



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

(11) PI 0905624-6 B1

(22) Data do Depósito: 11/09/2009

(45) Data de Concessão: 12/09/2017



(54) Título: PEÇA DE AÇO PARA USO EM ESTRUTURA DE MÁQUINA

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C21D 1/06; C21D 1/10; C21D 9/32; C21D 9/40; C22C 38/12; C22C 38/60; C23C 8/30; C23C 8/56

(30) Prioridade Unionista: 19/12/2008 JP 2008-324643

(73) Titular(es): NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION

(72) Inventor(es): ATSUSHI MIZUNO; MASAYUKI HASHIMURA; HAJIME SAITOH; SHUJI KOZAWA; KEI MIYANISHI

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PEÇA DE AÇO PARA USO EM ESTRUTURA DE MÁQUINA"**.

Campo da Técnica

[001] A presente invenção refere-se a um aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial e, em particular, a uma peça de aço para uso em estrutura de máquina com uma alta resistência à fadiga por contato aplicada a uma engrenagem, transmissão continuamente variável, junta, cubo ou outra peça de transmissão de energia com velocidade constante para um automóvel, etc.

Antecedentes da Invenção

[002] Peças de aço para uso em estrutura de máquina, por exemplo, engrenagens de transmissões automáticas, polias de transmissões continuamente variáveis, juntas, cubos, mancais e outras peças de transmissão de energia com velocidade constante exigem alta resistência à fadiga por contato.

[003] No passado, em geral, as peças expostas eram obtidas pelo trabalho de materiais, tais como JIS SCr420, SCM420, ou outro C; 0,2% ou então cementado em peças então, pelo tratamento destas por cementação para formar C: 0,8% ou então camadas temperadas de estrutura de martensita nas superfícies das peças e aumentar a resistência à fadiga por contato.

[004] Entretanto, cementação é acompanhada por transformação de austenita em uma temperatura de aproximadamente 950 °C ou mais, em longos períodos de tempos, de 5 a 10 horas, em alguns casos, 10 horas ou mais. Então, é difícil evitar a deformação do tratamento térmico causada pelo crescimento dos grãos (distorção durante o aquecimento).

[005] Por este motivo, quando uma peça de aço exigir alta precisão, depois da cementação, a peça de aço precisa ser retificada, brunida, ou de outra forma acabada.

[006] Além disto, nos anos atuais, houve um aumento de demanda pela redução de ruído dos motores de automóvel etc., então, métodos de endurecimento superficial com menor distorção térmica, comparados à cementação, tais como têmpera por indução e nitretação branda, passaram a ser o núcleo da atenção.

[007] Têmpera por indução é um método de austenitização e têmpera apenas da peça exigida da peça da camada superficial de um material de aço pelo aquecimento por um curto período de tempo, e habilita que uma peça temperada da superfície com pequena distorção durante têmpera seja obtida com boa precisão. Entretanto, se for tentado usar apenas têmpera por indução para obter uma dureza equivalente àquela de um material temperado cementado, 0,8% ou mais de C tem que ser adicionado.

[008] Se a quantidade de C no aço se tornar 0,8% ou mais, a dureza interna, que é desnecessária para aumento da resistência à fadiga por contato, também aumenta, e a usinabilidade deteriora consideravelmente, então, não é possível aumentar apenas a quantidade de C no aço. Há limites para aumentar a resistência à fadiga por contato apenas por têmpera por indução.

[009] Nitretação branda é um método de endurecimento superficial que, principalmente, faz com que nitrogênio e carbono difundam e permeiem simultaneamente na superfície de um material de aço, para formar uma camada temperada na faixa de temperatura de 500 a 600°C, que é menor que o ponto de transformação, e aumentar a resistência ao desgaste, resistência à corrosão, resistência à fadiga, etc.

[010] A superfície do material de aço é formada com nitretos pelo nitrogênio difundido. Usualmente, na camada mais superficial do material de aço, é formada uma camada composta que compreende, principalmente, Fe_3N Fe_4N , ou outros nitretos de Fe. No interior, é formada uma camada nitretada com N difundido em si.

[011] Nitretação branda pode ser realizada em uma baixa temperatura. Adicionalmente, comparado à cementação, o tempo de tratamento é tão curto quanto aproximadamente 2 a 4 horas, portanto, esta é frequentemente usada para a produção de peças de aço que exigem baixa distorção. Entretanto, com apenas nitretação branda, a profundidade da camada temperada é pequena, então, esta não pode ser usada para engrenagens de transmissão, etc. nas quais uma alta pressão de contato é aplicada.

[012] Nos anos atuais, como uma técnica que compensa os defeitos de têmpera por indução e nitretação branda e que proporciona melhores propriedades mecânicas, em particular, melhor resistência à fadiga por contato, realizar nitretação branda, então, têmpera por indução foi experimentado (vide PLTs 1 a 7).

[013] Por exemplo, a PLT 1 descreve o método de combinar têmpera por indução e nitretação branda a gás para compensar seus respectivos defeitos e obter excelentes propriedades mecânicas, em particular, alta resistência à fadiga por contato pela melhoria da resistência ao amolecimento.

[014] Entretanto, com o método da PLT 1, a dureza superficial é alta, mas a concentração de N na camada nitretada é baixa, então, a dureza em alta temperatura é baixa, resistência ao amolecimento suficiente não pode ser obtida na superfície da engrenagem, etc., a temperatura ficando alta durante a operação e, em análise final, uma alta resistência à fadiga por contato não pode ser obtida.

[015] PLT 2 também descreve o método de combinar têmpera por indução e nitretação branda para produzir peças para uso em estrutura de máquina com excelente resistência mecânica. Com o método da PLT 2, para habilitar os nitretos a formar uma solução sólida, aquecimento por indução em alta temperatura de 900°C a 1.200°C é necessário.

[016] Entretanto, as quantidades de adição de elementos com uma alta afinidade com N, que promovem a decomposição e a dispersão de nitretos, são insuficientes, então, aquecimento em alta temperatura é exigido. Portanto, a superfície do material de aço é formada com uma camada de óxido em um grau considerável, e as propriedades mecânicas acabam deteriorando enormemente.

[017] Adicionalmente, com o método da PLT 2, nenhuma consideração é dada ao método de formação de uma camada composta espessa, então, boa resistência à fadiga por contato não pode ser obtida sob uma alta pressão de contato.

[018] PLT 3 descreve um método de produção de uma peça para uso em estrutura de máquina com excelente resistência mecânica, caracterizado pelo tratamento de aço composto de C: 0,35 a 0,65% em peso, Si: 0,03 a 1,50% em peso, Mn: 0,3 a 1,0% em peso, Cr: 0,1 a 3,0% em peso, e um equilíbrio de Fe e impurezas por nitretação branda, sob condições que proporcionam uma profundidade de camada nitretada de 150 μm ou mais, então, por têmpera por indução sob condições em que a camada nitretada austenitiza.

[019] Entretanto, no método de produção da PLT 3, nenhuma consideração é dada ao aumento da resistência à fadiga por contato pela formação de uma espessura exigida de uma camada nitretada.

[020] PLT 4 descreve um método de tratamento térmico de uma peça de máquina, caracterizado pela nitretação branda de um material a base de ferro trabalhado na forma de uma peça para fazer com que o nitrogênio difunda e permeie na camada superficial e forme uma camada composta, então, têmpera por indução da peça sob condições em que a camada composta é consumida, a camada de difusão da camada superficial recém-formada é desnitrada, e uma camada porosa é formada na peça mais superficial.

[021] Entretanto, no método de tratamento térmico da PLT 4, ne-

nhuma consideração é dada ao aumento da resistência à fadiga por contato pela formação de uma espessura exigida de uma camada nitretada.

[022] PLT 5 descreve um eixo de suporte do cilindro usado para um dispositivo seguidor de came feito de um liga a base de ferro que contém Cr, Mo, V e W em um total de 1,0 a 20,0% em peso, e C e N em um total de 0,5 a 1,2% em peso, e com um equilíbrio de impurezas inevitáveis e Fe, nitretado em sua superfície, então, temperado por indução nas peças periféricas externas diferentes das duas extremidades.

[023] Entretanto, no eixo de suporte do cilindro da PLT 5, nenhuma consideração é dada ao aumento da resistência à fadiga por contato pela formação de uma espessura exigida de uma camada nitretada.

[024] PLT 6 também descreve um método de combinar têmpera por indução e nitretação para obter excelentes propriedades mecânicas. Entretanto, a nitretação no método de PLT 6 é realizada em uma alta temperatura de 600°C ou mais, então, a camada composta é fina. Além do mais, a concentração de N é baixa, então, a quantidade de N difuso em função da decomposição no momento do têmpera por indução também é pequena.

[025] No fim, com a nitretação da PLT 6, embora uma camada composta possa ser formada, a formação de uma espessa camada nitretada com alta concentração de N é difícil, então, mesmo se combinada ao têmpera por indução, a formação de uma camada nitretada com alta resistência ao amolecimento e boa resistência à fadiga por contato não é possível.

[026] PLT 7 descreve aço para uso em estrutura de máquina excelente em resistência, ductilidade, tenacidade e resistência ao desgaste, caracterizado por conter C: acima de 0,30% em massa, 0,50%

em massa ou menos, Si: 1,0% em massa ou menos, Mn: 1,5% em massa ou menos, Mo: 0,3% em massa a 0,5% em massa, Ti: 0,1% em massa ou menos e B: 0,0005% em massa a 0,01% em massa, com um equilíbrio de Fe e impurezas inevitáveis, tendo, em sua superfície, uma camada temperada de uma espessura de 50 µm ou menos e uma dureza Vickers de 750 ou mais, e com estruturas diferentes da dita camada temperada com um tamanho de grão austenítico antigo de 10 µm ou menos, um percentual de martensita de 90% ou mais, e uma dureza Vickers de 450 a menos que 750.

[027] Entretanto, o aço para uso em estrutura de máquina da PLT 7 não forma a espessura exigida de camada nitretada e aumenta a resistência à fadiga por contato, então, mesmo se este puder ser aplicado a uma correia de metal de uma transmissão continuamente variável, é difícil aplicar este em engrenagens de transmissões automáticas, polias de transmissões continuamente variáveis, juntas, cubos e outras peças com velocidade constante de transmissão de energia sujeitos a altas pressões de contato.

[028] Qualquer que seja o caso, aço para uso estrutural para endurecimento superficial que pode ser usado para peças de transmissão de energia sujeitas a altas pressões de contato não foi provido até agora.

Lista de Citação

Literatura de Patente

PLT 1: Publicação de Patente Japonesa (A) 06-172961

PLT 2: Publicação de Patente Japonesa (A) 07-090363

PLT 3: Publicação de Patente Japonesa (A) 07-090364

PLT 4: Publicação de Patente Japonesa (A) 10-259421

PLT 5: Publicação de Patente Japonesa (A) 2004-183589

PLT 6: Publicação de Patente Japonesa (A) 2007-077411

PLT 7: Publicação de Patente Japonesa (A) 2007-177317

Sumário da Invenção

Problema Técnico

[029] A presente invenção, em vista desta situação, tem, como sua tarefa, compensar os defeitos da baixa dureza superficial ou dureza interna resultantes apenas de têmpera por indução ou nitretação branda, pela combinação de têmpera por indução e nitretação branda e provisão de uma peça de aço para uso em estrutura de máquina com excelente resistência à fadiga por contato (i) provida com altas dureza superficial, dureza interna e resistência ao amolecimento por revenimento incapaz de ser obtida por uma peça de aço nitretada de forma branda e temperada por indução convencional e, além do mais, (ii) formada com um filme lubrificante suficiente em sua superfície operacional e um aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial usado para a dita peça de aço.

Solução para o Problema

[030] Para aumentar a resistência à fadiga por contato da peça de aço, são efetivos (i) aumento da dureza superficial, (ii) aumento da profundidade da camada temperada e (iii) aumento da resistência ao amolecimento para manter resistência à alta temperatura em um superfície operacional que tem aumento de temperatura (cerca de 300 °C). Além do mais, para impedir a corrosão e adesão das superfícies operacionais, é efetivo formar um filme lubrificante suficiente.

[031] Com base nisto, os inventores se engajaram em intensiva pesquisa sobre o endurecimento superficial das peças de aço pela combinação de nitretação branda e tratamento térmico por indução e obtiveram as seguintes descobertas:

 aumentar a resistência ao amolecimento, formando uma camada nitretada com uma alta concentração de N é efetivo. Apenas com nitretação, mesmo se uma camada composta puder ser formada, a formação de uma espessa camada nitretada com alta concentração

de N é difícil, e aumentar a resistência ao amolecimento é impossível.

[032] Para aumentar a resistência ao amolecimento, é necessário usar a camada composta formada no momento da nitretação branda (camada composta, principalmente, por Fe_3N , Fe_4N ou outros nitretos de Fe) como uma fonte de suprimento de N e usar o aquecimento por indução posteriormente realizado para decompor o composto e fazer com que uma quantidade suficiente de N se difunda no aço.

[033] Aqui, a figura 1 mostra um exemplo da distribuição seccional transversal da dureza da superfície para a direção do núcleo em um material nitretado de forma branda e um material nitretado de forma branda e temperado por indução.

[034] Em um material nitretado de forma branda, a camada mais superficial da camada nitretada (vide figura 2(a), figura 2(a) posteriormente explicada) é formada com uma camada composta e, da forma mostrada na figura 1, exibe uma dureza extremamente alta, mas a camada composta é fina.

[035] Adicionalmente, com aquecimento por indução, descobriu-se que a camada composta na camada mais superficial se decompõe, N difunde no interior, e a camada mais superficial perde um tanto de dureza, mas a camada temperada (camada nitretada), efetiva para aumentar a resistência à fadiga por contato, aumenta.

[036] Note que a estrutura da camada superficial de um material temperado nitretado de forma branda é martensita e o núcleo é uma estrutura ferrita-perlita.

[037] Se for feita a espessura da camada composta que decompõe por têmpera por indução em 10 μm ou mais, é possível aumentar a espessura da camada nitretada com alta concentração de N. A camada composta formada por nitretação se torna uma camada composta frágil, e tem propriedades mecânicas degradadas em alguns casos, dependendo das condições de nitretação, então, usualmente, é feito

esforço para reduzir a espessura da camada composta.

[038] Em oposição a isto, a presente invenção é caracterizada por tornar deliberadamente a espessura da camada composta maior, para utilizar deliberadamente as propriedades da camada composta. Isto é, a presente invenção aumenta a espessura da camada composta para formar martensita que contém uma grande quantidade de N no momento de têmpera por indução e obter uma estrutura com uma alta resistência ao amolecimento.

[039] Na presente invenção, em função da formação de uma estrutura com uma alta resistência ao amolecimento, a resistência ao amolecimento no momento de uma alta temperatura aumenta de forma impressionante.

[040] no momento da nitretação branda, para formar uma camada composta espessa, é necessário reduzir a quantidade de S que inibe a formação de compostos Fe-N, Se S formar uma solução sólida no material de aço por si mesmo, o mesmo concentrará na superfície do material de aço e inibirá nitretação. Para suprimir esta ação de S, uma certa quantidade ou mais de Mn é adicionada para imobilizar o S como MnS e torná-lo inofensivo.

[041] Mn, adicionado se em um quantidade que satisfaz $Mn/S \geq 70$, suprime a ação de S e exibe um considerável efeito para a formação de uma camada composta. Entretanto, contanto que Mn/S seja, preferivelmente, 30.000 ou menor.

[042] no momento do aquecimento por indução, para promover a decomposição da camada composta e a difusão de N no aço e aumentar a profundidade da camada nitretada, é necessário adicionar a quantidade exigida de W com uma alta afinidade com N. Em função da adição de W, a concentração de N na camada nitretada aumenta consideravelmente e, além do mais, a profundidade da camada nitretada aumenta e a resistência ao amolecimento aumenta.

[043] Em função da adição de W, mesmo em uma baixa temperatura de menos que 900°C, é possível promover suficientemente a difusão de N. Desta maneira, é possível abaixar a temperatura do aquecimento, então, é possível impedir a deterioração das propriedades mecânicas em função do efeito do refino do tamanho dos grãos de cristal e do efeito da redução da camada de óxido.

[044] para impedir a corrosão ou adesão das superfícies operacionais, é efetivo prover reservatórios de óleo, de forma que um filme de um lubrificante seja formado sem quebra. A presente invenção é caracterizada pela formação de uma camada composta na camada superficial do material de aço por nitretação branda e, então, usando o subsequente aquecimento por indução para austenitização para temperatura e, desse modo, formar uma camada nitretada.

[045] A figura 2 mostra um exemplo de uma camada de nitreto observado por um microscópio óptico e um microscópio eletrônico de varredura. A figura 2(a) mostra uma camada de nitreto observada por um microscópio óptico, enquanto que a figura 2(b) mostra uma camada de nitreto observada por um microscópio eletrônico de varredura (ampliação da peça da camada).

[046] A partir da figura 2(b), entende-se que a camada de nitreto é uma camada dura porosa com um grande número de poros funcionando como reservatórios de óleo em função da decomposição da camada composta. Em função da camada de nitreto incluir um grande número de poros, o efeito de lubrificação é aumentado, e a resistência ao desgaste e a durabilidade são enormemente aumentadas.

[047] Pelo controle das condições de nitretação branda e de aquecimento por indução, é possível formar poros com um círculo de diâmetro equivalente a 0,1 μm a 1 μm , em dimensões em uma densidade de 10.000/ mm^2 ou mais na camada nitretada da superfície até uma profundidade de 5 μm ou mais. Os poros na camada nitretada

funcionam efetivamente como reservatórios de óleo.

[048] A presente invenção foi completada com base nas descobertas expostas, e tem como sua essência o seguinte:

[049] Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial contendo

C: 0,3 a 0,6% em massa,

Si: 0,02 a 2,0% em massa,

Mn: 1,5% em massa a 3,0% em massa,

W: 0,0025 a 0,5% em massa,

Al: 0,001 a 0,5% em massa,

N: 0,003 a 0,02% em massa,

S: 0,0001 a 0,025% em massa,

P: 0,0001 a 0,03% em massa, e

O: 0,0001 a 0,005% em massa,

com um Mn/S de 70 a 30.000, e

com um equilíbrio substancial de Fe e impurezas inevitáveis,

veis,

(2) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com (1), caracterizado por conter adicionalmente um ou mais de

Cr: 0,01 a 2,0% em massa,

Mo: 0,01 a 1,0% em massa, e

V: 0,01 a 1,0% em massa,

(3) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com (1) ou (2), caracterizado por conter adicionalmente

B: 0,0005 a 0,005% em massa,

(4) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com qualquer um de (1) a (3), caracterizado por conter adicionalmente um ou mais de

Nb: 0,005 a 0,3% em massa,

Ti: 0,005 a 0,2% em massa,

Ni: 0,05 a 2,0% em massa, e

Cu: 0,01 a 2,0% em massa,

(5) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com qualquer um de (1) a (4), caracterizado por conter adicionalmente um ou mais de

Ca: 0,0005 a 0,01% em massa,

Mg: 0,0005 a 0,01% em massa,

Zr: 0,0005 a 0,05% em massa, e

Te: 0,0005 a 0,1% em massa,

(6) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com qualquer um de (1) a (5), caracterizado em que o dito aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial é aço que é nitretado, então, temperado por indução.

(7) Aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com (6), caracterizado em que a dita nitretação é nitretação branda.

(8) Uma peça de aço para uso em estrutura de máquina, obtida pela usinagem de aço para uso em estrutura de máquina para endurecimento superficial, de acordo com qualquer um de (1) a (7), nitretando-a, então, temperando-a por indução, a dita peça de aço para uso em estrutura de máquina caracterizada em que a camada superficial da superfície até uma profundidade de 0,4 mm ou mais é uma camada nitretada, e a dureza da camada nitretada da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é uma dureza Vickers, no momento da têmpera em 300 °C, de 650 ou mais.

(9) Uma peça de aço para uso em estrutura de máquina, de acordo com (8), caracterizada em que a dita nitretação é nitretação

branda.

(10) Uma peça de aço para uso em estrutura de máquina, de acordo com (8) ou (9), caracterizada em que a dita camada nitretada da superfície até uma profundidade de 5 μm ou mais inclui poros com um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 a 1 μm em uma quantidade de 10.000/ mm^2 ou mais.

Efeitos Vantajosos da Invenção

[050] De acordo com a presente invenção, é possível prover aço para uso estrutural para endurecimento superficial que pode ser aplicado em peças de transmissão de energia de automóveis, etc. e é possível prover peças de aço com alta resistência à fadiga por contato, em particular, engrenagens, transmissão continuamente variável, juntas, cubos e outras peças com velocidade constante de aço para estruturas de máquina.

Descrição Resumida dos Desenhos

[051] A figura 1 é uma vista que mostra um exemplo da distribuição de dureza na seção transversal da superfície, na direção do núcleo em um material nitretado de forma branda e em um material nitretado de forma branda e temperado por indução.

[052] As figuras 2 são vistas que mostram um exemplo de uma camada nitretada observada em um microscópio óptico e em um microscópio eletrônico de varredura, (a) mostra uma camada nitretada observada por um micrógrafo óptico, enquanto (b) mostra uma camada nitretada (peça da camada ampliada) observada por um microscópio eletrônico de varredura.

[053] A figura 3 é uma vista que mostra o relacionamento entre Mn/S e espessura da camada composta (μm).

[054] A figura 4 é uma vista que mostra o relacionamento entre a concentração de N (% em massa) em uma posição de 0,2 mm da camada superficial depois do têmpera por indução e a dureza de reveni-

mento (Hv) a 300°C (Hv).

Descrição das Modalidades

[055] A presente invenção tem como sua ideia básica produzir uma peça de aço a partir da qual uma alta resistência à fadiga por contato é demandada por nitretação ou nitretação branda de aço no qual quantidades adequadas de Mn e W são adicionadas, então, têmpera por indução do mesmo para formar profundamente uma camada nitretada com uma alta concentração de N e aumentar a dureza e a resistência ao amolecimento.

[056] Primeiro, os motivos para definir a composição dos ingredientes que formam a base da presente invenção serão explicados. Aqui, o% significa% em massa.

C: 0,3 a 0,6%

[057] C é um importante elemento para obter resistência do aço. Em particular, o mesmo o mesmo é um elemento exigido para reduzir o percentual de ferrita da estrutura antes do têmpera por indução, aumentando a temperabilidade no momento do têmpera por indução, e aumentando a profundidade da camada temperada.

[058] Se menor que 0,3%, o percentual de ferrita fica alto e a têmpera no momento do têmpera por indução é insuficiente, então, o limite inferior foi definido em 0,3%. O limite inferior preferível é de 0,36%.

[059] Por outro lado, se muito grande, a trabalhabilidade e forjabilidade no momento da fabricação da peça de aço caem consideravelmente e, além do mais, a possibilidade de ocorrência de trincas por têmpera no momento do têmpera por indução fica maior, então, o limite superior foi definido em 0,6%. O limite superior preferível é de 0,53%.

Si: 0,02 a 2,0%

[060] Si é um elemento com o efeito de aumentar a resistência ao

amolecimento da camada temperada e aumentar a resistência à fadiga por contato. Para obter este efeito, 0,02% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, 0,1% ou mais, mais preferivelmente, 0,25% ou mais é adicionado.

[061] Entretanto, se acima de 2,0%, a descarbonetação no momento da forja se torna considerável, então, 2,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível foi de 1,44%.

Mn: 1,5 a 3,0%

[062] Mn é um elemento efetivo para aumentar a temperabilidade e aumentar a resistência ao amolecimento e, desse modo, aumentar a resistência à fadiga por contato. Além do mais, Mn tem o efeito de imobilizar o S no aço como MnS e suprimir a ação de S na concentração na superfície do material de aço, para inibir a entrada de N e de promover a formação de uma espessa camada composta em função de nitretação ou nitretação branda.

[063] Para imobilizar S como MnS, para torná-lo inofensivo, Mn precisa ser adicionado para satisfazer $Mn/S \geq 70$.

[064] Adicionalmente, Mn é um elemento com o efeito de diminuir o percentual de ferrita da estrutura antes do têmpera por indução e de aumentar a temperabilidade no momento do têmpera por indução. Para obter o efeito de adição, 1,5% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 1,55% ou mais, mais preferivelmente, 1,6% ou mais.

[065] Entretanto, se acima de 3,0%, durante a produção de um material de aço, o mesmo torna-se muito duro, e a cortabilidade de barras de aço, etc., é obstruída. Além do mais, Mn segrega entre dendritas no estágio de solidificação, no momento da fabricação do aço, e torna o material do aço localmente endurecido e frágil, então 3,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 2,59%, enquanto o limite superior mais preferível é 2,29%.

S: 0,0001 a 0,025%

[066] S é um elemento inibidor de nitretação branda que tem a ação de aumentar a trabalhabilidade, mas que se concentra na superfície do material de aço e obstrui a entrada de N no material de aço no momento da nitretação branda.

[067] Se acima de 0,025%, a ação de inibição da nitretação se torna considerável e, além do mais, a forjabilidade também degrada consideravelmente, então, mesmo se adicionado para aumentar a usinabilidade, o mesmo deve ser mantido em 0,025% ou menos. Preferivelmente, o mesmo é 0,019% ou menos, mais preferivelmente, 0,009% ou menos. O limite inferior foi definido como o limite industrial de 0,0001%.

[068] Para imobilizar o S no aço como MnS e torná-lo inofensivo, é necessário que $30.000 \geq \text{Mn/S} \geq 70$.

Mn/S: 70 a 30.000

[069] Da forma supraexplicada, isto impede que o S se concentre na superfície do material de aço, então, uma certa razão ou mais de Mn por S precisa ser adicionada para imobilizar o S como MnS e tornar o S inofensivo.

[070] Se a razão Mn/S das quantidades de adição de Mn e S for menor que 70, S se concentra na superfície do material de aço e inibe a formação da camada composta no momento da nitretação ou da nitretação branda, então, Mn/S foi definido como 70 ou mais, Se Mn/S for 70 ou mais, o efeito da adição é considerável.

[071] O limite superior de Mn e o limite inferior de S são ajustados, então, não há necessidade em particular de ajustar o limite superior de Mn/S, mas quando $\text{Mn/S} = 30.000$, o efeito da adição de Mn fica saturado, então, o limite superior foi definido como 30.000.

[072] A figura 3 é uma vista que mostra o relacionamento entre a Mn/S obtida pela nitretação branda do material de aço sob as condi-

ções recém-explicadas e a espessura (μm) da camada composta. A partir da figura 3, entende-se que, se definir-se Mn/S como 70 ou mais, no momento da nitretação branda, é possível obter uma camada composta de uma espessura de 10 μm ou mais.

W: 0,0025 a 0,5%

[073] W é um elemento com uma boa afinidade com N e com a ação de aumentar a temperabilidade e promover a difusão de N no momento do aquecimento por indução, para aumentar a resistência à fadiga por contato. Adicionalmente, W é um elemento com a ação de diminuir o percentual de ferrita da estrutura antes do têmpera por indução e aumentar a temperabilidade no momento do têmpera por indução.

[074] Além do mais, W é um elemento que não segrega facilmente no aço e tem a ação de aumentar uniformemente a temperabilidade do aço e, desse modo, compensar a queda na temperabilidade em função da segregação de Mn. Para obter o efeito da adição de W, 0,0025% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,01% ou mais, mais preferivelmente, 0,05% ou mais.

[075] Entretanto, se provido acima de 0,5%, a usinabilidade deteriora e, além do mais, o efeito de adição é saturado e a economia é prejudicada, então, 0,5% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 0,40%, mais preferivelmente, 0,25%.

Al: 0,001 a 0,5%

[076] Al precipita e dispersa como nitretos de Al no aço e, efetivamente, age para refinar a estrutura de austenita no momento do têmpera por indução. Além do mais, o mesmo é um elemento com a ação de aumentar a temperabilidade e aumentar a profundidade da camada temperada, Adicionalmente, Al é um elemento efetivo para aumentar a usinabilidade.

[077] Para obter o efeito da adição, 0,001% ou mais precisa ser

adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,005% ou mais, mais preferivelmente, 0,010% ou mais.

[078] Entretanto, se acima de 0,5% for adicionado, o precipitado engrossa e o aço fica frágil, então, o limite superior foi definido como 0,5%. O limite superior preferível é de 0,31%, mais preferivelmente, 0,14%.

N: 0,003 a 0,02%

[079] N é um elemento que forma vários tipos de nitretos e, efetivamente, age para refinar a estrutura de austenita no momento do têmpera por indução. Para obter o efeito de adição, 0,003% ou mais precisa ser adicionado, Preferivelmente, o mesmo é 0,005% ou mais.

[080] Entretanto, se acima de 0,02% for adicionado, a forjabilidade se deteriora, então, 0,02% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 0,01%.

P: 0,0001 a 0,03%

[081] P é um elemento que segrega nos contornos de grão e age para reduzir a tenacidade. Por este motivo, o mesmo precisa ser reduzido o tanto quanto possível. O mesmo é limitado a 0,03% ou menos. Preferivelmente, o mesmo é limitado a 0,01% ou menos. O limite inferior é definido como o limite industrial de 0,0001%.

O: 0,0001 a 0,0050%

[082] O fica presente no aço como Al_2O_3 , SiO_2 e outras inclusões a base de óxido, mas se O for muito, os ditos óxidos acabam ficando com grande tamanho e formando pontos de partida que levam à fratura das peças de transmissão de energia, então, precisa ser limitado a 0,0050% ou menos.

[083] Quanto menos melhor, então, 0,0020% ou menos é preferível. Além do mais, visando a maior vida útil, 0,0015% ou menos é preferível. O limite inferior é o limite industrial de 0,0001%.

[084] A seguir, a composição de ingredientes dos elementos op-

cionais do presente invenção será explicada.

[085] Elementos de Aumento da Resistência à Fadiga por Contato

Cr: 0,01 a 2,0%

[086] Cr é um elemento com o efeito de aumentar as propriedades nitretadas do aço e de aumentar a resistência ao amolecimento da camada temperada, para aumentar a resistência à fadiga por pressão de contato. Para obter o efeito de adição, 0,01% ou mais é adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,1% ou mais, mais preferivelmente, 0,52% ou mais.

[087] Entretanto, desde que se acima de 2,0% for adicionado, a usinabilidade deteriora, então, 2,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 1,74%, enquanto o limite superior mais preferível é 1,30%.

Mo: 0,01 a 1,0%

[088] Mo é um elemento que tem o efeito de aumentar a resistência ao amolecimento da camada temperada, para aumentar a resistência à fadiga por contato, e o efeito de intensificar e enrijecer a camada temperada, para aumentar a resistência à fadiga por dobramento. Para obter o efeito de adição, 0,01% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,05% ou mais, mais preferivelmente, 0,12% ou mais.

[089] Entretanto, desde que mesmo se acima de 1,0% for adicionado, o efeito de adição fica saturado e a economia é prejudicada, então, 1,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 0,80%, o limite superior mais preferível é 0,69%.

V: 0,01 a 1,0%

[090] V é um elemento que precipita e dispersa como nitretos no aço e, efetivamente, age para refinar a estrutura de austenita no momento do têmpera por indução. Para obter o efeito de adição, 0,01%

ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,10% ou mais, mais preferivelmente, 0,25% ou mais.

[091] Entretanto, mesmo se acima de 1,0% for adicionado, o efeito de adição fica saturado e a economia é prejudicada, então, o limite superior foi definido como 1,0%, O limite superior preferível é 0,80%, o limite superior mais preferível é 0,68%.

[092] Na presente invenção, para aumentar a resistência à fadiga por contato, um ou mais de Cr: 0,01 a 2,0%, Mo: 0,01 a 1,0% e V: 0,01 a 1,0% são adicionados.

[093] Elementos de Aumento da Temperabilidade

B: 0,0005 a 0,005%

[094] B é um elemento que contribui para o aumento da temperabilidade. Para obter o efeito de adição, 0,0005% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,001% ou mais. Entretanto, desde que mesmo se acima de 0,0050% for adicionado, o efeito de adição é saturado, então, 0,005% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 0,003%.

[095] Elementos de Reforço do Aço

Nb: 0,005 a 0,3%

[096] Nb é um elemento que precipita e dispersa como nitretos no aço e, efetivamente, age para refinar a estrutura de austenita no momento do têmpera por indução. Para obter o efeito de adição, 0,005% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,01% ou mais, mais preferivelmente, 0,04% ou mais.

[097] Entretanto, se acima de 0,3% for adicionado, o efeito de adição fica saturado e a economia é prejudicada, então, o limite superior foi definido como 0,3%. O limite superior preferível é 0,2%, enquanto o limite superior mais preferível é 0,16%.

Ti: 0,005 a 0,2%

[098] Ti é um elemento que precipita e dispersa como nitretos no

aço e, efetivamente, age para refinar a estrutura de austenita no momento do têmpera por indução. Para obter o efeito de adição, 0,005% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,02% ou mais, mais preferivelmente, 0,05% ou mais.

[099] Entretanto, se acima de 0,2% for adicionado, o precipitado engrossa e o aço fica frágil, então, o limite superior foi definido como 0,2%. O limite superior preferível é 0,15%, o limite superior mais preferível é 0,11%.

Ni: 0,05 a 2,0%

[0100] Ni é um elemento que aumenta adicionalmente a tenacidade. Para obter o efeito de adição, 0,05% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,10% ou mais, mais preferivelmente, 0,21% ou mais.

[0101] Entretanto, se acima de 2,0% for adicionado, a usinabilidade deteriora, então, 2,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 1,5%, o limite superior mais preferível é 0,96%.

Cu: 0,01 a 2,0%

[0102] Cu é um elemento que intensifica ferrita e efetivo para aumentar a temperabilidade e aumentar a resistência à corrosão. Para obter o efeito de adição, 0,01% ou mais precisa ser adicionado. Preferivelmente, o mesmo é 0,09% ou mais, mais preferivelmente, 0,14% ou mais.

[0103] Entretanto, mesmo se acima de 2,0% for adicionado, o efeito de aumentar as propriedades mecânicas fica saturado, então, 2,0% foi definido como o limite superior. O limite superior preferível é 1,5%, embora o limite superior mais preferível é 0,95%. Note que, particularmente, Cu diminui a capacidade de laminação a quente e, facilmente, se torna uma causa de defeitos internos no momento da laminação, então, é preferivelmente adicionado simultaneamente com o Ni.

[0104] Na presente invenção, para reforçar o material do aço, um

ou mais de Nb: 0,005 a 0,3%, Ti: 0,005 a 0,2%, Ni: 0,05 a 2,0% e Cu: 0,01 a 2,0% é adicionado.

[Elementos de Aumento da Resistência ao Dobramento]

[0105] Quando busca-se um aumento da resistência à fadiga por dobramento na peça de aço, um ou mais de Ca: 0,0005 a 0,01%, Mg: 0,0005 a 0,01%, Zr: 0,0005 a 0,05% e Te: 0,0005 a 0,1% é adicionado no material de aço.

[0106] Os elementos expostos são elementos que suprimem fratura de fadiga por dobramento de engrenagens e fratura por fadiga da base das ranhuras das peças do eixo ocasionadas pelo achatamento de MnS e, desse modo, aumentando adicionalmente a resistência à fadiga por dobramento.

[0107] Para obter o efeito de adição, Ca: 0,0005% ou mais, Mg: 0,0005% ou mais, Zr: 0,0005% ou mais ou Te: 0,0005% ou mais precisam ser adicionados. Preferivelmente, Ca: 0,0010% ou mais, Mg: 0,0010% ou mais, Zr: 0,0010% ou mais ou Te: 0,0010% ou mais são adicionados.

[0108] Entretanto, mesmo se forem adicionados Ca: acima de 0,01%, Mg: acima de 0,01%, Zr: acima de 0,05% e Te: acima de 0,1%, o efeito da adição fica saturado e a economia é prejudicada, então, Ca: 0,01%, Mg: 0,01%, Zr: 0,05% e Te: 0,1% foram definidos como os limites superiores. Os limites superiores preferíveis são Ca: 0,005%, Mg: 0,005%, Zr: 0,005% e Te: 0,07%.

[0109] Isto é, para obter um efeito de supressão do achatamento de MnS, um ou mais de Ca: 0,0005 a 0,01%, Mg: 0,0005 a 0,01%, Zr: 0,0005 a 0,05% e Te: 0,0005 a 0,1% podem ser adicionados.

[0110] Adicionalmente, na presente invenção, além dos elementos expostos, é possível incluir Pb, Bi, Sn, Zn, REM, e Sb em um grau que não prejudica o efeito da presente invenção.

[0111] A seguir, a espessura e a dureza da camada nitretada na

camada superficial de uma peça de aço serão explicadas.

[0112] A peça de aço da presente invenção é uma peça de aço obtida pela usinagem de aço da presente invenção, nitretação ou nitretação branda dele, então, têmpera por indução dele, caracterizado em que a camada superficial da superfície até uma profundidade de 0,4 mm ou mais é uma camada nitretada e a dureza da camada nitretada da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é uma dureza Vickers após o revenimento a 300°C de 650 ou mais.

[0113] Se a camada nitretada tiver uma espessura menor que 0,4 mm, a camada superficial com uma dureza suficiente fica mais fina. Antes de o ponto de partida da fratura de uma superfície ocorrer, fratura interna, isto é, "fragmentação", ocorre, e a vida útil fica curta, então, a camada superficial da superfície até uma profundidade de 0,4 mm ou mais é designada como a "camada nitretada".

[0114] Fratura por fadiga de contato é o ponto de partida da fratura de uma superfície formado em uma superfície deslizante com alta temperatura (até cerca de 300°C), então, manter a resistência à alta temperatura, isto é, aumentar a resistência ao amolecimento por revenimento, é efetivo para aumentar a resistência à fadiga por contato.

[0115] Na camada nitretada de uma profundidade da superfície de 0,2 mm, se a dureza Vickers durante o revenimento a 300°C for menor que 650, a camada nitretada não pode suportar uma alta pressão de contato, então, na camada nitretada da superfície até uma profundidade de 0,2 mm, a dureza Vickers após o revenimento a 300°C é definida como 650 ou mais.

[0116] Em uma peça de aço real, se a mesma for uma peça de aço obtida por nitretação branda, então, têmpera por indução pode ser julgado por (a) a distribuição de estruturas observadas em um microscópio óptico depois da obtenção de uma microamostra da peça de aço e sua corrosão por uma solução corrosiva Nital, (b) a distribuição da

duresa medida da superfície até o núcleo, e, além do mais, (c) a concentração de N da superfície até o núcleo medida por EPMA.

[0117] Para formar uma camada nitretada com uma alta concentração de N para obter uma alta resistência à fadiga por contato, é necessário formar uma camada composta decompondo e suprindo N no momento do tratamento térmico em alta frequência (camada composta, principalmente, de Fe_3N , Fe_4N , ou outros nitretos de Fe) na superfície do aço, Por este motivo, a nitretação ou nitretação branda é tratamento necessário e importante.

[0118] Para fazer uma quantidade suficiente de N se difundir no aço, fazer a camada superficial do aço dura e formar profundamente uma camada nitretada com uma alta resistência ao amolecimento por revenimento, é necessário fazer a espessura da camada composta depois da nitretação ou nitretação branda com 10 μm ou mais.

[0119] Se for feita nitretação branda em uma alta temperatura acima de 600°C, a camada composta fica fina e, além do mais, a concentração de N na camada composta fica mais baixa, então, a temperatura da nitretação branda é definida inferior a 600°C. Se a temperatura da nitretação branda for uma baixa temperatura, é possível impedir deformação por tratamento térmico, oxidação do limite de grão, etc., do material de aço, então, também a partir deste ponto, a temperatura da nitretação branda é definida como mais baixa de 600°C.

[0120] Para formar uma camada composta espessa, preferivelmente, a temperatura da nitretação branda é 500°C ou mais. A profundidade da camada nitretada alcança o estado saturado mesmo se nitretação branda for por um longo tempo, então, preferivelmente, o tempo da nitretação branda é 1 a 3 horas.

[0121] O resfriamento depois da nitretação branda pode ser realizado por qualquer método de resfriamento a ar. Resfriamento a gás N_2 , resfriamento a óleo, etc.. Como a nitretação branda, nitretação

branda a gás ou nitretação branda por banho de sal podem ser usadas.

[0122] Como o método para suprir nitrogênio na superfície do material de aço e formação de uma camada composta de 10 μm ou mais na camada superficial do material de aço, não somente nitretação branda, mas, também, nitretação pode ser usada. A "nitretação" aqui referida não é um método, como nitretação branda, de tratamento em uma atmosfera mista de NH_3 e CO_2 (e, algumas vezes, também N_2), mas um método de endurecimento superficial de tratamento por NH_3 por um longo período, e é um método industrialmente diferente.

[0123] Para decompor a camada composta formada na superfície do material de aço por nitretação branda e, além do mais, fazer o N difundir no aço para formar uma profunda camada nitretada com uma alta concentração de N da superfície até uma profundidade de 0,4 mm ou mais, e obter uma alta dureza, de uma dureza Vickers após o revenimento a 300°C de 650 ou mais, na camada nitretada da superfície até uma profundidade de 0,2 mm, é necessário amolecer nitreto, então, aquecer por indução o aço, para aquecê-lo até a região da austenita e temperá-lo.

[0124] As condições de aquecimento no momento do têmpera por indução precisam ser ajustadas considerando a decomposição da camada composta. A temperatura do aquecimento precisa ser definida como a temperatura da austenitização até menos que 900°C e o tempo de permanência de 0,05 a 5 segundos.

[0125] Aqui, a figura 4 mostra o relacionamento da concentração de N em uma posição em 0,2 mm da superfície depois do têmpera por indução e da dureza Vickers após o revenimento a 300°C . A partir da figura 4, entende-se que para fazer a dureza Vickers 650 ou maior, a concentração de N precisa ser definida como 0,35% ou mais.

[0126] Se a temperatura do aquecimento for 900°C ou mais, N di-

funde desnecessariamente no interior e a concentração de N na camada nitretada da superfície até 0,2 mm exigida para o aumento da resistência à fadiga por contato fica menor que 0,35%.

[0127] Em decorrência disto, a dureza Vickers após o revenimento a 300°C fica menor que 650 e, além do mais, o aumento na camada de óxido ocasiona a deterioração das propriedades mecânicas. Se a temperatura do aquecimento for mais baixa que a temperatura de austenitização, a transformação martensítica não ocorre e uma alta dureza superficial não pode ser obtida.

[0128] Se o tempo de permanência for menor que 0,05 segundo, a decomposição da camada composta e a difusão do N produzido se tornam insuficientes. Por outro lado, se acima de 5 segundos, N é desnecessariamente difundido para dentro e a concentração de N na camada nitretada da superfície até 0,2 mm exigida para o aumento da resistência à fadiga por contato fica menor que 0,35%.

[0129] Em decorrência disto, a dureza Vickers após o revenimento a 300°C fica menor que 650.

[0130] A frequência da indução é de cerca de 400 kHz, se uma peça de aço de pequena dimensão, e cerca de 5 kHz, se uma peça de aço de grande dimensão.

[0131] Preferivelmente, o agente refrigerante usado para a têmpera é água, um agente de têmpera de polímero ou outro à base d'água com uma grande capacidade de resfriamento. Depois do têmpera por indução, usualmente, é preferível revenir a peça de aço em uma baixa temperatura de cerca de 150°C, com base em uma peça temperada cementada para garantir a tenacidade da peça.

[0132] A seguir, a estrutura da camada superficial de uma peça de aço será explicada.

[0133] A peça de aço da presente invenção é uma peça de aço obtida por nitretação branda, então, têmpera por indução, caracteriza-

do em que uma camada superficial da superfície até uma profundidade de 5 μm ou mais inclui poros com um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 a 1 μm em uma quantidade de 10.000/ mm^2 ou mais.

[0134] Em um elemento de aço, tal como uma engrenagem que fratura em função de fadiga por contato em função da laminação, a lubrificação das superfícies operacionais é importante. Se a lubrificação for insuficiente, os materiais de aço farão contato uns com os outros, emperramento e adesão ocorrerão, e a resistência à fadiga por contato cai.

[0135] Para formar um filme lubrificante que proporciona suficiente lubrificação, é efetivo prover reservatórios de óleo de forma que um filme de óleo lubrificante seja formado sem quebra nas superfícies operacionais. A presente invenção é caracterizada por nitretação branda da camada superficial do material de aço para formar uma camada composta que compreende, principalmente, Fe_3N , Fe_4N e nitratos de Fe, então, aquecimento por indução do mesmo para austenitizar e têmpera dele para formar uma camada nitretada.

[0136] A camada nitretada é formada pela decomposição da camada composta, mas, neste momento, o N na camada composta difunde no interior para formar uma camada nitretada, e a camada composta antigo se torna uma camada porosa dura na qual um grande número de poros são dispersos. Estes poros funcionam como reservatórios de óleo resultantes de uma melhoria no efeito de lubrificação e um maior aumento na resistência ao desgaste e na durabilidade. Esta é uma descoberta que os inventores fizeram em decorrência de intensiva pesquisa.

[0137] Foi descoberto pelos inventores depois de intensiva pesquisa o fato de que, se poros com um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 a 1 μm estiverem presentes em uma quantidade de 10.000/ mm^2 ou mais em uma camada nitretada da superfície até 5 μm ou mais em

profundidade, os mesmos efetivamente funcionam como reservatórios de óleo.

[0138] Para garantir que o tamanho e a distribuição dos poros caiam na faixa exigida, as condições de nitretação branda e as condições de aquecimento por indução precisam ser adequadamente controladas. A camada composta formada pela nitretação branda também tem alguns poros, então, um efeito de reservatório de óleo é expressado, mas a dita camada composta é extremamente frágil e não pode suportar uma grande carga, então, uma alta resistência à fadiga por contato não pode ser obtida.

[0139] Se os poros forem grosseiros, a rugosidade superficial deteriora e torna-se os pontos de partida de corrosão e fadiga por contato e, portanto, inibe a resistência à fadiga por contato, então, o tamanho dos poros foi limitado a um círculo de diâmetro equivalente de 1 μm ou menos. Por outro lado, se os poros forem muito pequenos, os poros não funcionam suficientemente como reservatórios de óleo, então, o tamanho dos poros precisa ser um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 μm ou maior.

[0140] Se o número de poros for muito pequeno, os poros não funcionam efetivamente como reservatórios de óleo, então, precisa haver 10.000/ mm^2 ou mais na camada nitretada da superfície até 5 μm ou mais de profundidade.

[0141] As faces da engrenagem de engrenagens e outros elementos deslizantes, em operação normal, são desgastadas em 5 μm ou mais antes do fim de sua vida útil, então, é necessário que haja poros na quantidade de 10.000/ mm^2 ou mais na superfície até uma profundidade de 5 μm ou mais. Se os poros forem grandes, a densidade depende das condições de nitretação branda e das condições de aquecimento por indução.

[0142] Para fazer a camada nitretada e efetiva camada porosa,

tratamento térmico sob condições de nitretação branda e condições de têmpera por indução que habilitam que uma alta resistência à fadiga por contato seja obtida é essencial. Preferivelmente, nitretação branda é realizada a 580°C até menos que 600°C, então, aquecimento por indução é realizado a 880°C até menos que 900°C por 1 segundo até 4 segundos.

[0143] A estrutura do elemento de aço precisa ser feita com uma camada superficial de martensita e um núcleo restante como uma estrutura ferrita-perlita. Se for realizada têmpera apenas na camada superficial para ocasionar transformação martensítica e proporcionar à camada superficial tensão compressiva residual, a resistência à fadiga por contato é aumentada. Se o núcleo também for feito para transformar em martensita, a camada superficial perde tensão compressiva residual e a resistência à fadiga por contato cai.

Exemplos

[0144] A seguir, exemplos da presente invenção serão explicados, mas as condições dos exemplos são ilustrações das condições empregadas para confirmar a trabalhabilidade e o efeito da presente invenção. A presente invenção não é limitada a estas ilustrações de condições. A presente invenção pode empregar várias condições, contanto que não desviem da essência da presente invenção e alcancem o objetivo da presente invenção.

Exemplos

[0145] Vários materiais de aço com as composições químicas mostradas na tabela 1 e na tabela 2 (continuação da tabela 1) foram forjados, então, recozidos, então, usinados para fabricar corpos de prova para uso para testes de fadiga de arfagem do cilindro, isto é, (a) pequenos corpos de prova cilíndricos com peças cilíndricas de diâmetros de 26 mm e larguras de 28 mm e (b) grande corpo de prova cilíndrico com peças cilíndricas de diâmetros de 130 mm e larguras de 18

mm.

[0146] Além do mais, corpos de prova de um diâmetro de 26 mm e um comprimento de 100 mm foram fabricados para uso para testes de dureza para investigar a resistência ao amolecimento por têmpera.

[0147] Os pequenos corpos de prova cilíndricos e grandes corpos de prova cilíndricos foram nitretadas de forma branda (nitretadas em $N_2(0,45 \text{ Nm}^3/\text{h}) + NH_3(0,5 \text{ Nm}^3/\text{h}) + CO_2(0,05 \text{ Nm}^3/\text{h})$ em atmosfera em uma temperatura pré-determinada por 2 horas e resfriadas em gás N_2), então, temperadas por indução (frequência de 100 kHz).

[0148] Para o agente refrigerante no momento do têmpera por indução, água de torneira ou um agente de têmpera de polímero foram usados. Depois disto, as peças foram revenidas a 150°C por 60 minutos para uso para o teste de fadiga.

[0149] Os grandes e os pequenos corpos de prova cilíndricos foram usados para um teste de fadiga por contato padrão, isto é, teste de fadiga da arfagem do cilindro. O teste de fadiga da arfagem do cilindro foi conduzido pela aplicação de várias tensões Hertz (pressões de contato) nos pequenos cilindros e impulsão dos grandes cilindros, tornando as direções rotativas dos dois corpos de prova as mesmas nas peças de contato, e tornando a taxa de deslizamento -40% (nas peças de contato, as velocidades periféricas dos grandes cilindros sendo 40% maior que as velocidades periféricas dos pequenos corpos de prova cilíndricos).

[0150] A temperatura do óleo da engrenagem alimentado nas peças de contato expostas foi definida como 90°C . Usualmente, o teste terminou em $10.000.000X (10^7X)$ mostrando o limite de fadiga do aço. A máxima tensão Hertz onde arfagem não ocorreu no pequeno cilindro e uma velocidade de $10.000.000$ foi alcançada foi definida como o limite de fadiga do pequeno cilindro.

[0151] A ocorrência de arfagem foi detectada por um vibrômetro anexado no testador. Depois de detectar a vibração, os dois cilindros foram parados de rotacionar e a ocorrência de arfagem e a velocidade foram confirmadas.

[0152] Os corpos de prova para medição de dureza foram nitreta-

das de forma branda e temperadas por indução sob as mesmas condições do caso dos pequenos corpos de prova cilíndricos e grandes corpos de prova cilíndricos. Depois disto, as peças foram revenidas a 300°C por 60 minutos e cortadas. As seções transversais do corte foram medidas para a distribuição de dureza, das superfícies até os núcleos, por um medidor de dureza Vickers. Note que a estrutura temperada da camada superficial foi martensita e o núcleo não temperado permaneceu uma estrutura ferrita-perlita.

[0153] Adicionalmente, a concentração de N em uma posição a 0,2 m da superfície foi medida por EPMA.

[0154] A densidade dos poros com um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 a 1 μm foi descoberta pela tomada de corpos de prova nitretadas de forma branda e temperadas por indução sob as mesmas condições dos pequenos corpos de prova cilíndricos e grandes corpos de prova cilíndricos, pelo corte destas nas superfícies perpendiculares à direção da laminação, pelo embutimento destas em uma resina, pelo polimento especular destas, e pela quantificação das estruturas da camada superficial resultantes por processamento de imagem.

[0155] A medição foi realizada por um aumento de 3000 X para um campo de 50 μm^2 para 40 campos. O valor da medição foi convertido no número de poros por mm^2 , para calcular a densidade.

[0156] Os resultados de teste são mostrados na Tabela 3 e na Tabela 4 (continuação da Tabela 3)

Tabela 3

Ex- emplo	Classe	Nitretação Branda		Condições de aquecimento por indução		Depois da Têmpera por Indução				Máxi- ma tensão hertz no teste de fadiga (MPa)	Ob- servaçõe s
		Temp. (°C)	Espes- pes- ura da ca- mada do com- posto µm	Temp (°C)	Tem- po (se- gun- dos)	Esp. da ca- mada Nitre- tada mm	Posição a 0,2 mm da superfície		Den- sidade do Poro (/mm ²)		
							Conc de N (%)	Dureza com re- venimen- to a 300°C			
1	Exemplo Invenção	552	28	897	1,6	0,48	0,89	726	8.119	3.800	
2	Exemplo Invenção	582	30	877	2,5	0,45	0,97	725	5.930	3.800	
3	Exemplo Invenção	582	25	898	1,5	0,42	0,64	740	57.209	4.000	
4	Exemplo Invenção	566	23	837	4,2	0,41	0,54	730	2.424	3.800	
5	Exemplo Invenção	575	21	894	2,9	0,45	0,86	733	7.799	3.800	
6	Exemplo Invenção	579	28	846	1,4	0,42	0,60	693	1.491	3.800	
7	Exemplo Invenção	583	24	881	4,9	0,42	0,70	690	8.731	3.800	
8	Exemplo Invenção	577	23	832	4,4	0,41	0,38	679	2.661	3.800	
9	Exemplo Invenção	590	19	854	4,9	0,42	0,67	704	8.603	3.800	
10	Exemplo Invenção	555	28	868	4,2	0,43	0,84	758	2.485	3.800	
11	Exemplo Invenção	553	21	893	2,4	0,41	0,44	684	6.117	3.800	Adição de B
12	Exemplo Invenção	598	27	898	3,0	0,44	0,97	750	41.245	4.000	Adição de B, Ti
13	Exemplo Invenção	552	25	861	0,08	0,44	0,93	718	2.375	3.800	Adição de Nb, Ti
14	Exemplo Invenção	587	20	859	3,2	0,45	0,91	798	5.635	3.800	Adição de Ni, Cu
15	Exemplo Invenção	588	22	801	2,4	0,44	0,94	778	7.704	3.800	Adição de B, Ni, Cu
16	Exemplo Invenção	595	29	855	3,4	0,52	0,73	794	6.120	3.800	Adição de Ti, Ni,

											Cu
17	Exemplo Invenção	570	17	885	2,2	0,44	0,89	774	8.915	3.800	Adição de B, Nb
18	Exemplo Invenção	565	33	826	2,6	0,48	0,91	734	2.607	3.800	Adição de B, Nb, Ti, Ni, Cu
19	Exemplo Invenção	569	25	893	4,5	0,43	0,77	747	6.110	3.800	Adição de B, Ca
20	Exemplo Invenção	583	22	898	1,1	0,43	0,98	768	82.387	4.000	Adição de Ni, Cu, Mg
21	Exemplo Invenção	590	24	882	4,4	0,47	0,97	750	8.516	3.800	Adição de Zr
22	Exemplo Invenção	571	22	881	2,5	0,46	0,89	716	6.656	3.800	Adição de B, Ti, Ni, Cu, Te
23	Exemplo Invenção	580	31	872	4,5	0,44	0,89	720	2.130	3.800	Adição de B, Ni, Cu, Ca, Mg
24	Exemplo Invenção	574	27	898	0,5	0,42	0,58	755	5.916	3.800	Adição de Nb, Ti, Mg, Zr
25	Exemplo Invenção	588	28	822	3,2	0,42	0,73	714	7.884	3.800	Adição de B, Nb, Ti, Ni, Cu, Ca, Mg, Zr, Te

Tabela 4

Ex-emplo	Classe	Nitretação Branda		Condições de aquecimento por indução		Depois da Tempera por Indução				Máxima tensão hertz no teste de fadiga (MPa)	Observações
		Temp. (°C)	Espessura da camada do composto μm	Temp. (°C)	Tempo (s)	Esp. da camada Nitretada mm	Posição a 0,2 mm da superfície	Dureza com revenimento a 300°C	Densidade do Poro (mm^2)		
26	Exemplo Invenção	593	21	895	1,3	0,41	0,49	731	70,083	4.000	
27	Exemplo Invenção	591	28	893	1,9	0,46	0,44	723	79,563	4.000	
28	Exemplo Invenção	591	29	891	2,3	0,48	0,66	761	14,633	3.900	Adição de B, Ti
29	Exemplo Invenção	595	28	897	3,1	0,44	0,60	755	76,575	4.000	Adição de Ni, Cu
30	Exemplo Invenção	594	26	898	1,8	0,45	0,57	731	14,999	3.900	Adição de B, Ti, Ni, Cu
31	Exemplo Invenção	597	27	894	1,0	0,43	0,50	714	74,858	4.000	Adição de B, Nb, Ti, Ni, Cu, Ca, Mg, Zr, Te
32	Exemplo Comparativo	593	15	876	1,4	0,33	0,57	595	2,376	2.900	Limite inferior de C excedido
33	Exemplo Comparativo	590	2	850	3,2	0,13	0,07	465	4,934	2.600	Limite inferior de Mn excedido, Mn/S excedido
34	Exemplo Comparativo	571	1	833	4,5	0,10	0,08	473	2,674	2.500	Limite inferior de Mn excedido, Limite superior de S excedido, Mn/S excedido
35	Exemplo Comparativo	564	10	802	1,0	0,32	0,29	590	2,465	2.800	Limite inferior de Si, Mn excedido, sem adição W, Mo, limite superior de Al excedido
36	Exemplo Comparativo	599	5	804	1,0	0,22	0,14	582	4,523	2.900	Limite inferior de C excedido, sem adição de W

37	Exemplo Comparativo 559	4	884	5.0	0.29	0.25	570	2.754	2.800	limite inferior de Mn excedido, sem adição de W, Mn/S excedido
38	Exemplo Comparativo 585	1	879	3.2	0.09	0.18	467	2.038	2.600	Limite superior de S excedido, Mn/S excedido
39	Exemplo Comparativo 587	12	1200	4.7	0.65	0.20	575	4.271	3.000	Limite superior da temperatura de aquecimento por indução excedido
40	Exemplo Comparativo 595	25	700	3.5	0.20	0.03	398	2.816	2.900	Limite inferior da temperatura de aquecimento por indução excedido
41	Exemplo Comparativo 577	20	890	8.0	0.70	0.27	471	1.865	2.900	Limite superior da tempo de aquecimento por indução excedido
42	Exemplo Comparativo 580	21	845	0.03	0.07	0.04	425	880	2.600	Limite inferior do tempo de aquecimento por indução excedido
43	Exemplo Comparativo 680	5	837	4.9	0.10	0.05	401	3.082	2.600	Limite superior da temperatura de nitretação branda excedido
44	Exemplo Comparativo 490	9	880	3.0	0.25	0.36	651	1.155	2.700	Limite inferior da temperatura de nitretação branda excedido
45	Exemplo Comparativo 700	3	886	2.1	0.15	0.06	388	4.670	2.800	Limite inferior de Mn excedido, sem adição de W, Mn/S excedido, limite superior da temperatura de nitretação branda excedido
46	Exemplo Comparativo 570	2	910	2.5	0.14	0.07	507	575	2.600	Limite inferior de Mn excedido

[0157] Da forma mostrada na Tabela 3 e na Tabela 4, todos os exemplos da invenção, dos Exemplos 1 ao 31, têm uma vida útil no teste de fadiga da arfagem do cilindro de 10.000.000 (10^7) ou maior e uma excelente resistência à fadiga por contato (alta vida útil no teste de fadiga) e proporcionam bons resultados, se comparado com os exemplos comparativos, dos Exemplos 32 a 53.

[0158] Nos exemplos da invenção, dos Exemplos 1, 2 e 4 ao 10, usando os materiais de aço nos quais quantidades adequadas de Mn e W são adicionadas, (a) por nitretação branda a menos que 600°C, uma camada composta de uma espessura de 10 μm é formada, (b) por têmpera depois de uma temperatura de austenitização mais baixa que 900°C e 0,08 a 4,9 segundos de aquecimento por indução, uma camada nitretada de uma espessura de 0,4 mm ou maior é formada, e (c) por uma alta concentração de N, uma dureza Vickers de 650 ou mais é obtida pelo revenimento a 300°C em uma posição a 0,2 mm da superfície.

[0159] Em decorrência disto, nos exemplos da invenção, dos Exemplos 1, 2 e 4 ao 10, excelente resistência à fadiga por contato é obtida.

[0160] Nos exemplos da invenção, dos Exemplos 11, 13 ao 19, e 21 ao 25, usando materiais de aço nos quais elementos opcionais também são adicionados, a vida útil nos testes de fadiga de arfagem do cilindro é 10.000.000 ou mais e uma boa resistência à fadiga por contato é obtida.

[0161] Além do mais, nos exemplos da invenção, dos Exemplos 3, 12, 20 e 26 ao 31, (densidade do poro de 10.000/ mm^2 ou maior) também, a vida útil nos testes de fadiga de arfagem do cilindro é 10.000.000 ou maior, e uma boa resistência à fadiga por contato é obtida.

[0162] Em oposição a isto, nos exemplos comparativos, dos

Exemplos 32 ao 38, em que tipos de aço com composições químicas fora do escopo definido pela presente invenção são nitretados de forma branda, então, temperados por indução, o teste da vida útil da fadiga não alcança 10.000.000 em cada caso.

[0163] Em particular, nos exemplos comparativos, dos Exemplos 33, 34 e 38, a Mn/S é baixa e a concentração superficial de S não pode ser impedida. Em decorrência disto, a camada composta formada pela nitretação branda é fina, a espessura da camada nitretada da peça de aço é tão pequena quanto menos que 0,4 mm depois do tempera por indução, a concentração superficial de N até uma profundidade de 0,2 mm é baixa, e a dureza Vickers com revenimento a 300°C é um valor mais baixo que 650.

[0164] Nos exemplos comparativos, dos Exemplos 39 a 42, em que as composições químicas estão no escopo definido pela presente invenção, mas as condições de aquecimento por indução excedem as condições da presente invenção, em cada caso, uma camada composta suficientemente espessa é formada por nitretação branda, mas as condições de aquecimento por indução não são suficientes, então, a vida útil no teste de fadiga não alcança 10.000.000.

[0165] Por exemplo, no exemplo comparativo do exemplo 39, a temperatura de aquecimento por indução é muito alta, N difunde desnecessariamente no interior, e a espessura da camada nitretada é 0,65 mm, ou no escopo da presente invenção, mas a concentração de N da peça de aço da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é tão baixa quanto 0,20%, a dureza Vickers com revenimento a 300°C também é 575, isto é, não alcança 650, e, imagens, uma camada de óxido é formada na camada superficial e a vida útil da fadiga é curta.

[0166] Adicionalmente, no exemplo comparativo do exemplo 41, o tempo do aquecimento por indução é muito longo e N difunde desnecessariamente no interior, e a espessura da camada nitretada é 0,70

mm, ou no escopo da presente invenção, mas a concentração de N da peça de aço da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é tão baixa quanto 0,27%, a dureza Vickers com revenimento a 300°C é tão baixa quanto 471, e a vida útil da fadiga é curta.

[0167] Nos exemplos comparativos, dos Exemplos 43 a 44, com condições de nitretação branda fora do escopo das condições da presente invenção, em cada caso, a camada composta também é fina, então, a camada nitretada da peça de aço é fina e a vida útil da fadiga não alcança 10.000.000.

[0168] Por exemplo, no exemplo comparativo do exemplo 44, a composição química fica na faixa definida pela presente invenção, a concentração de N da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é tão alta quanto 0,36%, e a dureza Vickers após o revenimento a 300°C também é um alto valor de 651, mas a temperatura da nitretação branda é muito baixa, então, a camada composta é fina, a camada nitretada da peça de aço também é uma fina camada de 0,25 mm, e a vida útil da fadiga é curta.

[0169] No exemplo comparativo do exemplo 45, em que a composição química e as condições de nitretação branda excedem o escopo da presente invenção, a Mn/S é pequena e a temperatura da nitretação branda é muito alta, então, a camada composta é fina. Além do mais, W não é adicionado, então, a camada nitretada da peça de aço também é uma fina camada de 0,15 mm, a concentração de N da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é tão baixa quanto 0,06%, a dureza Vickers após o revenimento a 300°C também é 388, isto é, não alcança 650, e a vida útil da fadiga é curta.

[0170] Nos exemplos comparativos, dos Exemplos 46 ao 51, em que as composições químicas e as condições de aquecimento por indução excedem o escopo da presente invenção, em cada caso, a camada composta é fina, então, a camada nitretada da peça de aço é

fina, a dureza com revenimento a 300°C da superfície e até uma profundidade de 0,2 mm é baixa, e a vida útil da fadiga não alcança 10.000.000.

[0171] Por exemplo, no exemplo comparativo do exemplo 48, a Mn/S é pequena, então, a camada composta é fina. Adicionalmente, W não é adicionado, e a temperatura de aquecimento por indução é alta, então, a espessura da camada nitretada da peça de aço é tão pequena quanto 0,12 mm, a concentração de N da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é 0,18%, a dureza com revenimento a 300°C é tão baixa quanto 580, e a vida útil da fadiga é curta.

[0172] Nos exemplos comparativos, dos Exemplos 52 ao 53, com composições químicas fora do escopo definido pela presente invenção e, além do mais, condições de nitretação branda e condições de aquecimento por indução também fora do escopo da presente invenção, a camada composta é fina, então, a camada nitretada da peça de aço é fina, a dureza com revenimento a 300°C, da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é baixa, e a vida útil da fadiga não alcança 10.000.000.

[0173] Por exemplo, no exemplo comparativo do exemplo 53, a Mn/S é 70 ou maior, mas a temperatura da nitretação branda é alta, então, a camada composta é fina. Adicionalmente, W não é adicionado e a temperatura de aquecimento por indução é alta, então, a camada nitretada da peça de aço é tão fina quanto 0,30 mm, a concentração de N da superfície até 0,2 mm é 0,08%, a dureza com revenimento a 300°C é tão baixa quanto 535, e a vida útil da fadiga é extremamente curta.

[0174] A partir dos resultados expostos, entende-se que nos exemplos da invenção, em que (a) quantidades adequadas de Mn e W são adicionadas e (b) nitretação branda e têmpera por indução posterior são realizadas sob condições adequadas para obter espessura e

dureza de camada nitretada adequada, uma excelente resistência à fadiga por contato é obtida.

Aplicabilidade Industrial

[0175] De acordo com a presente invenção, é possível prover aço para uso estrutural para endurecimento superficial que pode ser aplicado nas peças de transmissão de energia de automóveis, etc. e prover peças de aço com uma alta resistência à fadiga por contato, em engrenagens, transmissões continuamente variáveis, juntas, cubos, mancais e outras peças com velocidade constante de aço em particular para uso em estrutura de máquina. Em decorrência disto, a presente invenção contribui enormemente para o maior rendimento e a redução de custos de automóveis, então, a aplicabilidade industrial é grande.

REIVINDICAÇÕES

1. Peça de aço para uso em estrutura de máquina contendo, por % de massa,

C: 0,3 a 0,6%

Si: 0,02 a 2,0%,

Mn: 1,5% a 3,0%,

W: 0,0025 a 0,5%,

Al: 0,001 a 0,5%,

N: 0,003 a 0,02%,

S: 0,0001 a 0,025%,

P: 0,0001 a 0,03%, e

O: 0,0001 a 0,005%,

apresentando um Mn/S de 70 a 30.000, e

apresentando um balanço de substancialmente Fe e impurezas inevitáveis,

caracterizada pelo fato de que a camada superficial da superfície até uma profundidade de 0,4 mm ou mais é uma camada nitretada, e a dureza da camada nitretada da superfície até uma profundidade de 0,2 mm é uma dureza Vickers após o revenimento a 300°C de 650 ou mais.

2. Peça de aço para uso em estrutura de máquina de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o referido aço contém adicionalmente, por % de massa, um ou mais dentre

Cr: 0,01 a 2,0%,

Mo: 0,01 a 1,0%, e

V: 0,01 a 1,0%.

B: 0,0005 a 0,005%.

Nb: 0,005 a 0,3%,

Ti: 0,005 a 0,2%,

Ni: 0,05 a 2,0%, e

Cu: 0,01 a 2,0%.

Ca: 0,0005 a 0,01%,

Mg: 0,0005 a 0,01%,

Zr: 0,0005 a 0,05%, e

Te: 0,0005 a 0,1%.

3. Peça de aço para uso em estrutura de máquina, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que a dita camada nitretada da superfície até uma profundidade de 5 μm ou mais inclui poros com um círculo de diâmetro equivalente de 0,1 a 1 μm em uma quantidade de 10.000 poros/ mm^2 ou mais.

4. Peça de aço para uso em estrutura de máquina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de que uma microestrutura da camada superficial é martensita.

Fig.1

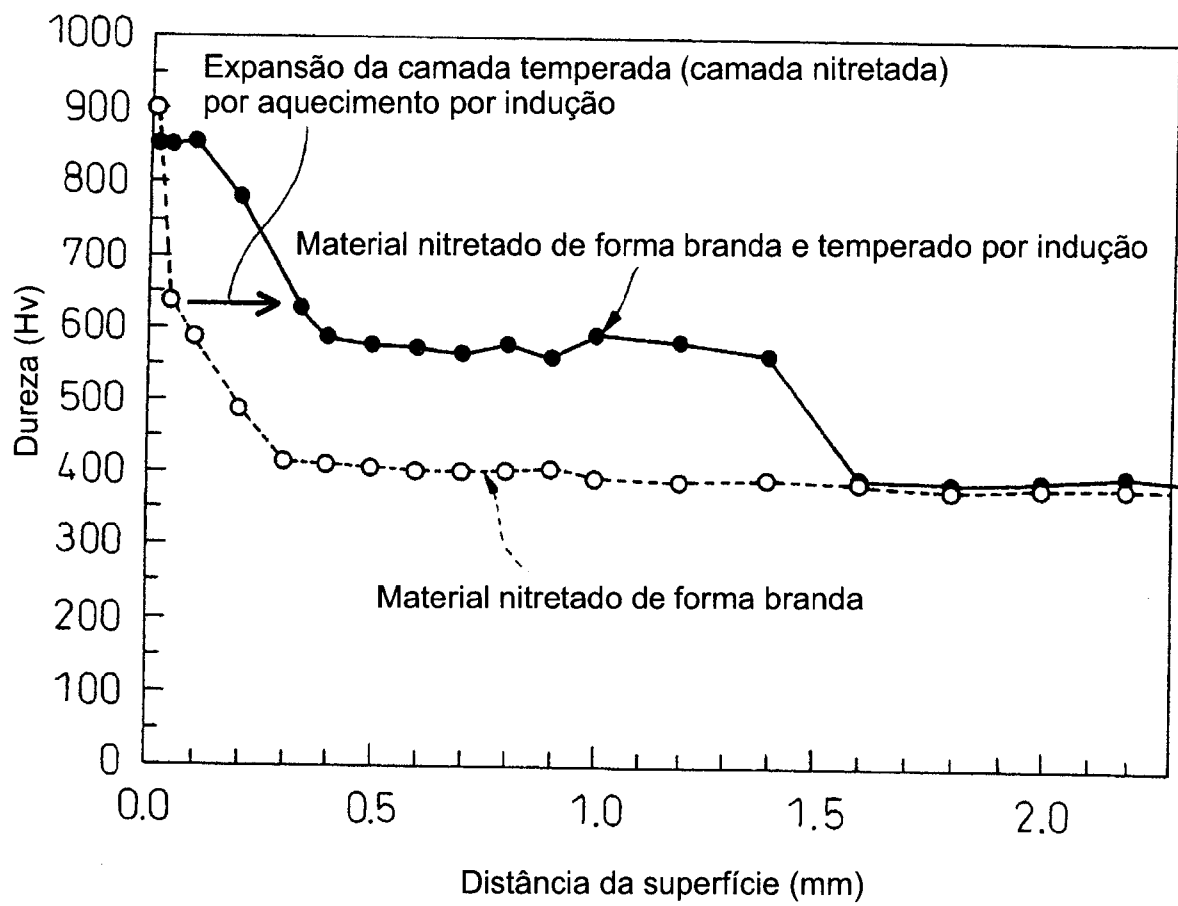
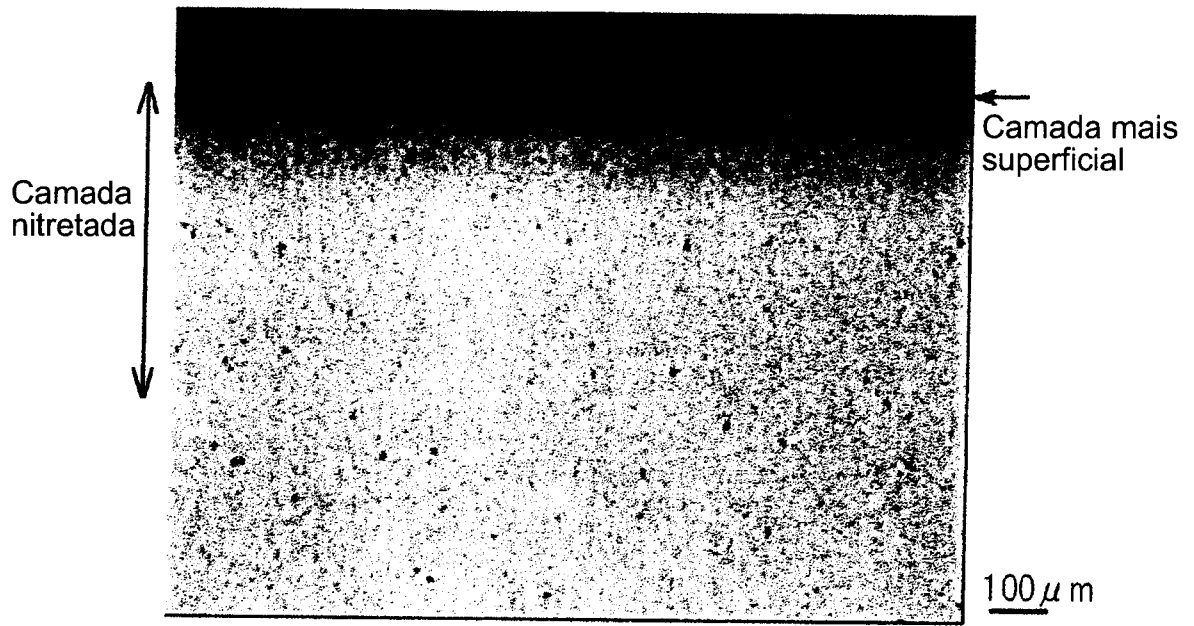


Fig.2

(a)



(b)

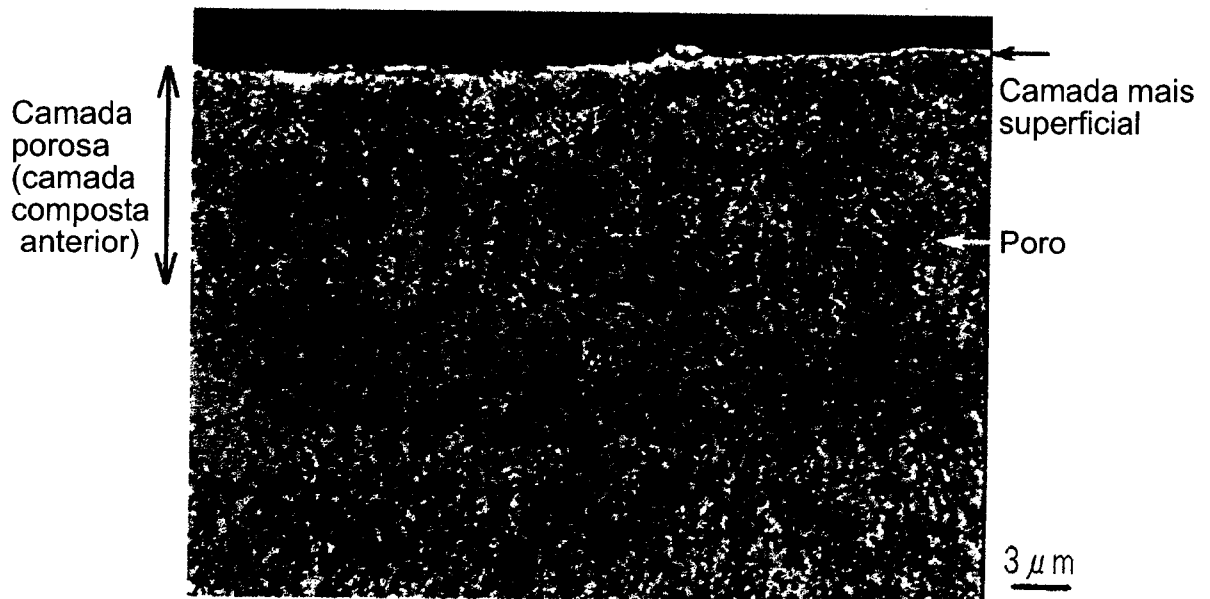


Fig.3

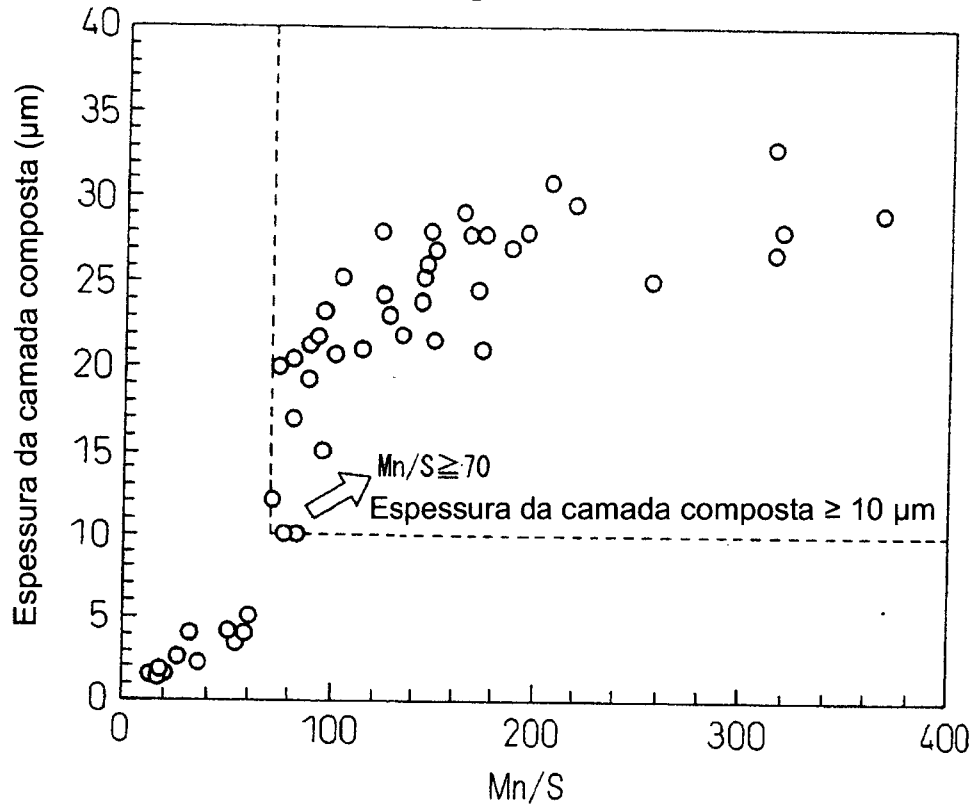


Fig.4

