



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0902339-9 B1



(22) Data do Depósito: 01/07/2009

(45) Data de Concessão: 22/04/2020

(54) Título: ANEL DE PISTÃO

(51) Int.Cl.: F02F 5/00.

(73) Titular(es): MAHLE METAL LEVE S/A.

(72) Inventor(es): JULIANO AVELAR ARAUJO.

(57) Resumo: ANEL DE PISTÃO; A presente invenção refere-se a um anel de pistão, particularmente idealizado para utilização em motores de combustão interna ou compressores, compreendendo pelo menos uma base (2) metálica à qual é aplicado, pelo processo de deposição física de vapor (PVD), um revestimento (3) de nitreto de cromo que compreende uma periodicidade (P), formada por pelo menos duas camadas (5,5') adjacentes, cada camada (5,5') exibindo uma fase preponderante de nitreto de cromo diferente da camada adjacente.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**ANEL DE PISTÃO**".

[0001] A presente invenção refere-se a um anel de pistão, particularmente para utilização em motores de combustão interna ou compressores diversos, dotado de uma pluralidade de camadas de revestimento sequenciais compostas por nitreto de cromo. O anel resultante consegue com isso apresentar excelentes propriedades de resistência ao desgaste.

Descrição do estado da técnica

[0002] Os motores de combustão interna que operam segundo os ciclos Otto e Diesel são utilizados para tracionar a imensa maioria dos veículos automotores e compreendem basicamente duas partes principais: um bloco de motor (no qual estão localizados um ou mais cilindros e o conjunto da árvore de manivelas ou conjunto do virabrequim), ao qual são associados um ou mais cabeçotes. O conjunto da árvore de manivelas é composto por pistões, bielas e pelo virabrequim.

[0003] O espaço definido entre a face superior do pistão, a parede do cilindro e a base do cabeçote corresponde à câmara de combustão, sendo que nos motores Diesel, em geral, a(s) câmara(s) de combustão é(são) definida(s) primordialmente por cavidade(s) provida(s) na(s) cabeça(s) do(s) pistão(ões).

[0004] No interior da(s) câmara(s) de combustão, o motor converte a energia química produzida pela combustão da mistura (combustível e ar) em energia mecânica capaz de imprimir movimento às rodas.

[0005] A fim de assegurar uma combustão homogênea e sem queima de óleo e ainda evitar a passagem em demasia de gases do cilindro para o cárter, faz-se necessária a utilização de anéis para prover uma boa vedação da folga existente entre o pistão e a parede do cilindro.

[0006] Normalmente, os motores de 4 tempos mais modernos utili-

zam três anéis em cada pistão, sendo dois anéis de compressão e um anel de óleo. Os anéis de compressão têm a função de impedir a passagem dos gases da combustão para o interior do cárter, ao passo que o anel de óleo tem a função de raspar o excesso de óleo da parede do cilindro e devolvê-lo ao cárter, controlando a espessura do 'filme' de óleo e impedindo sua queima indevida.

[0007] Outra função importante dos anéis é servir de ponte de transmissão de calor desde o pistão até a parede do cilindro / camisa, onde é dissipado através do sistema de arrefecimento.

[0008] Via de regra, os anéis de pistão, notadamente os anéis de compressão, são formados por uma base metálica à qual é aplicada pelo menos uma camada de revestimento, que entra em contato com a parede do cilindro.

[0009] O papel da camada de revestimento é dos mais importantes, porque busca conferir ao anel propriedades de baixo atrito de deslizamento, grande resistência à escamação, dureza e tenacidade. Porém, muitas dessas propriedades são antagônicas e um acréscimo em uma delas significa uma perda de desempenho em outra, pelo que o tipo de revestimento a ser utilizado vai ser escolhido em função do perfil de funcionamento do motor e aos esforços aos quais os anéis serão submetidos durante sua vida útil.

[00010] Uma série de revestimentos sofisticados foram propostos por aqueles entendidos no assunto, cada qual buscando incrementar as propriedades desejadas. Porém, nenhum dos revestimentos propostos até o presente momento foi eficiente em aumentar, concomitantemente, as propriedades de absorção de estresse interno, elevada dureza e baixa espessura, o que reduz sobremaneira a ocorrência de escamação ('spalling').

[00011] Uma primeira técnica anterior está representada pela patente norte-americana US 5,718,437, que refere-se a um anel raspador de

óleo dotado de um revestimento de Cr₂N monocamada, com espessura entre cerca de 3µm e 30µm.

[00012] Segundo o documento, a camada de revestimento de Cr₂N apresenta uma dureza entre 1300 HV e 2000 HV e é aplicada pelo processo comumente conhecido pelos técnicos no assunto por ion plating.

[00013] Uma segunda técnica anterior desenvolvida está representada pelo caso de patente japonês JP9196173, que revela uma invenção muito similar à patente norte-americana comentada acima, qual seja, um anel raspador de óleo possuindo um revestimento de Cr₂N monocamada, com espessura de cerca de 3µm a 30µm.

[00014] A patente norte-americana US 5,820,131 refere-se a um anel de pistão dotado de um revestimento formado por uma única camada de Cr₂N ou uma mistura de Cr₂N e CrN, com espessura de 3µm a 30µm e um percentual de nitrogênio, em peso, entre 11% e 17%. A camada de revestimento é aplicada pelo processo de PVD (Physical Vapour Deposition) e sua dureza oscila entre 1300 HV e 2000 HV.

[00015] A patente norte-americana US 5,743,536 refere-se a um anel de pistão dotado de uma camada de revestimento formada por pelo menos um nitreto de cromo, aplicado por PVD. O nitreto de cromo compreende CrN, Cr₂N ou uma mistura de CrN e Cr₂N, em uma única fase. O documento especifica ainda diversos valores de espessura e porosidade, além de exibir diversos ensaios mecânicos em produtos dotados de revestimentos com diversas configurações finais. Segundo alegado, o revestimento apresenta excelentes propriedades de resistência à abrasão, escamação e queima.

[00016] Ainda, a patente norte-americana US 5,851,659, da mesma família da patente US 5,743,536, revela um produto muito similar.

[00017] Por fim, uma última técnica anterior representativa pode ser encontrada na patente norte-americana US 6,631,907, que se refere a

uma anel de pistão dotado de uma camada de revestimento composta por CrN ou Cr₂N, ou ainda um mistura de nitretos, aplicada por PVD. O documento contempla ainda a aplicação de uma mistura de CrN com Cr₂N e Cr metálico, e discorre fartamente acerca de percentuais em peso dos componentes.

[00018] Cumpre notar que todas as soluções do estado da técnica lançaram mão do uso de CrN ou Cr₂N, isoladamente ou misturados, para a obtenção de uma única camada de revestimento que apresentasse altos valores de resistência à abrasão, escamação e queima.

[00019] Porém, há um limite nesse incremento, que varia em função do percentual de CrN ou Cr₂N da camada nitretada e em função de eventuais outros elementos adicionados. Caso haja interesse em um incremento ainda maior dessas propriedades, a camada de revestimento nitretada única não é mais uma solução viável, muito menos inovadora.

[00020] O anel de pistão objeto da presente invenção, ao apresentar uma constituição inovadora, leva adiante as propriedades apresentadas pela camada de revestimento. Pela primeira vez, é proposto um revestimento multicamadas (ou, para os técnicos no assunto, multilayer), composto por uma pluralidade de camadas nitretadas consecutivas, alternando em composição majoritária CrN e Cr₂N.

[00021] O resultado é um revestimento com o melhor dos dois componentes, por apresentar as propriedades desejáveis de cada variação de nitreto de cromo, sem que os pontos fracos de cada qual sejam potencializados.

[00022] As camadas de Cr₂N conferem ao revestimento uma maior dureza e resistência ao desgaste, ao mesmo tempo em que as camadas de CrN colaboram para que o revestimento apresente bons valores de ductilidade. Com isso, as melhores propriedades de cada composto são potencializadas.

[00023] O revestimento ora desenvolvido confere ao anel de pistão uma maior resistência ao desgaste e, concomitantemente, uma redução considerável nos valores de estresse interno, reduzindo a ocorrência de trincas no revestimento e a consequente escamação.

Objetos da invenção

[00024] A presente invenção tem por objeto um anel de pistão, particularmente para utilização de motor de combustão interna ou compressor, dotado de uma multiplicidade de camadas de revestimento de nitreto de cromo, nas fases CrN e Cr₂N, de maneira a apresentar concomitantemente as antagônicas propriedades de dureza, resistência ao desgaste, ductilidade e redução de estresse interno.

[00025] A presente invenção tem por objeto também um anel de pistão, particularmente idealizado para utilização em motores de combustão interna ou compressores, compreendendo pelo menos uma base metálica à qual é aplicado, pelo processo de deposição física de vapor, um revestimento de nitreto de cromo formado por pelo menos duas camadas adjacentes que exibem diferentes fases preponderantes de nitreto de cromo.

[00026] Ainda, a presente invenção tem por objetivo um anel de pistão, particularmente para utilização de motor de combustão interna ou compressor, dotado de uma multiplicidade de camadas de revestimento de nitreto de cromo, nas fases CrN e Cr₂N, que apresentem menor espessura se comparadas com a espessura do revestimento dos anéis da técnica anterior.

[00027] Finalmente, a presente invenção tem por objetivo o processo de aplicação de uma multiplicidade de camadas de revestimento de nitreto de cromo nas fases CrN e Cr₂N em um corpo de anel de pistão metálico, em uma única etapa de aplicação, por meio da variação da pressão do gás nitrogênio no processo de deposição física de vapor.

Breve descrição da invenção

[00028] Os objetos da presente invenção são alcançados por um anel de pistão, particularmente idealizado para utilização em motores de combustão interna ou compressores, compreendendo pelo menos uma base metálica à qual é aplicado, pelo processo de deposição física de vapor, um revestimento de nitreto de cromo que compreende uma periodicidade, formada por pelo menos duas camadas adjacentes, cada camada exibindo uma fase preponderante de nitreto de cromo diferente da camada adjacente.

Descrição resumida dos desenhos

[00029] A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução representado nos desenhos.

[00030] Figura 1 - é uma vista esquemática em corte transversal do anel de pistão objeto da presente invenção montado no canaleta de um pistão e em atrito com a parede de um cilindro.

[00031] Figura 2 - é uma fotografia metalográfica ampliada da secção transversal do anel de pistão objeto da presente invenção, permitindo a visualização da base metálica e do revestimento multicamadas.

Descrição detalhada das figuras

[00032] O anel de pistão 1 objeto da presente invenção difere dos atualmente existentes pelas características inovadoras e vantajosas de seu revestimento.

[00033] Inicialmente, cumpre notar que o anel 1 é preferivelmente um anel de compressão para uso em um motor de combustão interna que opera segundo o ciclo de 4 tempos, muito embora seja evidente que o anel pode assumir outras concretizações diversas, como um anel raspador de óleo, um anel de compressão de um motor de 2 tempos, um anel de um compressor a pistão, ou ainda qualquer outra concretização necessária ou desejável, contanto que seu revestimento apresente as características e inovações ora definidas.

[00034] Qualquer que seja sua constituição preferencial, o anel de pistão objeto da presente invenção compreende pelo menos uma base 2 metálica à qual é aplicado, pelo processo de deposição física de vapor (PVD), um revestimento 3 de nitreto de cromo que, conforme será descrito mais adiante, compreende uma pluralidade de camadas de nitreto de cromo 5,5' arranjadas de forma a formar pelo menos duas periodicidades P, onde cada periodicidade P é formada por pelo menos duas camadas 5,5' adjacentes. As camadas 5,5' adjacentes de cada periodicidade P exibem diferentes fases preponderantes de nitreto de cromo.

[00035] A base 2 é composta por qualquer material metálico adequado à missão e pode apresentar diversos formatos de secção transversal, em função das características do anel 1 e das condições de trabalho segundo as quais operará.

[00036] Preferivelmente, utiliza-se aço inoxidável, aço carbono ou ferro fundido na composição da base 2, em qualidades diversas, porém é evidente que outros materiais, se necessário ou desejável, podem substituí-lo. Mais preferivelmente, a base 2 é composta por aço com 10 a 17 % de Cromo. É possível ainda que o aço utilizado sofra um processo de nitretação.

[00037] À base 2 é aplicado o revestimento 3 de nitreto de cromo que confere ao anel 1 propriedades de maior resistência ao desgaste e, concomitantemente, uma redução considerável nos valores de estresse interno, reduzindo a ocorrência de trincas no revestimento e a consequente escamação.

[00038] Tal e qual mencionado acima, o revestimento 3 compreende uma pluralidade de camadas de nitreto de cromo 5,5' arranjadas de forma a formar uma periodicidade P. Logo, a periodicidade P compreende pelo menos duas camadas 5,5' adjacentes, obrigatoriamente de constituição diversa, ou seja, cada qual exibindo uma fase preponde-

rante de nitreto de cromo. Assim, o revestimento 3 terá pelo menos quatro camadas 5,5'.

[00039] Uma primeira qualidade de camada 5 compreende o nitreto de cromo na forma, ou fase, de CrN (ilustrada como as camadas mais claras na figura 2), cuja principal característica mecânica é uma maior ductilidade.

[00040] A segunda qualidade de camada 5' compreende nitreto de cromo na forma, ou fase, de Cr₂N (ilustrada como as camadas mais escuras na figura 2), tendo como principal característica mecânica a elevada dureza.

[00041] É importante notar que se trata de fases preponderantes de nitreto de cromo, isto é, a primeira qualidade de camada 5 é composta preponderantemente por CrN (embora, evidentemente, haja um percentual reduzido de Cr₂N e/ou de outros compostos/elementos em sua composição) ao passo que a segunda qualidade de camada 5' é composta preponderantemente por Cr₂N, não obstante certamente haja um percentual reduzido de CrN e/ou de outros compostos/elementos em sua composição.

[00042] Por tudo o acima exposto, resta claro que a periodicidade P possui pelo menos uma camada 5 composta preponderantemente por CrN e uma camada 5' composta preponderantemente por Cr₂N.

[00043] De modo preferível, tal e qual ilustrado na figura 2, a primeira qualidade de camada 5 deve, obrigatoriamente, estar posicionada adjacientemente à segunda qualidade de camada 5'. Com isso, consegue-se garantir que as camadas de revestimento 5,5' estão intercaladas sem repetição.

[00044] Alternativamente, entretanto, pode-se conceber um anel 1 de acordo com os ensinamentos da presente invenção no qual pode haver duas camadas de igual qualidade adjacentes, dependendo das qualidades de resistência e ductilidade que se deseja conferir ao re-

vestimento 3.

[00045] Conforme pode ser claramente visto na figura 2, o revestimento 3 da concretização preferível do anel 1 compreende oito camadas de nitreto de cromo 5,5', onde as qualidades das camadas de revestimento 5,5' estão intercaladas sem repetição.

[00046] Caso necessário ou desejável, as camadas 5,5' podem compreender um ou mais elementos químicos adicionais, em proporções variadas e calculadas em função da propriedade mecânica que se deseja almejar.

[00047] Preferivelmente, os elementos químicos adicionais, se presentes, são aqueles selecionados dentre o grupo constituído por Oxigênio (O) ou Carbono (C) em um percentual não superior a 10% em massa.

[00048] Esses elementos químicos podem estar presentes, dentro da faixa apontada, em pelo menos uma das camadas 5,5', em algumas delas ou em todas, em função das propriedades mecânicas do revestimento que se deseja obter.

[00049] Com o presente revestimento 3, composto por uma pluralidade de camadas de CrN e Cr₂N, consegue-se um anel de pistão que apresenta um melhor desempenho/comportamento em situações de operação mais críticas, devido ao fato de apresentar melhores propriedades de resistência ao desgaste e, ao mesmo tempo, uma redução considerável nos valores de estresse interno.

[00050] Com o uso do revestimento 3, o anel resultante apresenta uma redução nos valores de estresse interno ao redor de 50%, traduzindo-se em uma resistência muito maior ao fenômeno de escamação, no qual pequenas porções do revestimento são deslocadas devido à ocorrência de microtrincas devido ao acúmulo de tensões e à pouca ductilidade. O grande inconveniente técnico estrutural é que a escamação tende ocorrer em determinadas partes do anel, enquanto em ou-

tras partes o revestimento permanece intacto ou pouco danificado mesmo ao final da vida útil da peça.

[00051] Essa redução nos valores de estresse interno traz a reboque as vantagens de possibilitar um aumento na energia de adesão das camadas entre si e reduzir a espessura do revestimento, possível uma vez que a redução na escamação é grande e assim consegue-se garantir que, mesmo com uma espessura reduzida, haverá revestimento 3 durante toda a vida operacional do anel.

[00052] As diversas camadas 5,5' do revestimento 3 são aplicadas por um processo conhecido pelos técnicos no assunto como deposição física de vapor (em inglês, physical vapour deposition – PVD).

[00053] O processo de deposição “PVD” envolve processos puramente físicos, tais como temperatura elevada, evaporação a vácuo ou bombardeamento por plasma. Adicionalmente, pode-se adicionar um gás, como por exemplo o Nitrogênio (N₂), de maneira que esse combine com o material metálico que está sendo depositado e forme nitretos, que é o caso específico da presente invenção. Entre os processos utilizados para evaporar o material metálico da fonte (catodo-alvo) um dos mais conhecidos é o arco catódico, onde um arco elétrico de alta potência é dirigido à fonte de material, evaporando-o e gerando íons que são depositados na peça. Em presença de gases como o Nitrogênio, o nitreto do material metálico é depositado na peça.

[00054] Ou seja, o processo de deposição por arco catódico, ou Arco-PVD é uma técnica de deposição física de vapor onde um arco elétrico é usado para vaporizar material de um catodo-alvo. O material vaporizado então condensa sobre um substrato, formando um filme fino.

[00055] Em essência, o controle da pressão do gás Nitrogênio (N₂) possibilita a produção das camadas 5,5' sequencialmente. As camadas compostas por CrN têm um percentual de átomos de Nitrogênio

entre 22% e 25% em peso, ao passo que, nas camadas compostas por Cr₂N, o percentual de átomos de Nitrogênio está entre 12% e 16% em peso.

[00056] No caso do revestimento 3 da presente invenção, nas duas fases do nitreto de cromo, a maior dureza é obtida com a composição Cr₂N e a maior ductilidade, por sua vez, é conseguida com o uso da composição CrN. A combinação dessas duas composições na forma das camadas 5,5' tal como mencionado acima trouxe vantagens surpreendentes, notadamente no benefício apresentado ao revestimento 3 como um todo pela sua maior capacidade de absorção de estresse interno. As camadas 5 de CrN, mais dúcteis, absorvem os esforços e deformam, diminuindo as forças de deformação às quais as camadas 5' mais rígidas de Cr₂N são submetidas, o que ocasiona uma menor tendência ao aparecimento de microtrincas nestas. O resultado é um incremento considerável no desempenho do anel.

[00057] Ainda, como uma maior dureza é obtida com a camada de Cr₂N, pode-se reduzir a espessura do revestimento sem prejuízo na resistência ao desgaste.

[00058] A concretização preferível do anel 1, ilustrada na figura 2, apresenta uma dureza superficial da ordem de 1700 a 2.500 HV, sendo preferivelmente em torno de 2100 HV, com um estresse interno de - 1000 N/mm². De maneira preferível, a espessura do revestimento (3) apresenta valores na faixa de 10 a 60 microns, ou seja, apresenta espessura muito reduzida (nanolayer).

[00059] De maneira opcional, pode ser provida uma camada de adesão composta por cromo, níquel ou cobalto posicionada entre a base 2 e o revestimento 3.

[00060] Adicionalmente, foi realizado um ensaio em equipamento de riscamento ("Scratch Tester") que avalia a resistência à delaminação do recobrimento. O resultado deste teste é alcançado aplicando-se

uma Força Normal a um sistema recobrimento-substrato ao mesmo tempo em que a amostra é movida a uma velocidade constante. A carga mais baixa na qual a primeira falha ocorre é chamada de Carga Crítica (Lc). O equipamento utilizado provê dados para referência cruzada da carga crítica gravando ao mesmo tempo os efeitos de: variação de força tangencial, profundidade de penetração do endentador e detecção de emissão acústica. A análise microscópica de cada risco é feita após o teste para confirmação da ocorrência da falha. Quanto maior a carga que ocorre a falha, mais resistente é o recobrimento à delaminação.

[00061] Nos testes de scratch, que medem a resistência do revestimento à delaminação, a primeira delaminação somente foi alcançada com a aplicação de uma carga de 29N, consideravelmente superior à carga limite de 17N suportada por um anel do estado da técnica dotado de revestimento de CrN/Cr2N monocamada.

[00062] Preferivelmente, o revestimento 3 é aplicado por toda a superfície externa do anel 1, mas nada impede que seja aplicado em partes determinadas, removido parcialmente ou ainda que, por sobre ele, aplique-se outra qualidade de revestimento qualquer. Um anel de pistão assim configurado continua incluído no escopo de proteção das reivindicações.

[00063] Tendo sido descrito exemplos de concretização preferidos, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão-somente pelo teor das reivindicações apenas, aí incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Anel de pistão, particularmente idealizado para utilização em motores de combustão interna ou compressores, compreendendo pelo menos uma base (2) metálica à qual é aplicado, pelo processo de deposição física de vapor (PVD), um revestimento (3) de nitreto de cromo, caracterizado por o revestimento (3) compreender uma periodicidade (P), formada por pelo menos duas camadas (5,5') adjacentes, cada camada (5,5') exibindo uma fase preponderante de nitreto de cromo diferente da camada adjacente.

2. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as fases preponderantes de nitreto de cromo podem apresentar a constituição preponderante de CrN ou Cr₂N.

3. Anel de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por cada periodicidade (P) ser composta por somente duas camadas adjacentes (5,5'), cada qual com sua fase preponderante de nitreto de cromo.

4. Anel de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por a pluralidade de camadas (5,5') conter um elemento químico adicional selecionado dentre o grupo constituído por Oxigênio ou Carbono em um percentual não superior a 10% em massa.

5. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a dureza Vickers do revestimento apresentar valores entre 1700 e 2500 HV.

6. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a espessura do revestimento (3) apresentar valores na faixa de 10 a 60 microns.

7. Anel de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por o revestimento (3) ser nanolayer.

8. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a base (2) ser composta por aço com 10 a 17 % de Cromo.

9. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a base (2) ser composta por ferro fundido.

10. Anel de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o aço constituinte da base (2) passar por um processo de nitretação.

11. Anel de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser provida uma camada de adesão composta por cromo, níquel ou cobalto posicionada entre a base (2) e o revestimento (3).

1/1

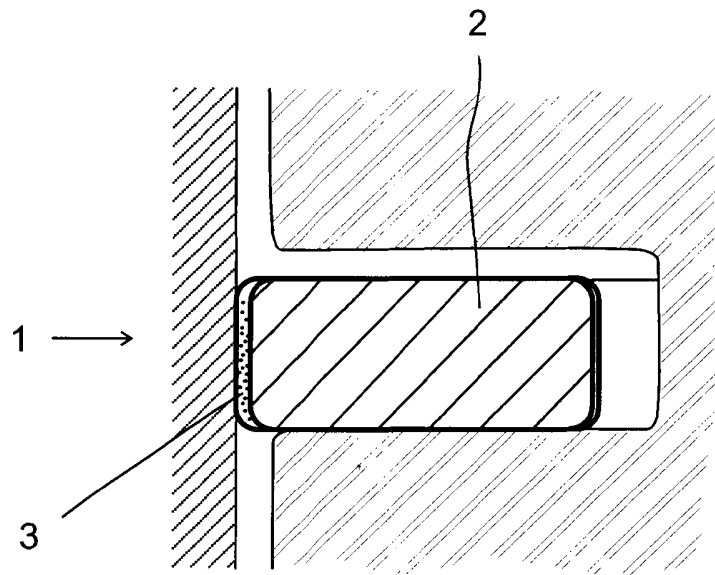


Fig. 1

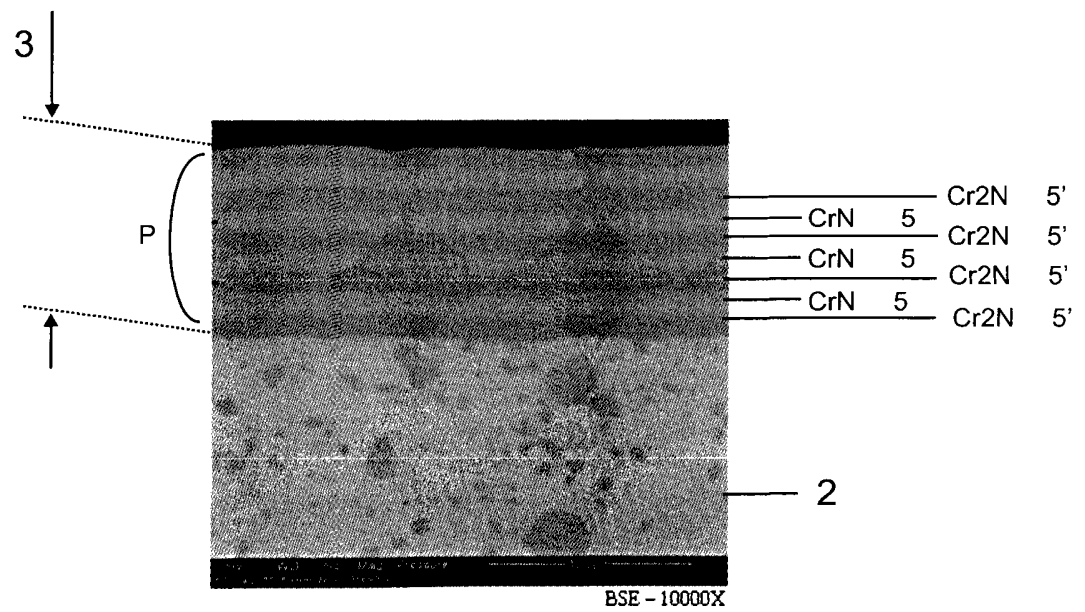


Fig. 2