



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

(21) PI 1102336-8 A2



* B R P I 1 1 0 2 3 3 6 A 2 *

(22) Data de Depósito: 27/05/2011

(43) Data da Publicação: 25/06/2013
(RPI 2216)

(51) Int.Cl.:

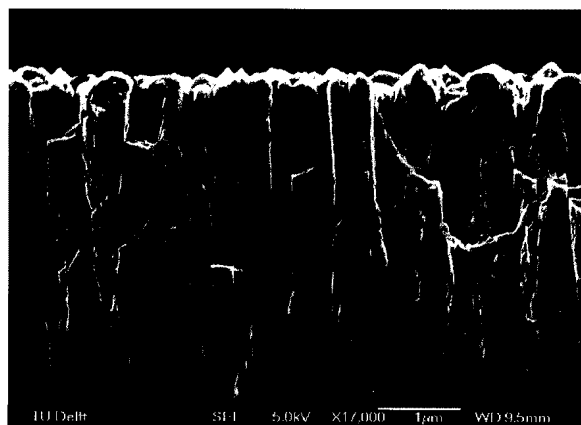
F16C 33/12

(54) Título: ELEMENTO DOTADO DE PELO MENOS
UMA SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO PARA USO
EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO

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

(72) Inventor(es): José Valentim Lima Sarabanda, Juliano Avelar
Araujo, Paulo José da Rocha Mordente, Robert Richard Banfield

(57) Resumo: DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA APLICADA EM
REBOLOS E LIXAS FLEXÍVEIS. Patente de modelo de utilidade
pertencente ao campo dos equipamentos para acabamento de
superfícies compreendido por um corpo (1) de resina flexível
impregnado com uma camada de abrasivos (2) em suas superfícies.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "ELEMENTO DOTADO DE PELO MENOS UMA SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO PARA USO EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO".

A presente invenção refere-se a um elemento que trabalha sob
5 deslizamento em um motor de combustão e que recebe um revestimento à base de cromo por forma a melhorar a sua resistência ao desgaste, aumentando à vida útil do conjunto.

Descrição do Estado da Técnica

Os motores de combustão interna compreendem inúmeros ele-
10 mentos que sofrem atrito e que por esse motivo sofrem desgaste pelo fato de serem submetidos a severos esforços quando o motor está em funcionamento.

Uma das formas de se garantir a resistência ao desgaste de um elemento que trabalha sob deslizamento, a fim de que ele apresente uma
15 vida útil elevada/suficiente para os parâmetros de vida útil do motor, é alcançada com a aplicação de uma ou mais camadas de revestimento sobre o metal base com o qual é constituído. O revestimento, desenvolvido especificamente para resistir ao desgaste e à abrasão, mantém as propriedades de desempenho do elemento que trabalha sob deslizamento mesmo após mi-
20 lhões de ciclos de explosão do motor.

Em um motor de combustão interna, além de cilindros, pistões e anéis existem diversos elementos dotados de pelo menos uma superfície de deslizamento adicionais que também podem receber revestimentos por forma a prolongar a vida útil da peça. Alguns desses elementos são bronzinas,
25 camisas de cilindro, componentes do trem de válvulas, etc.

Nesse sentido, existem infindáveis técnicas utilizando as mais diversas composições de revestimento e inúmeros processos de aplicação, cada qual buscando otimizar as propriedades de desempenho e durabilidade dos mais diversos tipos e configurações de elementos para uso em um
30 motor de combustão interna dotados de uma superfície de deslizamento.

No espírito dos elementos que trabalham sob deslizamento objeto da presente invenção, filmes/revestimentos de nitreto de cromo (CrN,

Cr₂N) utilizados, por exemplo, para anéis de pistão aplicados em um motor de combustão interna, apresentam tipicamente morfologia "colunar" (vide figura 1) com a direção ortogonal ao substrato ou base metálica que irá receber o revestimento.

5 Note-se que por se tratar de um revestimento aplicado em uma superfície que apresenta movimento relativo de deslizamento, por exemplo, alternado, é intrínseco ao material do revestimento um esforço tangente à superfície livre devido ao atrito. Nessa condição, a solicitação do revestimento devido ao atrito acontece na direção de menor resistência do revestimento por conta de sua textura "colunar".

10 Outra condição que também afeta a resistência do filme é a presença de poros (não apresentado nas figuras). Poros são regiões presentes no revestimento que apresentam defeito devido à baixíssima coesão localizada do material. Assim, os poros atuam como concentradores de tensões em maior ou menor escala dependendo da geometria e quantidade de poros.

 Assim, a orientação da estrutura do material do revestimento influencia diretamente o seu desempenho. Tipicamente, são produzidos reticulados com orientação (111) ou (200). A primeira orientação do material (111) é conhecida por apresentar boa resistência ao desgaste enquanto que a segunda orientação (200) contribui para a minimização de tensões internas do revestimento e, conseqüentemente, permite alcançar um revestimento com maior crescimento, ou seja, com espessura maior que aquela obtida com revestimentos apresentando apenas orientação (111).

25 Existem alguns elementos que trabalham sob deslizamento do estado da técnica apresentando morfologia colunar e orientação (111). Exemplo disso são os documentos norte-americanos US 5,743,536 e US 5,851,659 que descrevem anéis de pistão dotados de revestimentos de nitrato de cromo com morfologia colunar e orientação (111) paralela à superfície do revestimento. Estes documentos revelam um revestimento com uma espessura que varia entre 1 e 80 micrómetros (µm), com uma dureza que vai de 600 a 1000 Vickers (HV) e uma porosidade que oscila entre 1,5 e

20%.

Adicionalmente, existem também documentos do estado da técnica que apresentam morfologia colunar e ambas as orientações (111) e (200). O documento norte-americano US2009/278320A1 revela um revestimento de nitreto de cromo com morfologia colunar dotado de ambas as orientações com vista a alcançar benefícios, principalmente com relação à tenacidade. No entanto, este documento de técnica anterior explora uma faixa relativamente pequena da razão (111)/(200), que se situa entre 0,8 e 1,2. Por outras palavras, ambas as orientações mantêm-se em uma relação quase que similar, promovendo um filme com uma espessura superior a 80 μm , uma dureza que varia entre os 1500 e os 2500 HV e com uma porosidade superior a 10%.

Por fim, o documento norte-americano US 6,372,369 descreve um elemento que trabalha sob deslizamento para uso em um motor de combustão interna (anel de pistão), elemento esse que é dotado de um revestimento de nitreto de cromo (CrN) e nitreto de titânio (TiN) contendo oxigênio e que apresenta também uma morfologia colunar. Este revestimento possui uma espessura que oscila entre 1 e 100 μm e uma dureza que vai de 1300 a 2300 HV. Tais características são alcançadas através de uma orientação do revestimento que tem predominância em uma das orientações (111) ou (200). Assim, os cristais de nitreto de cromo e nitreto de titânio têm uma orientação preferencial (200) ou (111) paralela à superfície a revestir, sendo a sua morfologia colunar desde o material base até a superfície externa do revestimento.

Apesar dos avanços tecnológicos evidenciados pelos documentos do estado da técnica, não foi ainda encontrada uma solução que possibilite revestimentos de elementos que trabalham sob deslizamento aplicados em motores de combustão interna com um aumento de sua resistência ao desgaste, porém preservando a tenacidade e garantindo uma porosidade inferior a 1% ou praticamente nula.

Adicionalmente, além de o estado da técnica não alcançar revestimentos que proporcionem extrema resistência ao desgaste de elemen-

tos deslizantes, capacitando-os para desempenhar adequadamente as suas funções durante longos ciclos de funcionamento, não revelam a possibilidade de se usar revestimentos com morfologias alternativas. Tais morfologias sendo mais capazes de resistir às condições tribológicas a que estão sujeitos os elementos deslizantes, proporcionando condições de funcionamento mais duráveis e capacitando os motores de combustão interna a uma maior eficiência e menor emissão de gases poluentes.

Assim, as soluções do estado da técnica apresentam dois grandes inconvenientes que até ao presente momento ainda não têm solução.

Por um lado o aumento da resistência ao desgaste compromete a tenacidade do revestimento e, por outro lado, os revestimentos apresentam uma porosidade prejudicial à durabilidade do revestimento. Nesse sentido, as variáveis resistência ao desgaste, tenacidade e porosidade estão limitadas a uma equação que necessita da introdução de um novo paradigma para que melhores resultados sejam alcançados, nomeadamente ao nível da morfologia dos revestimentos de nitreto de cromo e da orientação de sua estrutura.

Objetivos da Invenção

A presente invenção tem por objetivo prover um elemento que trabalha sob deslizamento para uso em um motor de combustão interna dotado de um revestimento de nitreto de cromo capaz de garantir um aumento de resistência ao desgaste preservando os valores de tenacidade.

A presente invenção tem também por objetivo prover um elemento que trabalha sob deslizamento com um revestimento de nitrato de cromo dotado de uma morfologia equiaxial com uma orientação atômica predominante (111), possuindo também uma retenção na estrutura da orientação (200).

A presente invenção tem ainda por objetivo prover um elemento que trabalha sob deslizamento com um revestimento de nitrato de cromo praticamente isento de porosidade.

Breve Descrição da Invenção

Os objetos da presente invenção são alcançados através de um elemento dotado de pelo menos uma superfície de deslizamento para uso

em um motor de combustão interna, o elemento compreendendo uma base de uma dada liga metálica e uma superfície externa dotada de um revestimento duro de nitreto de cromo gerado pela deposição física na fase de vapor, sendo que o revestimento tem uma porosidade com uma taxa inferior a 1% em volume e é dotado de uma estrutura cristalina equiaxial.

Descrição Resumida dos Desenhos

A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução representado nos desenhos. As figuras mostram:

Figura 1 - é uma fotografia da morfologia colunar de um revestimento de nitreto de cromo de um elemento que trabalha sob deslizamento do estado da técnica;

Figura 2 - é uma fotografia da morfologia equiaxial de um revestimento de nitreto de cromo de um elemento que trabalha sob deslizamento da presente invenção;

Figura 3 - é uma ilustração de um revestimento com morfologia colunar apresentando a direção de crescimento e de esforços decorrentes do atrito;

Figura 4 - é uma ilustração de um revestimento com morfologia equiaxial apresentando a direção de crescimento e de esforços decorrentes do atrito;

Figura 5 - é uma figura de dois elementos que trabalham sob deslizamento onde um deles é dotado de um revestimento de nitreto de cromo com morfologia equiaxial da presente invenção; e

Figura 6 - é uma figura de dois elementos que trabalham sob deslizamento onde um deles é dotado de uma camada intermediária de ligação entre o revestimento de nitreto de cromo da presente invenção e a base.

Descrição Detalhada das Figuras

A presente invenção refere-se a elementos dotados de pelo menos uma superfície de deslizamento para uso em motores de combustão interna. Note-se que os elementos (1) que trabalham sob deslizamento po-

dem ser compreendidos por diversos componentes de um motor que sofram contato, resultando entre eles uma relação de atrito. Assim, o revestimento (4) da presente invenção pode ser aplicado a um de dois elementos ou simultaneamente aos dois elementos que irão interagir mutuamente.

5 O elemento 1 que trabalha sob deslizamento da presente invenção compreende uma base 2 de uma dada liga metálica e uma superfície externa 3 que irá receber o revestimento 4 (vide figura 5 e 6). A base 2 pode ser constituída de uma liga ferrosa ou de um aço, tal como, por exemplo, um aço contendo 10 a 17% de cromo (aço inoxidável).

10 Exemplos de elementos 1 que trabalham sob deslizamento da presente invenção são encontrados em anéis de pistão, tanto de compressão como de óleo, mancais, cilindros e camisas de cilindros, pistões, bronzinas de mancal e segmento, dentre inúmeros outros.

Tal como referido, os revestimento de nitreto de cromo do estado da técnica aplicados em elementos 1 que trabalham sob deslizamento para uso em motores de combustão interna são caracterizados por uma morfologia colunar. Revestimentos com morfologias colunares apresentam uma resistência do material anisotrópica. Este tipo revestimento de morfologia colunar, tal como visto, não proporciona os melhores resultados de resistência ao desgaste visto que a sollicitação mecânica do revestimento decorrente do atrito "A" ocorre na direção de menor resistência do revestimento por conta de sua textura "colunar" (vide figura 3), isto é, tangencialmente a uma direção de crescimento "C" ortogonal em relação à base a revestir.

O revestimento 4 da presente invenção tem por base uma morfologia distinta daquela do estado da técnica, promovendo o crescimento de um revestimento 4 com morfologia equiaxial (vide figura 4), o que resulta em um revestimento 4 dotado de propriedades isotrópicas. Observando as duas figuras, fica evidente que a morfologia da presente invenção consegue mais facilmente suportar as cargas decorrentes do atrito (A) pelo fato de não apresentar uma estrutura empilhada linearmente (colunar). Na estrutura equiaxial há um desalinhamento a partir do centro dos "blocos" de modo equiaxial, fazendo com que a carga exercida por um "bloco" seja distribuída para

baixo em dois "blocos", resultando em uma maior capacidade de resistir aos esforços.

Um exemplo deste tipo de morfologias é mostrado pelas fotografias das figuras 1 e 2. A morfologia colunar (figura 1) apresenta-se mais definida, ficando evidente que se tratam de colunas sobrepostas. Por sua vez, a morfologia equiaxial (figura 2) apresenta-se menos linear por conta da explicação dada acima.

No entanto, não foi apenas a morfologia do revestimento 4 que possibilitou os excelentes resultados alcançados pelo revestimento 4 da presente invenção. O revestimento 4 objeto da presente invenção obteve valores de porosidade muito inferiores aqueles encontrados no estado da técnica em revestimentos de nitreto de cromo. Assim, a porosidade máxima encontrada não ultrapassa 1% em volume de revestimento 4, apresentando uma tendência à ausência de porosidade, isto é, praticamente nula.

Em adição aos benefícios proporcionados pela morfologia equiaxial do revestimento 4 proposto pela presente invenção, é fundamental perceber que a ausência de porosidade (ou sua tendência a zero) beneficia enormemente as propriedades mecânicas do revestimento 4. Como se sabe, a porosidade prejudica a resistência estrutural de um revestimento pelo fato de atuar, simultaneamente, como um defeito e um concentrador de tensões. Assim, a diminuição da quantidade e tamanho de tais discontinuidades proporciona revestimentos 4 mais densos, dotados de maior resistência ao desgaste e uma maior tenacidade.

Ainda com referência às melhorias introduzidas no revestimento da presente invenção, cumpre notar que houve uma considerável melhoria das propriedades mecânicas decorrente de uma nova disposição na orientação atômica do revestimento de nitreto de cromo.

Muitos dos documentos do estado da técnica descrevem orientações da família (111) como sendo intrinsecamente dotadas de boa resistência ao desgaste. Tal constatação deve-se, em parte, ao fato de esta orientação cristalográfica possuir uma natureza próxima à estrutura cúbica de face centrada (FCC), ou seja, dotada de um menor espaçamento atômico, o

que se reflete em uma melhoria ao desgaste em revestimentos finos. No entanto, o elevado stress interno inerente ao crescimento de um revestimento obviamente limita o seu crescimento (maior espessura) quando em uma direção (111).

5 Por outro lado, orientações cristalográficas da família (200) acarretam uma elevada dificuldade na movimentação de deslocamentos com vista ao alívio das tensões externas de cisalhamento aplicadas na superfície de um revestimento, o que provoca um destacamento dos planos cristalinos com orientação (200), ocorrência altamente indesejável em um revestimento
10 de um elemento 1 que trabalha sob deslizamento .

Assim, segundo os entendimentos do revestimento 4 da presente invenção, planos cristalinos da família (111) melhoram a resistência ao aparecimento de trincas e pequenas quantidades da família (200) melhoram a resistência à propagação de trincas. A presente invenção aplica assim
15 ambas as orientações cristalinas como um mecanismo metalúrgico capaz de evitar o destacamento do revestimento e melhorar a resistência ao desgaste através da redução da energia de interface entre os planos.

Com vista à efetivamente alcançar os benefícios mencionados, o revestimento 4 da presente invenção implementa assim uma distribuição
20 dos planos cristalinos predominantemente (111). Quantificando esse valor, a distribuição cristalográfica segundo orientações da família (111) é cerca de uma vez e meia a cem vezes superior à de planos cristalinos da família (200), ou seja, $(111)/(200)=1,5$ a 100.

Deste modo, aquilo que dantes era uma limitação ao crescimento de revestimentos, limitando-os em determinadas circunstâncias a $1\mu\text{m}$ ou $2\mu\text{m}$, vê-se agora solucionada. A solução proposta pela presente invenção
25 permite agora aumentar a espessura dos revestimentos com a vantagem de conseguir manter mesmos valores de tenacidade.

Por fim, para se alcançar as propriedades do revestimento 4 de
30 um elemento 1 deslizante para uso em um motor de combustão, foi utilizado um processo de deposição de nitreto de cromo gerado pela deposição física na fase de vapor, mais concretamente através de alta potência pulsada por

magnetron de pulverização catódica (*High Power Impulse Magnetron Sputtering* - HIPIMS).

Este processo de deposição faz uso de um fenômeno que consiste em aumentar substancialmente a energia (maior velocidade) com que os íons chegam na base 1 metálica sobre a qual se dá o crescimento do revestimento 4, observando-se uma considerável modificação na estrutura do revestimento 4, passando assim de uma morfologia tipicamente colunar (vide figuras 1 e 3) para uma morfologia equiaxial (vide figuras 2 e 4). Conseqüentemente, tal fenômeno tem a capacidade de produzir um filme cada vez mais denso em função da energia dos íons que formam o revestimento.

Em função das características do processo de deposição, é observada uma formação cada vez mais preferencial da orientação do reticulado com maior quantidade de (111), retendo porem estrutura com orientação (200), conferindo assim tenacidade ao revestimento 4.

Um exemplo preferencial da presente invenção pode ser compreendido através das figuras 5 e 6. Supondo-se que as figuras tratam de um anel de pistão e de um cilindro de um motor de combustão interna (ambos elementos que trabalham sob deslizamento 1), pode-se revestir apenas um ou os dois elementos 1 que trabalham sob deslizamento. No caso concreto vamos deter-nos com um exemplo clássico em que um anel de pistão, para disposição em qualquer um de seus canaletos, recebendo o revestimento 4 da presente invenção na superfície que irá contatar a parede do cilindro.

Assim, uma base 2 metálica do anel de pistão recebe em sua superfície externa 3 um revestimento 4 de nitreto de cromo depositado pelo processo HIPIMS. Resultados laboratoriais demonstram que o revestimento 4 é dotado de uma morfologia equiaxial com baixíssima ocorrência (menor que 1%) ou nenhuma porosidade. Conjuntamente, a estrutura do reticulado na direção paralela à base 2 preferencial de (111) permite observar um filme de extrema resistência ao desgaste (superior ao estado da técnica), preservando, contudo a tenacidade necessária (valor residual da orientação (200)) para desempenhar adequadamente a função de proteção na superfície de

trabalho do anel de pistão.

Note-se que os valores medidos mostraram que a razão entre a orientação cristalográfica (111) e (200) se encontra entre uma vez e meia e cem vezes. Por sua vez, os valores de dureza variaram entre os 1500 HV e os 2500HV, sendo que o revestimento 4 alcançou espessura entre os 5 μ m e os 60 μ m

Resta assim claro que o revestimento 4 da presente invenção, além de propor uma nova morfologia equiaxial em elementos que trabalham sob deslizamento 1 para uso em um motor de combustão interna, agrega inúmeras características capazes de suplantar as dificuldades encontradas em revestimentos do estado da técnica, conferindo-lhes uma durabilidade superior.

Tendo sido descrito um exemplo de concretização preferido, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão-somente pelo teor das reivindicações apensas, aí incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Elemento dotado de pelo menos uma superfície de deslizamento para uso em um motor de combustão interna, o elemento (1) compreendendo uma base (2) de uma dada liga metálica e uma superfície externa (3) dotada de um revestimento (4) duro de nitreto de cromo gerado pela deposição física na fase de vapor, o elemento (1) sendo caracterizado pelo fato de que o revestimento (4) tem uma porosidade com uma taxa inferior a 1% em volume e é dotado de uma estrutura cristalina equiaxial.
2. Elemento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que orientação cristalina do revestimento (4) é definida por uma razão de planos paralelos à superfície do revestimento (4) onde os planos cristalinos (111) e (200) variam de 1,5 a 100 com relação aos planos cristalinos.
3. Elemento de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de que o revestimento (4) possui uma dureza que varia entre 1500HV e 2500HV.
4. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o revestimento (4) é constituído de uma espessura na faixa de 5 a 60 μm .
5. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a orientação cristalina do revestimento (4) é predominantemente definida pelos planos cristalográficos densos (111).
6. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o material base (2) é ferro fundido.
7. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o material base (2) é aço.
8. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o material base (2) é aço dotado de uma quantidade de cromo que varia entre 10 e 17% em peso.
9. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o revestimento (4) contem um elemento selecionado do grupo de oxigênio e carbono em uma quantidade não superior a 5%.

10. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que é dotado de uma camada intermediária (5) de ligação entre o revestimento (4) e a base (2), camada intermediária (5) compreendendo um dos elementos entre Cromo, Níquel e Cobalto.

5

11. Elemento de acordo com as reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que a deposição física na fase de vapor é obtida através de alta potência pulsada por magnetron de pulverização catódica.

1/3

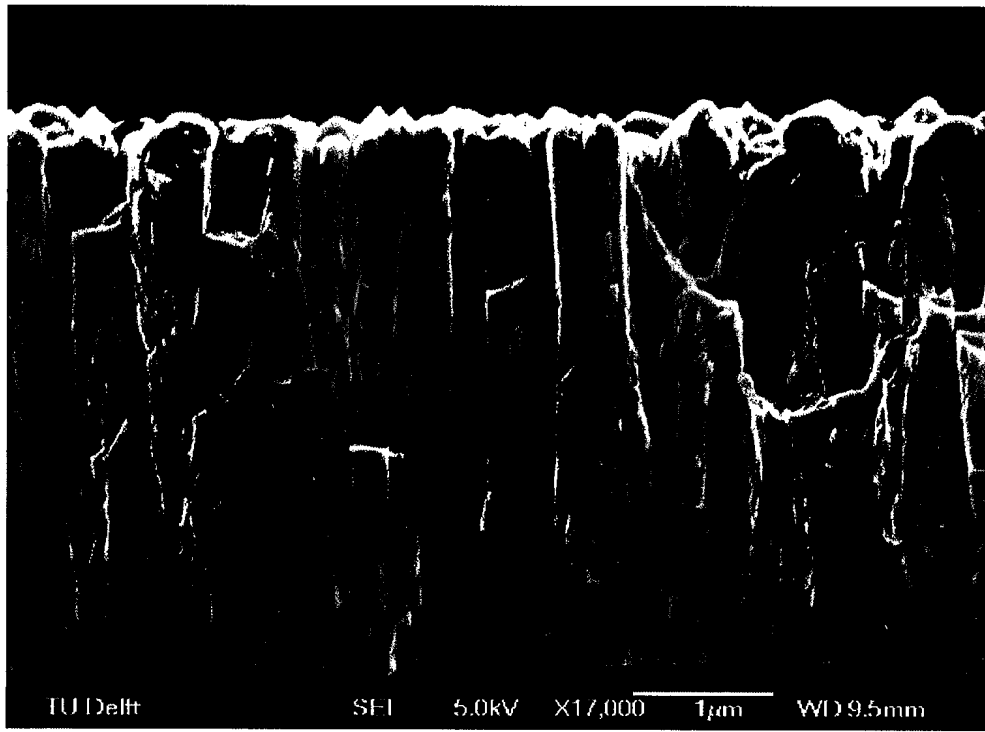


Fig. 1



Fig. 2

2/3

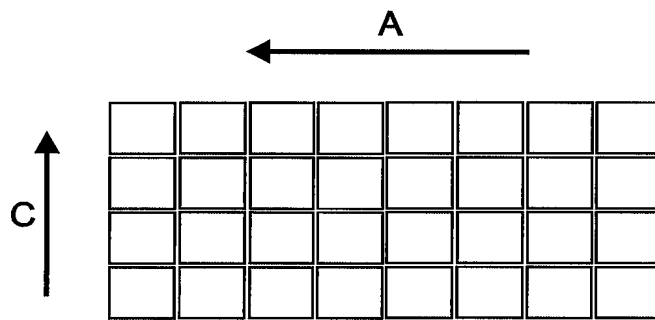


Fig. 3

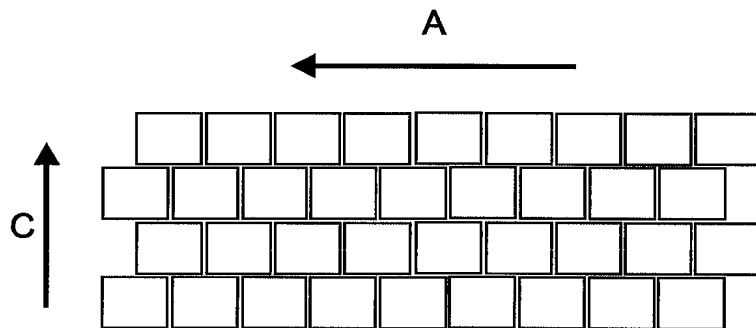


Fig. 4

3/3

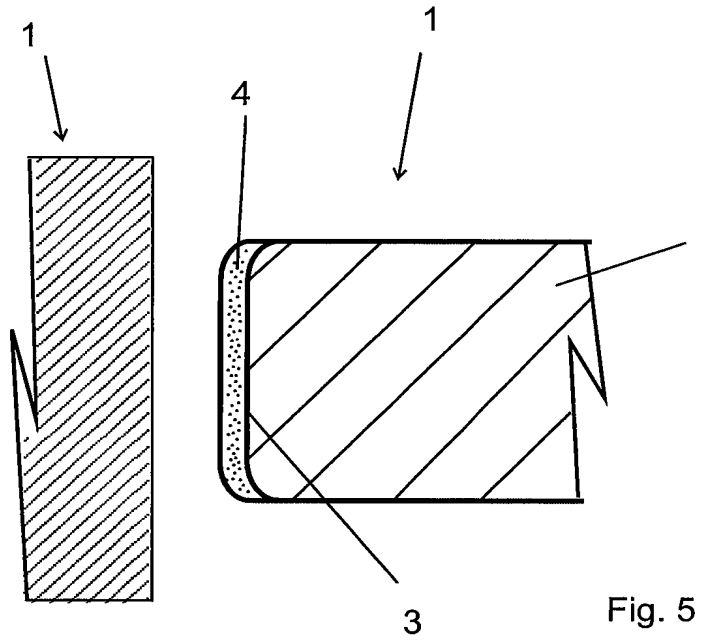


Fig. 5

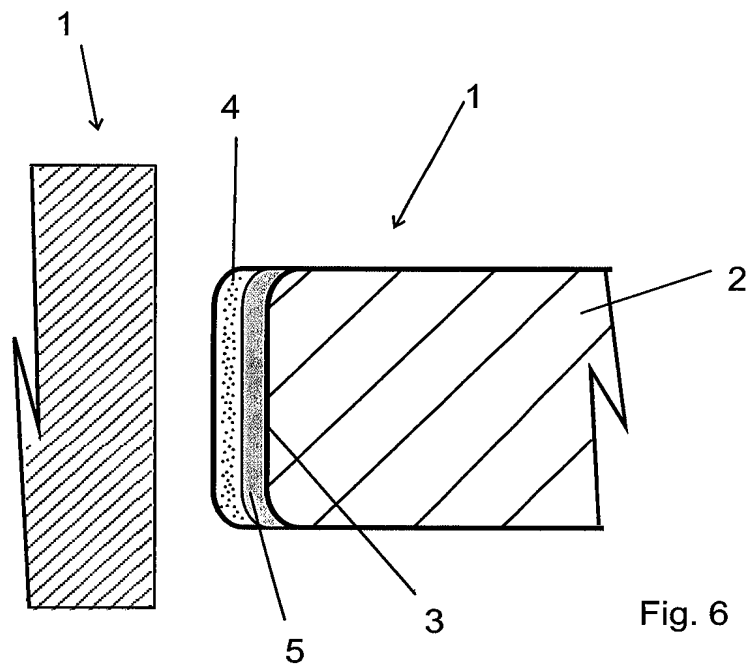


Fig. 6

RESUMO

Patente de Invenção: **"ELEMENTO DOTADO DE PELO MENOS UMA SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO PARA USO EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO".**

5 A presente invenção refere-se a um elemento (1) que trabalha sob deslizamento de um motor de combustão interna e/ou compressor que sofre atrito e que recebe um revestimento de nitreto de cromo dotado de uma morfologia equiaxial, com baixa porosidade (inferior a 1%) e com uma orientação cristalográfica predominantemente (111), mantendo algum reticu-
10 lado na orientação (200) por forma a melhorar a sua resistência ao desgaste e tenacidade, aumentando à vida útil do elemento (1) que trabalham sob deslizamento.