência a tensão compreendendo, por massa, C: 0,12 a 0,27%, Si:
0,05 a 0,40%, e Mn: 0,8 a 2,0%, e o balanço sendo com Fe e impurezas, o teor de Ca, P
10 e S nas impurezas sendo: Ca: 0,001% ou menos, P: 0,02% ou menos, e S 0,01% ou
menos, respectivamente, caracterizado pelo diâmetro máximo das inclusões não
metálicas apresentar, pelo menos numa região que se estende da superfície interna da
tubulação em aço até uma profundidade de 20 μ m, 20 μ m ou menos. Além disso, esta
tubulação em aço pode conter, no lugar de uma porção de Fe, pelo menos um selecionado
15 entre Cr: 1% ou menos, Mo: 1% ou menos; Ti: 0,04% ou menos, Nb: 0,04% ou menos,
e V: 0,1% ou menos.