



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

(11) PI 0807878-5 B1

(22) Data do Depósito: 22/10/2008

(45) Data de Concessão: 05/12/2017



(54) Título: PEÇA DE AÇO CARBONITRETADA TEMPERADA POR INDUÇÃO

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C21D 1/06; C21D 9/00; C21D 9/32; C21D 9/40; C22C 38/58; F16D 3/20; F16H 55/06; F16H 55/49

(30) Prioridade Unionista: 24/10/2007 JP 2007-276887

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

(72) Inventor(es): SHUJI KOZAWA; ATSUSHI MIZUNO; TATSURO OCHI

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PEÇA DE AÇO CARBONITRETADA TEMPERADA POR INDUÇÃO"**.

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção refere-se a uma peça de aço carbonitretada temperada por indução, particularmente refere-se a um sistema de marchas, transmissão continuamente variável, junta de velocidade constante, cubo de roda, etc. aplicada a uma parte estrutural da máquina, em particular uma peça de transmissão de força para automóveis, etc.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] É exigido que peças estruturais de máquinas, por exemplo, sistema de marcha de transmissões automáticas ou roldanas de transmissões continuamente variáveis, articulações de velocidade constante, cubos de roda e outras peças de transmissão de força, tenham resistência à fadiga de superfície. No passado, geralmente as peças acima eram feitas de um material de aço endurecido, tal como JIS SCr420, SCM420, etc. tendo um teor de C de cerca de 0,2% e foram temperadas por carbonetação para obter uma estrutura martensítica tendo um teor de C na superfície da peça de cerca de 0,8% de modo a melhorar a resistência à fadiga da superfície.

[003] Em anos recentes, em face de o crescente rigor das condições de uso, tem sido procurada a melhoria da resistência à fadiga da superfície. Em lugar da têmpera convencional por carbonetação, a têmpera por carbonitretação com sua maior resistência ao amolecimento está sendo visada.

[004] Por exemplo, o Pedido de Patente Japonesa (A) nº 7-190173 propõe a nitretação ou carbonitretação para tornar o teor de nitrogênio 0,2% a 0,8%, e então imersão no sal para temperar para obter uma maior resistência e também jateamento com granalha após

o tratamento acima de modo a também aumentar a resistência.

[005] Além disso, o Pedido de Patente Japonesa (A) nº 2006-292139 propõe a carbonitretação e o recozimento, e então a têmpera por indução para fornecer à superfície da peça uma quantidade de austenita residual de 15% em volume ou mais e, assim, aumenta a vida útil de um eixo de pinhão reduzindo o seu descascamento.

[006] Entretanto, em anos recentes, em face de condições de uso mais severas, as superfícies de operação passaram a operar entre 300°C e 400°C ou temperaturas muito mais altas e portanto também a melhoria na resistência à fadiga da superfície tem sido procurada.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[007] Consequentemente, a presente invenção tem como seu objetivo o fornecimento de uma peça de aço carbonitretada temperada por indução mais superior em resistência à fadiga da superfície que no passado, em particular um sistema de marchas, uma transmissão continuamente variável, junta de velocidade constante, cubos de roda, ou outras peças de aço.

[008] Conforme explicado acima, é conhecido o fato de que através da têmpera por carbonitretação para melhorar a resistência ao amolecimento, a resistência à fadiga da superfície pode ser melhorada, mas os inventores descobriram que, para melhorar a resistência à fadiga da superfície quando as superfícies de operação se tornam muito mais altas em temperatura em anos recentes (entre 300°C e 400°C), pelo menos os pontos (a) a (e) a seguir são necessários e, portanto, completaram a presente invenção.

(a) Execução da têmpera por indução após a carbonitretação.

(b) Uso da carbonitretação para se obter uma concentração de superfície N de 0,1 a 0,8% em massa e uma soma da concentração de N e da concentração de C de 1,0 a 2,0% em massa.

(c) Limitar a quantidade de austenita residual na estrutura após a têmpera por indução para menos de 15% em volume.

(d) Limitar a profundidade da camada de superfície temperada incompletamente para menos de 5 μm .

(e) Ter uma largura à meia altura dos picos de difração de raios-X de 6,0 graus ou mais. (Note que a "superfície" referida na presente invenção significa a superfície mais externa).

[009] Isto é, a essência da presente invenção é como segue:

(1) Uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura compreendida de aço incluindo, como ingredientes químicos, em % em massa, C: 0,005 a 0,8%, Si: 2,0% ou menos, Mn: 0,2 a 3,0%, P: 0,03% ou menos, S: 0,005 a 0,10%, Ni: 3,0% ou menos (inclusive 0%), Cr: 5,0% ou menos (inclusive 0%), Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%), W: 1,0% ou menos (inclusive 0%), B: 0,0050% ou menos (inclusive 0%), O: 0,0050% ou menos, e N: 0,003 a 0,03%, também contendo um ou ambos entre Al: 0,005 a 0,2% e Ti: 0,005 a 0,2% e um ou ambos entre V: 0,3% ou menos (inclusive 0%) e Nb: 0,3% ou menos (inclusive 0%), e tendo um saldo de substancialmente ferro e as inevitáveis impurezas, carbonitretadas, e então temperadas por indução, a mencionada peça de aço caracterizada pelo fato de que a concentração da superfície N é 0,1 a 0,8% em massa e a soma da concentração de N e da concentração de C é 1,0 a 2,0% em massa, a quantidade residual de austenita na superfície é de menos de 15% em volume, a profundidade da camada temperada incompletamente a partir da superfície é de menos de 5 μm , e a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície é 6,0 graus ou mais.

(2) Uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura, conforme apresentada no item (1) caracterizada pelo fato de que a com-

posição química do aço também contêm, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo 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%.

(3) Uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura, conforme apresentada no item (1) ou (2), caracterizada pelo fato de que a peça de aço é de um sistema de marchas, transmissão continuamente variável, junta de velocidade constante ou cubos de rodas.

(4) Um método de produção de uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura, caracterizado pelo uso de um aço incluindo como ingredientes químicos, em % em massa, C: 0,005 a 0,8%, Si: 2,0% ou menos, Mn: 0,2 a 3,0%, P: 0,03% ou menos, S: 0,005 a 0,10%, Ni: 3,0% ou menos (inclusive 0%), Cr: 5,0% ou menos (inclusive 0%), Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%), W: 1,0% ou menos (inclusive 0%), B: 0,0050% ou menos (inclusive 0%), O: 0,0050% ou menos, e N: 0,003 a 0,03%, também incluindo um ou ambos entre Al: 0,005 a 0,2% e Ti: 0,005 a 0,2% e um ou ambos entre V: 0,3% ou menos (inclusive 0%) e Nb: 0,3% ou menos (inclusive 0%), e tendo um saldo de substancialmente ferro e as inevitáveis impurezas, de modo a formar uma peça, carbonitretando a mesma, e, então, temperando com óleo ou sal e, então, aquecendo-a por indução e temperando-a com água ou um agente de têmpera de polímero de uma temperatura de menos de 40°C para dar àquela peça uma concentração máxima de superfície N de 0,1 a 0,8% em massa e a soma da concentração de N e da concentração de C de 1,0 a 2,0% em massa, fazendo a quantidade de austenita residual na superfície menos de 15% em volume, fazendo a profundidade da camada temperada incompletamente a partir da superfície menos de 5 μm , e também fazendo a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície 6,0 graus ou mais.

(5) Um método de produção de uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura, conforme apresentada no item (4), caracterizada pelo fato de que a composição química do aço também contém, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo 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%.

(6) Um método de produção de uma peça de aço carbonitretada temperada por indução superior em resistência à fadiga da superfície à alta temperatura, conforme apresentada no item (4) ou (5), caracterizada pelo fato de que a peça de aço é de um sistema de marchas, de uma transmissão continuamente variável, de uma junta de velocidade constante ou de cubos de roda.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0010] A figura 1 é uma vista mostrando a relação entre a profundidade de uma camada temperada incompletamente e a vida em fadiga.

MELHOR FORMA DE EXECUÇÃO DA INVENÇÃO

[0011] Para usar a têmpera por carbonitretação para também melhorar a resistência à fadiga da superfície, é eficaz executar a têmpera por indução após a carbonitretação. As razões são as (a) a (c) a seguir.

(a) Com apenas a têmpera por carbonitretação convencional, o número dos grãos de cristal de austenita na superfície param em torno do nº 8, enquanto com carbonitretação seguida de endurecimento por indução com uma temperatura de aquecimento de 800°C a 900°C, grãos com número de grão de cristal de austenita de nº 10 ou maiores são obtidos.

(b) A têmpera por carbonitretação convencional torna-se endurecimento de uma parte de um todo, então como meio de resfria-

mento no momento da têmpera é necessário usar-se óleo ou sal com performances de resfriamento relativamente pequenas do ponto de vista de suprimir as tensões de endurecimento. Em oposição a isso, a têmpera por indução está aquecendo apenas a parte mais à superfície da peça. A parte do núcleo não é temperada. Por esta razão, é vantajoso suprimir a tensão de endurecimento, então o resfriamento à água com uma grande capacidade de resfriamento torna-se possível e a camada temperada incompletamente produzida na superfície pode ser aliviada.

[0012] Além disso, o método de resfriamento após a carbonitreção executada antes da têmpera por indução é preferivelmente um método diferente do resfriamento à água, por exemplo, resfriamento a óleo ou resfriamento a sal, do ponto de vista de suprimir as tensões.

(c) Similarmente, a têmpera por indução tem uma grande capacidade de resfriamento e permite que a quantidade de austenita residual na superfície seja mais suprimida, então permite um aumento na quantidade de C e na quantidade de N na carbonitreção e permite um aumento na resistência ao amolecimento.

[0013] Além disso, os inventores descobriram que o jateamento com granalha considerado eficaz no passado foi, ao contrário, prejudicial à melhoria da resistência à fadiga da superfície no caso de uma temperatura mais alta que no passado (mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C). No passado, foi pensado que o jateamento com granalha tinha como um dos seus efeitos a melhoria da dureza devido ao trabalho a frio e, portanto, uma melhoria na resistência à fadiga. Entretanto, quando foi usado o jateamento com granalha sob um ambiente de alta temperatura (mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C), foi confirmado que particularmente a resistência à fadiga da superfície caiu em comparação com o caso onde não houve jateamento com granalha. Os inventores consideraram a causa ser como se-

gue:

[0014] O jateamento com granalha aumenta a dureza pelo trabalho a frio após a deformação pelo trabalho, endurecendo pelo aumento do estresse residual de compressão, e endurecimento pela transformação martensítica induzida pelo trabalho a frio. Entretanto, entre esses, não se acredita que o aumento na dureza devido ao trabalho a frio e a têmpera pelo aumento do estresse residual de compressão contribuam para a melhoria na resistência à fadiga da superfície a uma alta temperatura (mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C). A razão é que uma região de temperatura mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C é uma região de temperaturas na qual um movimento relativamente leve de deslocamentos provoca a maioria do trabalho a frio e o estresse de compressão residual a ser liberado.

[0015] Portanto, os inventores pensaram que, para a melhoria da resistência à fadiga da superfície a uma temperatura alta (mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C), a melhoria da dureza da própria estrutura após eliminar-se os efeitos do trabalho de endurecimento e do estresse residual de compressão, isto é, a estrutura martensítica em si, é importante.

[0016] A dureza de uma estrutura martensítica corresponde à densidade de deslocamentos. A magnitude da densidade de deslocamentos corresponde à largura à meia altura dos picos de difração de raios-X, então medindo-se a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X é possível medir a dureza da estrutura martensítica por si, mas estudos feitos pelos inventores confirmaram que aplicando-se jateamento com granalha, a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X diminuiu. Esse mecanismo não é claro, mas imagina-se que o jateamento com granalha provoque transformação martensítica induzida pelo trabalho a frio, mas que, além disso, parte da estrutura martensítica formada devido ao resfriamento não é recristalizada.

[0017] Pelas razões acima, os inventores acreditaram que a melhoria da dureza devido ao jateamento com granalha não contribui para a melhoria da resistência à fadiga da superfície a uma alta temperatura (mais forte que 300°C e mais fraca que 400°C) e particularmente provoca uma queda na resistência à fadiga da superfície. Por esta razão, eles pensaram que a dureza era insuficiente como um indicador da resistência à fadiga da superfície e pensaram que um indicador preferível seria a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície.

[0018] Além disso, os inventores confirmaram que a resistência à fadiga de superfície sob o uso em um ambiente entre 300°C e 400°C foi grandemente afetado pelas propriedades de superfície, em particular a extensão da camada da superfície temperada incompletamente.

[0019] No passado, os efeitos das propriedades de superfície na resistência à fadiga foram analisados pela profundidade da oxidação nos limites dos grãos, tal como, por exemplo, em *Netsushori (Heat Treatment)* (vol. 30, nº 5, pgs. 240-246, 1990), mas os inventores investigaram isso e descobriram que o que era crítico era a extensão da camada temperada incompletamente. É possível medir-se a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície para estimar a extensão da camada temperada incompletamente. Portanto, eles pensaram que, do ponto de vista das propriedades de superfície, seria preferível usar a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície como um indicador da melhoria da resistência à fadiga da superfície. Além disso, eles descobriram que é crítico que a profundidade da camada temperada incompletamente seja menor que 5 µm. Eles se engajaram em uma pesquisa profunda com base no exposto acima e, como resultado, completaram a presente invenção.

[0020] Inicialmente, serão explicadas as razões para definição do processo de produção e da estrutura importantes para a peça de aço

da presente invenção:

Peça de Aço Carbonitretada, e então Temperada por Indução

[0021] Conforme explicado acima, por carbonitreção, e, então, endurecimento por indução, uma outra melhoria na resistência à fadiga da superfície torna-se possível. A têmpera por indução faz a superfície da peça endurecer, então o resfriamento após a carbonitreção executada anteriormente é preferivelmente realizada em óleo ou com sal com sua taxa de resfriamento relativamente baixa do ponto de vista de suprimir o estresse. Com água ou outro meio com alta capacidade de resfriamento, a tensão do tratamento térmico no momento da têmpera torna-se grande, então isso não é preferido. Reciprocamente, com o resfriamento em forno com baixa taxa de resfriamento, Cr, Mo, etc. se precipitam como carbonetos durante o resfriamento e acabam sendo perdidos, então isto também não é preferido. A profundidade total de carbonitreção no momento da carbonitreção difere dependendo do tamanho da peça, mas em uma peça pequena é de 0,3 mm ou mais como princípio básico e em uma peça grande é de 0,8 mm ou mais como princípio básico.

[0022] Em relação ao método de aquecimento no momento da têmpera por indução, não há necessidade de empregar qualquer técnica particularmente especial. Um método geral é suficiente. Por exemplo, a frequência deve estar em torno de 400 kHz se for uma peça pequena e em torno de 5 kHz se a peça for grande como princípio básico geral. A temperatura de aquecimento é 800°C ou 900°C como princípio básico.

[0023] O meio de resfriamento usado para a têmpera tem que ser água, um agente polimérico de têmpera, ou outro meio à base de água com uma grande capacidade de resfriamento usado em um estado estritamente controlado, de modo a não exceder a temperatura de uso de 40°C. Isso permite que a quantidade de austenita residual da su-

perície seja limitada a menos de 15% em volume e permite que a profundidade da camada temperada incompletamente seja limitada a menos de 5 μm .

[0024] Após a têmpera por indução, como com as peças temperadas por carbonetações gerais ou peças temperadas carbonitretadas, a peça é preferivelmente revenida a uma baixa temperatura de cerca de 150°C para garantir a tenacidade da peça.

[0025] Além disso, nas peças de aço atuais, o fato de serem peças de aço carbonitretadas, e, então, temperadas por indução, pode ser discernido a partir da distribuição de estruturas observada sob um microscópio ótico em uma microamostra retirada da peça de aço e corroída com Nital, a distribuição de dureza a partir da superfície para o núcleo, e a distribuição de C e a distribuição de N da superfície para o núcleo medida por EPMA.

Concentração de N na Superfície de 0,1 a 0,8% em massa e Soma da Concentração de N e da Concentração de C de, em % em massa, 1,0 a 2,0% em massa

[0026] A resistência à fadiga da superfície de uma peça é determinada na superfície ou na camada extremamente superficial imediatamente abaixo da superfície, então a concentração de C e a concentração de N na superfície são importantes. Do ponto de vista de transmissão de resistência ao amolecimento, a concentração de N é feita 0,1 a 0,8% em massa. Se a concentração de N for menor que 0,1% em massa, a resistência ao amolecimento transmitida é insuficiente, enquanto se for acima de 0,8% em massa, a queda no ponto Ms torna impossível limitar a quantidade de austenita residual na superfície para menos de 15% em volume. A faixa preferível da concentração de N é de 0,5 a 0,8%. Note que a concentração de N na superfície pela carbonitreção geral é responsável por transmitir capacidade de endurecimento, então é geralmente cerca de 0,1% em massa e é, no máximo

0,4% ou similar. O objetivo é diferente da presente invenção.

[0027] Além disso, a soma da concentração de N e da concentração de C na superfície é feita 1,0 a 2,0% em massa. Se a soma da concentração de N e da concentração de C for menor que 1,0% em massa, a dureza da peça é insuficiente. Acima de 1,4% é preferível, mas se acima de 2,0% em massa, a queda no ponto Ms torna extremamente difícil limitar-se a quantidade de austenita residual na superfície para menos de 15% em volume, então, na presente invenção, a faixa foi feita 1,0 a 2,0% em massa. A faixa preferível é 1,4 a 2,0% em massa.

Quantidade de Austenita Residual na Superfície de menos de 15% em Volume

[0028] A austenita residual na superfície é transformada em martensita pelo trabalho resultante da pressão da superfície sob as condições de uso e muda para martensita de baixo carbono e carbonetos e, então, faz com que a peça mude de forma. Se a quantidade de austenita residual na superfície tornar-se 15% em volume ou mais, as mudanças nas formas causam degradação da resistência à fadiga da superfície, então a quantidade tem que ser limitada a menos de 15% em volume. Preferivelmente ela é menor que 10% em volume. Para limitar a quantidade de austenita a menos de 15% em volume, é necessário aplicar pelo menos carbonitretação para tornar a concentração de N 0,8% em massa ou menos, e fazer a soma da concentração de N e da concentração de C 2,0% em massa ou menos. Entretanto, quando a peça é pequena ou a quantidade de pulverização do meio de resfriamento de têmpera usando água ou um agente de têmpera de polímero não além da recém-mencionada temperatura de uso de 40°C, é grande em relação à peça e a taxa de resfriamento no momento da têmpera é grande, a quantidade de austenita pode exceder 15% em volume. Nesse caso, é necessário aumentar um pouco a temperatura de uso

do meio de resfriamento para uma faixa que não exceda 40°C, reduzir a quantidade pulverizada, executar processamento subzero após a têmpera por indução ou fazer outros ajustes. É necessário executar testes preliminares para estabelecer as condições para limitar a quantidade de austenita em menos de 15% em volume.

Profundidade da Camada Incompletamente Temperada a Partir da Superfície de Menos de 5 μm

[0029] Quando se endurece o material de aço por carbonetação ou carbonitretação, o oxigênio que entra a partir da superfície no momento da carbonetação e os elementos de ligação no material de aço (Si, Mn, Cr etc.) se ligam para provocar uma perda nos elementos de ligação e um endurecimento insuficiente na região de cerca de 10 μm ou mais a partir da superfície. Essa região insuficientemente temperada é amplamente referida como a "camada temperada incompletamente". Executando-se tanto a carbonitretação quanto a têmpera por indução e temperando com um meio de resfriamento, usado para a têmpera, de água, um agente polimérico de têmpera, ou outro meio à base de água com uma grande capacidade de resfriamento usado em um estado estritamente controlado de forma a não exceder a temperatura de uso de 40°C, a profundidade da camada temperada incompletamente a partir da superfície pode ser limitada a menos de 5 μm através do aumento na taxa de resfriamento no momento da têmpera.

[0030] Os inventores descobriram através de investigações, conforme mostrado na figura 1, que em torno de uma profundidade da camada temperada incompletamente de 5 μm , a menos de 5 μm , a resistência à fadiga da superfície é grandemente melhorada. Eles observaram as peças após o teste de resistência à fadiga em detalhes, com o que eles descobriram que a uma profundidade da camada temperada incompletamente de 5 μm ou mais, cerca de metade da circunferência ou mais dos grãos individuais de cristal próximos à superfície,

é envolvida pela camada temperada incompletamente, então, no momento do uso, os grãos de cristal facilmente se descascam. Note que mesmo se a profundidade da oxidação do limite dos grãos estiver acima de 5 μm , não há problemas em termos de resistência à fadiga da superfície.

Largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da Superfície de 6,0 graus ou mais

[0031] Se a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X for menor que 6,0 graus, uma resistência à fadiga da superfície suficiente não pode ser obtida. Fazendo-se a mesma 6,0 graus ou mais, uma resistência à fadiga da superfície superior à do passado pode ser obtida, então o valor foi feito 6,0 graus ou mais. Uma largura à meia altura dos picos de difração de raios-X de 6,0 graus corresponde a uma dureza de temperatura comum de 55 HRC ou similar, no caso de nenhum trabalho a frio por jateamento com granalha, e nenhum estresse residual de compressão dado, e foi feito o limite inferior para se obter a resistência à fadiga da superfície. 6,2 graus ou mais é preferível.

[0032] Para realizar isso, é necessário executar pelo menos a carbonitretação fazendo-se a soma da concentração de N e da concentração de C na superfície 1,0 a 2,0% em massa, e, então, executar a têmpera por indução usando como meio de resfriamento água ou um agente polimérico de têmpera não excedendo a temperatura de uso de 40°C. Entretanto, se a peça for grande ou se a quantidade de pulverização do meio de resfriamento de têmpera for pequena em relação à peça, a taxa de resfriamento no momento da têmpera se torna insuficiente e a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X pode se tornar menor que 6,0 graus. Nesse caso, é suficiente reduzir a temperatura de uso do meio de resfriamento, aumentar a quantidade de pulverização, ou fazer outros ajustes. É necessário executar testes

preliminares para estabelecer as condições que resultem em uma largura de 6,0 graus ou mais, preferivelmente 6,2 graus ou mais. Note que as condições do meio de resfriamento da têmpera têm que ser feitas em condições pelas quais uma quantidade de austenita residual na superfície de menos de 15% em volume seja simultaneamente alcançada.

[0033] Aqui, a "largura à meia altura dos picos de difração de raios-X" significa a meia-largura de pico quando usa um dispositivo de medição de estresse residual com microsonda de raios-X (bulbo cro-mo) para medir o plano α -Fe (211) por mais de 60 segundos.

[0034] Além disso, quando a resistência à fadiga por dobramento exigida pela peça é alta, ou então o jateamento com granalha é requerida, é necessário parar a uma leve jateamento com granalha de uma altura de arco de cerca de 0,3 mmA para garantir uma largura à meia altura dos picos de difração de raios-X de 6,0 graus ou mais.

[0035] Além disso, a peça carbonitretada e temperada por indução, conforme a presente invenção, não é inibida em efeito de forma alguma, mesmo se também tratada após a têmpera por indução pelo tratamento subzero, processo de têmpera, tratamento WPC, polimento por tambor, retífica de engrenagem, amolação, e outros tratamentos adicionais contanto que a quantidade de austenita residual na superfície e a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X estejam no escopo da invenção.

[0036] A seguir, serão explicadas as razões para definição da composição química do aço da presente invenção. Note que o % descrito aqui significa % em massa.

C: 0,005 a 0,8%

[0037] C é um elemento importante para se obter a resistência do aço, mas pode ser substituído pela adição de Mn, Cr e outros elementos que melhorem a capacidade de têmpera, então deve ser 0,005%

ou mais. Portanto, na presente invenção, o limite inferior da quantidade de C foi feito 0,005. Entretanto, se o teor exceder 0,8%, a capacidade de usinagem e a capacidade de forjamento no momento da fabricação da peça são notavelmente prejudicados, então o limite superior foi feito menos de 0,8%. A quantidade mais preferível de adição é 0,1 a 0,6%.

Si: 2,0% ou menos

[0038] Si não precisa ser adicionado e pode ser do nível de uma inevitável impureza. Se adicionado, ele melhora a resistência ao amolecimento da camada temperada e tem, portanto, o efeito de melhorar a resistência à fadiga da superfície. Para obter esse efeito, é preferivelmente feito 0,2% ou mais. Entretanto, se acima de 2,0%, a descarbonetação no momento do forjamento se torna notável, então 2,0% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferida de adição é 0,2 a 2,0%.

Mn: 0,2 a 3,0%

Mn é um elemento eficaz para a melhoria da capacidade de endurecimento e, além disso, é um elemento eficaz para melhorar a resistência ao amolecimento. Para obter esse efeito, 0,2% ou mais devem ser adicionados. Entretanto, se acima de 3,0%, o material de aço se torna muito duro no momento da produção e a capacidade de corte das barras de aço etc. é obstruída, então 3,0% foi feito o limite superior. A quantidade preferida de adição é 0,2 a 2,0%.

P: 0,03% ou menos

[0039] P é incluído como uma impureza inevitável. Ele segrega nos limites dos grãos para diminuir a tenacidade, portanto deve ser reduzido tanto quanto possível. Ele deve ser limitado a 0,03% ou menos.

S: 0,005 a 0,10%

[0040] S deve estar presente em 0,005% ou mais do ponto de vis-

ta da capacidade de usinagem. Portanto, na presente invenção, o limite inferior da quantidade de S foi feito 0,005%. Entretanto, se acima de 0,10%, a capacidade de forjamento é inibida, então 0,10% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferida de adição é 0,01 a 0,03%.

Ni: 3,0% ou menos (inclusive 0%)

[0041] Ni não precisa ser adicionado. Se adicionado, ele tem o efeito de também melhorar a tenacidade. Para conter esse efeito, ele é preferivelmente feito 0,2% ou mais. Entretanto, se acima de 3,0%, a capacidade de usinagem deteriora, então 3,0% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferida de adição é 0,2 a 2,0%.

Cr: 5,0% ou menos (inclusive 0%)

[0042] Cr não precisa ser adicionado. Se adicionado, ele tem o efeito de melhorar a resistência ao amolecimento da camada temperada e melhorar, assim, a resistência à fadiga da superfície. Para obter esse efeito, ele é preferivelmente feito 0,2% ou mais. Entretanto, se acima de 5,0% a capacidade de usinagem deteriora, então 5,0% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferível de adição é 0,2 a 2,0%.

Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%)

[0043] Mo não precisa ser adicionado. Se adicionado, ele tem o efeito de melhorar a resistência ao amolecimento da camada temperada e melhorando, assim, a resistência à fadiga da superfície e, também, tem o efeito de enrijecer a camada temperada para melhorar a resistência à fadiga por dobramento. Para obter esse efeito, ele é preferivelmente feito 0,01% ou mais. Entretanto, mesmo se adicionado acima de 2,0%, o efeito torna-se saturado e a economia é prejudicada, então 2,0% foi feito o limite superior. O limite superior mais preferível é 0,7%.

W: 1,0% ou menos (inclusive 0%)

[0044] W não precisa ser adicionado. Se adicionado, ele tem o

efeito de melhorar a resistência ao amolecimento da camada temperada e, assim, melhorar a resistência à fadiga da superfície. Para obter esse efeito, ele é preferivelmente feito 0,1% ou mais. Entretanto, se acima de 1,0%, a capacidade de usinagem deteriora, então 1,0% foi feito o limite superior. A quantidade de adição mais preferível é 0,1 a 0,4%.

B: 0,0050% ou menos (inclusive 0%)

[0045] B não precisa ser adicionado. Se adicionado, ele contribui para a melhoria da capacidade de endurecimento. Para obter esse efeito, ele é preferivelmente feito 0,0006% ou mais. Entretanto, se acima de 0,0050% o efeito é saturado, então 0,0050% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferida de adição é 0,0006 a 0,0040%.

O: 0,0050% ou menos

[0046] O está presente no aço como alumina, titânia, e outras inclusões à base de óxidos, mas se o teor de O for grande, os óxidos acabam se tornando grandes sem tamanho. Esses se tornam pontos de partida levando à fratura das peças de transmissão de energia, então seu teor deve ser limitado a 0,0050% ou menos. Quanto menor a quantidade, mais preferível, então 0,0020% ou menos é preferível. Além disso, quando orientado na direção de uma vida mais longa, 0,0015% ou menos é preferível.

N: 0,003 a 0,03%

[0047] N forma vários tipos de nitretos para agir efetivamente para tornar a estrutura austenítica mais fina em tamanho de grão no momento da têmpera por indução, então 0,003% ou mais são necessários. Entretanto, se acima 0,03%, ele prejudica notavelmente a capacidade de forjamento, então 0,03% foi feito o limite superior. A quantidade mais preferida de adição é 0,003 a 0,02%.

[0048] Um ou ambos entre Al: 0,005 a 0,2% e Ti: 0,005 a 0,2%

[0049] Al e Ti se precipitam e dispersam como nitretos no aço para

agir efetivamente para tornar mais fina a estrutura austenítica em tamanho de grão no momento da têmpera por indução, então um ou ambos entre Al e Ti têm que ser adicionados em quantidades de 0,005% ou mais. Entretanto, se acima de 0,2%, os precipitados tornam-se mais brutos e provocam a fragilização do aço, então os limites superiores foram feitos respectivamente 0,2%. É mais preferível adicionar Al em 0,005 a 0,05%.

[0050] Um ou ambos entre V: 0,3% ou menos (inclusive 0%) e Nb: 0,3% ou menos (inclusive 0%)

[0051] V e Nb não precisam ser adicionados, mas a adição faz com que V e Nb precipitem e dispersem como nitretos no aço e, assim, são eficazes para tornar a estrutura austenítica mais fina em tamanho de grão no momento da têmpera por indução. Para obter esses efeitos, um ou ambos entre V e Nb devem ser respectivamente adicionados em quantidades de 0,01% ou mais. Entretanto, mesmo se adicionados respectivamente em mais de 0,3%, os efeitos se tornam saturados e a economia é prejudicada, então os respectivos limites superiores foram feitos 0,3%. É mais preferível adicionar V em 0,1 a 0,2%.

[0052] Um ou mais elementos selecionados do grupo 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%

[0053] Além disso, quando a melhoria na resistência à fadiga por dobramento é exigida da peça, é possível adicionar-se um ou mais elementos selecionados do grupo de Ca, Mg, Zr, e Te nos teores a seguir. Esses ingredientes são elementos que suprimem a planura do MnS e melhoram a resistência à fadiga por dobramento muito mais para a fratura por fadiga de dobramento das engrenagens ou a fratura por fadiga do fundo das chavetas das partes de cabo. Isto é, para dar um efeito de estiramento do MnS, pelo menos um elemento selecionado do grupo compreendido de Ca em 0,0005 a 0,01%, Mg em 0,0005

a 0,01%, Zr em 0,0005 a 0,05%, e Te em 0,0005 a 0,1% é incluído. Entretanto, mesmo se incluir os elementos em quantidades acima das mencionadas acima, os efeitos tornam-se saturados e a economia é prejudicada, então os respectivos limites superiores foram ajustados.

[0054] Além disso, em adição a composição química definidos acima, é possível incluir Sn, Zn, Rem, Pb, Sb, etc. em uma faixa que não prejudique os efeitos da presente invenção.

EXEMPLOS

[0055] Abaixo, a presente invenção será explicada especificamente usando-se exemplos.

[0056] Materiais de aço tendo as composições químicas mostradas na Tabela 1 foram forjados e recozidos, e então foram usinados para fabricar respectivamente dois pequenos corpos de prova cilíndricos, tendo peças cilíndricas de 26 mm de diâmetro e larguras de 28 mm, e um corpo de prova cilíndrico maior, tendo um diâmetro de 130 mm e uma largura de 18 mm para uso para corpos de prova de fadiga de rolo cilíndrico. Após isto, os corpos de prova cilíndricos pequenos e os corpos de prova cilíndricos grandes foram tratados como segue e como mostrado na Tabela 2.

[0057] Os nº 1 ao nº 17 foram carbonitrificados ($950^{\circ}\text{C} \times 5$ horas de carbonetação por gás RX $\rightarrow 850^{\circ}\text{C} \times 4$ horas de carbonitreção por amônia e gás RX $\rightarrow$ têmpera a óleo) e então endurecidos por indução (frequência 100 kHz, temperatura de aquecimento 850°C). Para o meio de resfriamento no momento da têmpera por indução, água doce ou um agente de têmpera de polímero de polivinil pirrolidona foi usado como mostrado pelo método de resfriamento no momento da têmpera por indução da Tabela 2. Após isto, esses materiais foram temperados a 180°C por 90 minutos e usados para testes de fadiga.

[0058] O nº 18 foi carbonitrificado ($950^{\circ}\text{C} \times 5$ horas de carbonetação por gás RX $\rightarrow 850^{\circ}\text{C} \times 4$ horas carbonitreção por amônia e gás

RX → têmpera em óleo), e então temperados a 180°C e usados para os testes de fadiga.

[0059] O nº 19 foi carburado (950°C × 5 horas de carbonetação por gás RX → resfriamento a óleo) e então endurecidos por indução (frequência 100 kHz, temperatura de aquecimento 850°C). Como meio de resfriamento no momento da têmpera por indução, foi usada água doce, conforme mostrado pelo método de resfriamento no momento da têmpera por indução da Tabela 2. Após isto, o material foi temperado a 180°C por 90 minutos e usado como para um teste de fadiga.

[0060] O nº 20 foi carbonitrificado (950°C × 5 horas de carbonetação por gás RX → 850°C × 4 horas de carbonitretação por amônia e gás RX → resfriamento a óleo) e, então, endurecido por indução (frequência 100 kHz, temperatura de aquecimento 850°C). Como meio de resfriamento no momento da têmpera por indução, água doce ou um agente de têmpera de polímero de polivinil pirrolidona foi usado como mostrado pelo método de resfriamento no momento da têmpera por indução da Tabela 2. Após isto, esse material foi temperado a 180°C por 90 minutos, jateado por jateamento com granalha por uma altura de arco de 1,0 mmA (usando bolas de aço com $\phi 0,8$ mm) e usado para testes de fadiga.

[0061] Um corpo de prova cilíndrico grande e um corpo de prova cilíndrico pequeno, fabricados conforme acima foram usados para executar testes de fadiga de rolo cilíndrico. O teste de fadiga de rolo cilíndrico foi executado empurrando-se o corpo de prova cilíndrico grande contra o corpo de prova cilíndrico pequeno por uma pressão de superfície de um estresse Hertz de 4000 MPa, fazendo-os girar com direções de velocidade circunferencial dos dois corpos de prova cilíndricos nas partes de contato feitas das mesmas direções e com uma taxa de deslizamento de -40% (comparado com corpos de prova cilíndricos pequenos, corpos de prova cilíndricos grandes tiveram veloci-

dade periférica 40% maior das partes de contato) e usando o número de rotações do corpo de prova cilíndrico menor até quando ocorre o rolo no corpo de prova cilíndrico menor como vida útil. Para fazer a temperatura da superfície do corpo de prova cilíndrico menor tornar-se 350°C devido ao calor de fricção no momento do teste, a temperatura do óleo de engrenagem fornecido às partes de contato foi feita 90°C e a taxa de fluxo foi feita 2 litros por minuto. A ocorrência de rolo foi detectada por um medidor de vibração fornecido no analisador. Após a vibração ter sido detectada, a rotação dos dois corpos de prova cilíndricos foi interrompida e a ocorrência de rolo e o número de rotações foram checados. Os corpos de prova cilíndricos foram investigados quanto ao material pelo procedimento a seguir usando-se os corpos de prova cilíndricos pequenos remanescentes não-usados para os testes de fadiga do rolo cilíndrico. A concentração de N e a concentração de C na superfície foram determinadas cortando-se a superfície circunferencial do corpo de prova na direção vertical, polindo-se a superfície cortada e, então, analisando-se a parte mais superficial por EPMA. A quantidade de austenita residual a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X foram obtidas por medição direta da superfície circunferencial pelo método de raios-x. A profundidade da camada temperada incompletamente a partir da superfície foi medida cortando-se a superfície circunferencial do corpo de prova na direção vertical, polindo-se a superfície cortada e, então, cravando-se a mesma e analisando-se a estrutura temperada incompletamente. O número de grãos de cristal de austenita foi descoberto cortando-se a superfície circunferencial do corpo de prova verticalmente, polindo-se por espelho a superfície cortada, medindo-se uma parte da superfície cortada muito próxima à superfície circunferencial, de acordo com a JIS G 0551. Os resultados estão mostrados na Tabela 2.

[0062] Conforme mostrado na Tabela 2, torna-se claro que os cor-

pos de prova cilíndricos dos exemplos da invenção de nº 1 a nº 14 tiveram vidas úteis de 10 milhões de ciclos ou mais e tiveram uma resistência à fadiga por **rolo** superior (resistência à fadiga da superfície).

[0063] Em oposição a isso, o exemplo comparativo de nº 15, onde a temperatura da água da torneira no momento da têmpera por indução estava fora da temperatura recomendada de menos de 40°C, teve uma vida em fadiga curta, de 8.152.000 ciclos. Acredita-se que isto seja devido à alta temperatura da água e, portanto, à queda da taxa de resfriamento no momento da têmpera, a austenita residual da superfície não pode ser limitada a menos de 15% em volume e a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície não alcançou 6,0 graus.

[0064] O exemplo comparativo de nº 16 onde a concentração de N na superfície está fora do escopo de ingredientes definido na presente invenção, teve uma vida em fadiga curta de 8.068.000 ciclos. Acredita-se que isto seja porque a alta concentração de N resulta no ponto Ms diminuendo e, portanto, a austenita residual da superfície sendo incapaz de ser limitada a 15% em volume.

[0065] O exemplo comparativo de nº 17 onde a soma da concentração de N na superfície e da concentração de C na superfície está fora do escopo de ingredientes definido na presente invenção, teve uma vida em fadiga curta, de 5.663.000 ciclos. Acredita-se que isto seja porque a alta soma da concentração de N e da concentração de C resulta no ponto Ms diminuendo e, portanto, a austenita residual da superfície sendo incapaz de ser limitada a menos de 15% em volume e, também, a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X da superfície não alcançando 6,0 graus.

[0066] O exemplo comparativo nº 18 não-endurecido por endurecimento por indução após a carbonitreção teve uma vida em fadiga extremamente curta de 612.000 ciclos. Acredita-se que isto seja por-

que nenhum endurecimento por indução foi executado, então a taxa de resfriamento no momento da têmpera era pequena e a profundidade da camada temperada incompletamente tornou-se 5 μm ou mais.

[0067] O nº 19, que não foi nitreado, teve uma vida em fadiga extremamente curto de 773.000 ciclos. Acredita-se que isto foi porque não foi executada nenhuma nitretação, então a resistência ao amolecimento da têmpera tornou-se insuficiente e, portanto, a vida útil tornou-se mais curta.

[0068] O nº 20, que sofreu jateamento com granalha, teve uma vida em fadiga abaixo de 7.655.000 ciclos. Acredita-se que isto seja porque o jateamento com granalha provocou a largura à meia altura dos picos de difração de raios-X tornar-se menor.

Tabela 1

Teste nº	Classe	Composição química (% em massa)																
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	B	O	N	Al	Ti	V	Nb	Outros
1	Ex, Inv,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
2	Ex Inv,	0,78	0,25	0,72	0,020	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0008	0,0122	0,033	-	-	-	-
3	Ex Inv,	0,22	2,00	0,72	0,019	0,016	-	1,04	-	-	-	0,0011	0,0292	0,188	-	-	-	Mg: 0,0010
4	Ex Inv,	0,21	0,24	2,97	0,020	0,050	-	1,05	-	-	-	0,0049	0,0105	0,029	-	-	-	-
5	Ex Inv,	0,005	0,25	0,75	0,008	0,005	-	1,05	-	-	0,0023	0,0045	0,0125	0,030	-	-	-	Te: 0,049
6	Ex Inv,	0,19	0,25	0,73	0,014	0,098	-	1,05	0,17	-	-	0,0013	0,0119	0,035	-	-	-	Ca: 0,0015
7	Ex Inv,	0,20	0,26	0,73	0,021	0,016	2,99	1,05	-	-	-	0,0015	0,0121	0,034	0,153	-	0,002	-
8	Ex Inv,	0,20	0,03	0,73	0,020	0,016	-	4,97	-	-	-	0,0015	0,0042	0,001	0,006	-	-	-
9	Ex Inv,	0,21	0,26	0,72	0,019	0,015	-	-	-	-	-	0,0010	0,0115	0,029	-	0,05	0,025	-
10	Ex Inv,	0,20	-	0,07	0,022	0,030	-	1,04	2,00	-	-	0,0012	0,0120	0,034	-	-	-	-

Tabela 1 (continuação)

Teste nº	Classe	Composição química (% em massa)																
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	B	O	N	Al	Ti	V	Nb	Outros
11	Ex Inv,	0,21	0,26	0,73	0,020	0,015	-	1,05	-	0,98	-	0,0012	0,0122	0,035	-	-	-	Zr: 0,021
12	Ex Inv,	0,20	0,24	0,73	0,020	0,015	-	1,04	-	-	-	0,0012	0,0033	0,005	-	-	-	-
13	Ex Inv,	0,20	0,25	0,73	0,029	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0013	0,0123	0,035	-	0,29	-	-
14	Ex Inv,	0,21	0,25	0,72	0,020	0,016	-	1,04	-	-	-	0,0012	0,0120	0,033	-	-	0,260	-
15	Ex, Comp,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
16	Ex, Comp,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
17	Ex, Comp,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
18	Ex, Comp,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
19	Ex, Comp,	0,20	0,25	0,73	0,019	0,015	-	1,05	-	-	-	0,0012	0,0119	0,030	-	-	-	-
20	Ex, Comp,	0,21	0,25	0,72	0,020	0,016	-	1,04	-	-	-	0,0012	0,0120	0,033	-	-	0,260	-

Tabela 2 (continuação)

Teste nº	Classe	Método de tratamento térmico	Método de resfriamento no momento da têmpera por indução	Concentração de N na superfície (% em massa)	Concentração de C na superfície (% em massa)	Soma da concentração de N e da concentração de C na superfície (% em massa)	Quant. de austenita residual (% em massa)	Profundidade da camada temperada incompletamente (μm)	Cristais de austenita	Largura à meia altura dos picos de difração de raios-X	Vida em fadiga (ciclos)
1	Ex, Inv	Carbonitridation and induction hardening	25°C água do-0,6	0,9	0,9	1,5	9	0	11	6,6	20,882,000
2	Ex, Inv	Carbonitridation and induction hardening	25°C água do-0,8	0,8	0,8	1,6	9	0	11	6,7	21,829,000
3	Ex, Inv	Carbonitridation and induction hardening	26°C água do-0,6	1,0	1,0	1,6	5	4	12	6,0	42,495,000
4	Ex, Inv	Carbonitridation and induction hardening	25°C água do-0,6	0,9	0,9	1,5	15	3	11	6,2	20,142,000
5	Ex, Inv	Carbonitrificação e endurecimento por indução	25°C água do-0,7	0,9	0,9	1,6	8	0	11	6,6	22,384,000
6	Ex, Inv	Carbonitrificação e endurecimento por indução	25°C água do-0,6	0,9	0,9	1,5	8	0	11	6,6	20,020,000
7	Ex, Inv	Carbonitrificação e endurecimento por indução	29°C água do-0,1	0,9	0,9	1,0	1	0	12	7,1	12,231,000

Tabela 2 (continuação)

Tes- te nº	Clas- se	Método de tratamento térmico	Método de res- friamento no momento da têmpera por indução	Concentra- ção de N na superfície (% em massa)	Concen- tração de C na su- perfície (% em massa)	Soma da concentra- ção de N e de C na superfí- cie (% em massa)	Quant. de aus- tenita residu- al (% em massa)	Profundi- dade da camada temperada incomple- tamente (μm)	Cristais de aus- tenita	Largura à meia altura dos pi- cos de difração de raios- X	Vida em fadiga (ciclos)
8	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-30°C água do-0,6 ce	0,9	0,9	1,5	5	3	11	6,2	50,032,0 00
9	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-30°C água do-0,6 ce	0,8	0,8	1,4	6	0	11	6,6	10,501,0 00
10	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-31°C água do-0,8 ce	1,2	1,2	2,0	9	0	11	6,4	38,561,0 00
11	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-31°C água do-0,7 ce	0,9	0,9	1,6	8	0	11	6,4	22,502,0 00
12	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-28°C água do-0,6 ce	0,9	0,9	1,5	8	0	10	6,6	21,601,0 00
13	Ex, Inv	Carbonitrificação e endu- recimento por indução	-36°C agente polimérico de resfriamento	0,8	0,8	1,6	8	0	11	6,5	25,603,0 00

Tabela 2 (continuação)

Teste n°	Classe	Método de tratamento térmico	Método de resfriamento no momento da têmpera por indução	Concentração de N na superfície (% em massa)	Concentração de C na superfície (% em massa)	Soma da concentração de N e da concentração de C na superfície (% em massa)	Quant. de austenita residual (% em massa)	Profundidade da camada temperada incompletamente (µm)	Cristais de austenita	Largura à meia altura dos picos de difração de raios-X	Vida em fadiga (ciclos)
14	Ex, Inv	Carbonitrição e endurecimento por indução	39°C água do-0,6		0,9	1,5	6	0	11	6,4	20,947,000
15	Ex, com p	Carbonitrição e endurecimento por indução	41°C água do-0,6		0,9	1,5	18	0	11	5,8	8,152,000
16	Ex, com p	Carbonitrição e endurecimento por indução	25°C água do-0,9		0,8	1,7	22	0	11	6,2	8,068,000
17	Ex, com p	Carbonitrição e endurecimento por indução	25°C água do-0,8		1,3	2,1	30	0	11	5,5	5,663,000
18	Ex, com p	Carbonitreção	(nenhuma onda de alta frequência)	0,6	0,9	1,5	14	10	8	5,9	612,000

Tabela 2 (continuação)

Teste nº	Classe	Método de tratamento térmico	Método de resfriamento no momento da têmpera por indução	Concentração de N na superfície (% em massa)	Concentração de C na superfície (% em massa)	Soma da concentração de N e da concentração de C na superfície (% em massa)	Quant. de austenita residual (% em massa)	Profundidade da camada temperada incompletamente (μm)	Cristais de austenita	Largura à meia altura dos picos de difração de raios-X	Vida em fadiga (ciclos)
19	Ex, com p	Carbonitricação e endurecimento por indução	-25°C água doce	(Nenhuma nitrificação)	0,8	0,8	5	3	11	6,6	773,000
20	Ex, com p	Carbonitricação e endurecimento por indução	-39°C água doce	-0,6	0,9	1,5	3	0	11	5,3	7,655,000

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[0069] Na presente invenção, uma peça de aço carbonitretada e temperada por indução tendo uma alta resistência de fadiga, em particular uma engrenagem, uma transmissão continuamente variável, uma junta de velocidade constante, cubo de roda, ou outra peça tendo uma alta resistência de fadiga da superfície capaz de ser aplicada a peças de transmissão de força de automóveis etc., pode ser fornecida e, portanto, contribui grandemente para uma maior produtividade e um menor custo de automóveis.

REIVINDICAÇÕES

1. Peça de aço carbonitretada temperada por indução, que compreende aço, incluindo como composição química, em % em massa,

C: 0,005 a 0,8%,

Si: 2,0% ou menos,

Mn: 0,2 a 3,0%,

P: 0,03% ou menos,

S: 0,005 a 0,10%,

Ni: 3,0% ou menos (inclusive 0%),

Cr: 5,0% ou menos (inclusive 0%),

Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%),

W: 1,0% ou menos (inclusive 0%),

B: 0,0050% ou menos (inclusive 0%),

O: 0,0050% ou menos, e

N: 0,003 a 0,03%,

também contendo um ou ambos entre

Al: 0,005 a 0,2% e

Ti: 0,005 a 0,2% e

um ou ambos entre

V: 0,3% ou menos (inclusive 0%) e

Nb: 0,3% ou menos (inclusive 0%), e tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, carbonitretada, e então temperada por indução, a mencionada peça de aço sendo caracterizada pelo fato de que a concentração de N na superfície é 0,5 a 0,8% em massa e uma soma de concentração de N e da concentração de C é 1,4 a 2,0% em massa, uma quantidade de austenita residual na superfície de menos de 15% em volume, uma profundidade da camada temperada incompletamente a partir da superfície é menor que 5 μm , e uma largura à meia altura dos picos de difração de raios-X é 6,0 graus ou mais.

2. Peça de aço carbonitretada temperada por indução de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a composição química do aço também contém, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo 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%.

3. Peça de aço carbonitretada temperada por indução de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que a peça de aço é uma engrenagem, uma transmissão continuamente variável, uma junta de velocidade constante, ou cubo de roda.

Fig.1

