



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

(11) PI 0514997-5 B1

(22) Data do Depósito: 24/08/2005

(45) Data de Concessão: 13/03/2018



(54) Título: JUNTA ROSCADA PARA UM TUBO DE AÇO

(51) Int.Cl.: F16L 15/04; E21B 17/042

(30) Prioridade Unionista: 27/08/2004 JP 2004-248359

(73) Titular(es): NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION. VALLOUREC OIL AND GAS FRANCE

(72) Inventor(es): MIYUKI YAMAMOTO; SHIGEO NAGASAKU; MASAACKI SUGINO; MICHIIHIKO IWAMOTO

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**JUNTA ROSCADA PARA UM TUBO DE AÇO**".

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a juntas roscadas para conexão de tubos de aço tais como tubos de poços de petróleo, tubos ascendentes, e tubos para oleodutos usados na exploração e produção de poços de petróleo e poços de gás, e refere-se em particular a uma junta roscada para tubos de aço que tenham excelentes resistências à compressão e à pressão externa, capacidade de barrar as pressões internas e as pressões externas sob carga de compressão, e preferivelmente também com excelente capacidade de operação durante a instalação no campo.

Antecedentes da Invenção

[002] Juntas roscadas são usadas tipicamente como meios de conexão para tubos de poços de petróleo. Em anos recentes, tem havido aplicações crescentes de juntas roscadas para tubos de aço que tenham sido conectados convencionalmente por soldagem, tais como tubos ascendentes e tubos para oleodutos.

[003] Até agora, uma junta roscada padrão era aquela que atendesse aos padrões da API (American Petroleum Institute), mas em anos recentes os ambientes de escavação e produção de óleo bruto e de gás natural estão se tornando mais severos, então há um uso crescente de juntas roscadas especiais referidas como juntas premium.

[004] As figuras 1(a) e 1(b) são uma vista esquemática da seção transversal de um exemplo de junta premium e uma vista ampliada de uma de suas partes. Normalmente uma junta premium tem roscas cônicas 12 e 22, uma parte de vedação metálica 4, e uma porção de resalto de torque 5. O lado no qual é fornecido o macho roscado cônico 12 é referido como um pino 11, e o lado no qual é fornecida a fêmea roscada 22 é referido como caixa 21.

[005] O arranjo e a combinação das roscas cônicas, das porções de vedação metálica, e as porções de ressalto de torque, cujos números são fornecidos, e similares, variam com o uso da junta. Por exemplo, as porções de vedação metálica e as porções de ressalto de torque são instaladas nas posições A,B e C mostradas na figura 2(a), isto é, na posição A que está no lado externo das roscas, na posição B que está entre as roscas, e na posição C que está no lado interno das roscas.

[006] Por exemplo, há casos nos quais a porção de vedação metálica e a porção de ressalto de torque estão dispostas do lado interno da junta (figura 2(b)), aqueles em que a porção de vedação metálica está disposta no lado interno da junta e a porção de ressalto de torque está disposta no lado interno e no lado externo (figura 2(c)), aqueles em que a porção de vedação metálica é fornecida no lado interno e no lado externo e a porção de ressalto de torque é fornecida no meio (figura 2(d)), e aqueles em que a porção de vedação metálica é fornecida no meio e no lado interno e a porção de ressalto de torque é fornecida no lado externo (figura 2(e)).

[007] Conforme mostrado nas figuras 3(a) e 3(b), as juntas incluem tipos de acoplamento (veja a figura 3(a)) nos quais os tubos de aço tendo um pino (um membro roscado macho) em ambas as extremidades são conectados por um acoplamento tendo uma caixa (um membro roscado fêmea) fornecida em ambas as extremidades de um tubo curto, e o tipo integral (veja figura 3(b)) no qual os tubos de aço que tenham um pino fornecido em uma extremidade e uma caixa fornecida na extremidade oposta são conectados diretamente entre si.

[008] A seguir, os componentes de uma junta serão descritos em detalhes usando-se a estrutura mais típica que está mostrada na figura 1 e na figura 2(b), como um exemplo.

[009] Em outras palavras, a maioria das roscas usadas em uma

junta premium são aquelas que parecem uma rosca trapezoidal referida como rosca em dente de serra da API mostrada nas figuras 4(a) e 4(b). Nesta rosca, os flancos, que se contatam fortemente no momento de completar-se a montagem, são referidos como flancos de carga 16, e os flancos do outro lado são referidos como flancos penetrantes 17 e 23. Com uma rosca dente de serra usual, há contato na superfície da raiz da rosca 14 e um vão na superfície da crista da rosca 18.

[0010] A tensão do gás, que é uma das propriedades importantes de uma junta premium, é exibida pela interligação das porções de vedação metálica com uma quantidade adequada de interferência determinada pelo projeto.

[0011] Aqui interferência se refere a um ajuste das superfícies de vedação e é um valor dado por (diâmetro da porção de vedação metálica da caixa) menos (diâmetro da porção de vedação metálica do pino).

[0012] Para se obter uma forte conexão roscada, é fornecida também a interferência nas partes cônicas da rosca. No caso da rosca dente de serra acima descrita, há um forte contato a raiz da rosca devido à interferência das porções de rosca.

[0013] Nesse caso, a interferência é o valor dado por (diâmetro da porção de rosca da caixa) menos (diâmetro da porção de rosca do pino).

[0014] Aqui as porções de ressalto de torque funcionam como tampão para fornecer um ajuste adequado entre as porções de vedação metálica.

[0015] Uma junta premium pode exibir suas propriedades até uma extensão máxima pelo apoio das porções de ressalto de torque dentro da faixa de deformação elástica e completando-se a montagem em um estado no qual a força de montagem na direção axial é gerada dentro da junta.

[0016] Se as porções de ressalto de torque não se apóiam, uma força de montagem na direção axial não é gerada, e a quantidade de aperto torna-se inadequada, enquanto que se as porções de ressalto de torque se apóiam fortemente umas nas outras, as porções de ressalto de torque acabam sofrendo deformações plásticas, e as propriedades de vedação das porções de vedação metálica adjacentes acabam diminuindo.

[0017] No passado, os poços verticais eram predominantes, de forma que as propriedades fundamentais das juntas premium eram a capacidade de suportar uma carga de tensão devida à gravidade e a capacidade de vedação contra fluidos internos e externos.

[0018] Entretanto, em anos recentes, a quantidade de poços horizontais e poços inclinados está aumentando, e as juntas roscadas também passaram a ser usadas para conectar tubos ascendentes para campos de petróleo submarinos.

[0019] As figuras 5(a) e 5(b) explicam esquematicamente esses estados. Conforme mostrado na figura 5(a), um poço de petróleo 33 no fundo do mar é conectado por tubos verticalmente ascendentes 35 até um equipamento 34 na superfície do mar, de forma que uma grande força compressiva aja sobre o tubo ascendente. Além disso, recentemente, conforme mostrado na figura 5(b), há casos nos quais os tubos de poços de petróleo 31 se estendem na direção horizontal ou em que os tubos de poços de petróleo 32 são curvados. Quando se instalam tubos de poços de petróleo subterrâneos em um poço horizontal ou similar, para se passar um tubo de poço de petróleo reto através de uma porção curva dentro do solo, o tubo de poço de petróleo é inserido à medida que vai sendo girado e, nesse momento, uma grande força compressiva age nas porções de junta.

[0020] Portanto, a capacidade para suportar compressão é uma nova propriedade que passou a ser exigida de uma junta premium.

[0021] Além disso, em anos recentes, devido ao aprofundamento dos poços de petróleo ou das escavações e à produção em locais que tenham propriedades de solo insuficientes, há casos nos quais os tubos de poços de petróleo experimentam grandes pressões externas devido à carga de fluidos diferentes dos produtos (petróleo bruto e gás natural) fora da perfuração ou da contração do poço e desmoronamento do poço.

[0022] Sob tais condições, a capacidade de vedação contra pressões externas de forma a evitar a penetração de fluidos a alta pressão do exterior tem se tornado uma nova exigência de propriedade.

[0023] Poços de petróleo têm tipicamente uma profundidade de cerca de 3.000 metros a 6.000 metros, e tubos para poços de petróleo tendo um comprimento em torno de 8 - 10 metros são inseridos em uma perfuração de poço da parte superior do solo ou da parte superior de um aparelho na superfície do mar enquanto são conectados pelas juntas roscadas acima descritas. Em outras palavras, para se instalar tubos de poços de petróleo subterrâneos em um único pólo de petróleo, a montagem das juntas roscadas é executada aproximadamente entre 300 a 750 vezes.

[0024] Uma vez que a instalação subterrânea é iniciada, ela é continuada dia e noite até a instalação ser completada, e requer aproximadamente de dois a três dias. Se a montagem de uma junta requer um minuto extra, por exemplo, a instalação acaba requerendo 6 a 12 horas extras. Isto resulta em custos adicionais de mão-de-obra para operações de campo e custos de aluguel de equipamentos, levando a um aumento nos custos.

[0025] Portanto, a facilidade de montagem de uma junta roscada é uma propriedade extremamente importante.

Resistência à Compressão

[0026] Entre as roscas que têm o objetivo de aumentar a resistên-

cia à compressão, há uma rosca na qual os flancos de carga e os flancos penetrantes de uma junta trapezoidal são contatados e são fornecidos vãos na superfície da raiz da rosca e na superfície da crista da rosca (referida a seguir como rosca áspera).

[0027] A figura 6(a) é uma vista esquemática explanatória da forma da seção transversal de uma rosca áspera 22, e a figura 6(b) é uma vista explanatória mostrando a sua distribuição de forças.

Descrição do estado da técnica

Documento de Patente 1

[0028] Patente Japonesa Número 2705505

Documento de Patente 2

[0029] Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa Hei 11-294650

Documento de Patente 3

[0030] Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa 2002-22070

Documento de Patente 4

[0031] Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa 2001-317668

Documento de Patente 5

[0032] Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa Hei 11-201344

Documento de Patente 6

[0033] Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa Hei 11-223284

[0034] O tipo de rosca áspera 25 já é descrita no Documento de Patente 1 e no Documento de Patente 2. No primeiro, o ângulo do flanco de carga é limitado de -20° a 0° , e no último o ele é limitado de 0° a $+3^{\circ}$.

[0035] Em uma rosca áspera 25, os flancos penetrantes 17 das

roscas 12 e 22 se contatam, então uma carga compressiva pode ser produzida pelos flancos penetrantes 17 da rosca, e tem uma resistência extremamente alta à força compressiva. Por outro lado, há um contato nos flancos de carga 16 e nos flancos penetrantes 17 das roscas 12 e 22, de forma que a tolerâncias da rosca 19 tem uma influência extremamente grande no torque gerado pela rosca.

[0036] Com uma junta premium, a montagem é normalmente controlada com base no torque. Em outras palavras, a reação de torque é monitorada durante a montagem, e a montagem é completada quando um torque de montagem prescrito é alcançado. Entretanto, com uma rosca áspera, a variação no torque devido às tolerâncias da rosca é extremamente grande, então é difícil ajustar-se um torque de montagem adequado.

[0037] Um torque adequado indica um torque de montagem que pode tornar os ressaltos vizinhos dentro da faixa de deformação elástica para todos os produtos feitos dentro das tolerâncias de produção. Entretanto, em casos extremos, o torque no início do contato dos ressaltos (referido como torque de suporte) de um produto dentro das tolerâncias excede o torque no qual os ressaltos sofrem deformação plástica (referida a seguir como sobretorque) para outro produto que esteja dentro das tolerâncias, e não existe mais um torque adequado.

[0038] A situação acima descrita (geralmente referida como problema de alto suporte) é inevitável com as atuais técnicas de controle de produção (tolerâncias permissíveis de produção) particularmente em relação às roscas ásperas de pequeno diâmetro tendo um diâmetro externo de 127 mm (5 polegadas) ou menos.

[0039] Nenhum dos documentos da técnica anterior acima descritos tem qualquer descrição em relação a esse problema de alto suporte, então eles não descrevem um método para resolvê-lo.

Capacidade de vedação contra pressão externa

[0040] Com o objetivo de melhorar a capacidade de vedação contra pressões externas, no Documento de Patente 3, por exemplo, uma grande porção de um membro pino tem sua espessura aumentada por forjamento rotatório (redução do diâmetro interno da extremidade do tubo).

[0041] Adicionalmente, no Documento de Patente 4, a resistência à deformação da extremidade de um pino é aumentada tanto quanto possível pelo fornecimento de uma rosca macho tão próximo quanto possível do ressalto de torque na extremidade do pino.

[0042] Em qualquer das técnicas anteriores acima descritas, fundamentalmente a resistência à deformação em resposta à pressão externa (resistência à contração) é aumentada pelo aumento da espessura da parede do membro pino ou da porção de conexão entre o ressalto de torque na extremidade do pino e a porção roscada para reduzir a diminuição do diâmetro, e é evitado que se forme um vão na vedação metálica.

[0043] Quaisquer destas técnicas anteriores tem o efeito de aumentar a capacidade de vedação contra a pressão externa.

[0044] Entretanto, no Documento de Patente 3, é necessário executar-se o forjamento rotatório sobre um comprimento considerável da extremidade do tubo (provavelmente por cerca de 100 - 200 mm), de forma que seja necessário um laminador horizontal de potência extremamente grande, e o molde de forjamento rotatório se deteriora rapidamente, de forma que há uma preocupação de que os custos de produção tornem-se bastante altos. Além disso, o diâmetro interno de uma junta é reduzido pela razão considerável, então a turbulência quando os fluidos internos passam através da porção da junta torna-se severa e há a preocupação de que isso provoque erosão. Além disso, no caso de um tubo para poço de petróleo, o tamanho do tubo que pode ser inserido em seu interior diminui, de forma que o projeto de se-

qüência acaba tendo uma eficiência extremamente pobre.

[0045] No Documento de Patente 4 há o efeito de que a diminuição na interferência da porção de vedação metálica pode ser reprimida até certo ponto pela quantidade que a diminuição do diâmetro da porção que se conecta entre o ressalto de torque na extremidade do pino e a porção roscada é reduzida, mas comparado à técnica do Documento de Patente 3 na qual a espessura da boca do pino é diretamente aumentada, seu efeito é limitado.

Facilidade de Montagem

[0046] A técnica anterior com o objetivo de aumentar a facilidade de montagem inclui o Documento de Patente 5 e o Documento de Patente 6.

[0047] Esta técnica anterior tem o objetivo de aumentar a velocidade de montagem e as propriedades de penetração.

[0048] As propriedades de penetração se referem a como uma inserção direta pode ser executada até um estado no qual o envolvimento da rosca é iniciado no momento de inserção do pino de um membro de rosca macho na caixa de um membro de rosca fêmea. Quanto mais facilmente um pino possa ser estavelmente inserido à porção mais derradeira de uma caixa mesmo quando há um grande desvio entre o eixo do pino e da caixa ou dos ângulos entre eles, melhores são as propriedades de penetração de uma junta.

[0049] A velocidade de montagem é o número de rotações nas quais uma junta pode ser apertada. Quanto maior a conicidade da rosca, menor a altura da rosca, quanto maior o passo da rosca, e quanto maior o número de estrias da rosca, menor o número de rotações necessárias para a montagem.

[0050] A técnica anterior acima descrita visa melhorar as propriedades de penetração e a velocidade de montagem principalmente pelo emprego de uma rosca de múltipla partida ou pelo ajuste da inclinação

da superfície da crista da rosca ou da altura da rosca.

[0051] Entretanto, a técnica anterior acima descrita apenas melhora a facilidade de montagem, e não pode ser dito que melhora a resistência à compressão.

Descrição da Invenção

Problema a ser resolvido pela Invenção

[0052] O objetivo da presente invenção é fornecer meios que possam manter a excelente resistência à compressão de uma rosca áspera e que possa ao mesmo tempo suprimir variações de torque, que são um problema das roscas ásperas, até um nível baixo que possa ser produzido com as técnicas atuais de controle de tolerâncias, as quais podem garantir resistência às pressões externas, e que possam aumentar a operacionalidade no campo e particularmente a velocidade de montagem.

Meios para resolver o problema

[0053] Para resolver os problemas da presente invenção, os presentes inventores consideraram do ponto de vista da mecânica porque uma rosca áspera tem uma grande variação no torque se comparada com uma rosca em dente de serra.

[0054] Será assumido que um membro pino e um membro caixa são produzidos com uma interface de 2δ até um estado logo antes do rebaixamento. Olhando-se esta situação em um todo, é gerada uma força de união F na direção radial nas partes unidas pela interferência 2δ .

[0055] Em uma rosca dente de serra, a força de união é sustentada pelos flancos de carga e pela raiz da rosca, então o equilíbrio de forças entre a força de contato C_1 na raiz da rosca, a força de contato C_2 nos flancos de carga, e a força de união pode ser mostrado como nas figuras 4(a) e 4(b). As quatro equações a seguir podem ser estabelecidas com base no ângulo α dos flancos de carga em relação à

direção radial e no ângulo β da raiz da rosca em relação à direção axial da junta (ou, em outras palavras, o ângulo de afunilamento da rosca).

$$f_1 = C_1 \cos \beta$$

$$f_2 = C_2 \sin \alpha$$

$$C_1 \sin \beta = C_2 \cos \alpha$$

$$F = f_1 + f_2 \quad \dots \text{Equação 1}$$

[0056] Por outro lado, em uma rosca áspera, a força de união é sustentada pelos flancos de carga e pelos flancos de penetração, de forma que o equilíbrio de forças entre as forças de contato C_3 e C_4 de cada flanco e a força de união F pode ser mostrado como nas figuras 6(a) e 6(b). Se o ângulo dos flancos de penetração em relação à direção radial for θ , são estabelecidas as quatro equações a seguir:

$$f_3 = C_3 \sin \theta$$

$$f_4 = C_4 \sin \alpha$$

$$C_3 \cos \theta = C_4 \cos \alpha$$

$$F = f_3 + f_4 \quad \dots \text{Equação 2}$$

[0057] Como resultado da solução das Equações 1 e 2, as forças de contato C_1 a C_4 de cada uma das superfícies roscadas pode ser expressa em termos da força de união F como segue:

$$C_1 = F \cos \alpha / (\sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta)$$

$$C_2 = F \sin \beta / (\sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta)$$

$$C_3 = F \cos \alpha / (\sin \alpha \cos \theta + \sin \theta \cos \alpha)$$

$$C_4 = F \cos \theta / (\sin \alpha \cos \theta + \sin \theta \cos \alpha) \dots \text{Equação 3}$$

[0058] Aqui, se o coeficiente de fricção das roscas é μ e o raio equivalente é R , o torque de montagem das roscas pode ser estimado multiplicando-se a resistência à fricção devido às forças de contato C_1 a C_4 pelo comprimento do braço R .

$$\text{Torque de montagem de uma rosca dente de serra } T_B = (C_1 + C_2) \mu R$$

Torque de montagem de uma rosca áspera $T_R = (C_3 + C_4)\mu R$...Equação 4

[0059] Como exemplo típico, se o ângulo do flanco de carga α for 3° , o ângulo da raiz da rosca β for $1,8^\circ$, o ângulo do flanco de penetração θ de uma rosca áspera for 30° , e a interferência da rosca 2δ (ou, em outras palavras, a força de união F), o coeficiente de fricção μ , e o raio equivalente da rosca R são os mesmos para cada tipo, o torque de montagem T_R de uma rosca áspera é calculado como sendo 3,3 vezes o torque de montagem T_B de uma rosca dente de serra.

[0060] Dentro da faixa de mecânica elástica, a interferência δ é aproximadamente proporcional à força de união F , de forma que a variação de torque ΔT_R quando a faixa de tolerâncias de produção da interferência for igual a $\Delta\delta$ possa também ser dita como sendo 3,3 vezes ΔT_B .

[0061] Em uma rosca áspera, um outro fator que aumenta a variação de torque além daqueles descritos acima é a tolerância de produção da largura da rosca. Por exemplo, se a largura da rosca tornar-se muito pequena (se a largura da ranhura da rosca tornar-se muito grande), a rosca fêmea recua na direção radial a partir de uma posição de encaixe prescrita, e nesse nível a interferência substancial diminui.

[0062] Se a tolerância de produção da largura da rosca (na direção axial), tanto para a rosca macho quanto para a rosca fêmea, for Δa , a partir da relação apresentada na figura 7, a faixa de tolerância da interferência na direção radial de uma rosca áspera aumenta apenas pela faixa $\Delta\delta_a$ dada pela seguinte equação:

$$\Delta\delta_a = 4\Delta a / (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\theta) \dots \text{Equação 5}$$

[0063] Normalmente a faixa de tolerância de produção Δa de uma largura de rosca é da ordem de $1/5$ da faixa de tolerância de produção $\Delta\delta$ da interferência, de forma que a faixa de tolerância de interferência substancial $\Delta\delta_{\text{total}} = \Delta\delta + \Delta\delta_a$ de uma rosca áspera é de aproximada-

mente 2,3 vezes o ($\Delta\delta$) de uma rosca dente de serra, e se se considerar a variação de torque, ela é na verdade 7,5 vezes diferente.

[0064] Uma junta atual é um corpo elastoplástico, sua forma é mais complicada, e há influências na adição para os cálculos acima descritos. Entretanto, mesmo se ele for levado em consideração, a variação de torque de uma rosca áspera é estimada como sendo de 4 a 5 vezes a da rosca dente de serra.

[0065] Das considerações acima com base na mecânica, os presentes inventores concluíram que é inevitável que a variação do torque de uma rosca áspera é grande à luz das atuais tolerâncias de produção. Ao mesmo tempo, eles recentemente se concentraram no fato de que a variação do torque de uma rosca dente de serra é pequena se comparado com suas tolerâncias de produção, e eles sentiram que se ambas as formas de roscas forem combinadas em uma junta única, a estabilidade do torque de uma junta dente de serra pode ser obtida enquanto se mantém a excelente resistência à compressão de uma rosca áspera, e eles alcançaram a presente invenção.

[0066] A seguir os presentes inventores estudaram o mecanismo quando ocorre um vazamento de pressão externa na junta premium típica da figura 1, e eles estudaram as necessidades de uma vedação forte contra pressão externa.

[0067] Com quase todas as porções de vedação metálica das juntas premium, uma forte força de contato é gerada ajustando-se as superfícies de vedação, que são superfícies cônicas ou superfícies formadas pela rotação de uma curva, uma contra a outra na direção radial para gerar uma força de contato e produzir um contato íntimo entre as superfícies de vedação.

[0068] Quando a pressão externa é aplicada por um longo período, a pressão externa penetra ao longo dos vãos nas porções de união roscada para o interior da junta imediatamente antes da vedação me-

tática, e a força age na direção tendendo a separar o membro pino e o membro caixa um do outro na direção radial.

[0069] Em outras palavras, do ponto de vista do membro pino, uma pressão externa, que é aproximadamente a mesma que aquela que age no corpo do tubo, age na superfície da rosca macho até antes da porção de vedação metálica, e até o ponto em que sua espessura de parede é menor que aquela do corpo do tubo, sua resistência à deformação por contração (de forma a distingui-la de dobramento rígido, o que será descrito abaixo, será referido aqui como dobramento por contração) é menor, e a redução em seu diâmetro aumenta.

[0070] Se a extremidade mais externa de um membro pino for uma extremidade livre, seu dobramento rígido (como uma concha cilíndrica) contra pressões externas torna-se um mínimo, então ele se flexiona bastante (sofre deformação por dobramento).

[0071] Como resultado dessa redução no diâmetro e na deformação por dobramento, a interferência da vedação, isto é, a força de contato de vedação diminui, e imagina-se que se desenvolve um vazamento na porção de vedação metálica quando ela cai abaixo de um limite prescrito.

[0072] Conseqüentemente, para se obter uma vedação que não vaze prontamente em resposta às pressões externas, são concebíveis os três métodos a seguir: (i) aumentando-se a interferência (inicial) de vedação, (ii) aumentando-se o dobramento por contração do membro pino (em outras palavras, aumentando-se a espessura da parede do membro pino), e (iii) aumentando-se o dobramento rígido da porção de vedação metálica da extremidade do pino.

[0073] Com o método (i) acima descrito, se for tornado muito grande, torna-se a causa da ocorrência de esfoliação (emperramento) no momento da montagem, então há um limite superior para fornecer um equilíbrio com a resistência ao esfolamento. A determinação do

limite superior envolve vários fatores do projeto de uma junta roscada, então na presente invenção a abordagem do método (i) não foi usada.

[0074] O método (ii) acima descrito é um método que foi observado e utilizado na técnica anterior (Documento de Patente 3 e Documento de Patente 4), mas que tem problemas tais como dificuldade de produção.

[0075] O método (iii) acima descrito não é visto na técnica anterior. Entretanto acredita-se que um efeito prescrito pode ser obtido aumentando-se a espessura da boca até um certo ponto.

[0076] À luz das considerações acima, o conceito da presente invenção foi alcançado, que é aquele de que a capacidade de vedação contra pressões externas pode ser também efetivamente aumentada pela consideração da forma de uma porção de vedação metálica (porção da boca) tendo uma forma que realiza simultaneamente os métodos (ii) e (iii).

[0077] Finalmente, como um método de realizar simultaneamente o conceito do composto de rosca acima descrito e o conceito da porção de vedação metálica ou em forma de boca, se uma rosca é dividida em duas ou mais porções e são fornecidas uma porção de rosca áspera e uma porção de rosca de dente de serra, e é fornecida uma porção de vedação metálica entre ambas as porções, a espessura da parede da porção de vedação metálica no lado do pino pode ser consideravelmente aumentada, e a extremidade da porção de vedação metálica pode ser estendida, e seu dobramento rígido pode ser aumentado.

[0078] Aqui, a presente invenção é como segue:

[0079] Uma junta roscada para um tubo de aço tendo um membro pino que tenha uma rosca macho cônica, uma porção que forme vedação metálica, e uma porção que forme o ressalto de torque, e um membro caixa que tenha uma rosca fêmea cônica, uma porção que

forme vedação metálica, e uma porca que forme o ressalto de torque correspondentes àquelas do membro pino, caracterizada pelo fato de que as roscas que constituem a rosca macho cônica e a rosca fêmea cônica tenham uma primeira porção de rosca trapezoidal que não tem contato simultâneo com os flancos de carga e com os flancos penetrantes, e uma segunda porção de rosca trapezoidal que tem contato com os flancos de carga e com os flancos penetrantes e que tenha vãos nas superfícies das raízes das roscas e nas superfícies da crista das roscas.

[0080] A junta roscada para tubos de aço conforme apresentada em (1) onde a primeira rosca trapezoidal tem contato com os flancos de carga e com as superfícies das raízes da rosca, e vãos nas superfícies da crista das roscas e nos flancos penetrantes.

[0081] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em (1) e (2) caracterizada pelo fato de que o ângulo dos flancos de carga em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo é de pelo menos -10° e no máximo $+10^\circ$, e o ângulo dos flancos penetrantes é de pelo menos $+15^\circ$ e no máximo $+50^\circ$.

[0082] Uma junta roscada para tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (3), caracterizada pelo fato de que o vão na direção axial nos flancos penetrantes da primeira porção de junta trapezoidal satisfaz a seguinte equação:

$$0 < a < [(tg\alpha + tg\theta)/2] \times \delta$$

[0083] onde α é o ângulo do flanco de carga, θ é o ângulo do flanco penetrante, e δ é a interferência da rosca (sobre o diâmetro).

[0084] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (4) caracterizada pelo fato de que o ângulo do flanco de carga em $1/8$ a $1/2$ do lado do diâmetro interno dos flancos de carga da rosca fêmea é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

[0085] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (5) caracterizada pelo fato de que o ângulo do flanco penetrante em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro interno dos flancos penetrantes da rosca fêmea é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

[0086] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (6) caracterizada pelo fato de que o ângulo do flanco de carga em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro externo dos flancos de carga da rosca macho é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

[0087] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (7) caracterizada pelo fato de que o ângulo do flanco penetrante em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro externo dos flancos penetrantes da rosca macho é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

[0088] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (8) caracterizada pelo fato de que a segunda porção de rosca trapezoidal tem uma porção de rosca incompleta na rosca macho cônica.

[0089] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em (4) caracterizada pelo fato de que a segunda porção de rosca trapezoidal tem uma porção de rosca incompleta na rosca macho cônica, e a quantidade de redução c (sobre o raio) da altura da rosca macho na porção incompleta da rosca macho cônica satisfaz a seguinte equação:

$$c > a / (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \theta)$$

[0090] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (10) tendo uma porção de forma-

ção de vedação metálica entre a primeira porção de rosca trapezoidal e a segunda porção de rosca trapezoidal.

[0091] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em (11) caracterizada pelo fato de que uma outra porção de formação de vedação metálica é fornecida além da porção formadora de vedação metálica descrita acima.

[0092] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em qualquer um dos itens (1) a (12) onde a rosca é uma rosca de partida múltipla.

[0093] Uma junta roscada para um tubo de aço conforme apresentada em (13) caracterizada pelo fato de que ambas as roscas macho e fêmea têm as mesmas dimensões e formam para cada sulco da rosca.

[0094] De acordo com a presente invenção, a excelente resistência à compressão de uma rosca áspera pode ser mantida enquanto a variação de torque, que é um problema nas roscas ásperas, pode ser contida em um nível baixo capaz de ser produzida com as técnicas atuais de controle de tolerâncias, a resistência às pressões externas pode ser garantida, e a capacidade de operação no campo e particularmente a velocidade de montagem podem ser aumentadas.

Breve Descrição dos Desenhos

[0095] As figuras 1(a) e 1(b) são vistas esquemáticas da seção transversal de um exemplo de uma junta premium típica para um tubo de poço de petróleo (tubo de acoplamento) e uma vista ampliada de uma de suas porções.

[0096] As figuras 2(a) - 2(e) são vistas esquemáticas explanatórias mostrando vários exemplos de estruturas de uma junta premium.

[0097] A figura 3(a) é uma vista esquemática para explicar uma junta do tipo acoplamento e a figura 3(b) apresenta uma junta do tipo integral.

[0098] A figura 4(a) é uma vista esquemática explanatória de uma

rosca trapezoidal do tipo dente de serra API, e a figura 4(b) é uma vista esquemática para explicar o equilíbrio entre a força de acoplamento e a força de contato da rosca agindo na porção da rosca da figura 4(a).

[00099] As figuras 5(a) e 5(b) são vistas esquemáticas explanatórias de um campo de petróleo submarino e de um poço inclinado-horizontal, respectivamente.

[00100] As figuras 6(a) e 6(b) são vistas explanatórias esquemáticas de uma rosca áspera descrita na Patente Japonesa Número 2705505 ou no Pedido de Patente Não-Examinada Publicada Japonesa Hei 11-294650 e do equilíbrio da força de acoplamento que age na porção da rosca e a força de contato da rosca.

[00101] A figura 7 é uma vista explanatória esquemática do vão nos flancos penetrantes da rosca para determinar geometricamente a mudança $\Delta\delta_a$ na interferência da rosca (sobre o diâmetro) resultante da tolerância de largura da rosca Δa em uma rosca áspera.

[00102] As figuras 8(a) e 8(b) são vistas explanatórias esquemáticas da forma da rosca em um primeiro modo da presente invenção.

[00103] As figuras 9(a), 9(b) e 9(c) são vistas esquemáticas para explicar a forma da rosca em um segundo modo da presente invenção.

[00104] As figuras 10(a) e 10(b) são vistas esquemáticas para explicar a forma da rosca em um terceiro modo da presente invenção.

[00105] A figura 11 é uma vista esquemática para explicar a forma da rosca em outro aspecto da presente invenção.

[00106] As figuras 12(a) - 12(j) são vistas esquemáticas para explicar a forma da rosca em ainda outros aspectos da presente invenção.

Descrição Detalhada das Configurações Preferidas

[00107] A seguir a presente invenção será explicada em mais detalhes em relação à produção de uma junta conforme a presente invenção.

[00108] A rosca de uma junta premium é usinada em um torno

usando-se um mordente de corte, referido como cinzelador, tendo a forma do entalhe de rosca de uma rosca trapezoidal.

[00109] Para mudar a forma da rosca (forma do entalhe) no meio do caminho de uma rosca contínua e misturar a rosca áspera acima descrita com uma rosca dente de serra, é normalmente necessário empregar-se dois cinzeladores tendo as formas das roscas correspondentes. Entretanto, é extremamente difícil realizar tal método de produção, e os custos de produção acabam sendo extremamente altos.

[00110] A esse respeito, uma junta conforme a presente invenção pode fornecer duas roscas diferentes na forma de uma rosca áspera e de uma rosca dente de serra pelo corte usual da rosca usando-se um cinzelador com uma única forma.

[00111] Em outras palavras, após uma rosca dente de serra ter sua forma de rosca e sua interferência ajustadas é inicialmente trabalhada usando-se um cinzelador, a altura da rosca fêmea da porção que deve ser transformada em uma rosca áspera é reduzida por corte ou trituração (referido abaixo como corte/trituração), a rosca fêmea é reduzida na direção radial pela interferência dada, e é obtida uma rosca áspera que tem contato com os flancos penetrantes ao invés da raiz da rosca.

[00112] Naturalmente, para que a porção onde a altura da rosca fêmea seja reduzida desta maneira para tornar-se uma rosca áspera, é necessário transmitir-se as dimensões e interferência adequadas.

[00113] Os presentes inventores desenvolveram equações de projeto para prescrever uma combinação adequada das idéias a seguir.

[00114] Primeiramente, será considerada a rosca dente de serra da figura 8(a) que não sofreu corte/trituração. O vão entre os flancos penetrantes deve naturalmente ser positivo, então é estabelecida a seguinte equação:

$$a > 0 \quad \dots \text{Equação 6}$$

[00115] A seguir será considerado que as roscas fêmeas das ros-

cas dente de serra da figura 8(a) são submetidas ao corte/trituração por apenas uma altura c para alcançar o estado mostrado na figura 8(b). Nesse momento, para fazer os flancos penetrantes da rosca contactarem e obter-se uma rosca áspera, a interferência δ das roscas (sobre o diâmetro) deve ser maior que a redução b na altura da rosca fêmea, de forma que é estabelecida a seguinte equação:

$$(\delta/2) > b = a / (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\theta) \quad \dots \text{Equação 7}$$

[00116] Incidentalmente, quando a interferência δ não satisfaz a equação 7, apenas os flancos de carga da rosca contactam e resultam roscas com folga, o que não é bom.

[00117] A altura na qual a rosca fêmea é cortada é naturalmente limitada pela equação a seguir:

$$c > b = a / (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\theta) \quad \dots \text{Equação 8}$$

[00118] Um exemplo de uma combinação de dimensões que satisfazem as Equações 6, 7 e 8 acima será descrito em detalhes nos exemplos abaixo descritos.

[00119] Não importa onde uma rosca áspera é fornecida, ou em quantos locais, ou em quantas roscas, mas para se obter melhor os efeitos da presente invenção é preferível fazer-se aproximadamente de 2 a 8 roscas na extremidade próxima às roscas ásperas da porção de vedação metálica.

[00120] Em um segundo modo da presente invenção que pode misturar uma rosca áspera e uma rosca dente de serra usando-se um único cinzelador, a presente invenção adicionalmente inventou a forma de rosca a seguir.

[00121] Em outras palavras, como segundo modo, eles inventaram uma rosca dente de serra como aquela apresentada na figura 9(b) na qual há contato na superfície da crista da rosca e nos flancos de carga.

[00122] No caso dessa forma de rosca, a altura da rosca macho

torna-se naturalmente menor em uma porção de rosca incompleta (veja figura 9(a)), de forma que a porção de rosca completa torna-se uma rosca dente de serra e a porção de rosca incompleta torna-se uma rosca áspera sem execução de corte/trituração.

[00123] No caso da segunda configuração, as condições que devem ser satisfeitas pelas dimensões e tolerâncias das roscas precisam ser apenas aquelas dadas pelas Equações 6 e 7 descritas acima.

[00124] Como variação desse segundo modo, executando-se corte/trituração da porção da crista da rosca dente de serra macho em um local desejado da porção completa da rosca, uma rosca áspera pode ser adicionada em qualquer local e em qualquer número de roscas da porção completa da rosca (veja figura 9(c)).

[00125] Quando se adiciona realmente uma rosca áspera a uma porção completa de rosca nesse segundo modo, aproximadamente de 2 a 5 roscas na extremidade próxima à vedação são preferivelmente transformadas em roscas ásperas.

[00126] Até agora, foi feita uma descrição de corte/trituração fornecendo roscas como um método de diminuição da altura da rosca, mas naturalmente é possível cortar as roscas após executar-se o trabalho cortando-se ou triturando-se para se obter um diâmetro prescrito a partir do diâmetro de uma porção adequada antes da formação das roscas (sendo assim chamada de redução do diâmetro da rosca).

[00127] Quando os ângulos dos flancos de carga e dos flancos penetrantes são pequenos, há casos nos quais se desenvolvem rebarbas (impressão devido ao corte) nos cantos das roscas quando se executa o corte/trituração para reduzir a altura da rosca. Se forem deixadas sem tratamento, elas tornam-se a causa de emperramento (descamação) no momento da montagem da rosca, então é necessário removê-las.

[00128] Como resultado de muitos anos de experiência com cor-

te/trituração, foi descoberto que se a inclinação da superfície da rosca submetida a corte/trituração estiver pelo menos a aproximadamente 35°, não há quase ocorrência de tais rebarbas. Para suprimir a ocorrência de rebarbas, foi inventado um terceiro modo da presente invenção no qual a inclinação da porção final apenas do flanco de carga da rosca que é cortado (a rosca fêmea em um primeiro modo (figura 10(a)) e a rosca macho em um segundo modo (figura 10(b)), ou apenas o flanco penetrante, ou a porção final de ambos, o flanco de carga e o flanco penetrante, e preferivelmente a porção em 1/8 - 1/2 do lado do diâmetro interno da rosca fêmea ou do lado do diâmetro externo da rosca macho é reduzida a um valor de pelo menos 25° e preferivelmente pelo menos 35° e no máximo 60°.

[00129] Roscas conforme os primeiro, segundo e terceiro modos da presente invenção acima descritos podem ser aplicados a uma junta roscada com roscas cônicas do tipo acoplamento ou do tipo integral para conectar tubos de aço de qualquer tamanho ou material. Além disso, enquanto as equações de projeto acima mencionadas são satisfeitas, eles podem ser aplicadas a qualquer dimensão de rosca, e seus efeitos podem ser mostrados.

[00130] Entretanto, atualmente, produtos para os quais é exigida uma excelente resistência à compressão até o ponto em que eles exigem roscas ásperas são principalmente juntas roscadas para poços de petróleo, de forma que o tubo tenha um diâmetro externo de aproximadamente 60 mm (aproximadamente 2-3/8 de polegada) a aproximadamente 510 mm (20 polegadas), e o material é principalmente um aço tal como aço carbono, aço inoxidável ou aço de liga de cromo tendo um limite de elasticidade de 552 MPa (80 ksi) a 1034 MPa (150 ksi).

[00131] Quanto à estrutura de uma junta que possa ser empregada, ela pode ser aplicada a toda a estrutura apresentada na figura 2.

[00132] Quanto às dimensões da rosca, as dimensões que são fornecidas em tubos de poços de petróleo do tamanho acima mencionado são principalmente um passo de rosca de 2,5 mm a 12,7 mm, uma altura de rosca de 0,7 mm a 4 mm, e uma conicidade de rosca de 1/20 a 1/8.

[00133] Se a quantidade c de que a altura da rosca é reduzida por corte/trituração for tornada maior que o necessário, a altura de contato da rosca diminui, e torna-se fácil ocorrer o salto (fenômeno em que as roscas se desengatam quando é aplicada a tensão), então ela é preferivelmente a menor possível dentro de uma faixa que satisfaça a Equação 8.

[00134] Quanto às dimensões da rosca do primeiro modo da presente invenção, uma rosca conforme a presente invenção pode ser obtida, por exemplo, ajustando-se o passo da rosca para 5,08 mm, a conicidade da rosca para 1/18, a altura das roscas machos para 1,4 mm, a altura das roscas fêmeas antes do corte/trituração para 1,6 mm, o ângulo do flanco de carga para 3° , o ângulo do flanco penetrante para 35° , o vão nos flancos penetrantes da rosca para 0,04 mm, a altura de corte c para 0,2 mm, e o valor mínimo da interferência da rosca (sobre o diâmetro) para 0,2 mm.

[00135] Em ainda um outro modo da presente invenção, conforme mostrado na figura 11, a rosca pode ter uma rosca de dois níveis tendo uma porção de vedação metálica 4 disposta em seu centro. Se uma forma diferente de rosca for fornecida em cada porção da rosca, tal como uma rosca áspera para a rosca na ponta do pino (referida abaixo como a primeira porção de rosca) e uma rosca dente de serra como rosca do lado do tubo (referida abaixo como segunda porção de rosca), os problemas acima descritos de corte de rosca são resolvidos, e uma junta que é uma mistura de uma rosca áspera e de uma rosca dente de serra é facilmente obtida.

[00136] Além disso, uma porção de vedação metálica é fornecida não na ponta do pino mas entre as roscas, então uma grande espessura de parede pode ser fornecida na porção de vedação metálica no pino, e uma vez que a porção cônica da rosca que se une com a porção caixa é fornecida mais próxima do fim do pino que da vedação metálica, o dobramento rígido da porção de vedação metálica do pino torna-se extremamente grande.

[00137] Portanto mesmo se a pressão externa agir e penetrar até imediatamente antes da vedação metálica, a deformação por contração e a deformação por dobramento do membro pino podem ser reduzidas até um nível extremamente baixo.

[00138] Com a espessura da parede (aproximadamente 4 - 20 mm) de um tubo de aço que é o objetivo da presente invenção, se houver três ou mais níveis de porções de rosca, o acoplamento roscado da rosca torna-se pobre, então haverá preferivelmente dois níveis.

[00139] Tanto uma rosca áspera quanto uma rosca dente de serra pode ser fornecida na primeira porção de rosca ou na segunda porção de rosca, mas do ponto de vista de produção, é preferível fornecer um tipo de rosca como rosca contínua em cada porção de rosca.

[00140] Uma porção de vedação metálica é fornecida em pelo menos uma localização entre a primeira porção de rosca e a segunda porção de rosca (porção B), mas além dela, uma segunda ou uma terceira vedação metálica ou um anel de vedação feita de um material macio tal como borracha ou um polímero ou um material composto pode ser fornecida mais próxima da extremidade que da primeira porção de rosca (porção C), e/ou mais próximo do tubo (porção A) que da segunda porção de rosca (veja figura 2(a)).

[00141] Em particular, se uma segunda porção de vedação metálica for fornecida na porção C, boas propriedades de vedação podem ser apresentadas não apenas em relação às pressões externas mas tam-

bém em relação às pressões internas (veja a figura 2(b)).

[00142] Basicamente não interessa quantas porções de ressalto de torque são fornecidas em quaisquer das locações A, B e C.

[00143] Se for desejado tornar a resistência da junta à força de tensão tão grande quanto possível, um ressalto de torque é preferivelmente fornecido nas porções B e C.

[00144] Além disso, para exibir o efeito de aumentar a resistência às pressões externas pela vedação metálica da presente invenção tanto quanto possível, um ressalto de torque é fornecido preferivelmente nas porções A e C.

[00145] Conseqüentemente, uma posição preferida para instalação de uma porção de ressalto de torque na presente invenção é a localização da porção C.

[00146] Se o ângulo do flanco de carga da rosca for muito suave, as roscas tornam-se desengatadas (isto é referido como salto) quando a carga de tensão age, o que é indesejável. Se for um ângulo negativo muito excessivo, o processo de cortar as roscas torna-se difícil, e os custos de produção crescem enormemente. Conseqüentemente, uma faixa preferida para os ângulos de carga das roscas está na faixa de -10° a $+10^{\circ}$ em relação ao plano perpendicular ao eixo da rosca.

[00147] Da mesma maneira, se o ângulo do flanco penetrante das roscas for muito suave, a excelente resistência à compressão que é característica de uma rosca áspera acaba diminuindo, enquanto que se ele for muito escarpado, as tolerâncias permitidas para o corte das ranhuras das roscas tornam-se muito severas e a produção acaba tornando-se difícil, de forma que o ângulo do flanco penetrante da rosca seja preferivelmente de $+15^{\circ}$ a $+50^{\circ}$.

[00148] Como outro método, os presentes inventores descobriram o método a seguir.

[00149] Em outras palavras, empregando-se dois sulcos de rosca,

usando-se um cinzelador tendo a forma de duas roscas de forma que as duas ranhuras de rosca possam ser trabalhadas simultaneamente, e fazendo-se de uma das duas ranhuras ser uma rosca áspera e a outra ser uma rosca que não é uma rosca áspera (referida abaixo como "rosca não-áspera"), duas diferentes roscas podem ser trabalhadas simultaneamente com uma única ferramenta.

[00150] Naturalmente, é necessário assegurar-se que as roscas da primeira ranhura de rosca e da segunda ranhura de rosca podem cada uma engatar-se com uma ranhura de rosca correspondente de ambas as primeira ranhura de rosca e segunda ranhura de rosca. Para esse propósito, ou a rosca macho ou a rosca fêmea tem que ter exatamente a mesma forma de rosca e dimensões de rosca para a primeira ranhura de rosca e para a segunda ranhura de rosca.

[00151] As dez combinações diferentes mostradas na figura 12 para o estado de contato das superfícies inclinadas da rosca não-áspera são concebíveis quando a rosca áspera tem contato ao longo de ambas as superfícies inclinadas da rosca macho.

[00152] A figura 12(a) apresenta o caso em que não há contato em qualquer uma das quatro superfícies da rosca não-áspera, a figura 12(b) apresenta o caso no qual há contato apenas no flanco penetrante, a figura 12(c) apresenta o caso no qual há contato apenas na superfície da crista, a figura 12(d) apresenta o caso em que há contato na superfície da raiz da rosca à frente do flanco de carga da rosca não-áspera, a figura 12(e) apresenta o caso em que há contato apenas no flanco de carga, a figura 12(f) apresenta o caso no qual há contato na raiz da rosca atrás do flanco penetrante da rosca não-áspera, a figura 12(g) apresenta o caso em que há contato no flanco de carga e na superfície da crista da rosca, a figura 12(h) apresenta o caso no qual há contato na superfície da crista da rosca e no flanco penetrante, a figura 12(i) apresenta o caso no qual há contato no flanco de carga e

na superfície da raiz da rosca atrás do flanco penetrante, e a figura 12(j) apresenta o caso no qual há contato na superfície da raiz da rosca à frente do flanco de carga e no flanco penetrante.

[00153] Esses casos nos quais (i) a rosca não-áspera tem contato simultaneamente com o flanco de carga e com o flanco penetrante, (ii) há um contato simultâneo na superfície da crista da rosca e na superfície da raiz da rosca, e (iii) há contato em três ou mais superfícies, e (iv) há contatos em três superfícies de rosca contínuas ou de uma rosca áspera ou de uma rosca não-áspera estão fora do escopo da presente invenção.

[00154] Isto se dá porque no caso (i) se os flancos de carga e os flancos penetrantes se contactam, acaba sendo uma rosca áspera.

[00155] Além disso, no caso(ii) para haver contato simultâneo nas superfícies da crista da rosca e na superfície da raiz da rosca, as alturas das roscas macho e das roscas fêmea de uma rosca não-áspera devem ser exatamente as mesmas, e a precisão de trabalho que não permite as tolerâncias de produção é quase impossível na atual produção em massa.

[00156] O mesmo se aplica a (iii) e (iv). Fazer com que pelo menos três superfícies de uma rosca trapezoidal contatem ao mesmo tempo requer que as dimensões da crista da rosca e da correspondente ranhura da rosca sejam exatamente as mesmas. Entretanto, um trabalho preciso que não permita as tolerâncias de produção é quase impossível na atual produção em massa.

[00157] Os ângulos das superfícies inclinadas são naturalmente os mesmos para a rosca áspera e para a rosca não-áspera.

[00158] Até agora foi descrita uma rosca de duas partidas, mas outro modo da presente invenção pode ser uma rosca de múltiplas partidas tendo mais de duas ranhuras de rosca. Nesse caso, o número de roscas das roscas ásperas é dado por $1 \leq n \leq$ (número de ranhuras de

rosca/2).

[00159] Quanto à estrutura de uma junta para a qual tal rosca possa ser aplicada, ela pode ser aplicada a todas as estruturas apresentadas na figura 2. Entretanto, com uma junta tendo uma vedação ou um ressalto na posição intermediária B, para fornecer uma rosca de duas partidas ou uma rosca de múltiplas partidas, uma vez que o comprimento das roscas no lado interno e no lado externo são curtos, é preferível aplicar-se a rosca a uma junta que não tenha uma vedação ou ressalto na posição intermediária B e que tenha uma rosca contínua.

Exemplo

Exemplo 1

[00160] Para demonstrar os efeitos da presente invenção mais concretamente, foi executada a seguinte análise de simulação numérica pelo método de elemento finito elastoplástico e pelo teste de corte de rosca.

[00161] O objetivo da avaliação era a junta roscada do tipo acoplamento para tubos de poços de petróleo mostrados na figura 1. Era uma junta para união de tubos N° 20 de 13,97 cm (5 1/2 polegadas) (diâmetro externo de 139,7 mm, espessura de parede de 9,17 mm).

[00162] O material era aquele tendo a especificação API P110. Na análise de elemento finito, foi tratado como corpo elastoplástico com uma dureza isotópica, e foi modelado numericamente como tendo um coeficiente de elasticidade de 210.000 MPa e tendo uma resistência a 0,2% igual ao limite de elasticidade nominal de 758 MPa (110 ksi).

[00163] A Tabela 1 apresenta as juntas nas quais foi executada a avaliação. As formas das porções de vedação metálica e as porções de ressalto de torque sendo analisadas eram ligeiramente diferentes umas das outras, mas os valores mínimos e os valores máximos da interferência da vedação eram todos os mesmos.

[00164] Para as formas de rosca que foram avaliadas, o passo da

rosca foi de 5,08 mm e a conicidade da rosca foi de 1/18 para cada um.

Tabela 1

Amostra N°	Avaliação	Tolerância de produção da interferência da rosca (sobre o diâmetro)	Ângulo do flanco de carga	Vão do flanco penetrante	Ângulo do flanco penetrante	Altura da rosca	Número de roscas ásperas/número total de roscas	Comentários
1	somente análise	0,2 mm	+3°	0,04 mm	35°	1,6 mm	4/15	Roscas do primeiro modo da invenção
2	análise e teste	0,2 mm	+3°	0,04 mm	35°	1,6 mm	7/15	Roscas do segundo modo da invenção
3	apenas teste	0,2 mm	+3°	0,04 mm	45°	1,6 mm	7/15	Roscas do terceiro modo da invenção (com base em roscas do Segundo modo)
4	análise	0,2 mm	+3°	0,00 mm	35°	1,6 mm	15/15	Todas as roscas ásperas
5	análise	0,19 mm	-3°	0,09 mm	10°	1,58 mm	0/15	Todas as roscas dente de serra

[00165] Em uma primeira análise, em relação às juntas na Tabela 1, a análise de montagem da rosca foi executada usando-se a combinação de interferência para a qual o torque gerado foi o máximo e usando-se a combinação de interferência para a qual ele foi o menor, e foi avaliada a variação no torque de ressalto.

[00166] Em uma segunda análise, a análise na qual a compressão correspondente a 100% do limite de elasticidade do corpo do tubo (2852 kN = 291 t) foi aplicada e então retirada foi executada para cada junta da Tabela 1, e o grau de soldura da junta (mesmo que tenha sofrido dano) foi avaliado pela proporção do torque gerado após a remoção da carga para o torque de montagem (este é referido como taxa de manutenção de torque e quanto maior o seu valor mais difícil é para que a soldura ocorra (melhores são as propriedades)).

[00167] O teste de corte da rosca foi executado apenas nas amostras 2 e 3. O corte da rosca foi executado em 10 tubos, e o número de tubos de teste nos quais foram formadas rebarbas que necessitaram remoção (tendo uma altura de aproximadamente 0,15 mm ou maior) foi gravado.

[00168] Os resultados da avaliação estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2

Amostra nº	Resultados das análises		Resultados do teste
	Variação no torque de ressalto	Taxa de manutenção do torque após a retirada da compressão	Número de espécimes de teste que necessitaram remoção de rebarbas
1	5411 N.m (3991 ft. lb)	78,2%	-
2	7266 N.m (5359 ft. lb)	82,0%	9 tubos
3	-	-	3 tubos
4	11999 N.m (8849 ft. lb)	84,4%	-

Amostra nº	Resultados das análises		Resultados do teste
	Varição no torque de res-salto	Taxa de manutenção do torque após a retirada da compressão	Número de espécimes de teste que necessitaram remoção de rebarbas
5	1240 N.m (1915 ft. lb)	51,6%	-

*: 1 ft . lb = 1,356 N.m.

[00169] Desses resultados pode ser visto que para as roscas das amostras 1 ou 2 conforme a presente invenção, a variação de torque foi pequena comparada à amostra 4, que empregou totalmente uma rosca áspera, e a extensão da redução de torque após a remoção da carga compressiva foi significativamente melhor se comparada à rosca dente de serra da amostra 5, e aproximadamente o mesmo resultado foi obtido para a amostra 4.

[00170] Além disso, pode ser visto que o número de tubos de teste para os quais foi necessária a remoção de rebarbas foi grandemente reduzida para a amostra 3, que tinha 3 tubos, comparado à amostra 2, que tinha 9 tubos.

[00171] Dos resultados acima, é claro que com uma rosca conforme a presente invenção a variação de torque é grandemente melhorada comparado a uma rosca áspera, a excelente resistência à compressão é mantida, e a formação de rebarbas é grandemente suprimida conforme o terceiro modo da presente invenção.

Exemplo 2

[00172] Nesse exemplo, o Exemplo 1 foi repetido, e a análise de simulação numérica pelo método de elemento finito elastoplástico foi executado.

[00173] A Tabela 3 apresenta as juntas nas quais a avaliação foi executada. A amostra 6, que era uma junta conforme a presente invenção, tinha uma rosca áspera como primeira porção de rosca de

uma rosca de dois níveis e uma rosca dente de serra como segunda porção de rosca. Uma vedação metálica foi disposta apenas na porção B, e um ressalto de torque foi disposto apenas na porção C.

[00174] As juntas das amostras 7 - 8 eram roscas de um nível como aquela mostrada na figura 1. Elas tinham uma estrutura na qual uma vedação metálica e um ressalto de torque foram fornecidos na porção final de um pino.

[00175] A forma da vedação e a forma do ressalto de torque das juntas das amostras 6 - 8 foram cada uma ligeiramente diferentes daquelas descritas acima, mas o valor mínimo e o valor máximo da interferência transmitida à porção de vedação metálica foram todas tornadas as mesmas.

[00176] Das formas de rosca, as amostras 6 - 8 tinham cada uma um passo de rosca de 5,08 mm e uma conicidade de 1/18.

Tabela 3

Amostra n°	Tolerância de produção da interferência da rosca (sobre o diâmetro)	Ângulo do flanco de carga	Ângulo do flanco penetrante	Vão do flanco penetrante	Número de roscas ásperas/número total de roscas	Comentários
6	0,2 mm	+3°	35°	0,09 mm para a porção de rosca dente de serra, 0,00 mm para a porção de rosca áspera	8/17	Roscas da presente invenção
7	0,2 mm	+3°	35°	0,00 mm	15/15	Todas as roscas ásperas

Amostra n°	Tolerância de produção da interferência da rosca (sobre o diâmetro)	Ângulo do flanco de carga	Ângulo do flanco penetrante	Vão do flanco penetrante	Número de roscas ásperas/número total de roscas	Comentários
8	0,19 mm	-3°	10°	0,09 mm	0/15	Todas as roscas dente de serra

[00177] Em uma primeira análise, a montagem da rosca foi analisada em relação às juntas das amostras 6 e 7 da Tabela 3 para a combinação de interferência fornecendo o maior torque gerado e a combinação que forneceu o menor torque gerado, e a variação no torque de ressalto foi avaliada.

[00178] Em uma segunda análise, após as juntas das amostras 6 - 8 da Tabela 3 serem submetidas a uma carga compressiva correspondente a 100% do limite de elasticidade do corpo do tubo (2852 kN = 291 t), foi executada a análise da liberação de compressão. A extensão até a qual a junta se soltou (quer tenha sofrido dano ou não) foi avaliada com base na razão do torque gerado após a liberação da carga para o torque de montagem (este é referente à taxa de manutenção de torque; quanto maior seu valor, mais difícil é para ocorrer a soltura (melhores as propriedades)).

[00179] Em uma terceira análise, foi executada a análise aplicando-se uma pressão externa de compressão ao tubo (76,5 MPa) prescrita pela norma API 5C3 para juntas das amostras 6 e 7 da Tabela 3, e a extensão até a qual a força de contato nas porções de vedação metálica foi mantida foi comparada com base na razão da força de contato no momento da montagem (esta é referida como taxa de manutenção da força de contato).

[00180] A Tabela 4 apresenta os resultados da avaliação. Desses resultados pode ser visto que a junta conforme a presente invenção da amostra 6 teve uma variação de torque muito menor que a junta da amostra 7 tendo todas as roscas ásperas, a redução no torque após a liberação da compressão foi muito melhor se comparada com a rosca dente de serra da junta da amostra 8, e a taxa de manutenção da força de contato na porção de vedação metálica sob uma pressão externa foi também boa.

[00181] Dos resultados acima, fica claro que uma rosca conforme a presente invenção é grandemente melhorada em relação à variação de torque comparado a uma rosca dente de serra, ela mantém a excelente resistência à compressão, e ela também tem excelente capacidade de vedação contra pressões externas.

Tabela 4

Amostra nº	Variação no torque de ressalto	Taxa de manutenção do torque após a retirada da compressão (%)	Taxa de manutenção da força de contato de vedação durante a carga de pressão externa (%)
6	7627 N.m (5625 ft.lb)	92,3	84,3
7	11999 N.m (8849 ft.lb)	84,4	40,4
8	-	51,6	-

Exemplo 3

[00182] Nesse Exemplo, o Exemplo 1 foi repetido, e a análise da simulação numérica pelo método de elemento finito elastoplástico e a estimativa do tempo para montagem da rosca foi executada.

[00183] A Tabela 5 apresenta a junta na qual a avaliação foi executada. Aquelas apresentadas na figura 12 foram usadas como exemplos representativos da presente invenção. As formas da porção de vedação metálica e da porção de ressalto de torque sendo analisadas

tiveram leves diferenças, mas os valores mínimo e máximo da interferência da vedação foram os mesmos para cada uma.

[00184] Das formas de rosca que foram analisadas, o passo da rosca foi de 5,08 mm e a conicidade da rosca era de 1/18 para cada um.

Tabela 5

Amostra nº	Tolerância de produção da interferência da rosca (sobre o diâmetro)	Ângulo do flanco de carga	Ângulo do flanco penetrante	Altura da rosca	Comentários
9	0,2 mm	+3°	35°	1,6 mm	Modo de rosca da figura 12(a)
10	0,2 mm	+3°	35°	1,6 mm	Modo de rosca da figura 12(e)
11	0,2 mm	+3°	35°	1,6 mm	Modo de rosca da figura 12(i)
12	0,2 mm	+3°	35°	1,6 mm	Todas roscas ásperas de partida única
13	0,19 mm	-3°	10°	1,58 mm	Todas roscas ásperas de partida única

[00185] Em uma primeira análise, a montagem da rosca foi analisada em relação às juntas da Tabela 5 para a combinação de interferência fornecendo o maior torque gerado e a combinação fornecendo o menor torque gerado, e foi avaliada a variação no torque de ressalto.

[00186] Em uma segunda análise, após cada uma das juntas da Tabela 5 ter sido carregada com uma carga compressiva correspondente a 100% do limite de elasticidade do corpo do tubo (2852 kN = 291 t) foi executada a análise da liberação da compressão. A extensão na qual a junta se soltou (quer tenha sofrido dano ou não) foi avaliada com base na quantidade de diminuição do torque gerado após a liberação da carga em relação ao torque de montagem (esta é referida

como taxa de manutenção do torque; quanto maior seu valor, mais difícil é para ocorrer a soltura (melhores são as propriedades)).

[00187] Além disso, o tempo de operação necessário para a montagem das roscas em relação às juntas das amostras 9 e 12 foi executado por comparação com os resultados passados.

[00188] Os resultados da avaliação estão mostrados na Tabela 6. Desses resultados pode ser visto que para qualquer uma das amostras 9 - 11 que tenha roscas conforme a presente invenção, a variação de torque foi pequena comparada à amostra 12 que foi inteiramente uma rosca áspera, a extensão da redução o torque após a liberação de uma carga compressiva foi muito melhor comparada à rosca dente de serra da amostra 13, e foi aproximadamente a mesma que para a amostra 12.

Tabela 6

Amostra nº	Resultados das análises		Tempo necessário para a montagem (minutos)
	Variação no torque de ressalto	Taxa de manutenção do torque após a retirada da compressão	
9	10108 N.m (7455 ft.lb)	85,8	Aproximadamente 4 minutos
10	11121 N.m (8202 ft.lb)	81,3	"
11	10194 N.m (7518 ft.lb)	81,7	"
12	11999 N.m (8849 ft.lb)	84,4	Aproximadamente 5 minutos
13	1240 N.m (1915 ft.lb)	51,6	"

*: 1 ft . lb = 1,356 N.m.

[00189] Quanto ao tempo estimado necessário para a montagem da rosca, comparado com o caso de uma rosca de partida única como a da amostra 12, uma rosca de duas partidas conforme a presente invenção pode encurtar o tempo em aproximadamente 20%.

[00190] A base para estimativa do tempo de montagem foi conforme segue. Se a montagem é considerada como sendo dividida em três estágios de (i) penetração (o processo de inserir verticalmente um membro pino em um membro caixa) e aperto manual (o operador executa a rotação a mão até uma posição em que a rotação para), (ii) aperto com máquina (o processo de aperto até um torque prescrito por uma máquina tal como alicates mecânicos) e (iii) ajuste após a montagem, com a rosca de partida única, o tempo necessário foi aproximadamente (i) dois minutos, (ii) dois minutos e (iii) um minuto, mas empregando-se uma rosca de duas partidas conforme a presente invenção, o tempo necessário para (ii) pode ser reduzido pela metade.

[00191] Dos resultados acima, fica claro que uma rosca conforme a presente invenção é melhorada em relação à variação de torque comparada a uma rosca áspera, ela mantém a excelente resistência à compressão e o tempo necessário para a montagem é grandemente reduzido.

REIVINDICAÇÕES

1. Junta roscada para um tubo de aço tendo um membro pino (11) que tem uma rosca macho cônica (12), uma porção de formação de vedação metálica (4), e uma porção de formação de ressalto de torque (5), e um membro caixa (21) tendo uma rosca fêmea cônica (22), uma porção de formação de vedação metálica (4), e uma porção de formação de ressalto de torque (5) correspondentes àquelas do membro pino (11), **caracterizada pelo fato de** que as roscas (12, 22) que constituem a rosca macho cônica (12) e a rosca cônica fêmea (22) têm uma primeira porção trapezoidal que não tem contato simultâneo com os flancos de carga (16) e com os flancos penetrantes (17, 23), e uma segunda porção de rosca trapezoidal que tem contato com os flancos de carga (16) e com os flancos penetrantes (17, 23) e que têm vãos nas superfícies da raiz da rosca (14) e nas superfícies da crista da rosca (18),

em que a primeira rosca trapezoidal tem contato com os flancos de carga (16) e com as superfícies das raízes da rosca (14), e vãos nas superfícies da crista das roscas (18) e nos flancos penetrantes (17, 23).

2. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que o ângulo dos flancos de carga (16) em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo é de pelo menos -10° e no máximo $+10^\circ$, e o ângulo dos flancos penetrantes (17, 23) é de pelo menos $+15^\circ$ e no máximo $+50^\circ$.

3. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, **caracterizada pelo fato de** que o vão "a" na direção axial nos flancos penetrantes (17, 23) da primeira porção de junta trapezoidal satisfaz a seguinte equação:

$$0 < a < [(tg\alpha + tg\theta)/2] \times \delta$$

onde α é o ângulo do flanco de carga (16), θ é o ângulo do

flanco penetrante (17, 23), e δ é a interferência da rosca (sobre o diâmetro).

4. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer

uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizada pelo fato de** que o ângulo do flanco de carga (16) em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro interno dos flancos de carga (16) da rosca fêmea (22) é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

5. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizada pelo fato de** que o ângulo do flanco penetrante (17, 23) em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro interno dos flancos penetrantes (17, 23) da rosca fêmea (22) é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

6. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizada pelo fato de** que o ângulo do flanco de carga (16) em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro externo dos flancos de carga (16) da rosca macho (12) é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

7. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizada pelo fato de** que o ângulo do flanco penetrante (17, 23) em 1/8 a 1/2 do lado do diâmetro externo dos flancos penetrantes (17, 23) da rosca macho (12) é de pelo menos 25° e no máximo 60° em relação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo.

8. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizada pelo fato de** que a segunda porção de rosca trapezoidal tem uma porção de rosca incom-

pleta na rosca macho cônica (12).

9. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada pelo fato de** que a segunda porção de rosca trapezoidal tem uma porção de rosca incompleta na rosca macho cônica (12), e a quantidade de redução "c" (sobre o raio) da altura da rosca macho (12) na porção de rosca incompleta da rosca da rosca macho cônica (12) satisfaz a seguinte equação:

$$c > a / (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \theta)$$

10. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizada pelo fato de** que tem uma porção de formação de vedação metálica (4) entre a primeira porção de rosca trapezoidal e a segunda porção de rosca trapezoidal.

11. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com a reivindicação 10, **caracterizada pelo fato de** que uma outra porção de formação de vedação metálica (4) é fornecida além da porção formadora de vedação metálica (4) descrita acima.

12. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizada pelo fato de** que a rosca é uma rosca de partida múltipla.

13. Junta roscada para um tubo de aço de acordo com a reivindicação 12, **caracterizada pelo fato de** que ambas as roscas macho e fêmea (12, 22) têm as mesmas dimensões e forma de rosca para cada sulco da rosca.