

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

(21) **PI0705602-8 A2**



* B R P I 0 7 0 5 6 0 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 18/12/2007

(43) Data da Publicação: 19/01/2010
(RPI 2037)

(51) *Int.Cl.:*

F16J 9/00 (2010.01)

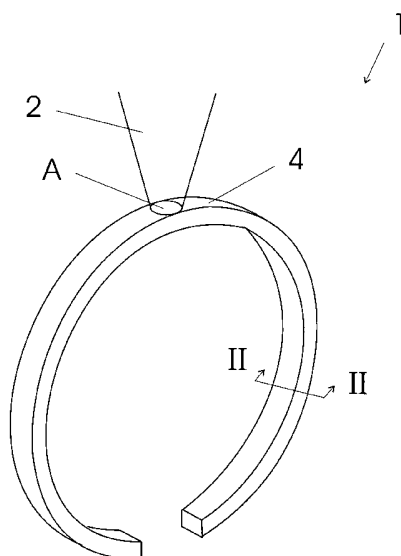
C21D 1/00 (2010.01)

(54) Título: **PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE ANEL DE PISTÃO E ANEL DE PISTÃO**

(73) Titular(es): Mahle Metal Leve S.A.

(72) Inventor(es): JULIANO AVELAR ARAÚJO

(57) Resumo: PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE ANEL DE PISTÃO E ANEL DE PISTÃO. A presente invenção refere-se a um método de produção de um tratamento de superfície para anéis de pistão fabricados em ferros fundidos lamelares, nodulares ou vermiculares, através da aplicação de um feixe de laser com parâmetros controlados, de forma a obter uma superfície endurecida, resistente ao desgaste e isenta de trincas de solidificação.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE ANEL DE PISTÃO E ANEL DE PISTÃO**".

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a presente invenção a um anel de pistão e a um processo para obtenção de anel de pistão do tipo utilizado em motores de combustão interna e, mais particularmente, para tratamento superficial de dito anel de pistão para tais tipos de motores.

HISTÓRICO DA INVENÇÃO

Os motores de combustão interna devem atender à demandas de potência elevada e baixo consumo de combustível e óleo lubrificante, com níveis mínimos de emissão de poluentes. Para tanto, têm sido desenvolvidos motores com altas taxas de compressão, altas velocidades de rotação e que funcionam com elevadas temperaturas em serviço, exigindo alta resistência estrutural e funcional dos componentes.

Dentre os componentes dos motores de combustão interna sob intensa demanda de desempenho estrutural e funcional estão os anéis de pistão. Estes componentes são solicitados a apresentarem uma baixa taxa de desgaste e a manterem a integridade estrutural e funcional sob condições de filme de óleo mínimo e temperaturas e pressões elevadas. Em função destas exigências, é conhecida a técnica de se prover a face externa de contato do anel de pistão com um revestimento para melhorar a resistência ao desgaste, a resistência à corrosão em ambiente agressivo à temperatura elevada, para minimizar o desgaste do cilindro do motor e, principalmente, para melhorar a resistência ao engripamento em caso de ruptura do filme de óleo com o cilindro.

No caso dos anéis de pistão os requisitos básicos de projeto, como uma vedação eficaz dos gases de combustão, manutenção do óleo lubrificante para os sistemas superiores e otimização do rendimento térmico, devem manter-se praticamente inalterados durante a vida útil do motor, surgindo a necessidade de desenvolvimentos que garantam maior resistência ao desgaste, para minimizar a variação dimensional responsável pela degradação das características funcionais do anel de pistão, quanto ao aten

dimento de níveis máximos de consumo de óleo lubrificante ou de emissão de poluentes.

Como revestimento da face externa de contato dos anéis de pistão têm sido utilizadas coberturas à base de cromo eletrodepositado, ou
5 revestimentos efetuados pela aspersão térmica de metais, ligas e/ou misturas de ligas e partículas com materiais cerâmicos ou carbetos na forma de pós, assim como anéis de aço ou ferro fundido, com endurecimento da camada externa por tratamentos termoquímicos de nitretação, ou sobreposta com uma camada de material com elevada dureza e baixo coeficiente de
10 atrito, depositados por PVD (Physical Vapor Deposition). Estes revestimentos ou tratamentos de modificação da face externa de contato com o cilindro têm sido utilizados para obtenção de maior resistência ao desgaste abrasivo e também aos demais mecanismos de desgaste.

Os processos para obtenção dessas tecnologias e suas soluções técnicas já conhecidas são amplamente descritas na literatura e contempladas em concessões como o processo para o tratamento termoquímico de nitretação a gás e iônica descritos nos documentos de Patente US5013371 e US5240514, respectivamente. No documento de Patente US4557492 os anéis de pistão de aço ou ferro fundido são tratados em toda
20 a superfície de contato para uma melhoria da resistência ao desgaste e ao "scuffing". Em algumas aplicações o tratamento de nitretação conduz a uma maior durabilidade do anel. Entretanto, apresenta uma tendência de causar um desgaste acentuado no cilindro fazendo com que as condições tribológicas do par anel-cilindro sejam afetadas e, por vezes, conduzam à
25 falha prematura do motor quanto ao atendimento de níveis máximos de consumo de óleo lubrificante ou de emissão de poluentes.

Uma vez que o endurecimento por nitretação em anéis de pistão não corresponde mais aos requisitos, os anéis vêm recebendo uma camada galvânica de cromo duro, tal como ensinado no documento de patente
30 EP0507636B1, tendo sido também desenvolvidas soluções com camadas especialmente resistentes ao desgaste para anéis de compressão, conforme apresentado no documento de patente US4846940. A camada resistente ao

desgaste contém partículas cerâmicas, firmemente ancoradas em todo o volume da camada, que proporcionam a essa última uma capacidade de carga e resistência extremamente elevada. Como a retífica da camada leva ao desprendimento das partículas cerâmicas, há restrições em sua utilização.

A técnica de deposição PVD com suas várias ligas já descritas em outros documentos como, por exemplo, US6315840 e DE19940064C2, produzem um filme com elevada resistência ao desgaste e elevada resistência ao engripamento, sem aumentar o desgaste da peça oponente. Entretanto, a deposição do recobrimento por PVD é de elevado custo e necessita de uma complexa limpeza superficial.

Comparado com anéis de pistão tratados com técnicas concorrentes, como a cromação e a nitretação, a nova técnica de endurecimento por laser de anéis de pistão oferece muitas vantagens como baixo custo, economia de metais nobres, boa relação de desgaste entre o par tribológico anel de pistão e cilindro, tecnologia não poluente, economia de energia, fácil automação na produção, etc. A solução do documento GB2245680A apresenta um anel de pistão do mesmo tipo, com discretas e localizadas regiões tratadas a laser (borda da face externa de contato e a lateral do anel de pistão), no intuito de evitar destacamento da camada endurecida e/ou trincas superficiais decorrentes do tratamento contínuo de toda a superfície da face externa de contato do anel de pistão.

Outro método que emprega endurecimento por laser em anéis de pistão, como um tratamento após usinagem, é descrito no documento de Patente US4299401. Os anéis produzidos com essa técnica têm uma contínua camada endurecida na região de alta solicitação de contato e nas laterais do anel para melhorar a resistência ao desgaste destas partes com a canaleta do pistão.

Ensaio experimentais e a literatura mostram que, para desgaste sob condições de deslizamento, a superfície com faixas discretas de camada endurecida na superfície de contato dos anéis de pistão, como contemplados nas soluções acima descritas, geram o efeito indesejável de mai-

or desgaste, se comparados com o tratamento de toda a superfície de contato.

Apesar dos diversos relatos de aplicações industriais e de pesquisas intensas, as tensões térmicas geradas pelo alto gradiente de extração de calor, no tratamento de têmpera a laser, são uma variável intrínseca nos elevados níveis de dureza superficial conseguidos neste tratamento.

As tensões térmicas são induzidas principalmente pelo gradiente de temperatura e pela transformação de fase ledeburita, formada no resfriamento rápido a partir da fase líquida, mudando abruptamente para tensão compressiva quando a distância da superfície aumenta, o que tem grande influência na geração de trincas superficiais.

O mecanismo de absorção da energia e a transferência de calor que ocorrem no material são de grande importância, pois eles afetam o aquecimento, a fusão, o fluxo de metal líquido e o processo de solidificação. Isso dificulta o estabelecimento de uma inter-relação entre as variáveis do processo, sem que seja realizada uma extensiva experimentação.

No caso de anéis de pistão esse problema tem sido trabalhado tratando faixas distintas ou discretas e localizadas regiões da face do anel onde se deseja maior resistência ao desgaste. Essa solução mostrou-se eficaz na solução de falha funcional provocada por trincas de solidificação, mas não gera o efeito desejado de resistência ao desgaste, já que as partes da face do anel onde se deseja maior resistência ao desgaste podem expor o material de base sem nenhum tipo de tratamento de endurecimento.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

É um objetivo da presente invenção prover um processo de tratamento superficial de anel de pistão que produza um endurecimento da face externa de contato de dito anel de pistão, com um determinado grau de dureza na espessura da porção de superfície, superior àquele do substrato metálico de formação do anel de pistão.

É também objetivo da presente invenção prover um processo tal como acima citado e que evite o aparecimento de trincas ou mesmo a ocorrência de destacamento na camada superficial de dito anel de pistão.

É um outro objetivo da presente invenção prover um processo tal como acima citado e que permita o tratamento superficial simultâneo de toda a superfície do anel a ser tratada, particularmente a partir de técnicas de tratamento a laser.

- 5 É também um objetivo da presente invenção prover um anel de pistão, particularmente para motor a combustão, que apresente uma camada superficial, de dureza elevada, contínua e homogênea.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

- 10 Estes e outros objetivos são alcançados através de um processo de obtenção de anel de pistão para motor de combustão interna e compreendendo um corpo anelar tendo uma face externa de contato, compreendendo as etapas de: a- prover um anel de pistão apresentando um substrato metálico em um material tendo uma certa capacidade de absorção de energia térmica por unidade de espessura; b- prover um movimento rotacional
- 15 relativo, com uma velocidade predeterminada, entre o anel de pistão e uma fonte de energia; c- submeter, em um intervalo de tempo predeterminado e progressivo e continuamente, sucessivas porções de superfície da face externa de contato do anel de pistão, definidas, cada uma, por toda a largura e por uma reduzida extensão circunferencial do anel de pistão e toda a extensão
- 20 circunferencial da face externa de contato do anel de pistão, durante o dito movimento rotacional, a uma determinada carga de energia fornecida pela fonte de energia e suficiente para imprimir uma determinada transformação de fase, a uma espessura de cada porção de superfície, a partir da face externa de contato do anel de pistão; e d- submeter a dita espessura de
- 25 cada porção de superfície, imediatamente após sua transformação de fase, a um resfriamento suficiente para imprimir um determinado grau de dureza à dita espessura da porção de superfície, superior àquele do substrato metálico.

- 30 Também, os objetivos da presente invenção são alcançados por um processo de tratamento com feixe de laser em anel de pistão, tal anel possuindo um substrato metálico e uma face externa de contato que compreende as etapas de: a - prover um movimento rotacional relativo, com uma

velocidade predeterminada, entre o anel de pistão e uma fonte de energia na forma de um feixe de laser; b - submeter, em um intervalo de tempo predeterminado, de forma progressiva e contínua um aporte de energia em sucessivas porções de superfície da face externa de contato do anel de pistão de-
5 finidas, cada uma dessas porções, por toda a largura e por uma reduzida extensão circunferencial do anel de pistão ao longo de toda extensão circunferencial da face externa de contato do anel de pistão, sendo tal aporte suficiente para imprimir uma determinada transformação de fase resultando em uma camada modificada, e uma espessura determinada de cada porção de
10 superfície, de tal forma que a dita camada de cada porção de superfície apresente um valor de dureza superior àquele do substrato metálico; c - submeter a dita espessura de cada porção de superfície, imediatamente após sua transformação de fase, a um resfriamento suficiente para imprimir um determinado grau de dureza à dita espessura da porção de superfície, superior àquele do substrato metálico.
15

Adicionalmente, os objetivos da presente invenção são alcançados por um anel de pistão do tipo para motor de combustão interna, caracterizado pelo fato de ser obtido pelo processo de fabricação definido no parágrafo anterior.

20 Finalmente, os objetivos da presente invenção são alcançados por um anel de pistão do tipo para motor de combustão interna, caracterizado pelo fato de compreender um substrato metálico tendo, ao longo de toda a largura e de toda a extensão circunferencial da face externa de contato, uma determinada camada, submetida a um processo de têmpera.

25 O anel de pistão obtido a partir do processo acima compreende um substrato metálico apresentando, ao longo de uma determinada espessura a partir da face de contato e ocupando toda a largura dessa última, uma estrutura martensítica, circunferencial e axialmente contínua e que pode sustentar, externamente, um determinado volume de estrutura ledeburítica, a
30 qual é obtida a partir de um aporte de energia superior ao necessário para formar só a estrutura martensítica, de acordo com o processo de obtenção de anel acima citado.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A invenção será a seguir descrita fazendo-se referência aos desenhos anexos, nos quais:

5 A figura 1 representa, esquematicamente, uma vista em planta parcial do feixe de laser sobre o anel de pistão;

A figura 2 representa, esquematicamente, uma vista em corte transversal ampliado de anéis de pistão, tomados segundo a linha II – II da figura 1;

10 A figura 3 representa, esquematicamente, o dispositivo de fixação do anel;

A figura 4 ilustra um gráfico apresentando a variação de espessura da face externa de contato do anel de pistão provida com uma estrutura ledeburítica pelo aporte de energia, indicando a região de falha e a possibilidade de ocorrência de trincas de solidificação em dita estrutura ledeburítica;

15 A figura 5 ilustra uma típica curva de dureza do tratamento de têmpera por laser, para uma espessura de estrutura ledeburítica de 7 a 15 microns;

A figura 6 representa um corte transversal ampliado do anel de pistão após tratamento laser e um detalhe de sua estrutura ledeburítica;

20 A figura 7 ilustra, graficamente, um resultado comparativo de teste de motor para o qual foram submetidos anéis de pistão obtidos de acordo com as variantes da presente invenção; e

25 A figura 8 ilustra, graficamente, um resultado comparativo de teste de bancada de corpos de prova obtidos de acordo com as variantes da presente invenção, sob uma condição de carga de 667N, a 500 rpm e durante 50.000 ciclos.

DESCRIÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES ILUSTRADAS

30 A presente invenção será descrita para um anel de pistão do tipo utilizado em motores de combustão interna, dito anel apresentando um corpo formado em um substrato metálico 1 onde é provida, a partir de uma respectiva face externa um tratamento térmico à laser 4, sobre o qual são providas, conforme descrito adiante, uma camada operacional de estrutura

martensítica 5 e, em outra opção da presente invenção, de uma estrutura ledeburítica 5a a partir do tratamento térmico ocasionado pelo perfeito acoplamento da energia laser com a face de contato do anel de pistão. De acordo com a presente invenção, o substrato metálico 1 apresenta uma das
5 constituições definidas por ferro fundido lamelar, nodular ou vermicular.

Tais estruturas são obtidas a partir de um processo de tratamento superficial do anel de pistão 1, a ser descrito adiante e que utiliza uma fonte de energia 2, por exemplo, uma fonte de laser apresentando parâmetros controlados, de forma a obter uma superfície endurecida e resistente ao
10 desgaste (no caso da estrutura martensítica) e isenta de trincas de solidificação (no caso da estrutura ledeburítica).

A utilização de uma fonte de energia 2 na forma de um feixe de laser, em materiais metálicos, pode ocasionar uma sucessão de variações metalúrgicas e físicas dependendo da energia do feixe de laser e do tempo
15 de interação entre esta energia e a matéria sobre a qual dita energia está sendo aplicada. Essas transformações podem ir desde um aquecimento localizado com transformação de fase no estado sólido, passando por microfusão até uma vaporização localizada de material. A integridade da superfície do anel de pistão e o seu nível de endurecimento, após o trata-
20 mento por uma fonte de energia 2 na forma de um laser, são dependentes do nível de energia transferido pelo laser para a superfície em tratamento e da taxa de resfriamento de dita superfície, tratada. Tanto o nível de endurecimento da superfície quanto a integridade desta dependem da correta seleção do aporte de energia aplicado pela fonte de energia 2, em função de
25 parâmetros do tratamento, tais como densidade de potência e movimento relativo entre o anel de pistão 1 e a fonte de energia 2.

O tratamento a laser é caracterizado por um aquecimento localizado da superfície, resultando na austenitização e têmpera da porção de superfície transformada, através do resfriamento rápido imposto pela troca
30 de calor com o restante da peça não aquecida, podendo ser auxiliado por resfriamento externo forçado. Para uma mesma energia laser, diferentes materiais atingem diferentes temperaturas.

Para a realização da presente invenção, a fonte de energia 2 deve prover uma densidade de potência entre 10^2W/cm^2 e 10^5W/cm^2 em intervalos de tempo de aplicação de energia térmica definido entre 10^{-2}s e 10s, conforme descrito adiante.

5 O processo de produção do anel de pistão com a camada do tratamento térmico, a laser, de acordo com a presente invenção, consiste, após uma etapa inicial de prover dito substrato metálico 1 em um material tendo a certa capacidade de absorção de energia térmica por unidade de área, a um movimento rotacional relativo, com uma velocidade
10 predeterminada, em relação à fonte de energia 2, seguida de uma etapa de submeter, em um intervalo de tempo predeterminado e progressiva e continuamente, sucessivas porções de superfície A da face externa de contato 4 do anel de pistão 1, definidas, cada uma, por toda a largura e por uma reduzida extensão circunferencial do anel de pistão 1, e toda a extensão circunfe-
15 rencial da face externa de contato 4 do anel de pistão 1, durante o dito movimento rotacional, a uma determinada carga de energia fornecida pela fonte de energia 2 e suficiente para imprimir uma determinada transformação de fase, a uma espessura de cada porção de superfície A, a partir da face externa de contato 4 do anel de pistão 1.

20 Os intervalos de tempo do processo em questão são definidos pelo tempo de interação entre a fonte de energia 2 e a porção de superfície A da face externa de contato 4 do anel de pistão 1, conforme descrito adiante.

O movimento relativo entre o anel de pistão 1 e a fonte de energia 2 pode ser obtido com o movimento simultâneo de ditas partes ou ainda com o movimento de uma de ditas partes, mantendo-se a outra imóvel, por exemplo, mantendo a fonte de energia 2 imóvel e rotacionando o anel de pistão.

30 O processo de tratamento de anel de pistão em questão prevê, em uma etapa imediatamente posterior àquela de transformação de fase acima citada para a dita espessura de cada porção de superfície A, submeter dita espessura a um resfriamento suficiente para imprimir um determina-

do grau de dureza a essa, superior àquele do substrato metálico 1.

Este processo determina a formação de uma camada de estrutura martensítica 5 na porção de superfície A da face externa de contato 4 do anel de pistão 1 e que sustenta, em uma condição de aporte de energia sobre dita estrutura martensítica 5, uma estrutura ledeburítica 5A, conforme descrito adiante. Para a obtenção da estrutura martensítica 5, a densidade de potência da fonte de energia 2 e respectivo intervalo de tempo predeterminado de aplicação da energia sobre a espessura de cada porção de superfície A são dimensionados para produzirem, nesta última, uma transformação de fase na forma de uma têmpera suficiente para definir, na dita porção de superfície A do substrato metálico 1, uma estrutura martensítica 5.

Para a obtenção da estrutura ledeburítica 5A sem que esta conduza ao aparecimento de trincas de superfície, o processo da presente invenção provê aporte de energia suficiente para fusão superficial com um conseqüente resfriamento suficiente para imprimir um determinado grau de dureza à dita espessura da porção de superfície A, superior àquele do substrato metálico 1, em uma espessura de camada fundida inferior àquele de formação de trincas em dita espessura.

De acordo com a presente invenção, para a obtenção da estrutura martensítica 5, a fonte de energia 2 provida com uma densidade de potência entre 10^2 W/cm² e 10^4 W/cm², é aplicada em um intervalo de tempo predeterminado definido entre 10-2s e 10s, para a obtenção da determinada transformação de fase conduzindo a uma austenitização de dita porção de superfície A da face de contato 4, suficiente para definir nesta última, uma estrutura martensítica 5, por exemplo, apresentando uma espessura inferior a 20 microns com dito volume sendo definido entre 0,3% a 10% do volume total do anel de pistão 1.

De acordo com a presente invenção, para a obtenção da estrutura ledeburítica 5A o processo em descrição compreende, num mesmo momento, o desenvolvimento da estrutura ledeburita e martensítica por um aporte de energia superior aquele que origina apenas a estrutura martensítica, sendo que esta solução técnica é utilizada quando o desgaste da super-

fície definida pelo conceito 1 (apenas estrutura martensita) não é suficiente para ultrapassar as severas condições de início do funcionamento do motor.

Para esta etapa do processo em descrição, a densidade de potência da fonte de energia 2 é definida entre 10^3 W/cm² e 10^5 W/cm². O resultado final é a obtenção de uma transformação de fase para a porção de superfície A que não atinge a fusão. Nesse caso, a transformação de fase resulta em uma austenitização e têmpera da porção de superfície A.

Com esses parâmetros, densidade de potência entre 10^3 W/cm² e 10^5 W/cm² e o intervalo de tempo predeterminado de 10^{-2} a 1s, a fusão obtida com a transformação de fase adicional da estrutura martensítica 5 define, em um volume desta, uma estrutura ledeburítica 5A, externa à estrutura martensítica 5, dito volume sendo definido por uma espessura inferior a 20 microns.

De acordo com uma forma de realização da presente invenção, o resfriamento em qualquer das etapas de obtenção de estrutura martensítica 5 e de estrutura ledeburítica 5A pode ser obtido submetendo pelo menos uma das partes de anel de pistão 1 e de ambiente de tratamento deste a uma condição de baixa temperatura.

Em uma opção construtiva da presente invenção, o processo de produção do anel de pistão com a camada do tratamento térmico a laser, de acordo com a presente invenção, inclui uma etapa inicial de submeter o substrato metálico 1 do anel de pistão a um acabamento final ou semi-acabado, antes de se passar à etapa de submeter a face externa de contato 4 do anel de pistão 1, à etapa de tratamento térmico já apresentada.

Para a obtenção da estrutura ledeburítica 5A, o anel de pistão é previamente submetido a uma etapa de acabamento, preferencialmente semi-acabado, devido ao fato da fusão superficial prover uma face externa de contato 4 com perfil não controlado. Neste caso, em uma etapa posterior, é realizada uma operação de acabamento mecânico, consistindo, preferencialmente, em uma retificação e/ou polimento por lapidação, até a obtenção de perfil, forma e dimensões adequadas.

Para o processo da presente invenção, a aplicação de energia

sobre o anel de pistão em questão ocorre com um movimento relativo da fonte de energia 2 e dito anel de pistão, segundo uma velocidade predeterminada definida entre 5m/mim e 15 m/mim, sendo o intervalo preferível entre 7m/min e 11m/min.

5 O processo de tratamento superficial da presente invenção é, por exemplo, aplicado simultaneamente a uma pluralidade de anéis de pistão, dispostos em um dispositivo de fixação de anéis, conforme ilustrado na figura 3, sendo que os anéis de pistão são aí dispostos substancialmente espaçados entre si para melhorar a dissipação de calor e para reduzir a
10 transferência de calor de um anel de pistão para outro, dito dispositivo de fixação de anéis tendo uma centralização definida de modo a não implicar em variação da espessura de camada pela variação da densidade de potência do laser e sendo provido de modo a amenizar as excentricidades relativas aos processos mecânicos de usinagem e reduzir a variação da distância
15 focal do laser da fonte de energia 2 à superfície de cada anel de pistão. O distanciamento entre anéis de pistão é calculado de modo a facilitar o resfriamento de cada anel de pistão, para a obtenção das estruturas martensítica 5 e ledeburítica 5A.

 A construção proposta permite tratar a superfície da face externa de contato 4 de cada anel de pistão revolucionando o ferramental e minimizando a variação de espessura de cada porção de superfície A da face
20 externa de contato A de cada anel de pistão e garantindo a manutenção do tratamento térmico sobre toda a face externa de contato 4 de cada dito anel de pistão, de maneira reproduzível, controlando a presença da estrutura ledeburítica 5A em prol de elevados níveis de dureza superficial, levando à
25 baixas tensões residuais e não induzindo as trincas.

 Cada um dos parâmetros de velocidade de rotação e de distância do foco à face externa de contato 4 do anel de pistão é ajustado para conseguir o tratamento adequado e para que toda a face externa de contato
30 4 do anel de pistão seja coberta pelo feixe de laser da fonte de energia 2, para diferentes perfis e dimensões de anéis de pistão.

 Para o tratamento de endurecimento superficial, o feixe de laser

é alinhado num ângulo de 50° a 130° em relação à superfície do anel de pistão fixo em um diâmetro nominal, pelo dispositivo de fixação de anéis. O dispositivo de fixação de anéis com os anéis de pistão é conduzido a uma rotação de 360° , para a obtenção de um completo tratamento no sentido longitudinal da face externa de contato 4 de cada anel de pistão.

As condições do tratamento a laser para a obtenção de estrutura martensítica 5 geram, em toda a face externa de contato 4, uma camada modificada, de modo que não ocorra sobreposição do tratamento térmico e nem fusão generalizada e trincas superficiais na dita face externa de contato 4.

De forma preferencial, é utilizado um laser com potência de 1 a 4 KW e com ângulo de incidência de 80° a 100° (6) em relação à superfície da face externa de contato 3 do anel de pistão.

Após o giro completo dispositivo de fixação de anéis, o feixe de laser é guiado substancialmente por um sistema (por exemplo, mecânico), para um anel de pistão subsequente, mantendo o ângulo de incidência do feixe de laser numa posição preferida entre 80° e 100° (6) em relação à face externa de contato 4 do anel de pistão.

Para uma face externa de contato 4 com estrutura martensítica 5, a dureza superficial encontrada está entre 700Hv e 900Hv e pode ter espessura de camada de 0,05 a 0,3mm, obtida com uma densidade de potência entre 1.10^2W/cm^2 e 1.10^4W/cm^2 e velocidade relativa entre a face externa de contato 4 do anel de pistão e a fonte de feixe de laser entre 5m/min e 15m/min, sendo, preferivelmente entre 7m/min e 11m/min. Tais parâmetros conduzem a um aporte de energia no valor 0,1 a 0,5 J/mm³.

As condições do tratamento laser para uma densidade de potência definida entre 10^3W/cm^2 e 10^5W/cm^2 , para um intervalo de tempo predeterminado de interação entre 10^{-2} e 1s, geram, na referida espessura de cada porção de superfície A do substrato metálico 1, uma estrutura ledeburítica 5A, externa à estrutura martensítica 5, a qual deve apresentar uma espessura inferior a 20 microns, por exemplo, entre 1 a 20 microns que, de acordo com a presente solução, não gera trincas de resfriamento na superfí-

cie do anel de pistão. O calor absorvido é, preferencialmente, dissipado pela própria peça proporcionando velocidades de resfriamento da ordem $2 \times 10^3 \text{K/s}$, e induzindo a transformação martensítica em profundidades que variam de 0,05 a 0,3mm.

5 A estrutura ledeburítica 5A, gerada durante a operação do anel de pistão no motor, é levada a contato com a superfície interna do cilindro no qual o pistão e o anel de pistão são montados. Na medida em que há o desgaste da estrutura ledeburítica 5A, que é a camada mais externa, apresenta-se a camada com a estrutura martensítica 5 como camada operacional mais
10 externa em operação.

De forma preferencial, é utilizada uma fonte de energia 2 com um laser apresentando potência entre 1 e 4KW, com ângulo de incidência de 80° a 100° em relação à superfície da face externa de contato 4 do anel de pistão.

15 O processo da presente invenção resulta em uma estrutura ledeburítica com dureza superficial entre 1000 e 1200Hv, podendo ter espessura entre 1 micron e 20 microns para uma densidade de potência de 1.10^3W/cm^2 a 1.10^5W/cm^2 e velocidade relativa entre a face externa de contato 4 do anel de pistão e o feixe de laser da fonte de energia 2 entre 6m/min
20 e 11m/min, o que leva a um aporte de energia de valor entre 0,35 e $0,75 \text{J/mm}^3$.

Na região transformada, devido ao fato de a estrutura martensítica 5 ser extremamente fina e da estrutura ledeburítica 5A, durezas entre 800HV e 1200HV são atingidas nesses anéis de ferro fundido com dureza
25 originalmente na faixa de 200 a 400HV.

A figura 4 apresenta um gráfico indicando as regiões de formação das estruturas martensítica 5 e ledeburítica 5A da presente invenção, indicando também a região de falha para o qual há a formação de trincas superficiais de solidificação.

30 A figura 5 apresenta uma típica curva de dureza para um substrato metálico 1 tendo, em sua face externa de contato 4 uma estrutura ledeburítica 5A apresentando uma espessura entre 7 e 15 microns.

A Figura 6 mostra um corte transversal do anel de pistão após tratamento laser e um detalhe da estrutura ledeburítica 5A na face externa de contato 4 do anel de pistão, a qual apresenta uma espessura entre 15 e 20 microns, dita estrutura ledeburítica 5A sendo definida externa a uma camada subsequente de estrutura martensítica 5, com uma espessura entre 70 e 90 microns.

Os resultados de testes efetuados com anéis de pistão construídos de acordo com a presente invenção, relativamente aos anéis de pistão construídos de acordo com as técnicas já conhecidas, demonstram as melhorias obtidas com a presente solução em relação à nitretação e a provisão de uma estrutura ledeburítica 5A externa a uma estrutura martensítica 5 (conceito 2).

Na Figura 7 é ilustrado, graficamente, o resultado do teste para o qual foram submetidos anéis de pistão obtidos de acordo com a presente invenção, com uma estrutura martensítica 5 com espessura entre 90 e 110 microns, em face de excentricidades relativas ao trabalho mecânico de acabamento e ao dispositivo de fixação de anéis de pistão, durante tratamento de têmpera por uma fonte de energia 2 na forma de um feixe de laser, e dureza superficial de 800 a 900Hv, com um trabalho mecânico de acabamento para controle dimensional e de rugosidade.

Os anéis de pistão obtidos com o processo da presente invenção foram submetidos a teste de 500 horas em um motor "High Speed Diesel", com pressão de pico de 18 cm (180 bar), sendo o resultado obtido comparado aqueles obtidos com anéis construídos de acordo com a técnica anterior, de nitretação e recobrimento por cromo duro.

Os resultados dos testes efetuados com anéis de pistão, construídos de acordo com a presente invenção, tanto apresentando estrutura martensítica como estrutura ledeburítica 5A, relativamente aos anéis de pistão construídos de acordo com as técnicas conhecidas de nitretação e cromação, demonstram as melhorias de resistência ao desgaste obtido com a presente solução, particularmente demonstrando que os resultados obtidos com a estrutura ledeburítica (conceito 2) superaram aqueles obtidos com a

estrutura martensítica (conceito 1). Tais resultados mostram que os anéis tratados a laser apresentam um melhor desempenho em relação ao desgaste, do que os anéis nitretados.

Foram realizados testes de bancada no equipamento pino-sobre-disco para comparação do anel com estrutura ledeburítica, com a estrutura martensítica, juntamente com anéis com a tecnologia de nitretação e sem nenhum tratamento superficial. A Figura 8 ilustra os resultados do teste descrito acima, sob as condições de 667 N de carga a 500 rpm durante 50.000 ciclos.

Os testes ratificam os resultados encontrados em teste de motor.

A utilização do feixe de laser em materiais metálicos pode ocasionar uma sucessão de variações metalúrgicas e físicas dependendo da energia contida no feixe de laser e do tempo de interação entre matéria e energia. Essas transformações podem ir desde um aquecimento localizado com transformação de fase no estado sólido (resultando na estrutura martensítica), passando por microfusão (estrutura ledeburítica) até uma vaporização localizada de material.

Os parâmetros de integridade da superfície tratada e o seu nível de endurecimento, após o tratamento por laser, são dependentes do nível de energia transferido pelo laser e da taxa de resfriamento da superfície tratada. Tanto o nível de endurecimento da superfície quanto a sua integridade dependem, desta forma, da correta seleção do aporte de energia laser pelos parâmetros do tratamento, tais como densidade de potência e avanço relativo da superfície.

A potência do laser e a desfocalização, que é a distância da superfície da peça a ser tratada ao ponto focal do feixe de laser, são caracterizadas pela densidade de potência que, juntamente com o tempo de interação matéria-energia controlado pela velocidade periférica da face externa de contato do anel de pistão em relação ao feixe de laser, definem o aporte de energia sobre a área de cada porção de superfície da face externa de contato do anel de pistão, incidida pelo feixe de laser.

O controle da espessura de camada, a dureza da camada modificada e a fusão superficial controlada do material dependem da potência do feixe de laser, do diâmetro do feixe incidente e da velocidade periférica do anel de pistão que, de acordo com a presente invenção, podem ser tratados com grande precisão sem induzir às distorções usuais dos tratamentos martensíticos por indução e os tratamentos superficiais como nitretação, e atingir níveis de dureza superiores a 1000 Hv com a estrutura da fase ledeburita, sem levar a uma falha funcional do anel de pistão por surgimento de trincas de solidificação.

O tratamento de têmpera a laser é caracterizado por um aquecimento localizado da superfície, austenitização e têmpera da camada transformada através do resfriamento rápido imposto pela troca de calor com o restante da peça não aquecida, podendo ser auxiliado por resfriamento externo forçado. O resultado final é a obtenção de uma estrutura metalúrgica ultra-refinada consistindo em um substrato metálico tendo uma estrutura martensítica de elevada dureza, podendo conter carbonetos da matriz original que não foram solubilizados no processo, podendo também ter uma fase formada a partir da solidificação rápida advinda de uma microfusão incipiente superficial.

O tratamento a laser utilizado na presente invenção consiste na têmpera superficial de anéis de pistão 10 em ferro fundido lamelar, nodular ou vermicular em toda a extensão da faixa de contato do diâmetro externo do anel de pistão 10, sem que haja a microfusão generalizada da superfície.

Nas técnicas convencionais de uso de laser, a ocorrência de uma fusão generalizada leva à formação de uma fase frágil que origina trincas no subsequente processo de resfriamento rápido da superfície após a passagem do feixe de laser.

De acordo com a presente invenção, a solução técnica de uma camada endurecida externa denominada estrutura ledeburítica é utilizada quando o desgaste da superfície com uma estrutura martensítica não é suficiente para ultrapassar as severas condições de início do funcionamento do motor. A alteração da rugosidade superficial pela fusão generalizada com-

preende uma etapa posterior de acabamento da superfície beneficiada.

O limite entre a microfusão incipiente e uma fusão generalizada foi estabelecido através da fração da fase frágil de formação da estrutura ledeburítica e de sua distribuição na superfície do material.

5 A estrutura ledeburítica pode estar presente na microestrutura, de forma descontínua ou não, numa camada superficial da estrutura martensítica, a qual apresenta um máximo de 20 microns de espessura na região tratada a laser da face externa de contato do anel de pistão. Essa estrutura ledeburítica constitui uma fração de material que apresentou uma fusão e foi
10 rapidamente resfriada após a passagem do feixe laser. A estrutura ledeburítica se caracteriza por ser uma solução sólida de ferro supersaturada de carbono, silício e manganês, formada no resfriamento rápido a partir da fase líquida. Quando a microestrutura apresenta uma fração elevada dessa estrutura, ela se torna bastante dura, mas também bastante frágil. Numa superfície
15 de ferro fundido, tratada a laser, a presença de uma fusão generalizada leva ao aparecimento de trincas originadas por contração térmica da superfície. Caso a estrutura ledeburítica esteja presente de forma descontínua ou limitada à espessura de 20 microns, não ocorre o aparecimento destas trincas de resfriamento. A presença de estrutura ledeburítica, formada por fusão
20 na faixa de 1 a 20 microns de espessura, de forma contínua na estrutura martensítica, ultra-refinada, é um aspecto adicional deste processo de tratamento superficial de anel de pistão.

O processo para obtenção e controle da estrutura ledeburítica da presente invenção é limitado, superiormente, pela espessura ou pela profundidade dessa estrutura ao longo da periferia da seção transversal da face
25 externa de contato do anel de pistão, o que levaria ao aparecimento de trincas e, no limite inferior, por uma profundidade mínima de endurecimento com essa estrutura, resguardada a resistência ao desgaste desta com níveis de dureza entre 1000 e 1200Hv desejada na superfície funcional do anel de
30 pistão.

Os aparelhos para o tratamento laser em anéis de pistão consistem em um equipamento de rotação onde é fixado o ferramental em que es-

tão os anéis de pistão, apresentando uma forma externa cilíndrica no pacote, de modo a obter mínima descentralização durante a rotação. O equipamento laser é preferencialmente do tipo a gás, sólido ou semiconductor, gerador de um feixe de laser pulsado ou contínuo de potência da ordem de 1 a 15KW.

5 O feixe de laser é guiado por fibra ótica ou espelhos até a face externa de contato do anel de pistão. Em princípio, o tipo de laser, a geometria do "spot" (círculo, linha, anel, etc.) e o sistema de direcionamento são irrelevantes para o tratamento de têmpera, desde que o aporte de energia requerido seja atingido.

10 O aporte de energia do feixe laser na superfície a ser tratado usa a relação entre a densidade de potência que é a relação entre potência do laser e a distância focal, a taxa de avanço, que define o tempo de interação, e a espessura da pista para cada tipo de anel de pistão, como ilustrado na figura 2. São parâmetros também considerados a natureza do material e a espessura da camada modificada que se deseja obter.

O subsequente resfriamento é dado pela ação da dispersão de calor pelo volume da peça trabalhada, onde o volume da camada modificada representa de 0,3% a 10% do volume total do anel.

20 A figura 2 ilustra dois anéis de pistão em ferro fundido lamelar com a faixa de composição descrita na Tabela II, apresentando uma estrutura ledeburítica entre 7 e 15 microns de profundidade, com uma espessura de estrutura martensítica da ordem de 80 microns em toda a extensão da face externa de contato de ditos anéis de pistão.

25 Os parâmetros do feixe de laser e o tempo de interação deste, numa dada região, são descritos abaixo:

Tabela I: Parâmetros laser adequados para aplicações de têmpera em dois esboços de anéis de pistão.

Parâmetros de processo	Anel i	Anel ii
Ângulo de incidência (graus)	90.0	90.0
Velocidade periférica (m/min)	8.0	8.5
Potência do laser (KW)	1900	2900
Desfocalização (mm)	183.0	178.0

Tabela II.: Faixa de composição química para o anel de pistão de ferro fundido lamelar.

Composição química	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu
Ferro Fundido Lamelar	3,60-3,90	2,20-2,90	0,50-0,80	0,30-0,50	0,00-0,15	0,00-0,40	0,00-0,20	0,00-1,50

O feixe de laser passa, preferivelmente, através de lentes focais até atingir cada porção de superfície da face externa de contato de um anel de pistão guiado por fibra ótica. A variação da distância da lente ao anel de pistão conduz a uma mudança do diâmetro eficaz do feixe de laser na superfície de dito anel de pistão ajustada para que o diâmetro do feixe contemple toda a altura da face externa de contato de cada anel de pistão. A densidade de potência é ajustada pela potência de saída do feixe de laser e pelo diâmetro do feixe incidente.

Aspectos específicos da invenção são mostrados nos desenhos apenas por questão de conveniência. Configurações alternativas serão entendidas como possíveis pelos técnicos no assunto, estando incluídas no escopo das reivindicações. Deste modo, a descrição acima deve ser entendida como ilustrativa, e não limitativa do escopo de proteção da invenção. Todas as alterações e modificações óbvias estão no escopo de proteção definido pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de tratamento com feixe de laser em anel de pistão, tal anel possuindo um substrato metálico e uma face externa de contato, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

5 a - prover um movimento rotacional relativo, com uma velocidade predeterminada, entre o anel de pistão e uma fonte de energia na forma de um feixe de laser;

 b - submeter, em um intervalo de tempo predeterminado, de forma progressiva e contínua um aporte de energia em sucessivas porções
10 de superfície da face externa de contato do anel de pistão definidas, cada uma dessas porções, por toda a largura e por uma reduzida extensão circunferencial do anel de pistão ao longo de toda extensão circunferencial da face externa de contato do anel de pistão, sendo tal aporte suficiente para imprimir uma determinada transformação de fase resultando em uma camada
15 modificada, e uma espessura determinada de cada porção de superfície, de tal forma que a dita camada de cada porção de superfície apresente um valor de dureza superior àquele do substrato metálico.

 c - submeter a dita espessura de cada porção de superfície, imediatamente após sua transformação de fase, a um resfriamento suficiente
20 para imprimir um determinado grau de dureza à dita espessura da porção de superfície, superior àquele do substrato metálico.

2- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa a, o feixe de raios laser ser produzido por um equipamento laser com potência de 1 a 15 KW, com feixe de laser preferido
25 contínuo e podendo ser do tipo a gás, sólido ou semicondutor.

3- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a velocidade predeterminada da etapa a ser definida entre 5m/min e 15m/min.

4- Processo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado
30 pelo fato de a velocidade predeterminada ser preferivelmente definida entre 7m/min e 11m/min.

5- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de o dito intervalo de tempo pré determinado na etapa b ser definido entre 10^{-2} s e 10s.

5 6- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o feixe de laser ser aplicado sobre a face externa de contato do anel de pistão com incidência entre 50° e 130° .

7- Processo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de o feixe de laser ser aplicado sobre a face externa de contato do anel de pistão, preferencialmente, com incidência entre 80° e 100° .

10 8- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a densidade de potência do feixe de laser e o intervalo de tempo da interação de tal feixe com cada porção de superfície serem dimensionados para produzir uma transformação de fase pelo processo de têmpera.

15 9- Processo, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de o processo de têmpera definir, na camada de cada porção de superfície do substrato metálico, uma estrutura martensítica.

10- Processo, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de a estrutura martensítica apresentar um volume entre 0,3% a 10% do volume total do anel de pistão (10).

20 11- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do feixe de laser ter uma densidade de potência entre 10^2 W/cm² e 10^4 W/cm², para o intervalo de tempo predeterminado de 10^{-2} s a 10^1 s.

25 12- Processo, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de o aporte de energia fornecido pelo feixe de laser resultar em um aquecimento suficiente para imprimir ainda, a cada porção de superfície da face externa de contato, uma outra transformação de fase na forma de uma fusão superficial resultando na camada formada acima da camada da estrutura martensítica.

30 13- Processo, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de, imediatamente após o aquecimento resultante da interação do anel de pistão com o feixe de laser na porção de superfície, haver um resfriamento suficiente para imprimir o processo de tempera à camada e a formação de uma estrutura denominada ledeburita na camada.

14- Processo, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de o resfriamento das porções de superfície para formação das camadas ser realizado pela troca de calor com o restante do anel de pistão não aquecido.

5 15- Processo, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de o resfriamento das camadas da porção de superfície ser ainda realizado por resfriamento externo forçado do anel de pistão.

10 16- Processo, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de as estruturas martensítica e ledeburítica apresentarem um volume entre 0,3% a 10% do volume total do anel de pistão.

17- Processo, de acordo com a reivindicação 13, caracterizada pelo fato de a estrutura ledeburítica, especificamente, apresentar uma espessura inferior a 20 microns.

15 18- Processo, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de o aporte de energia ser na forma de um feixe de laser com densidade de potência entre 10^3W/cm^2 e 10^5W/cm^2 , para o outro intervalo de tempo predeterminado de 10^{-2} a 1s.

20 19- Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o substrato metálico apresentar uma das constituições definidas por ferro fundido lamelar, nodular ou vermicular.

20- Anel de pistão do tipo para motor de combustão interna, caracterizado pelo fato de ser obtido pelo processo de fabricação como definido nas reivindicações 1 a 19.

25 21- Anel de pistão do tipo para motor de combustão interna, caracterizado pelo fato de compreender um substrato metálico tendo, ao longo de toda a largura e de toda a extensão circunferencial da face externa de contato, uma determinada camada, submetida a um processo de têmpera.

30 22- Anel, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de tal camada (14) da face externa de contato definir uma estrutura martensítica, circunferencial e axialmente contínua.

23- Anel, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de compreender uma camada intermediária que define uma estrutura

martensítica, e uma camada mais externa que define uma estrutura ledeburítica.

24- Anel, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato da dureza encontrada na estrutura ledeburita estar entre 900 e 1200 HV e a dureza da camada martensítica estar entre 600 e 900HV.

25- Anel, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de as estruturas martensítica e ledeburítica apresentarem, juntas, um volume entre 0,3% a 10% do volume total do anel de pistão.

26- Anel, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de a estrutura ledeburítica apresentar uma espessura inferior a 20 microns.

27- Anel, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de o substrato metálico apresentar uma das constituições definidas por ferro fundido lamelar, nodular ou vermicular.

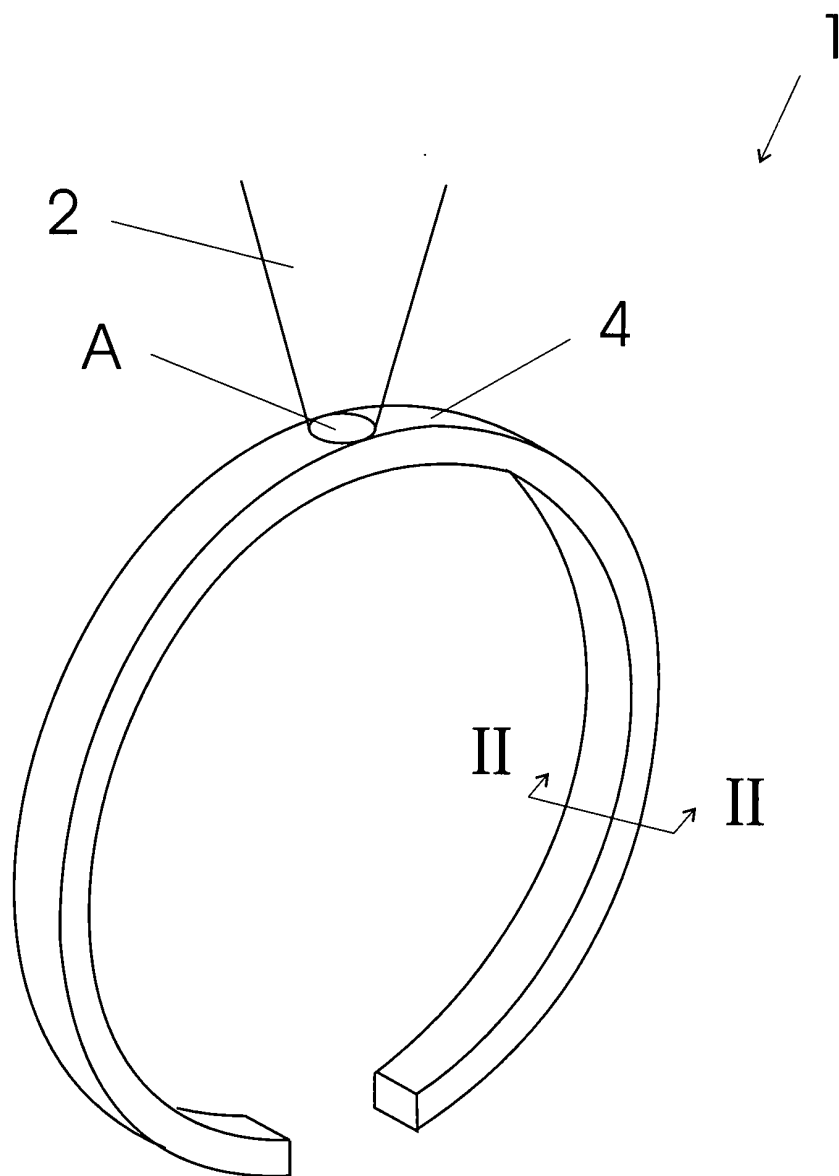


Fig.1

2/5

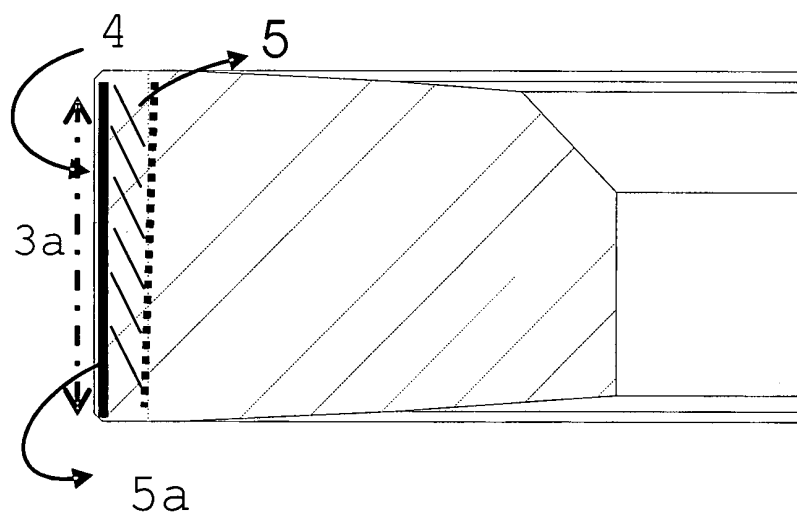
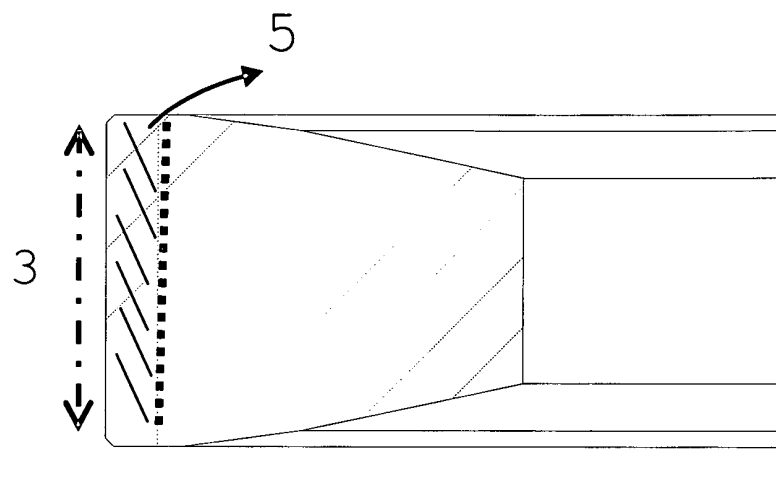


Fig.2

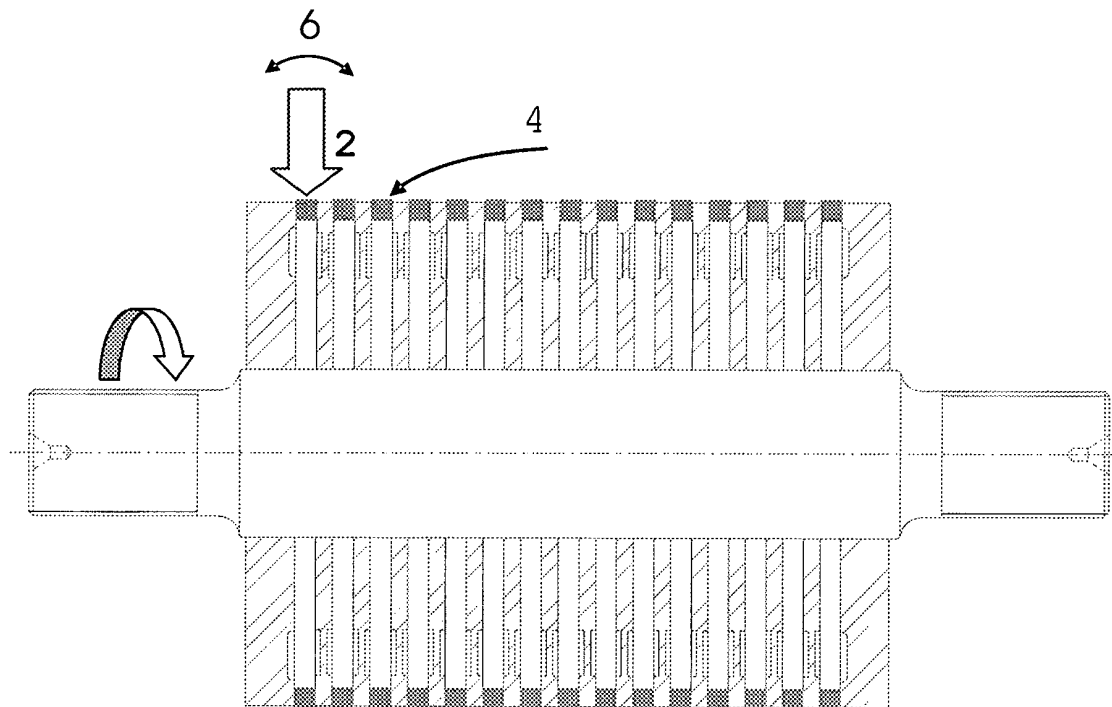


Fig.3

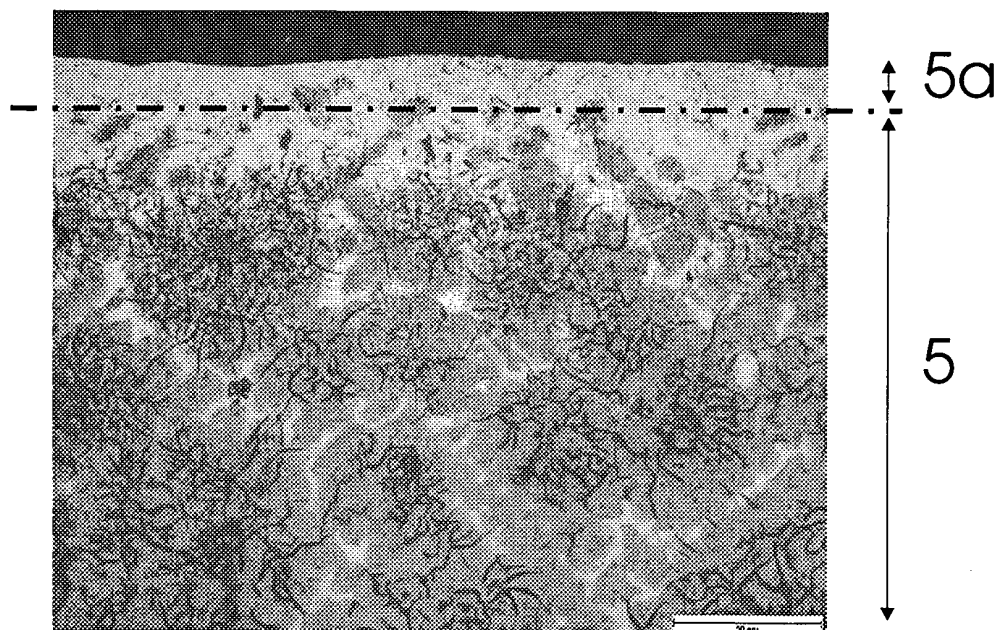


Fig.6

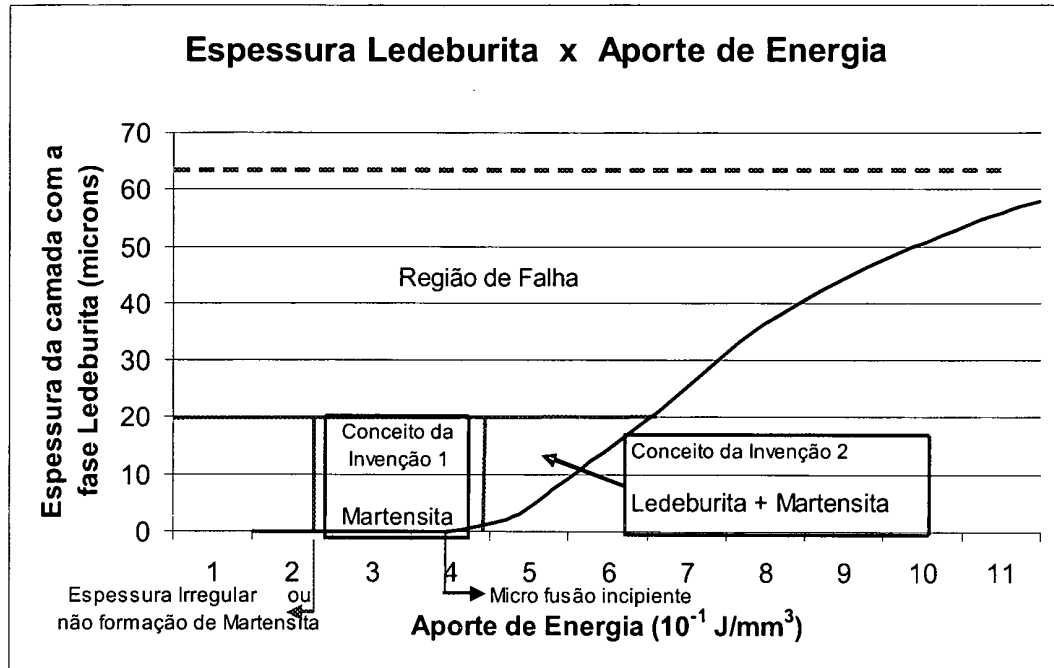


Fig.4

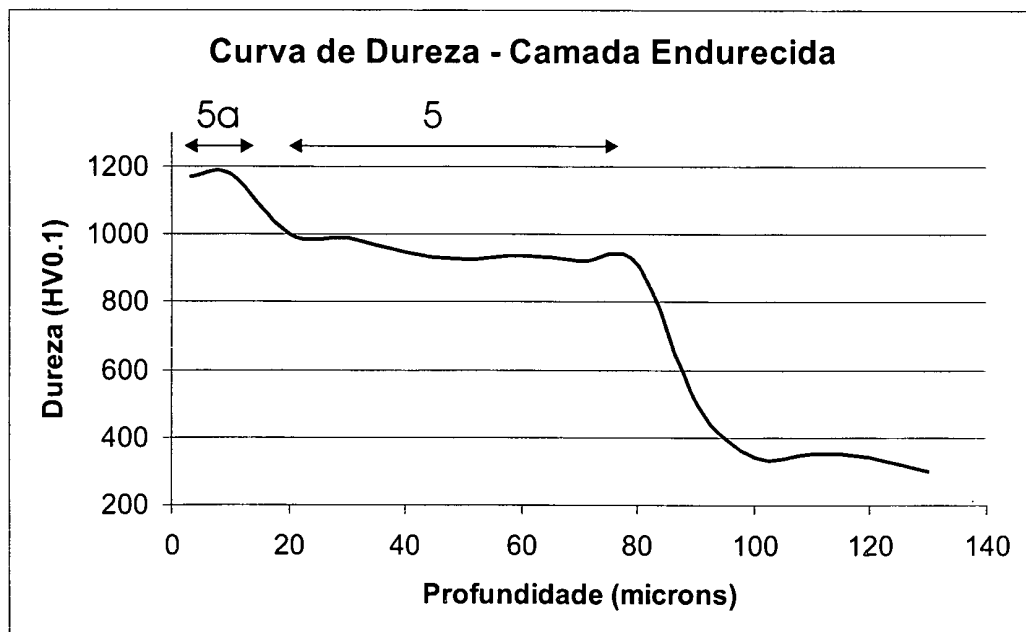


Fig.5

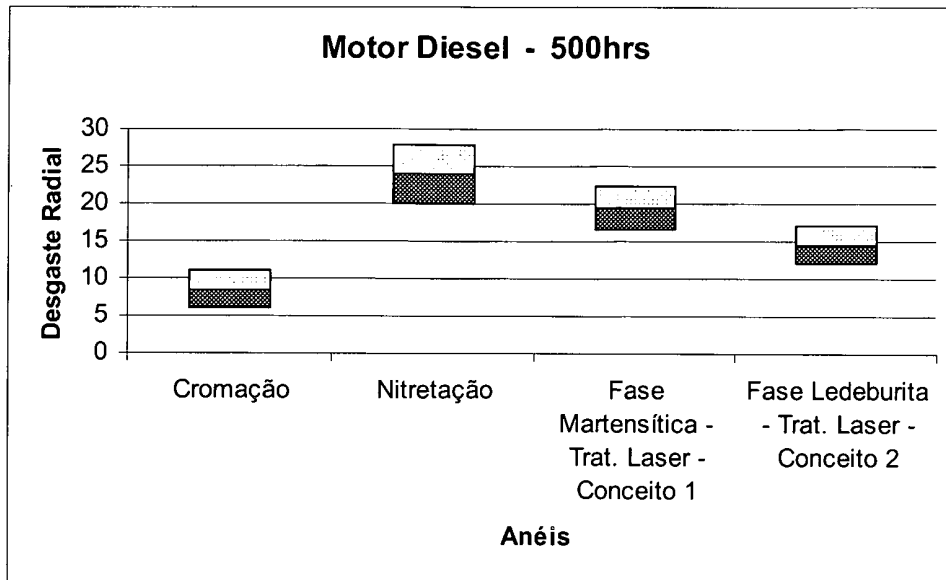


Fig.7

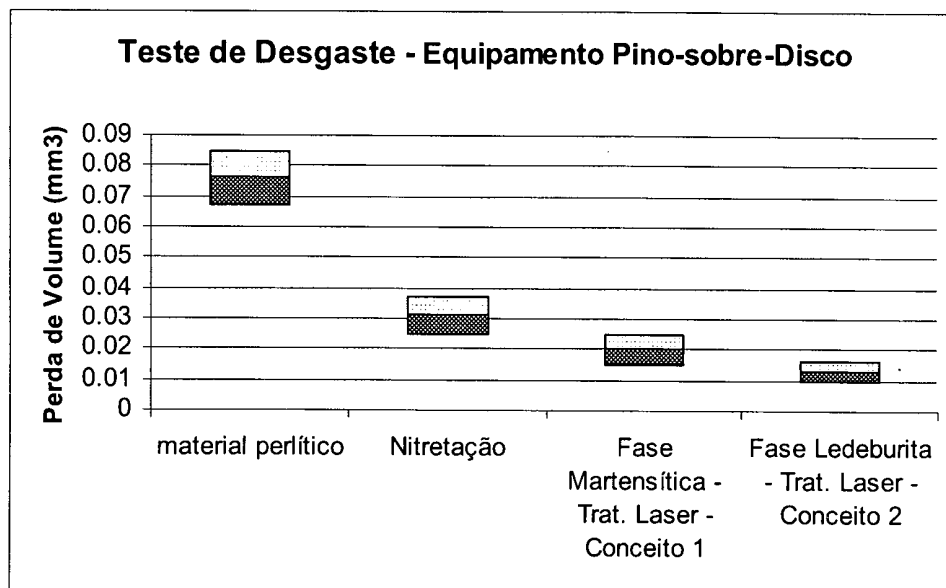


Fig.8

RESUMO

Patente de Invenção: "**PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE ANEL DE PISTÃO E ANEL DE PISTÃO**".

- 5 A presente invenção refere-se a um método de produção de um tratamento de superfície para anéis de pistão fabricados em ferros fundidos lamelares, nodulares ou vermiculares, através da aplicação de um feixe de laser com parâmetros controlados, de forma a obter uma superfície endurecida, resistente ao desgaste e isenta de trincas de solidificação.