



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

(11) BR 112016016403-2 B1



(22) Data do Depósito: 08/12/2014

(45) Data de Concessão: 29/03/2022

(54) Título: ELEMENTO DE DESLIZE, PARTICULARMENTE ANEL DE PISTÃO

(51) Int.Cl.: C23C 28/00; F16J 9/26; C23C 30/00; C23C 14/06; C23C 16/26.

(30) Prioridade Unionista: 15/01/2014 DE 10 2014200607.4.

(73) Titular(es): FEDERAL-MOGUL BURSCHIED GMBH.

(72) Inventor(es): MARCUS KENNEDY; MICHAEL ZINNABOLD; PETER ESSER.

(86) Pedido PCT: PCT EP2014076866 de 08/12/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/106884 de 23/07/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/07/2016

(57) Resumo: ELEMENTO DE DESLIZE, PARTICULARMENTE ANEL DE PISTÃO Um elemento de deslize, especialmente um anel de pistão apresenta uma superfície de trabalho que é provida de um revestimento à base de carbono e apresenta pelo menos em alguns segmentos uma rugosidade (RDeltaq) de acordo com a norma DIN EN ISO 4287 de 0,05, preferivelmente 0,08, a 0,11, preferivelmente de 0,1 (Mi)m.

"ELEMENTO DE DESLIZE, PARTICULARMENTE ANEL DE PISTÃO "

CAMPO TÉCNICO

[0001] A invenção refere-se a um elemento deslizante, em particular um anel de pistão.

[0002] Para elementos de deslize em geral, e anéis de pistão especificamente, é um critério essencial até que ponto as perdas por atrito ocorrem durante a operação. Em motores de combustão interna, nos quais são utilizados anéis de pistão, tanto o mercado quanto a legislação exigem uma diminuição do consumo de combustível e, portanto, das emissões de dióxido de carbono. Uma vez que os anéis de pistão são responsáveis por cerca de um quarto das perdas por atrito mecânico e, portanto, por aproximadamente 4% do consumo de combustível, a pesquisa está se concentrando extensivamente em medidas para reduzir essas perdas por atrito causadas por anéis de pistão e elementos deslizantes.

ESTADO DA TÉCNICA

[0003] No estado da técnica, conforme descrito por exemplo em DE 44 19 713 A1, são usados revestimentos de metal duro, que são normalmente produzidos por métodos PVD. Em segundo lugar, são usados revestimentos DLC amorfos que, no entanto, geralmente só podem ser aplicados em uma espessura de camada de poucos μm . Outro desafio é fornecer os revestimentos DLC extremamente duros com uma rugosidade suficientemente baixa para evitar danos às superfícies de funcionamento do cilindro ou buchas de cilindro, bem como desgaste. Diferentes sistemas de revestimento TaC adequados para este fim são conhecidos de DE 10 2008 022 039 A1 e de EP 0 724 023 A1.

DESCRIÇÃO DE INVENÇÃO

[0004] Diante desse histórico, é objetivo da presente invenção fornecer um elemento deslizante e, em particular,

um anel de pistão, que é aperfeiçoado com relação à combinação de desgaste mais baixo possível e atrito o menor possível, inclusive no início do movimento de deslize, principalmente do motor.

[0005] Assim, o elemento deslizante, que é de preferência um anel de pistão, apresenta uma superfície de rolamento fornecida com um revestimento à base de carbono e, pelo menos em áreas, uma rugosidade $R_{\Delta q}$ de acordo com a norma DIN EN ISO 4287 de 0,05, preferivelmente de 0,08 a 0,11, preferivelmente até 0,1. Testes extensivos revelaram que as perdas de fricção comparativamente baixas ao usar revestimentos à base de carbono são devidas ao fato de que, induzidos termica e/ou mecanicamente, os átomos de carbono com hibridização sp^3 são convertidos em átomos de carbono com hibridização com sp^2 . Isso resulta em uma camada superior muito fina e, em comparação com a camada DLC abaixo, mais macia que causa uma redução no atrito.

[0006] De acordo com a invenção, esta conversão desejada beneficia particularmente do fato de que a inclinação média do perfil de rugosidade está acima, ou na melhor das hipóteses igual a, o valor mínimo de 0,05. O valor $R_{\Delta q}$ usado para a invenção é definido pela referida norma como sendo a raiz quadrada média da inclinação do perfil, portanto, o gradiente quadrado médio do perfil filtrado, em relação à linha média. Um valor baixo significa, portanto, um perfil comparativamente "plano" e um valor alto um perfil comparativamente "íngreme". Testes revelaram que, abaixo de um valor $R_{\Delta q}$ de 0,05, o coeficiente de atrito torna-se superior a 0,035, o que está em uma ordem de grandeza não desejada. Portanto, com valores de $R_{\Delta q}$ maiores que, ou no máximo iguais a 0,05, coeficientes de atrito muito baixos podem ser garantidos, o que é explicado pelo fato, embora a invenção não deva ser limitada a eles, de

que a inclinação do perfil é suficientemente íngreme para causar um grande número de conversões de átomos de carbono hibridizados com sp^3 em sp^2 e, assim, influenciar positivamente o coeficiente de atrito da maneira desejada.

[0007] Ao mesmo tempo, verificou-se que para valores $R_{\Delta q}$ de 0,1 ou mais, e em particular de 0,11 ou mais, o desgaste aumenta de modo indesejado, a saber na faixa de mais de 3 μm . A explicação para isto, à qual a invenção também não deve se restringir, é que em uma inclinação de perfil de rugosidade comparativamente "íngreme" a prensagem da superfície é aumentada, o que promove o desgaste. A invenção fornece assim um equilíbrio vantajoso entre valores de desgaste favoráveis e coeficientes de atrito baixos. No que diz respeito aos valores $R_{\Delta q}$ desejados, deve ser mencionado que eles podem ser ajustados por processos de revestimento adequados e, em particular, processos de usinagem. Os valores de $R_{\Delta q}$ são garantidos por uma combinação adequada de processos de revestimento e alisamento. O processo de revestimento é um processo PA-CVD ou PVD. Esses processos permitem um ajuste direcionado das propriedades mecânicas necessárias para atingir os valores de rugosidade exigidos. O parâmetro de configuração é a energia dos íons de carbono depositados. Essa energia pode ser afetada por mudanças na potência do evaporador, por campos magnéticos e também pelo fornecimento de polarização. O processo de alisamento é um superacabamento utilizando ferramentas de alisamento contendo diamante definido, com a morfologia do diamante, a distribuição dos diamantes colados, bem como a própria ferramenta sendo adaptada de forma adequada.

[0008] A invenção é baseada principalmente nas descobertas acima mencionadas relativas à faixa para o valor de $R_{\Delta q}$, enquanto foi verificado em relação a outros

parâmetros de rugosidade que estes não são adequados para restrição a faixas específicas para atingir um equilíbrio vantajoso entre os valores de desgaste e de fricção. Em relação aos valores de medição acima mencionados, deve ser declarado, conforme particularizado a seguir com referência à tabela, que esses valores foram determinados em condições de atrito misto, conforme são relevantes durante o funcionamento real dos motores de combustão interna. Aqui, a espessura da película de lubrificação atinge essencialmente a rugosidade total da superfície do corpo de base e contra-corpo, assim, por exemplo, do anel de pistão e da camisa do cilindro, de modo que as cargas podem ser transferidas para os parâmetros de funcionamento como resultado do contato direto dos picos de rugosidade. Nesta situação, as condições de atrito são influenciadas pelo contato do corpo sólido, o que requer superfícies tão lisas quanto possível. Mesmo o menor desnível pode causar forças de cisalhamento que danificam em particular o revestimento à base de carbono e podem resultar no desprendimento do revestimento.

[0009] Uma vez que o contato deslizante entre, por exemplo, um anel de pistão e uma camisa de cilindro ocorre em particular na região de uma convexidade, portanto, uma superfície de execução curva convexa do anel de pistão, é preferido que a rugosidade de acordo com a invenção seja formada pelo menos na região de tal convexidade.

[0010] Além disso, verificou-se que os valores descritos de $R_{\Delta q}$ devem estar presentes na direção axial do anel de pistão em 10-90%, preferivelmente 25-75% da superfície de trabalho.

[0011] O revestimento é de preferência um revestimento à base de carbono do tipo TaC para ser capaz de explorar particularmente bem os efeitos descritos.

[0012] Para a espessura da camada do revestimento à base de carbono, uma faixa de 0,5 μm , de preferência 10 a 30 μm provou ser particularmente vantajosa. Uma outra faixa de espessura de camada preferida varia de 0,5 a 10 μm .

[0013] Isso se aplica da mesma maneira a uma quantidade de carbono sp^3 , portanto, uma quantidade que pode ser convertida em uma quantidade de átomos de carbono com hibridização sp^2 de pelo menos 40 at%.

[0014] Durante os testes, pode ainda ser estabelecido que a correlação consistente entre os valores de $R_{\Delta q}$ e de desgaste, bem como de coeficientes de atrito, foi encontrada em particular para valores de módulo-E de 180 a 260 GPa e valores de dureza de 1600 a 2800 HV 0,02. Ambos os parâmetros são medidos de acordo com o método Oliver & Pharr (O&P).

[0015] Com relação à razão sp^3/sp^2 , é preferida de 0,3 a 1,2.

[0016] Para garantir a adesão segura do revestimento à base de carbono em um substrato, é preferida uma camada adesiva contendo metal incluindo cromo e/ou titânio entre o revestimento à base de carbono e o substrato.

[0017] Uma faixa de 0,05 μm a 1,0 μm provou ser favorável para a espessura da camada adesiva.

[0018] Os efeitos favoráveis descritos sobre o desgaste e o coeficiente de atrito podem ser verificados em particular para uma quantidade de carbono no revestimento, que é superior a 99% em toda a espessura da camada.

[0019] Finalmente, o anel de pistão é preferencialmente feito de ferro fundido ou aço.

EXEMPLOS

[0020] Exemplos de acordo com a invenção na forma de segmentos de anel de pistão reais em um segmento de caminho de cilindro de ferro fundido cinzento realçado em um

sistema de medição de oscilação-atrito-desgaste foram testados sob condições de atrito mistas em condições de pressão e temperatura definidas. A tabela abaixo fornece os respectivos valores de μ_m , designados com R_{dq} , juntamente com o respectivo desgaste do anel e coeficiente de atrito. Como é particularmente evidente na avaliação geral, tanto o desgaste do anel quanto o coeficiente de atrito estão apenas ok ("OK") em uma faixa de 0,05 a 0,11 do valor de $R_{\Delta q}$. O módulo-E e a dureza estavam nas faixas acima mencionadas, para as quais uma correlação particularmente consistente entre os valores de $R_{\Delta q}$ e o desgaste do anel, bem como o coeficiente de atrito, pôde ser encontrada.

Rdq	Rz	Rk	Rpk	Desgaste do anel	Coefficiente de atrito μ	Avaliação do desgaste de anel	Avaliação do coeficiente de atrito	Total
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	()			
0,02	0,2	0,06	0,02	1,0	0,049	OK	não OK	não OK
0,02	0,3	0,07	0,02	0,5	0,048	OK	não OK	não OK
0,02	0,23	0,1	0,02	1,0	0,052	OK	não OK	não OK
0,02	0,18	0,07	0,02	1,5	0,044	OK	não OK	não OK
0,02	0,22	0,11	0,03	0,5	0,043	OK	não OK	não OK
0,04	0,56	0,15	0,02	0,5	0,05	OK	não OK	não OK
0,06	0,45	0,18	0,08	1,0	0,024	OK	OK	OK
0,07	0,88	0,24	0,13	2,5	0,027	OK	OK	OK
0,08	0,94	0,25	0,15	2,0	0,032	OK	OK	OK
0,08	1,07	0,18	0,19	1,0	0,027	OK	OK	OK
0,09	1,15	0,24	0,16	1,5	0,03	OK	OK	OK
0,09	1,06	0,26	0,16	1,5	0,03	OK	OK	OK
0,1	1,11	0,31	0,18	3,0	0,033	OK	OK	OK
0,12	1,06	0,32	0,18	11,0	0,012	não OK	OK	não OK
0,14	1,1	0,43	0,17	6,5	0,015	não OK	OK	não OK
0,15	1,08	0,45	0,18	5,5	0,009	não OK	OK	não OK

REIVINDICAÇÕES

1. Elemento deslizante, em especial um anel de pistão, **caracterizado** pelo fato de que possui pelo menos uma superfície de rolamento, que é fornecida com um revestimento à base de carbono, e pelo menos em áreas exibe uma rugosidade com uma raiz quadrada média da inclinação do perfil $R\Delta q$, de acordo com a norma DIN EN ISO 4287, de 0,05, de preferência de 0,08 a 0,11, preferencialmente a 0,1.

2. Elemento deslizante, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a raiz quadrada média da inclinação do perfil $R\Delta q$ de 0,05 a 0,1 é fornecida pelo menos na faixa de uma convexidade do elemento deslizante.

3. Elemento deslizante, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que a raiz quadrada média da inclinação do perfil $R\Delta q$ de 0,05 a 0,1 é fornecida, na direção axial, sobre 10-90%, preferencialmente 25-75% da superfície de rolamento.

4. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o revestimento à base de carbono é do tipo TaC.

5. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que a espessura de camada do revestimento é, preferencialmente de 10 a 30 μm .

6. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o revestimento à base de carbono possui um teor de átomos de carbono com hibridização sp^3 de 50% ou mais.

7. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o revestimento à base de carbono possui um módulo de

elasticidade de 180 a 260 GPa e/ou uma dureza de 1600 a 2800 HV 0,02.

8. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o revestimento à base de carbono contém oxigênio e/ou hidrogênio com um teor em cada caso inferior a 0,5%.

9. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o revestimento à base de carbono possui uma razão sp³/sp² de 0,7 a 1,2.

10. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que uma camada adesiva contendo metal, com cromo e/ou titânio, é fornecida entre o revestimento à base de carbono e o substrato.

11. Elemento deslizante, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que a camada adesiva possui uma espessura de 0,05 a 1,0 µm.

12. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o teor de carbono no revestimento à base de carbono é superior a 99% sobre toda a espessura da camada.

13. Elemento deslizante, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o elemento deslizante é um anel de pistão feito de ferro fundido ou aço.