

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

(21) **PI0901936-7 A2**



(22) Data de Depósito: 17/06/2009
(43) Data da Publicação: 13/04/2010
(RPI 2049)

(51) *Int.Cl.:*
F02F 1/00 (2010.01)

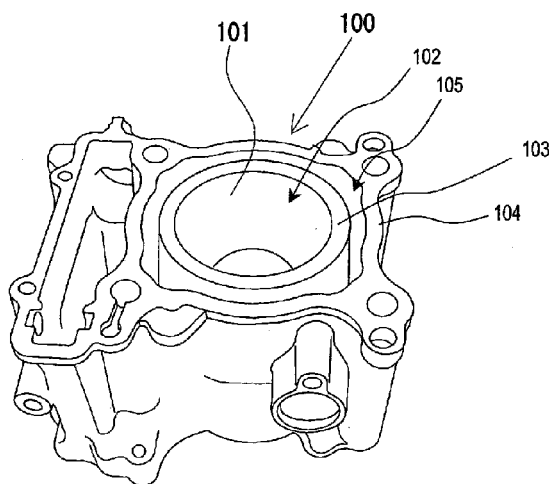
(54) Título: **BLOCO DE CILINDRO, MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, APARELHO DE TRANSPORTE E MÉTODO PARA PRODUIR BLOCO DE CILINDRO**

(30) Prioridade Unionista: 27/06/2008 JP 2008-168687

(73) Titular(es): Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha

(72) Inventor(es): Hiroshi Yamagata, Hirotaka Kurita, Shinya Iwasaki

(57) Resumo: BLOCO DE CILINDRO, MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, APARELHO DE TRANSPORTE E MÉTODO PARA PRODUIR BLOCO DE CILINDRO. O bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, o bloco de cilindro incluindo uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento. O bloco de cilindro de acordo com a presente invenção inclui uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento de maneira tal que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % sejam maiores na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento do que na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.





PI0901936-7

“BLOCO DE CILINDRO, MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, APARELHO DE TRANSPORTE E MÉTODO PARA PRODUIR BLOCO DE CILINDRO”

Antecedentes da Invenção

1. Campo Técnico

5 A presente invenção diz respeito a um bloco de cilindro e a um método de produção deste e, em particular, a um bloco de cilindro que é feito de uma liga de alumínio que inclui silício e a um método de produção deste. A presente invenção também diz respeito a um motor de combustão interna e a um aparelho de transporte que incorpora um bloco de cilindro como este.

10 2. Descrição da Tecnologia Relacionada

Nos anos recentes, em uma tentativa de reduzir o peso dos motores de combustão interna, houve uma tendência em usar uma liga de alumínio para blocos de cilindro. Uma vez que é exigido que um bloco de cilindro tenha uma alta resistência mecânica e alta resistência à abrasão, espera-se que ligas de alumínio que contêm uma grande quantidade de silício, isto é, ligas alumínio - silício com uma composição hipereutética, sejam ligas de alumínio promissoras para blocos de cilindro.

Em um bloco de cilindro composto por uma liga alumínio - silício, grãos cristalinos de silício localizados na superfície de deslizamento contribuirão para a melhoria da resistência mecânica e da resistência à abrasão. Um exemplo de uma técnica para obter grãos cristalinos de silício expostos na superfície de um metal base da liga é um processo de brunimento para permitir que grãos cristalinos de silício permaneçam sobressaindo (chamado de “brunimento em relevo”). Além do mais, a patente japonesa 2885407 divulga uma técnica para realizar um processo de ataque químico para permitir que grãos cristalinos de silício permaneçam sobressaindo na superfície de uma liga alumínio - silício e, posteriormente, para realizar uma oxidação anódica para formar uma camada de óxido e, adicionalmente, para fazer aspersão por chama de um fluorplástico sobre esta camada de óxido para formar uma camada de resina de fluorplástico.

Como lubrificante fica retido entre os grãos cristalinos de silício que permanecem sobressaindo na superfície de deslizamento (isto é, nos recessos entre os grãos cristalinos de silício que funcionam como poças de óleo), uma melhor lubricidade é obtida quando um pistão desliza no cilindro, de acordo com o que a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento do bloco de cilindro são melhoradas.

Entretanto, melhorias adicionais na resistência à abrasão e na resistência ao emperramento se tornam necessárias durante o uso do bloco de cilindro de liga de alumínio supradescrito para certos tipos de motores de combustão interna.

Convencionalmente, blocos de cilindro de liga de alumínio têm sido usados em motores de combustão interna que são montados em automóveis de quatro rodas. Em um au-

tomóvel de quatro rodas, um mecanismo (por exemplo, uma bomba de óleo) para suprir compulsoriamente um lubrificante para o bloco de cilindro e o pistão é fornecido no motor de combustão interna, e o motor de combustão interna é operado em uma velocidade de revolução relativamente baixa (especificamente, em uma velocidade de revolução máxima de 7.500 rpm ou menos), em cujo caso os problemas supramencionados não ocorrerão. Entretanto, em um motor de combustão interna que é operado em uma velocidade de revolução relativamente alta (especificamente, em uma velocidade de revolução máxima de 8.000 rpm ou mais) ou em um motor de combustão interna no qual um lubrificante é suprido no cilindro somente por meio de respingo do lubrificante associado com a rotação do virabrequim (isto é, a bomba de óleo é omitida, como no caso de um motor de combustão interna que é montado em uma motocicleta), o bloco de cilindro de liga de alumínio pode sofrer emperramento e/ou abrasão significativos. Além do mais, quando um pistão feito de uma liga de alumínio for usado a fim de alcançar uma redução adicional de peso do motor de combustão interna como um todo, ocorre deslizamento entre as superfícies da liga de alumínio e assim ocorre uma maior probabilidade de emperramento.

A fim de melhorar adicionalmente a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento do bloco de cilindro, é necessário melhorar a lubricidade na partida do motor de combustão interna, o que exige boa retenção do lubrificante na superfície de deslizamento. Os inventores descobriram através de seus estudos que um bloco de cilindro que foi sujeito aos supramencionados processo de brunimento em relevo ou processo de ataque químico não pode alcançar uma retenção de lubrificação suficiente, de forma que exista lubricidade menos que adequada quando uma operação em alta velocidade for alcançada imediatamente depois da partida do motor de combustão interna.

Portanto, os inventores propuseram no pedido de patente japonês 2007-329164 uma técnica para melhorar a capacidade de uma superfície de deslizamento reter lubrificante. Nesta técnica, como um parâmetro que representa a rugosidade superficial de uma superfície de deslizamento, dá-se atenção a uma rugosidade média de dez pontos Rz_{10} e uma razão do comprimento de carga Rmr . Pelo ajuste destes parâmetros em uma faixa específica, é concebida uma superfície de deslizamento na qual um grande número de finos grãos cristalinos de silício permanece sobressaindo, assim, contribuindo para a retenção do lubrificante. Em decorrência disto, pode-se obter um bloco de cilindro com excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento.

Entretanto, os inventores conduziram um estudo adicional para descobrir que, durante o uso da técnica divulgada no pedido de patente japonês 2007-329164, a superfície de deslizamento é imersa em um líquido de gravar, assim, fazendo com que toda a superfície de deslizamento seja uniformemente gravada. Em decorrência disto, embora a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento do bloco de cilindro sejam melhoradas em uma

parte superior (próxima do centro morto de topo) da superfície de deslizamento, ocorre um novo problema em que, em uma parte inferior da superfície de deslizamento, os finos grãos cristalinos de silício que permanecem sobressaindo na superfície de deslizamento ficam presos durante o deslizamento do pistão, assim, aumentando a perda por atrito.

5 Sumário da Invenção

A presente invenção foi feita em vista dos problemas supramencionados, e um objetivo desta é fornecer um bloco de cilindro com excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento e com uma pequena perda por atrito, bem como um método de produção deste.

10 Um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, compreendendo: uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, e uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento, em que uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento e uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % são maiores em uma
15 parte 1/4 superior da superfície de deslizamento do que em uma parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 0,54 μm ou mais, e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 20 % ou mais.
20

Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 2,0 μm ou menos.

Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 55 % ou menos.
25

Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é menor do que 0,54 μm e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 15 % ou menos.

Em uma modalidade preferida, a superfície de deslizamento foi submetida a um processo de ataque químico.
30

Um outro bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, compreendendo: uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, e uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento, em que, em uma parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de
35 deslizamento é de 0,54 μm ou mais, e uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % é de 20 % ou mais, e um revesti-

mento é fornecido em pelo menos uma parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 2,0 μm ou menos.

5 Em uma modalidade preferida, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 55 % ou menos.

Em uma modalidade preferida, a pluralidade de grãos cristalinos de silício inclui uma pluralidade de grãos de silício de cristal primário e uma pluralidade de grãos de silício eutético.

10 Em uma modalidade preferida, a pluralidade de grãos de silício de cristal primário tem um tamanho de grão cristalino médio de não menos que 12 μm e de não mais que 50 μm .

Em uma modalidade preferida, a pluralidade de grãos de silício eutético tem um tamanho de grão cristalino médio de 7,5 μm ou menos.

15 Em uma modalidade preferida, a pluralidade de grãos cristalinos de silício tem uma distribuição do tamanho de grão com um primeiro pico existindo em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 1 μm e não mais que 7,5 μm e um segundo pico existindo em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 12 μm e não mais que 50 μm .

20 Em uma modalidade preferida, uma frequência no primeiro pico é pelo menos cinco vezes maior do que uma frequência no segundo pico.

Em uma modalidade preferida, a liga de alumínio contém: não menos que 73,4 % em massa e não mais que 79,6 % em massa de alumínio, não menos que 16 % em massa e não mais que 22 % em massa de silício, e não menos que 2,0 % em massa e não mais que 5,0 % em massa de cobre.

25 Em uma modalidade preferida, a liga de alumínio contém não menos que 50 ppm em massa e não mais que 200 ppm em massa de fósforo e não mais que 0,01 % em massa de cálcio.

30 Um motor de combustão interna de acordo com a presente invenção compreende: o bloco de cilindro da construção exposta, e um pistão que desliza, ainda ficando em contato com a superfície de deslizamento do bloco de cilindro.

Em uma modalidade preferida, o pistão é composto por uma liga de alumínio.

Um aparelho de transporte de acordo com a presente invenção compreende um motor de combustão interna da construção exposta.

35 Um método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um método para produzir um bloco de cilindro que inclui uma parede do cilindro, a parede do cilindro tendo uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, o método com-

preendendo: uma etapa de fornecer uma peça moldada que é composta por uma liga de alumínio que contém silício, uma etapa de polir uma região da superfície da peça moldada para se tornar a superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais, e uma primeira etapa de ataque químico para gravar somente uma parte da região polida.

Em uma modalidade preferida, o método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção compreende adicionalmente, depois da primeira etapa de ataque químico, uma segunda etapa de ataque químico para gravar toda a região.

Em uma modalidade preferida do método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção, nenhuma etapa de ataque químico adicional para gravar a região é realizada antes da primeira etapa de ataque químico.

Um outro método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um método para produzir um bloco de cilindro que inclui uma parede do cilindro, a parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, o método compreendendo: uma etapa de fornecer uma peça moldada que é composta por uma liga de alumínio que contém silício, uma etapa de polir uma região da superfície da peça moldada para se tornar a superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais, uma etapa de ataque químico para gravar a região polida, e uma etapa de fornecer um revestimento somente em uma parte da região gravada.

A seguir, serão descritas as funções e os efeitos da presente invenção.

Em um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % são maiores na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento do que na parte 1/4 inferior. Em decorrência disto, é possível aumentar a capacidade de retenção de lubrificante da superfície de deslizamento na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, ainda diminuindo o coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento. Portanto, a perda por atrito pode ser reduzida, ainda garantindo excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento.

A fim de melhorar suficientemente a capacidade de retenção de lubrificante para obter excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento, é preferível que, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 0,54 μm ou mais e que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % seja de 20 % ou mais.

Entretanto, do ponto de vista do impedimento do declínio gradual dos grãos cristalinos de silício e de qualquer abrasão significativa da contraparte (anel do pistão e/ou pistão) em função dos grãos cristalinos de silício que permanecem sobressaindo, é preferível que a

rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 2,0 μm ou menos na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

Além do mais, do ponto de vista da redução do dano e da abrasão da contraparte, é preferível que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ seja de 55 % ou menos na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

Além do mais, a fim de reduzir suficientemente a perda por atrito pela diminuição suficiente do coeficiente de atrito, é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja menor que 0,54 μm e que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % seja 15 % ou menos na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

Tipicamente, a superfície de deslizamento do bloco de cilindro de acordo com a presente invenção foi submetida a um processo de ataque químico (ataque químico).

Em um outro bloco de cilindro de acordo com a presente invenção, na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 0,54 μm ou mais e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 20 % ou mais e, além do mais, é fornecido revestimento em pelo menos uma parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento. Em decorrência disto, é possível aumentar a capacidade de retenção de lubrificante da superfície de deslizamento na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento, ainda diminuindo o coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento. Portanto, a perda por atrito pode ser reduzida, ainda garantindo excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento.

Do ponto de vista do impedimento do declínio gradual dos grãos cristalinos de silício e de qualquer abrasão significativa da contraparte (anel do pistão e/ou pistão) em função dos grãos cristalinos de silício que permanecem sobressaindo, é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 2,0 μm ou menos na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

Além do mais, do ponto de vista da redução do dano e da abrasão da contraparte, é preferível que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ seja 55 % ou menos na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

Tipicamente, a pluralidade dos grãos cristalinos de silício inclui uma pluralidade de grãos de silício de cristal primário e uma pluralidade de grãos de silício eutético. Assim, uma vez que não somente grãos de silício de cristal primário, mas também grãos de silício eutético, permanecem sobressaindo na superfície de deslizamento, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ podem aumentar suficientemente.

Do ponto de vista da melhoria da resistência à abrasão e da resistência mecânica do bloco de cilindro, é preferível que o tamanho de grão cristalino médio da pluralidade de grãos de silício de cristal primário seja não menos que 12 μm e não mais que 50 μm , e que o tamanho de grão cristalino médio da pluralidade de grãos de silício eutético seja de 7,5 μm

ou menos. Além do mais, é preferível que a pluralidade de grãos cristalinos de silício tenha uma distribuição do tamanho de grão com um primeiro pico existindo em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 1 μm e não mais que 7,5 μm e um segundo pico existindo em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 12 μm e não mais que 50 μm , e é adicionalmente preferível que a frequência no primeiro pico seja pelo menos cinco vezes maior do que a frequência no segundo pico.

A fim de aumentar suficientemente a resistência à abrasão e a resistência mecânica do bloco de cilindro, é preferível que a liga de alumínio contenha: não menos que 73,4 % em massa e não mais que 79,6 % em massa de alumínio, não menos que 16 % em massa e não mais que 22 % em massa de silício, e não menos que 2,0 % em massa e não mais que 5,0 % em massa de cobre.

Além do mais, é preferível que a liga de alumínio contenha não menos que 50 ppm em massa e não mais que 200 ppm em massa de fósforo, e não mais que 0,01 % em massa de cálcio. Quando a liga de alumínio contiver não menos que 50 ppm em massa e não mais que 200 ppm em massa de fósforo, é possível reduzir a tendência de os grãos cristalinos de silício se tornarem gigantescos, assim, permitindo a dispersão uniforme dos grãos cristalinos de silício na liga. Por outro lado, quando o conteúdo de cálcio na liga de alumínio de garantia for de 0,01 % em massa ou menos, o efeito de fornecer finos grãos cristalinos de silício em função do fósforo é assegurado, e pode-se obter uma estrutura metalúrgica com resistência à abrasão.

Um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção pode ser adequadamente usado nos motores de combustão interna para vários tipos de aparelhos de transporte e, particularmente, adequadamente usado em um motor de combustão interna cujo pistão é feito de uma liga de alumínio a título de redução de peso.

Em um método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente invenção, depois de realizar uma etapa de polir uma região da superfície de uma peça moldada para se tornar uma superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais, uma primeira etapa de ataque químico para gravar somente uma parte da região polida é realizada. Em decorrência disto, tanto a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} quanto a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ podem se tornar diferentes entre a parte que é gravada através da primeira etapa de ataque químico e a outra parte. Portanto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento podem se tornar maiores na parte 1/4 superior do que na parte 1/4 inferior, de acordo com o que, um bloco de cilindro com excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento e uma pequena perda por atrito pode ser produzido.

Depois da primeira etapa de ataque químico, uma segunda etapa de ataque químico para gravar a íntegra da região para se tornar a superfície de deslizamento pode ser rea-

lizada. Quando uma segunda etapa de ataque químico como esta for realizada, toda a superfície de deslizamento será submetida a um processo de ataque químico (embora a parte que é gravada através da primeira etapa de ataque químico sofra uma quantidade de ataque químico maior do que na outra parte). Em decorrência disto, rebaixos entre os grãos cristali-
5 nos de silício (que funcionam como poças de óleo para reter o lubrificante) são adequadamente formados através de toda a superfície de deslizamento, assim, melhorando adicionalmente a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento em toda a superfície de deslizamento.

Alternativamente, depois da primeira etapa de ataque químico, nenhuma etapa de
10 ataque químico adicional para gravar a região para se tornar a superfície de deslizamento pode ser realizada. No caso em que uma etapa de ataque químico adicional como esta for omitida, o número de etapas é reduzido, de acordo com o que o custo de produção pode ser reduzido e as etapas de produção podem ser simplificadas.

Em um outro método para produzir um bloco de cilindro de acordo com a presente
15 invenção, depois de realizar uma etapa de polir uma região da superfície de uma peça moldada para se tornar uma superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais, uma etapa de ataque químico para gravar a região polida é realizada, depois do que, uma etapa de fornecer um revestimento somente em uma parte da região gravada é adicionalmente realizada. Em decorrência disto, tanto a rugosidade média de
20 dez pontos Rz_{JIS} quanto a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ podem se tornar diferentes entre a parte revestida e a outra parte. Portanto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento podem se tornar maiores na parte 1/4 superior do que na parte 1/4 inferior, de acordo com o que, pode-se produzir um bloco de cilindro com excelente resistência à abrasão e resistência ao emper-
25 ramento e uma pequena perda por atrito.

Em qualquer um dos métodos de produção supradescritos, uma região da superfície de uma peça moldada a se tornar uma superfície de deslizamento é polida pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais e, posteriormente, pelo menos uma parte da região polida é gravada. Em decorrência disto, na parte gravada, é criada uma superfície
30 em que não somente um grande número de grãos de silício de cristal primário, mas também um grande número de grãos de silício eutético, permanece sobressaindo (se projetando), e poças de óleo com profundidades suficientes são formadas com uma fina oscilação. Portanto, a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento em uma parte da superfície de deslizamento podem ser significativamente melhoradas.

De acordo com a presente invenção, é fornecido um bloco de cilindro com excelente
35 resistência à abrasão e resistência ao emperramento e com uma pequena perda por atrito, bem como um método de produção deste. Além do mais, de acordo com a presente in-

venção, também são fornecidos um motor de combustão interna e um aparelho de transporte que incorpora um bloco de cilindro como este.

Outros recursos, elementos, processos, etapas, características e vantagens da presente invenção ficarão mais aparentes a partir da seguinte descrição detalhada das modalidades preferidas da presente invenção em relação aos desenhos anexos.

Descrição Resumida dos Desenhos

A figura 1 é uma vista em perspectiva que mostra esquematicamente um bloco de cilindro 100 de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção.

A figura 2 é uma vista seccional transversal que mostra esquematicamente um bloco de cilindro 100 de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção.

A figura 3 é uma vista plana que mostra esquematicamente uma imagem ampliada de uma superfície de deslizamento do bloco de cilindro 100.

A figura 4 é uma vista seccional transversal que mostra esquematicamente uma imagem ampliada de uma superfície de deslizamento do bloco de cilindro 100.

A figura 5 é um diagrama para explicar uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} .

A figura 6 é um diagrama para explicar uma razão do comprimento de carga $R_{mr}(c)$.

A figura 7 é um gráfico que mostra um relacionamento exemplar entre um ângulo de manivela (graus) e uma pressão de gás (MPa) e uma força de atrito (N) em um motor de combustão interna convencional.

As figuras 8A e 8B são diagramas para explicar um motivo pelo qual a força de atrito que age em uma superfície de deslizamento fica maior imediatamente depois da explosão.

A figura 9 é um fluxograma que mostra etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

A figura 10 é um fluxograma que mostra etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

As figuras 11A até 11E são vistas seccionais transversais etapa por etapa que mostram esquematicamente, de forma parcial, as etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

As figuras 12A e 12B são vistas seccionais transversais etapa por etapa que mostram esquematicamente, de forma parcial, as etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

A figura 13 é um fluxograma que mostra as etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

A figura 14 é uma vista seccional transversal de etapa que mostra esquematicamente uma parte das etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

A figura 15 é um fluxograma que mostra as etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

As figuras 16A até 16C são vistas seccionais transversais etapa por etapa que mostram esquematicamente, de forma parcial, as etapas de produção para o bloco de cilindro 100.

As figuras 17A até 17C são diagramas para explicar um motivo pelo qual os grãos de silício eutético não contribuem para a retenção de lubrificante quando um processo de brunimento em relevo for realizado.

As figuras 18A até 18C são diagramas para explicar um motivo pelo qual os grãos de silício eutético não contribuem para a retenção de lubrificante quando um processo de ataque químico for realizado sem realizar primeiro um processo de brunimento com acabamento espelhado.

A figura 19 é um diagrama que mostra esquematicamente uma máquina de teste de arranhão 30 que é usada para medir um coeficiente de atrito.

A figura 20 é um gráfico no qual os Exemplos 1 a 3 e os Exemplos Comparativos 1 a 11 são graficamente representados, em um eixo geométrico horizontal que representa uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e em um eixo geométrico vertical que representa uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 %, em relação a uma parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

A figura 21 é uma vista seccional transversal que mostra esquematicamente uma superfície de deslizamento na qual não somente grãos de silício de cristal primário, mas também grãos de silício eutético, permanecem sobressaindo.

A figura 22 é uma vista seccional transversal que mostra esquematicamente uma superfície de deslizamento na qual substancialmente nada, exceto grãos de silício de cristal primário, permanece sobressaindo.

A figura 23 é um diagrama para explicar um motivo pelo qual uma altura de relevo constante não pode ser obtida quando um processo de brunimento em relevo é empregado.

A figura 24 é um diagrama para explicar um motivo pelo qual uma altura de relevo constante é obtida quando um processo de ataque químico é empregado.

A figura 25 é um gráfico no qual os Exemplos 1 a 3 e os Exemplos Comparativos 1 a 11 são graficamente representados, em um eixo geométrico horizontal que representa uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e em um eixo geométrico vertical que representa uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 %, em relação a uma parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

A figura 26 é um gráfico que mostra um exemplo de uma distribuição de tamanho de grão preferível dos grãos cristalinos de silício.

A figura 27 é uma vista seccional transversal que mostra esquematicamente um

motor de combustão interna 150 com o bloco de cilindro 100.

A figura 28 é uma vista lateral que mostra esquematicamente uma motocicleta que incorpora o motor de combustão interna 150 mostrado na figura 27.

Descrição Detalhada das Modalidades Preferidas

5 A seguir, modalidades da presente invenção serão descritas em relação aos desenhos. Embora as seguintes descrições sejam direcionadas a um bloco de cilindro para um motor de combustão interna do tipo resfriado a água como um exemplo, a presente invenção não é limitada a ele. A presente invenção também é adequadamente usada em um bloco de cilindro para um motor de combustão interna do tipo resfriado a ar.

10 A figura 1 e a figura 2 mostram um bloco de cilindro de acordo com a presente modalidade (que também pode ser referido como um “corpo do cilindro”) 100. A figura 1 e a figura 2 são uma vista em perspectiva e uma vista seccional transversal que mostram esquematicamente o bloco de cilindro 100. O bloco de cilindro 100 é feito de uma liga de alumínio que contém silício e, mais especificamente, uma liga alumínio - silício de uma composição hipereutética que contém uma grande quantidade de silício.

15 Da forma mostrada na figura 1 e na figura 2, o bloco de cilindro 100 inclui: uma parte de parede (referida como uma “parede do cilindro”) 103, que define um furo de cilindro 102, e uma parte de parede (referida como uma “parede externa”) 104, que circunda a parede do cilindro 103 e que define o contorno externo do bloco de cilindro 100. Entre a parede do cilindro 103 e a parede externa 104, é fornecida uma camisa de água 105 para reter um agente refrigerante. Embora a presente modalidade ilustre um bloco de cilindro com um único cilindro 100, o bloco de cilindro 100 pode ter múltiplos cilindros.

20 Uma superfície 101 da parede do cilindro 103 voltada para o furo do cilindro 102 (isto é, a superfície periférica interna) define uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza (isto é, a superfície de deslizamento fica em contato com um pistão). A superfície de deslizamento 101 é mostrada ampliada na figura 3. A figura 3 é uma vista plana que mostra esquematicamente a superfície de deslizamento 101.

25 Da forma mostrada na figura 3, o bloco de cilindro 100 com a parede do cilindro 103 com a superfície de deslizamento 101 inclui uma pluralidade de grãos cristalinos de silício 1 e 2 na superfície de deslizamento 101. Estes grãos cristalinos de silício 1 e 2 estão presentes, de uma maneira dispersa, em uma matriz (metal base da liga) 3 de solução sólida que contém alumínio.

30 Os grãos cristalinos de silício, que são os primeiros a ser formados durante uma fusão de uma liga alumínio - silício que tem uma composição hipereutética, são referidos como “grãos de silício de cristal primário”. Os grãos cristalinos de silício, que são então formados, são referidos como “grãos de silício eutético”. Entre os grãos cristalinos de silício 1 e 2 mostrados na figura 2, os grãos cristalinos de silício relativamente grandes 1 são os grãos

de silício de cristal primário. Os grãos cristalinos de silício relativamente pequenos 2 presentes entre os grãos de silício de cristal primário são os grãos de silício eutético.

A figura 4 mostra uma estrutura seccional transversal da superfície de deslizamento 101. Da forma mostrada na figura 4, a pluralidade de grãos cristalinos de silício 1 e 2, incluindo os grãos de silício de cristal primário 1 e os grãos de silício eutético 2, se projeta (isto é, permanece sobressaindo) de uma matriz 3. Os rebaixos 4 formados entre os grãos cristalinos de silício 1 e 2 funcionam como poças de óleo nas quais um lubrificante ficará retido.

Os inventores estudaram os motivos pelos quais o processo de brunimento em relevo convencional ou o processo de ataque químico não podem obter uma capacidade de retenção de lubrificante suficiente. Assim, descobriu-se que a maior parte dos grãos de silício eutético é realmente removida da superfície de deslizamento de acordo com estas técnicas convencionais, de maneira tal que dificilmente seja obtida alguma contribuição dos grãos de silício eutético para a retenção do lubrificante, assim, resultando em uma baixa capacidade de retenção de lubrificante.

Dessa maneira, como os parâmetros que representam a rugosidade superficial da superfície de deslizamento 101, os inventores deram atenção a uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 %, e descobriram que ajustar estes parâmetros para ficar em faixas específicas pode melhorar enormemente a capacidade de a superfície de deslizamento 101 reter um lubrificante.

A rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é, em relação a uma parte tomada de um perfil seccional transversal, a parte que se estende a um comprimento de referência L (da forma mostrada na figura 5), uma diferença entre um valor médio de alturas $R1, R3, R5, R7$ e $R9$ dos cinco ápices mais altos e um valor médio das alturas $R2, R4, R6, R8$ e $R10$ dos cinco vales mais baixos, da forma expressa pela equação 1 a seguir. Portanto, uma grande rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} significa que as poças de óleo 4 têm uma profundidade suficiente.

Equação 1

$$Rz_{JIS} = \frac{(R1+R3+R5+R7+R9) - (R2+R4+R6+R8+R10)}{5}$$

Uma razão do comprimento de carga $Rmr(c)$ em um dado nível de corte c é, em relação a uma parte tomada de um perfil de rugosidade, a parte que se estende em um comprimento de avaliação ln (da forma mostrada na figura 6), uma razão da soma dos comprimentos de corte, quando o perfil de rugosidade for cortado em um nível de corte c que é paralelo a uma linha que conecta os ápices (isto é, comprimento da carga) $M1(c)$, pelo comprimento de avaliação ln , da forma expressa pela equação 2 a seguir.

Equação 2

$$Rmr(c) = \frac{100}{\ln} \sum_{i=1}^m Ml(c)_i \quad (\%)$$

Portanto, a razão do comprimento de carga $Rmr(c)$ é um índice que indica quantos grãos de silício 1 e 2 permanecem sobressaindo na superfície de deslizamento 101. Uma alta razão do comprimento de carga $Rmr(c)$ significa que um grande número de grãos de silício 1, 2 (e, em particular, os grãos de silício eutético 2) permanece sobressaindo. Em um estágio inicial da operação de um motor de combustão interna, a superfície mais externa da superfície de deslizamento 101 é abradada (expressa como “adequação”), aproximadamente até uma profundidade correspondente a um nível de corte de 30 %. Portanto, pode-se dizer que uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % serve como um parâmetro que indica quantos grãos de silício eutético 2 permanecem sobressaindo durante uma operação real.

Como exposto, uma grande rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} significa que as poças de óleo 4 têm uma profundidade suficiente, e uma alta razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ significa que um grande número de grãos de silício 1, 2, permanece sobressaindo na superfície de deslizamento 101 (isto é, permanecem sem declínio gradual). Portanto, pela garantia de que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 são maiores do que certos níveis, a capacidade de retenção de lubrificante da superfície de deslizamento 101 pode ser melhorada. Entretanto, se a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 forem aumentadas de uma maneira simples, isto é, uniformemente, por toda a superfície de deslizamento 101, o grande número de grãos de silício eutético 2 que permanece sobressaindo na superfície de deslizamento 101 induzirá uma maior perda por atrito.

No bloco de cilindro 100 da presente modalidade, cada uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % difere entre uma parte 1/4 superior 101a e uma parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101 (veja figura 2). Especificamente, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento 101 e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 em um nível de corte de 30 % são maiores na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101 do que na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Uma vez que a rugosidade superficial da superfície de deslizamento 101 tem uma distribuição como esta, a perda por atrito pode ser reduzida, ainda garantindo excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento. Doravante, os motivos disto serão descritos.

É desnecessário dizer que o “lado superior” da superfície de deslizamento 101 significa o lado do cabeçote do cilindro (isto é, o lado do centro morto de topo), enquanto que o

“lado inferior” da superfície de deslizamento 101 significa o lado do cárter (isto é, o lado do centro morto de base). Especificamente, quando toda a superfície de deslizamento 101 for igualmente dividida em quatro partes ao longo da direção do lado do pistão (a direção do eixo geométrico central do furo do dispositivo 102), a parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101 diz respeito a uma região que é a mais próxima do cabeçote do cilindro, enquanto que a parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101 diz respeito a uma região que é a mais próxima do cárter.

A figura 7 mostra um relacionamento exemplar, em um motor de combustão interna de 4 cursos convencional, entre o ângulo da manivela, a pressão de gás (pressão no cilindro) e a força de atrito que ocorre entre um pistão (incluindo um anel do pistão) e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro. Note que, como para o ângulo da manivela, o centro morto de topo da compressão é definido como 0° . Como para a força de atrito, qualquer força de atrito que ocorre na direção oposta à direção de rotação a favor do virabrequim é indicada com um valor positivo. Quando considera-se a influência de uma força de atrito que ocorre entre o pistão e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro, somente o valor absoluto da força de atrito mostrada na figura 7 precisa ser considerada. O motivo pelo qual a força de atrito é substancialmente 0 nos ângulos da manivela $\pm 360^\circ$, $\pm 180^\circ$, 0° é que, quando o ângulo da manivela está próximo de algum destes ângulos, o movimento do pistão é muito pequeno em relação às mudanças no ângulo da manivela, de forma que dificilmente ocorra alguma força de atrito.

Da forma mostrada na figura 7, durante a etapa de entrada, a força de atrito que ocorre entre a face lateral do pistão e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro é substancialmente constante, de maneira tal que a força de atrito seja maior próxima de um ângulo de manivela de -270° , quando a velocidade de deslizamento aumenta. Similarmen-

te, durante a etapa de compressão, a força de atrito é substancialmente constante, de maneira tal que a força de atrito seja maior próxima de um ângulo de manivela de -90° , quando a velocidade de deslizamento aumenta.

Por outro lado, durante a etapa de explosão, a força de atrito que age na superfície de deslizamento do bloco de cilindro varia enormemente, de maneira tal que a força de atrito tome o maior valor por todas as quatro etapas próximo de um ângulo de manivela de 0° , quando a pressão de gás se torna máxima (uma região R1 circundada por uma linha pontilhada na figura 7). Em outras palavras, imediatamente depois da explosão, a força de atrito é maior, e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro e o pistão (mais especificamente, o anel do pistão e a saia do pistão) entram em contato forte e direto. Um motivo pelo qual a força de atrito se torna grande imediatamente depois da explosão é que, da forma mostrada na figura 8A, o gás de combustão entra entre o pistão e o anel do pistão em função da pressão da explosão (pressão de ignição), assim, pressionando o anel do pistão contra a

superfície de deslizamento do bloco de cilindro. Um outro motivo é que, da forma mostrada na figura 8B, o pistão é inclinado em relação ao furo de cilindro imediatamente depois da explosão. Neste estado, o anel do pistão é fortemente pressionado contra a superfície de deslizamento do bloco de cilindro (região A circundada por uma linha rompida na figura 8B), de forma que a saia do pistão seja fortemente pressionada contra a superfície de deslizamento do bloco de cilindro (região B circundada por uma linha rompida na figura 8B). Em decorrência disto, uma grande força de atrito ocorre não somente entre o anel do pistão e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro, mas também entre a saia do pistão e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro. Além do mais, quando o pistão e a superfície de deslizamento do bloco de cilindro esfregam fortemente um contra o outro, a velocidade de movimento relativa do pistão em relação à superfície de deslizamento diminui, de forma que retenção apropriada de um filme de óleo para reduzir a força de atrito não ocorra na superfície da superfície de deslizamento, assim, aumentando adicionalmente a força de atrito.

Por outro lado, uma vez que a pressão de gás diminui posteriormente, a força de atrito diminui (região R2 circundada por uma linha pontilhada na figura 7). Em outras palavras, exceto pelo estágio muito inicial da etapa de explosão, a pressão de contato entre a superfície de deslizamento do bloco de cilindro e o pistão é baixa.

Portanto, na superfície de deslizamento do bloco de cilindro, qualquer parte que entre em contato com o pistão próximo do centro morto de topo da compressão (especificamente, uma faixa de ângulo de manivela de -45° até $+45^\circ$) precisa ter alta resistência à abrasão e resistência ao emperramento. Em relação a outras partes, a suavidade da superfície, isto é, ter um baixo coeficiente de atrito, é mais importante do que ter excessiva resistência à abrasão e resistência ao emperramento.

No bloco de cilindro 100 da presente modalidade, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento 101 e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 em um nível de corte de 30 % são maiores na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101 do que na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Em decorrência disto, é possível aumentar a capacidade de retenção de lubrificante da superfície de deslizamento 101 na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101, ainda diminuindo o coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Portanto, a perda por atrito pode ser reduzida, ainda garantindo excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento.

A fim de obter excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento pela melhoria suficiente da capacidade de retenção de lubrificante (isto é, permitindo que os grãos de silício eutético 2 na superfície de deslizamento 101 contribuam suficientemente para a retenção de lubrificante), é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS}

seja de 0,54 μm ou mais e que a razão do comprimento de carga Rmr(30) em um nível de corte de 30 % seja 20 % ou mais na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101. Entretanto, no caso da produção do bloco de cilindro 100 por um método de produção que envolve um processo de ataque químico, como será descrito posteriormente, a grande quantidade de grãos cristalinos de silício que permanecem sobressaindo pode ocasionar um dano ou abrasão significativos na contraparte (anel do pistão e/ou pistão) se a razão do comprimento de carga Rmr(30) exceder 55 % e, portanto, preferivelmente, a razão do comprimento de carga Rmr(30) é 55 % ou menos. Além do mais, do ponto de vista de aumentar adicionalmente a capacidade de retenção de lubrificante, é mais preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 0,7 μm ou mais e, do ponto de vista de impedir o declínio gradual dos grãos de silício eutético 2 e qualquer abrasão significativa da contraparte, é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 2,0 μm ou menos.

Além do mais, a fim de reduzir suficientemente a perda por atrito pela diminuição suficiente do coeficiente de atrito, é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja menor que 0,54 μm e que a razão do comprimento de carga Rmr(30) em um nível de corte de 30 % seja 15 % ou menos na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Note que, do ponto de vista de reduzir adicionalmente a perda por atrito, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga Rmr(30) ficam, mais preferivelmente, nas faixas numéricas supramencionadas na parte 1/2 inferior da superfície de deslizamento 101 e, ainda mais preferivelmente, nas faixas numéricas supramencionadas na parte 3/4 inferior da superfície de deslizamento 101.

Da forma supradescrita, no bloco de cilindro 100 da presente modalidade, a rugosidade superficial da superfície de deslizamento 101 tem uma distribuição. Por outro lado, em um bloco de cilindro convencional, substancialmente a mesma rugosidade superficial existe através de toda a superfície de deslizamento. Em outras palavras, a presente invenção foi feita com base em um conceito inteiramente inédito de introduzir propositadamente uma diferença na rugosidade superficial (especificamente, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga Rmr(30) em um nível de corte de 30 %) entre uma parte e uma outra parte da superfície de deslizamento 101.

Um método para produzir um bloco de cilindro 100 da presente modalidade será descrito em relação às figuras 9 até 12B. A figura 9 e a figura 10 são fluxogramas que mostram etapas de produção para o bloco de cilindro 100. As figuras 11A até 11E e as figuras 12A e 12B são vistas seccionais transversais que mostram esquematicamente, de forma parcial, as etapas de produção.

Primeiro, uma peça moldada que é feita de uma liga de alumínio que contém silício é fornecida (etapa S1). Esta peça moldada inclui grãos de silício de cristal primário e grãos de silício eutético próximo da superfície. A etapa S1 de fornecer a peça moldada pode inclu-

ir, por exemplo, etapas S1a até S1e mostradas na figura 10.

Primeiro, uma liga de alumínio que contém silício é preparada (etapa S1a). A fim de garantir resistência à abrasão e resistência mecânica suficientes do bloco de cilindro 100, é preferível usar uma liga de alumínio que contém: não menos que 73,4 % em massa e não mais que 79,6 % em massa de alumínio; não menos que 16 % em massa e não mais que 22 % em massa de silício; e não menos que 2,0 % em massa e não mais que 5,0 % em massa de cobre.

A seguir, a liga de alumínio preparada é aquecida e fundida em um forno de fusão, de acordo com o que, é formada uma fusão (etapa S1b). É preferível que cerca de 100 ppm em massa de fósforo sejam adicionadas na liga de alumínio antes da fusão ou na fusão. Se a liga de alumínio contiver não menos que 30 ppm em massa e não mais que 200 ppm em massa de fósforo, torna-se possível reduzir a tendência de os grãos cristalinos de silício ficarem gigantesco, assim, permitindo a uniforme dispersão dos grãos cristalinos de silício na liga. Por outro lado, se o conteúdo de cálcio na liga de alumínio for de 0,01 % em massa ou menos, o efeito de fornecer finos grãos cristalinos de silício em função do fósforo é assegurado, e pode-se obter uma estrutura metalúrgica com excelente resistência à abrasão. Em outras palavras, a liga de alumínio contém, preferivelmente, não menos que 50 ppm em massa e não mais que 200 ppm em massa de fósforo, e não mais que 0,01 % em massa de cálcio.

A seguir, fundição é realizada pelo uso do banho líquido da liga de alumínio (etapa S1c). Em outras palavras, o banho líquido é resfriado em um molde para formar uma peça moldada. Neste momento, a parte a se tornar a superfície de deslizamento 101 da parede do cilindro 103 é resfriada em uma grande velocidade de resfriamento (por exemplo, não menos que 4 °C / seg e não mais que 50 °C / seg), de acordo com o que, é obtida uma peça moldada que inclui grãos cristalinos de silício que contribuem para a resistência à abrasão próximo de sua superfície. Esta etapa de fundição S1c pode ser realizada pelo uso, por exemplo, de um aparelho de fundição que é divulgado no folheto da Publicação Internacional 2004/002658.

A seguir, a peça moldada que foi retirada do molde é submetida a um dos tratamentos térmicos comumente conhecidos como "T5", "T6" e "T7" (etapa S1d). Um tratamento T5 é um tratamento no qual a peça moldada é rapidamente resfriada (com água ou congêneres) imediatamente depois de ser retirada do molde e, posteriormente, submetida a envelhecimento artificial em uma temperatura pré-determinada por um período de tempo pré-determinado para obter melhores propriedades mecânicas e estabilidade dimensional, seguido por resfriamento a ar. Um tratamento T6 é um tratamento no qual a peça moldada é submetida a um tratamento de solução em uma temperatura pré-determinada por um período pré-determinado depois de ser retirada do molde, então, resfriada com água e, posteri-

ormente, submetida a envelhecimento artificial em uma temperatura pré-determinada por um período de tempo pré-determinado, seguido pelo resfriamento a ar. Um tratamento T7 é um tratamento para ocasionar um grau mais forte de envelhecimento do que no tratamento T6, embora o tratamento T7 possa garantir melhor estabilidade dimensional do que o tratamento T6, a dureza resultante será menor do que aquela obtida do tratamento T6.

A seguir, usinagem pré-determinada é realizada na peça moldada (etapa S1e). Especificamente, uma superfície que apóia-se em um cabeçote do cilindro e uma superfície que apóia-se em um cárter são submetidas a esmerilhamento ou congêneres.

Depois de a peça moldada ser preparada da forma supradescrita, da forma mostrada na figura 11A, a superfície da peça moldada, especificamente, a superfície periférica interna da parede do cilindro 103 (isto é, a superfície a se tornar a superfície de deslizamento 101) é submetida a um fino processo de furação para ajuste de precisão dimensional (etapa S2).

A seguir, da forma mostrada na figura 11B, a superfície que passou por um fino processo de furação é submetida a um processo de brunimento grosseiro (etapa S3). Em outras palavras, a superfície a se tornar a superfície de deslizamento 101 é polida pelo uso de um brunidor com um valor de rugosidade relativamente pequeno (especificamente, com uma granularidade de não menos que 600 e não mais que 1.000). Este processo de brunimento grosseiro pode ser realizado pelo uso de um aparelho brunidor divulgado na publicação de patente aberta japonesa 2004-268179, por exemplo.

A seguir, da forma mostrada na figura 11C, um processo de brunimento com acabamento espelhado é realizado (etapa S4). Em outras palavras, a região da superfície da peça moldada a se tornar a superfície de deslizamento 101 é polida pelo uso de um brunidor com um valor de rugosidade relativamente grande (especificamente com um valor de rugosidade de 1.500 ou mais). Este processo de brunimento com acabamento espelhado também pode ser realizado pelo uso de um aparelho brunidor tal como aquele divulgado na publicação de patente aberta japonesa 2004-268179.

A seguir, da forma mostrada na figura 11D, somente uma parte da região polida é gravada (etapa S5). Na parte que foi submetida ao processo de ataque químico (por exemplo, um processo de ataque químico alcalino), a matriz 3 próxima da superfície é removida até uma espessura pré-determinada, de acordo com o que, os rebaixos são formados entre os grãos de silício de cristal primário 1 e os grãos de silício eutético 2. Da forma mostrada na figura 12A, esta etapa de ataque químico é realizada pela instalação de um elemento cilíndrico 11 no orifício de cilindro 102 de uma peça moldada 100' que é instalada em uma posição invertida (isto é, de cabeça para baixo em relação a como ela será instalada quando um motor de combustão interna for montado), o elemento correção cilíndrico 11 com um diâmetro menor que aquele do furo do cilindro 102. Neste estado, um líquido de gravar 12 é

usado para encher entre a superfície periférica externa do elemento cilíndrico 11 e a superfície periférica interna da parede do cilindro 103, até uma altura pré-determinada. Note que o processo de ataque químico nesta etapa de ataque químico localizado deve ser realizado para pelo menos a parte 1/4 superior da região a se tornar a superfície de deslizamento 101 (na figura 12A, esta parte corresponde à parte 1/4 inferior da superfície periférica interna da parede do cilindro 103, uma vez que a peça moldada 100' está em uma posição invertida).

Posteriormente, da forma mostrada na figura 11E, toda a região a se tornar a superfície de deslizamento 101 é gravada (etapa S6). Através do processo de ataque químico, na íntegra da região a se tornar a superfície de deslizamento 101, a matriz 3 próxima da superfície é removida até uma espessura pré-determinada, de acordo com o que, é formada a superfície de deslizamento 101 com os grãos de silício de cristal primário 1 e os grãos de silício eutético 2 que se projetam dali. Os rebaixos 4 entre os grãos de silício de cristal primário 1 e os grãos de silício eutético 2 funcionam como poças de óleo. Da forma mostrada na figura 12B, esta etapa de ataque químico geral é realizada pela adição de mais produto do ataque químico 12 para encher o espaço entre a superfície periférica externa do elemento cilíndrico 11 e a superfície periférica interna da parede do cilindro 103 com o produto do ataque químico 12 até uma altura de maneira tal que toda a superfície periférica interna da parede do cilindro 103 fique imersa no produto do ataque químico 12 (isto é, a altura máxima). A extremidade superior do elemento cilíndrico 11 é aberta, assim, permitindo que o produto do ataque químico 12 seja coletado através do interior do elemento cilíndrico 11 e circule.

Note que as etapas de dimensionamento a ser realizadas antes do processo de brunimento com acabamento espelhado (etapa S4) não são limitadas às duas etapas exemplificadas anteriormente, isto é, um fino processo de furação (etapa S2) e um processo de brunimento grosseiro (etapa S3). O dimensionamento pode ser realizado por meio de uma única etapa, ou o dimensionamento pode ser realizado através de três ou mais etapas.

De acordo com o método de produção da presente modalidade, depois de realizar uma etapa de ataque químico localizado (primeira ataque químico) de somente gravar uma parte da região a se tornar a superfície de deslizamento 101, é realizada uma etapa de ataque químico geral (segundo ataque químico) para gravar toda a região a se tornar a superfície de deslizamento 101. Em decorrência disto, embora uma parte da região a se tornar a superfície de deslizamento 101 seja submetida a dois processos de ataque químico, a outra parte é submetida somente a um processo de ataque químico. Portanto, uma distribuição pode ser introduzida na dimensão da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e na razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ na superfície de deslizamento 101 e, portanto, cada uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 pode se tornar diferente entre a parte 1/4 superior 101a e a

parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Em decorrência disto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 podem se tornar maiores na parte 1/4 superior 101a do que na parte 1/4 inferior 101b.

5 A rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ de cada uma da parte que é submetida a um processo de ataque químico e da parte que é submetida a dois processos de ataque químico podem ser ajustadas com base na concentração e temperatura do produto do ataque químico, tempo do ataque químico (tempo de imersão) e congêneres da etapa de ataque químico localizado e da etapa de ataque químico geral.

10 Note que, da forma mostrada na figura 13, a etapa de ataque químico geral pode ser omitida. Em outras palavras, depois da etapa de ataque químico localizado (primeiro ataque químico) S5, não há necessidade de realizar uma etapa de ataque químico adicional para gravar a região a se tornar a superfície de deslizamento 101. Neste caso, da forma mostrada na figura 14, a etapa de ataque químico localizado é realizada pelo uso de um elemento cilíndrico 11, que é mais baixo que o elemento cilíndrico 11 mostrado na figura 12, e, por meio de uma extremidade superior aberta do elemento cilíndrico 11, o produto do ataque químico 12 é coletado através do interior do elemento cilíndrico 11 e permitido circular.

20 Mesmo quando a etapa de ataque químico geral for omitida, cada uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ pode se tornar diferente entre a parte que é submetida a um processo de ataque químico na etapa de ataque químico localizado e a outra parte que não é submetida absolutamente a nenhum processo de ataque químico. Portanto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 11 podem se tornar maiores na parte 1/4 superior 101 do que na parte 1/4 inferior 101b. Entretanto, no caso em que a etapa de ataque químico geral for omitida, é preferível ajustar a quantidade de ataque químico na etapa de ataque químico localizado de forma que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 se tornem suficientemente grandes através do processo de ataque químico da etapa de ataque químico localizado somente.

30 Além do mais, o bloco de cilindro 100 da presente modalidade também pode ser produzido pelo uso de um método de produção mostrado na figura 15, que não inclui uma etapa de ataque químico localizado. O método de produção mostrado na figura 15 é idêntico aos métodos de produção mostrados na figura 9 e na figura 13 até a etapa de brunimento com acabamento espelhado (etapa S4). No método de produção mostrado na figura 15, depois do método de brunimento com acabamento espelhado, da forma mostrada na figura 16A, uma etapa de ataque químico geral para gravar a região a se tornar a superfície de

deslizamento 101 (a íntegra da região) é realizada (etapa S7). Posteriormente, um revestimento é fornecido somente em uma parte da região gravada (etapa S8).

Nesta etapa de revestimento parcial, primeiro, da forma mostrada na figura 16B, um elemento de máscara cilíndrico 14 com, substancialmente, o mesmo diâmetro do furo do cilindro 102 é instalado no furo do cilindro 102. Posteriormente, da forma mostrada na figura 16C, um disparador interno 16 é inserido no furo do cilindro 102, e um material de revestimento é aspergido por chama a partir do disparador interno 16, assim, fornecendo um revestimento não mascarado da superfície periférica interna da parede do cilindro 103. O revestimento é fornecido pelo menos na parte 1/4 inferior da região a se tornar a superfície de deslizamento 101 (que corresponde à parte 1/4 superior da superfície periférica interna da parede do cilindro 103 na figura 16C em virtude de a peça moldada 100' ficar em uma posição invertida).

Pela realização de uma etapa de revestimento parcial depois de uma etapa de ataque químico geral, pode-se garantir que cada uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ seja diferente entre a parte revestida e a parte não revestida. Especificamente, cada uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ pode se tornar menor na parte revestida do que na parte não revestida. Assim, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 podem se tornar maiores na parte 1/4 superior 101a do que na parte 1/4 inferior 101b.

Como o material de revestimento, pode ser usada uma ampla faixa de materiais que são improváveis de aderir ao material do pistão e que têm uma excelente lubricidade. Uma mistura de poliamida imida e dissulfeto de molibdênio é adequadamente usada como o material de revestimento em virtude de ela exceder em resistência térmica, baixo atrito e resistência ao emperramento em contato direto. Percebe-se que o material de revestimento não é limitado a este. Por exemplo, cerâmica (carbureto cimentado, etc.) pode ser usada.

Em qualquer um dos métodos de produção supradescritos, um ataque químico é realizado depois de um polimento usando um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais. Em outras palavras, um processo de suavização da superfície (através de um processo de brunimento com acabamento espelhado) é realizado primeiro e, então, um esmerilhamento químico (por meio de ataque químico) é realizado, de acordo com o que os rebaixos 4 a se tornar poças de óleo são formados. Pela formação da superfície de deslizamento 101 desta maneira (isto é, a superfície de deslizamento 101 é uma superfície de deslizamento que passou por um processo de ataque químico), permite-se que os grãos de silício eutético 2 permaneçam na superfície de deslizamento 101 sem declínio gradual, de forma que os grãos de silício eutético 2 possam contribuir suficientemente para a retenção de lubrificante. Em outras palavras, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de

carga Rmr(30) na parte (parte 1/4 superior) da superfície de deslizamento 101 em que alta resistência à abrasão e resistência ao emperramento são exigidas podem se tornar suficientemente grandes. Por outro lado, com um processo de brunimento em relevo e processo de ataque químico convencionais, é difícil tornar a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga Rmr(30) suficientemente grandes. A seguir, serão descritos os motivos por trás disto.

No caso em que um processo de brunimento em relevo for empregado para formar a superfície de deslizamento 101, uma peça moldada com grãos de silício de cristal primário e grãos de silício eutético próximo da sua superfície é preparada primeiro (mesma etapa da etapa S1 mostrada na figura 9) e, então, a superfície da peça moldada é submetida a um fino processo de furação, da forma mostrada na figura 17A. Então, depois de realizar um processo de brunimento grosseiro da forma mostrada na figura 17B, um processo de brunimento em relevo é realizado da forma mostrada na figura 17C. O processo de brunimento em relevo é realizado pelo uso de uma escova de resina na qual grãos abrasivos são aderidos, e é realizado de uma maneira tal que principalmente a matriz 3 seja cortada. Entretanto, o processo de brunimento em relevo, que é um processo de esmerilhamento mecânico, removerá inevitavelmente uma parte dos grãos de silício eutético 2 juntamente com a matriz 3, da forma esquematicamente mostrada na figura 17C. Portanto, os grãos de silício eutético 2 não contribuem muito para a retenção de lubrificante.

Por outro lado, no caso em que a superfície de deslizamento 101 for formada por meio de um processo de ataque químico que não é precedido por um processo de brunimento com acabamento espelhado, uma peça moldada com grãos de silício de cristal primário e grãos de silício eutético próximos da sua superfície é preparada primeiro (mesma etapa da etapa S1 mostrada na figura 9) e, então, a superfície da peça moldada é submetida a um fino processo de furação mostrado na figura 18A. A seguir, um processo de brunimento grosseiro é realizado da forma mostrada na figura 18B e, posteriormente, um processo de ataque químico é realizado da forma mostrada na figura 18C. Neste caso, estes grãos de silício eutético 2, cujas superfícies foram danificadas por meio do processo de brunimento grosseiro (isto é, trincadas ou rompidas), permanecerão sobressaindo. Consequentemente, tais grãos de silício eutético 2 declinam gradualmente na superfície de deslizamento da forma esquematicamente mostrada na figura 18C. Portanto, os grãos de silício eutético 2 não contribuem muito para a retenção de lubrificante.

Na presente modalidade, um processo de brunimento com acabamento espelhado é realizado antes de um processo de ataque químico, em cujo caso o processo de ataque químico (que é um processo de esmerilhamento químico) não remove os grãos de silício eutético 2 juntamente com a matriz 3, diferente do processo de brunimento em relevo (que é um esmerilhamento mecânico). Além do mais, uma vez que a superfície é suavizada por

meio do processo de brunimento com acabamento espelhado (que também abrange a superfície dos grãos de silício eutético 2) antes do processo de ataque químico, o declínio gradual dos grãos de silício eutético 2 ocorre menos frequentemente do que no caso em que o processo de ataque químico é realizado imediatamente depois de um processo de brunimento grosseiro. Portanto, os grãos de silício eutético 2 contribuem suficientemente para a retenção de lubrificante.

Note que, em todos os métodos supramencionados, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 resultante variam em duas etapas, do lado superior na direção do lado inferior. Entretanto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 podem variar em um maior número de etapas, ou variar gradualmente (por exemplo, linearmente).

A seguir, serão descritos resultados da prototipação real dos blocos de cilindro 100 de acordo com a presente modalidade e da sujeição deles a um teste de avaliação de resistência ao emperramento e a medições de coeficiente de atrito.

Usando uma liga de alumínio da composição mostrada na Tabela 1, uma peça moldada a se tornar um bloco de cilindro 100 foi produzida por uma técnica de fundição em molde em alta pressão igual àquela divulgada no folheto da Publicação Internacional 2004/002658.

Tabela 1

Si	Cu	Mg
22,00 % em massa	2,50 % em massa	0,50 % em massa
Fe	P	Al
0,30 % em massa	0,01 % em massa	Equilíbrio

Pelo uso das moldagens produzidas, os blocos de cilindro 100 foram produzidos pelos respectivos métodos de produção que foram descritos em relação à figura 9, à figura 13 e à figura 15 (Exemplos 1 a 3).

Os processos de brunimento (processo de brunimento grosseiro e processo de brunimento com acabamento espelhado) foram realizados pelo uso de um aparelho de brunimento divulgado na publicação de patente aberta japonesa 2004-268179, ainda suprimindo óleo de resfriamento sobre a superfície a ser polida (isto é, brunimento molhado). Um brunidor com aspereza 600 foi usado para o processo de brunimento grosseiro, enquanto que um brunidor com aspereza 2.000 foi usado para o processo de brunimento com acabamento espelhado. Note que um maior valor de rugosidade indica que o brunidor tem grãos abrasivos mais finos e, portanto, a superfície polida alcançará uma maior suavidade. Entretanto, à medida que os grãos abrasivos ficam mais finos, a velocidade do corte diminui, assim, resultando em um maior tempo de processamento e menor produtividade. Em outras palavras, o

método de produção de acordo com a presente modalidade ousa realizar o processo de brunimento com acabamento espelhado, que é desvantajoso em termos de produtividade.

Tanto na etapa de ataque químico localizado quanto na etapa de ataque químico geral, o processo de ataque químico foi realizado pelo uso de uma solução de hidróxido de sódio com 5 % em massa, sob condições de maneira tal que a temperatura da solução fosse de 70 °C. A quantidade de ataque químico (profundidade do ataque químico) foi ajustada pela variação do tempo de imersão.

Um motor de combustão interna foi montado pelo uso do bloco de cilindro 100 bem como de um pistão de liga de alumínio que foi separadamente produzido por forjamento. Imediatamente depois de um estado em que o motor de combustão interna ainda estava frio e o lubrificante não tinha permeado o cilindro, este motor de combustão interna foi operado por 5 minutos em uma velocidade de revolução de 8.000 rpm, e riscos que ocorrem na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101 (isto é, desgaste) foram observados por meio de inspeção visual para determinar se o bloco de cilindro está qualificado para uso. Os resultados (isto é, resultados da avaliação de resistência ao emperramento) são mostrados na Tabela 2 a seguir.

A Tabela 2 também mostra resultados de medições do coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. As medições de coeficiente de atrito foram tomadas pelo emprego de uma máquina de teste de arranhão 30 mostrada na figura 19. A máquina de teste de arranhão 30 inclui um estilete 31, um sensor de emissão acústica (AE) 32, um sensor de profundidade de pressionamento (não mostrado) e congêneres. Durante a aplicação de uma carga vertical pré-determinada F_N no estilete 31, uma amostra 35 é movida horizontalmente, em decorrência do que o estilete 31 raspa na superfície da amostra 35. Assim, a força de atrito F_T é detectada, e o coeficiente de atrito pode ser medido. Aqui, uma esfera SUJ2 foi usada como o estilete 31, e uma pequena parte que foi eliminada por corte do bloco de cilindro 100 foi usada como a amostra 35. As medições foram feitas durante o gotejamento de óleo sobre a superfície da amostra 35.

Além do mais, a Tabela 3 mostra uma rugosidade média de dez pontos $R_{Z_{JIS}}$ e uma razão do comprimento de carga $R_{mr}(30)$ em um nível de corte de 30 % da superfície de deslizamento 101, medidas pelo uso de SURFCOM 1400D fabricado pela TOKYO SEIMITSU CO., LTF, em relação à parte 1/4 superior 101a e à parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Como já foi descrito, a rugosidade média de dez pontos $R_{Z_{JIS}}$ é um parâmetro que pode ser usado para avaliar a profundidade das poças de óleo 4, enquanto que a razão do comprimento de carga $R_{mr}(30)$ é um parâmetro que pode ser usado para avaliar o número de grãos de silício eutético 2 que permanecem sobressaindo (isto é, permanecendo sem declínio gradual) na superfície de deslizamento 101.

Tabela 2

	etapa	1/4 superior	1/4 inferior
		avaliação da resistência ao emperramento	coeficiente de atrito
Exemplo 1	600 → 2.000 → ataque químico localizado → ataque químico geral	OK	0,15
Exemplo 2	600 → 2.000 → ataque químico localizado	OK	0,1
Exemplo 3	600 → 2.000 → ataque químico geral → revestimento parcial	OK	0,05
Exemplo Comparativo 1	600 → 2.000	NG	0,1
Exemplo Comparativo 2	600 → 2.000 → brunimento em relevo	NG	0,1
Exemplo Comparativo 3	600 → 2.000 → brunimento em relevo	NG	0,1
Exemplo Comparativo 4	600 → 2.000 → brunimento em relevo	NG	0,1
Exemplo Comparativo 5	600 → 2.000 → brunimento em relevo	NG	0,1
Exemplo Comparativo 6	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	NG	0,2
Exemplo Comparativo 7	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	OK	0,2
Exemplo Comparativo 8	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	OK	0,3
Exemplo Comparativo 9	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	OK	0,3
Exemplo Comparativo 10	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	OK	0,3
Exemplo Comparativo 11	600 → 2.000 → ataque químico alcalino	OK	0,3

Tabela 3

	1/4 superior		1/4 inferior	
	Rz _{JIS} [μm]	Rmr(30) [%]	Rz _{JIS} [μm]	Rmr(30) [%]
Exemplo 1	1,34	43	0,39	15

Exemplo 2	1,28	43	0,28	10
Exemplo 3	1,53	53	0,25	8
Exemplo Comparativo 1	0,28	8	0,28	7
Exemplo Comparativo 2	0,43	15	0,46	15
Exemplo Comparativo 3	0,45	12	0,49	10
Exemplo Comparativo 4	0,43	5	0,40	7
Exemplo Comparativo 5	0,76	3	0,76	3
Exemplo Comparativo 6	0,40	50	0,38	53
Exemplo Comparativo 7	0,54	40	0,50	40
Exemplo Comparativo 8	1,32	45	1,29	44
Exemplo Comparativo 9	0,82	30	0,79	29
Exemplo Comparativo 10	1,10	50	1,22	48
Exemplo Comparativo 11	2,76	20	2,54	18

Além do mais, a Tabela 2 e a Tabela 3 também mostram resultados das avaliações e medições feitas similares para blocos de cilindro que foram produzidos como Exemplos Comparativos. No Exemplo Comparativo 1, depois de um processo de brunimento grosseiro e de um processo de brunimento com acabamento espelhado, não foram realizados nem um processo de brunimento em relevo nem um processo de ataque químico. Nos Exemplos Comparativos 2 a 5, um processo de brunimento em relevo foi realizado depois de um processo de brunimento grosseiro e de um processo de brunimento com acabamento espelhado. Nos Exemplos Comparativos 6 a 11, toda a superfície de deslizamento foi submetida a um processo de ataque químico depois de um processo de brunimento grosseiro e de um processo de brunimento com acabamento espelhado.

Como pode-se ver a partir da Tabela 2 e da Tabela 3, em todos os Exemplos 1 a 3, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento 101 e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento 101 em um nível de corte de 30 % são maiores na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101 do que na parte 1/4 inferior 101b, de acordo com o que, uma excelente resistência ao emperramento e uma redução na perda por atrito (aqui, até um coeficiente de atrito de 0,15 ou menor) são realizadas.

Além do mais, em relação a todos os Exemplos 1 a 3, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 0,54 μm ou mais e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ é 20 % ou mais na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101. Isto indica que, a fim de obter uma excelente resistência ao emperramento, é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja de 0,54 μm ou mais e que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ seja 20 % ou mais na parte 1/4 superior 101a da superfície de deslizamento 101.

Além do mais, em todos os Exemplos 1 a 3, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é menor que $0,54\ \mu m$ e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ é 15 % ou menos na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101. Isto indica que, a fim de obter uma redução suficiente da perda por atrito (aqui, até um coeficiente de atrito de 0,15 ou menor), é preferível que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} seja menor que $0,54\ \mu m$ e que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ seja 15 % ou menos na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101.

Em todos os Exemplos Comparativos 1 a 11, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % da superfície de deslizamento são substancialmente as mesmas através de toda a superfície de deslizamento, assim, sendo substancialmente as mesmas entre a parte 1/4 superior e a parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento. Portanto, uma resistência ao emperramento inferior e/ou uma maior perda por atrito (aqui, um coeficiente de atrito de 0,2 ou mais) foram obtidas.

Especificamente, no Exemplo Comparativo 1, em que não foram realizados nem um processo de ataque químico nem um processo de brunimento em relevo depois de um processo de brunimento com acabamento espelhado, e nos Exemplos Comparativos 2 a 5, em que um processo de brunimento em relevo foi realizado depois de um processo de brunimento com acabamento espelhado, o coeficiente de atrito foi baixo, mas ocorreu desgaste.

Além do mais, nos Exemplos Comparativos 7 a 11, em que toda a superfície foi submetida a um processo de ataque químico depois de um processo de brunimento com acabamento espelhado, não ocorreu nenhum desgaste, mas o coeficiente de atrito foi grande. Além do mais, no Exemplo Comparativo 6, em que toda a superfície de deslizamento foi submetida a um processo de brunimento em relevo depois de um processo de brunimento com acabamento espelhado, mas por um tempo de ataque químico menor do que nos Exemplos Comparativos 7 a 11, ocorreu desgaste e o coeficiente de atrito também foi alto.

A figura 20 é um gráfico no qual os Exemplos 1 a 3 e os Exemplos Comparativos 1 a 11 são graficamente representados em um eixo geométrico horizontal que representa a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e em um eixo geométrico vertical que representa a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$, em relação à parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

Como pode-se ver a partir da figura 20, nos Exemplos 1 a 3 e nos Exemplos Comparativos 7 a 11, em que não ocorreu nenhum desgaste, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} foi de $0,54\ \mu m$ ou mais e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ foi de 20 % ou mais. Por outro lado, nos Exemplos Comparativos 1 a 6, que sofreram desgaste, pelo menos uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ cai fora da(s) supramencionada(s) faixa(s) numérica(s). Portanto, pode-se ver que a capacidade de retenção de lubrificante na parte 1/4 superior 101a da superfície de desli-

zamento 101 é melhorada e o desgaste é impedido sob as condições em que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de $0,54\ \mu\text{m}$ ou mais e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é 20 % ou mais. Note que, quando a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} for significativamente grande (especificamente, excedendo $4,0\ \mu\text{m}$), significativo declínio gradual dos finos grãos de silício eutético 2 pode ocorrer de forma que os finos vazios para retenção de lubrificante (poças de óleo 4 com uma fina oscilação) possam diminuir. Portanto, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é preferivelmente de $4,0\ \mu\text{m}$ ou menos e, mais preferivelmente, de $2,0\ \mu\text{m}$ ou menos.

Como exposto, uma alta capacidade de retenção de lubrificante é obtida quando não somente grãos de silício de cristal primário 1, mas também um grande número de grãos de silício eutético 2, permanecem sobressaindo na superfície de deslizamento 101. Da forma esquematicamente mostrada na figura 21, poças de óleo 4 de profundidade suficiente são formadas com uma fina oscilação quando um grande número de grãos de silício eutético 2 permanece sobressaindo, de acordo com o que, a capacidade de retenção de lubrificante é aprimorada e a resistência ao emperramento é melhorada. Uma vez que um grande número de grãos de silício eutético 2 permanece sobressaindo, a área das partes que realmente entra em contato com o anel do pistão 122a aumenta, se comparado com o caso em que somente os grãos de silício de cristal primário 1 permanecem sobressaindo. Em decorrência disto, a carga por área unitária que é aplicada durante um deslizamento é reduzida, de acordo com o que, uma melhor resistência à abrasão é obtida.

Por outro lado, da forma esquematicamente mostrada na figura 22, quando substancialmente nada, exceto os grãos de silício de cristal primário 1 permanecem sobressaindo, as poças de óleo 4 são formadas com uma oscilação grosseira, resultando em menores capacidades de retenção de lubrificante e resistência ao emperramento. Uma vez que dificilmente algum grão de silício eutético 2 permanece sobressaindo, a área das partes que realmente entram em contato com o anel do pistão 122a é pequena, assim, resultando em uma baixa resistência à abrasão.

Da forma já descrita anteriormente, com o processo de brunimento em relevo convencional, é difícil aumentar suficientemente a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$. O motivo disto será descrito em relação à figura 23.

Em um processo de brunimento em relevo, que é um processo de esmerilhamento mecânico, a quantidade de esmerilhamento difere entre regiões em que os grãos cristalinos de silício 1 e 2 são esparsos e regiões em que eles são densos. Especificamente, da forma mostrada no lado direito na figura 23, ocorre profundo esmerilhamento em uma região em que os grãos cristalinos de silício 1 e 2 são esparsos, assim, resultando em uma grande altura de relevo h . Entretanto, da forma mostrada no lado esquerdo na figura 23, ocorre so-

mente esmerilhamento superficial em uma região em que os grãos cristalinos de silício 1 e 2 são densos, assim, resultando em uma pequena altura de relevo h . Portanto, é difícil obter uma grande rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} em toda a superfície de deslizamento 101. Além do mais, uma vez que os grãos de silício eutético 2 serão esmerilhados juntamente com a matriz 3, também é difícil obter uma grande razão do comprimento de carga $Rmr(30)$. Além do mais, uma vez que um processo de brunimento em relevo é um processo de esmerilhamento mecânico, em relação ao ápice de cada grão de cristal de silício 1 ou 2, é difícil goivar profundamente a liga de alumínio (matriz 3) que fica presente ao redor de cada grão de cristal de silício 1 ou 2. Portanto, ao redor de cada grão de cristal de silício 1 ou 2, existe liga de alumínio até uma altura que não é muito diferente do seu ápice, assim, resultando em uma capacidade de retenção de lubrificante que é menor do que no caso da realização de um processo de ataque químico.

Por outro lado, em um processo de ataque químico (que é um processo de esmerilhamento químico), da forma mostrada na figura 24, ocorre esmerilhamento até uma profundidade constante, independente se os grãos cristalinos de silício 1 e 2 são esparsos ou densos, e assim obtém-se uma altura de relevo h constante. Portanto, pelo ajuste da concentração e da temperatura do produto do ataque químico e do tempo do ataque químico, a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} pode aumentar facilmente. Além do mais, uma vez que os grãos de silício eutético 2 não serão esmerilhados juntamente com a matriz 3, a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ pode aumentar facilmente.

A figura 25 é um gráfico no qual os Exemplos 1 a 3 e os Exemplos Comparativos 1 a 11 são graficamente representados em um eixo geométrico horizontal que representa a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e em um eixo geométrico vertical que representa a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$, em relação à parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

Como também pode-se ver a partir da figura 25, em todos os Exemplos 1 a 3 e nos Exemplos Comparativos 1 a 4, que mostraram um pequeno coeficiente de atrito (0,15 ou menos), a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é menor que $0,54\text{ }\mu\text{m}$ e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ é de 15 % ou menos. Por outro lado, nos Exemplos Comparativos 6 a 11, que mostraram um grande coeficiente de atrito (0,2 ou mais), pelo menos uma da rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} e da razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ cai fora da(s) supramencionada(s) faixa(s) numérica(s). Isto indica que, pela garantia de que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é menor que $0,54\text{ }\mu\text{m}$ e de que a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é de 15 % ou menos, o coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101 pode se tornar suficientemente pequeno, e a perda por atrito pode ser adicionalmente reduzida. Note que, no Exemplo Comparativo 5, o coeficiente de atrito é pequeno, embora a rugosidade média de

dez pontos Rz_{JIS} seja de 0,54 μm ou mais. Isto é em virtude de a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ ser tão pequena quanto 3 %.

Além do mais, pode-se ver, a partir da Tabela 2, que o coeficiente de atrito na parte 1/4 inferior 101b da superfície de deslizamento 101 é o menor (e, portanto, a perda por atrito é a menor) no Exemplo 3, seguido pelo Exemplo 2 e, então, pelo Exemplo 1. Portanto, do ponto de vista da redução das perdas de atrito, é preferível empregar o método de produção descrito em relação à figura 15, isto é, um método de produção no qual uma etapa de revestimento parcial é realizada depois de uma etapa de ataque químico geral.

No caso em que o método de produção descrito em relação à figura 13 for usado, isto é, um método de produção em que nenhuma etapa de ataque químico adicional é conduzida depois da realização de uma etapa de ataque químico localizado, o número de etapas é reduzido. Portanto, são possíveis uma redução no custo de produção e a simplificação das etapas de produção.

No caso em que o método de produção descrito em relação à figura 9 é usado, isto é, um método de produção em que uma etapa de ataque químico geral é conduzida depois da realização de uma etapa de ataque químico localizado, toda a superfície de deslizamento 101 é submetida a um processo de ataque químico (embora a quantidade de ataque químico seja não constante), de forma que a capacidade de retenção de lubrificante de toda a superfície de deslizamento 101 seja melhorada. Assim, é obtido um alto efeito de melhorar a resistência à abrasão e a resistência ao emperramento através de toda a superfície de deslizamento 101.

A seguir, serão descritas dimensões médias preferíveis de grão de cristal e distribuições de dimensão preferíveis de grão dos grãos cristalinos de silício 1 e 2 na superfície de deslizamento 101. Os inventores conduziram um estudo detalhado sobre o relacionamento entre a implementação específica dos grãos cristalinos de silício 1 e 2 na superfície de deslizamento 101 e a resistência à abrasão e a resistência mecânica do bloco de cilindro 100. Em decorrência disto, descobriu-se a resistência à abrasão e a resistência mecânica podem ser enormemente melhoradas pelo ajuste das dimensões médias do grão de cristal dos grãos cristalinos de silício 1 e 2 nas faixas específicas, e/ou pela prescrição de distribuições de dimensão específicas de grão para os grãos cristalinos de silício 1 e 2.

Primeiro, pelo ajuste do tamanho de grão cristalino médio dos grãos de silício de cristal primário 1 para ficar na faixa de não menos que 12 μm e não mais que 50 μm , a resistência à abrasão do bloco de cilindro 100 pode ser melhorada.

Se o tamanho de grão cristalino médio dos grãos de silício de cristal primário 1 exceder 50 μm , o número dos grãos de silício de cristal primário 1 por área unitária da superfície de deslizamento 101 fica pequeno. Portanto, uma grande carga será aplicada em cada grão de silício de cristal primário 1 durante a operação do motor de combustão interna, de

forma que os grãos de silício de cristal primário 1 possam ser destruídos. Os resíduos dos grãos de silício de cristal primário 1 destruídos agirão como partículas abrasivas, possivelmente ocasionando uma considerável abrasão da superfície de deslizamento 101.

Se o tamanho de grão cristalino médio dos grãos de silício de cristal primário 1 for menor que 12 μm , a parte de cada grão de silício de cristal primário 1 que fica enterrada na matriz 3 será pequena. Portanto, é provável que o declínio gradual dos grãos de silício de cristal primário 1 ocorra durante a operação do motor de combustão interna. Os grãos de silício de cristal primário 1 com declínio gradual agirão como partículas abrasivas, possivelmente, ocasionando uma considerável abrasão da superfície de deslizamento 101.

Por outro lado, quando o tamanho de grão cristalino médio dos grãos de silício de cristal primário 1 for não menos que 12 μm e não mais que 50 μm , existe um número suficiente de grãos de silício de cristal primário 1 por área unitária da superfície de deslizamento 101. Portanto, a carga aplicada em cada grão de silício de cristal primário 1 durante a operação do motor de combustão interna será relativamente pequena, de acordo com o que, a destruição dos grãos de silício de cristal primário 1 é suprimida. Uma vez que a parte de cada grão de silício de cristal primário 1 que fica enterrada na matriz 3 é suficientemente grande, o declínio gradual dos grãos de silício de cristal primário 1 é reduzido, de acordo com o que a abrasão da superfície de deslizamento 101 em função dos grãos de silício de cristal primário 1 com declínio gradual também é suprimida.

Além do mais, os grãos de silício eutético 2 servem a função de reforçar a matriz 3. Portanto, pelo fornecimento de finos grãos de silício eutético 2, a resistência à abrasão e a resistência mecânica do bloco de cilindro 100 podem ser melhoradas. Especificamente, pela garantia de que os grãos de silício eutético 2 têm um tamanho de grão cristalino médio de 7,5 μm ou menos, é obtido um efeito de melhoria da resistência à abrasão e da resistência mecânica.

Além do mais, pela prescrição de distribuições de tamanho de grão para os grãos cristalinos de silício 1 e 2 de maneira tal que os grãos cristalinos de silício tenham um pico em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 1 μm e não mais que 7,5 μm e tenham um outro pico em uma faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que 12 μm e não mais que 50 μm , a resistência à abrasão e a resistência mecânica do bloco de cilindro 100 podem ser enormemente melhoradas. A figura 26 mostra um exemplo das distribuições preferíveis de tamanho de grão. Os grãos cristalinos de silício cujas dimensões do grão de cristal caem na faixa de não menos que 1 μm e não mais que 7,5 μm são grãos de silício eutético 2, enquanto que os grãos cristalinos de silício cujas dimensões do grão de cristal caem na faixa de não menos que 12 μm e não mais que 50 μm são grãos de silício de cristal primário 1. Além do mais, do ponto de vista de permitir que mais grãos de silício eutético 2 contribuam para a criação de poças de óleo 4, como também é mostrado na figura 26,

é preferível que a frequência em um primeiro pico existente na faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que $1\text{ }\mu\text{m}$ e não mais que $7,5\text{ }\mu\text{m}$ (isto é, o pico associado com os grãos de silício eutético 2) seja pelo menos cinco vezes maior que a frequência em um segundo pico existente na faixa de tamanho de grão cristalino de não menos que $12\text{ }\mu\text{m}$ e não mais que $50\text{ }\mu\text{m}$ (isto é, o pico associado com os grãos de silício de cristal primário 1).

A fim de controlar as dimensões médias do grão de cristal dos grãos de silício de cristal primário 1 e dos grãos de silício eutético 2, a velocidade de resfriamento da parte a ser tornar a superfície de deslizamento 101 pode ser ajustada na etapa de fundição da peça moldada (a etapa S1c mostrada na figura 10). Especificamente, pela realização da fundição supramencionada de forma que a parte a se tornar a superfície de deslizamento 101 seja resfriada em uma velocidade de resfriamento de não menos que $4\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{segundo}$ e não mais que $50\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{segundo}$, os grãos cristalinos de silício 1 e 2 serão depositados de uma maneira tal que os grãos de silício de cristal primário 1 tenham uma dimensão média de grão de cristal de não menos que $12\text{ }\mu\text{m}$ e não mais que $50\text{ }\mu\text{m}$ e que os grãos de silício eutético 2 tenham um tamanho de grão cristalino médio de $7,5\text{ }\mu\text{m}$ ou menos.

Da forma supradescrita, o bloco de cilindro 100 da presente modalidade tem excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento, bem como uma pequena perda por atrito, e, portanto, pode ser adequadamente usado nos motores de combustão interna de vários tipos de aparelhos de transporte. Em particular, o bloco de cilindro 100 é adequadamente usado em qualquer motor de combustão interna que é operado em uma alta velocidade de revolução (especificamente, em uma velocidade de revolução máxima de 8.000 rpm ou mais), por exemplo, um motor de combustão interna de uma motocicleta, de acordo com o que, a durabilidade do motor de combustão interna pode ser enormemente melhorada.

A figura 27 mostra um motor de combustão interna 150 exemplar que incorpora o bloco de cilindro 100 de acordo com a presente invenção. O motor de combustão interna 150 inclui um cárter 110, um bloco de cilindro 100 e um cabeçote do cilindro 130.

Um virabrequim 111 fica acomodado no cárter 110. O virabrequim 111 inclui um munhão 112 e um braço de manivela 113.

O bloco de cilindro 100 é fornecido acima do cárter 110. Um pistão 122 é inserido em um furo do cilindro 102 do bloco de cilindro 100. O pistão 122 desliza no furo do cilindro 102, ainda ficando em contato com a superfície de deslizamento 101 do bloco de cilindro 100. O pistão 122 é feito de uma liga de alumínio (tipicamente, uma liga de alumínio que contém silício). O pistão 122 pode ser formado por forjamento, como é divulgado, por exemplo, na especificação de USP 6205836.

Nenhuma manga de cilindro é inserida no furo de cilindro 102, e nenhuma metalização é fornecida na superfície interna da parede do cilindro 103 do bloco de cilindro 100. Em

outras palavras, os grãos de silício de cristal primário 1 e os grãos de silício eutético 2 são expostos na superfície interna, isto é, a superfície de deslizamento 101, da parede do furo do cilindro 103.

Um cabeçote do cilindro 130 é fornecida acima do bloco de cilindro 100. Juntamente com o pistão 122 no bloco de cilindro 100, o cabeçote do cilindro 130 define uma câmara de combustão 131. O cabeçote do cilindro 130 inclui um orifício de entrada 132 e um orifício de exaustão 133. Uma válvula de entrada 134 para suprir mistura combustível - ar no interior da câmara de combustão 131 é fornecida no orifício de entrada 132, e uma válvula de exaustão 135 para realizar a evacuação da câmara de combustão 131 é fornecida no orifício de exaustão 133.

O pistão 122 e o cárter 111 são ligados por meio de uma haste de conexão 140. Especificamente, um pino do pistão 123 do pistão 122 é inserido em um furo passante em uma pequena extremidade 142 da haste de conexão 140, e o munhão 112 do virabrequim 111 é inserido em um furo passante em uma grande extremidade 144, de acordo com o que, o pistão 122 e o virabrequim 111 são ligados um no outro. Mancais rolantes 114 são fornecidos entre a superfície periférica interna do furo passante da grande extremidade 144 do munhão 112.

O motor de combustão interna 150 mostrado na figura 27 tem excelente durabilidade em virtude de o bloco de cilindro 100 da presente modalidade ser incorporado, apesar da falta de uma bomba de óleo para suprimento compulsório de um lubrificante. Uma vez que o bloco de cilindro 100 da presente modalidade é caracterizado por uma alta resistência à abrasão da superfície de deslizamento 101, não há necessidade de uma manga de cilindro. Portanto, as etapas de produção do motor de combustão interna 150 podem ser simplificadas, o peso do motor de combustão interna 150 pode ser reduzido, e o desempenho do resfriamento pode melhorar. Além do mais, uma vez que é desnecessário realizar metalização para a superfície interna da parede do furo do cilindro 103, também é possível reduzir o custo de produção. Além do mais, em virtude de o motor de combustão interna 150 incluir o bloco de cilindro 100 da presente modalidade, é obtida uma menor perda por atrito e, portanto, um melhor consumo de combustível.

A figura 28 mostra uma motocicleta que incorpora o motor de combustão interna 150 mostrado na figura 27. Em uma motocicleta, o motor de combustão interna 150 será operado em uma alta velocidade de revolução.

Na motocicleta mostrada na figura 28, um tubo coletor 302 é fornecido na extremidade frontal de um chassi 301. No tubo coletor 302, um garfo frontal 303 é anexado para poder oscilar na direção direita - esquerda do veículo. Na extremidade inferior do garfo frontal 303, uma roda frontal 304 é suportada para poder rotacionar.

Um trilho de assento 306 é anexado em uma parte superior da extremidade traseira

do chassi 301 para se estender na direção traseira. Um tanque de combustível 307 é fornecido no chassi 301, e um assento principal 308a e um assento acoplado 308b são fornecidos no trilho de assento 306.

5 Braços traseiros 309 que se estendem na direção traseira são anexados na extremidade traseira do chassi 301. Na extremidade traseira dos braços traseiros 309, uma roda traseira 310 é suportada para poder rotacionar.

 Na parte central do chassi 301, o motor de combustão interna 150 mostrado na figura 27 fica preso. O bloco de cilindro 100 da presente modalidade é usado para o motor de combustão interna 150. Um radiador 311 é fornecido na frente do motor de combustão interna 150. Um tubo de exaustão 312 é conectado em um orifício de exaustão do motor de combustão interna 150, e um silencioso 313 é anexado na extremidade traseira do tubo de exaustão 312.

15 Uma transmissão 315 é ligada no motor de combustão interna 150. Rodas dentadas de acionamento 317 são anexadas em um eixo geométrico de saída 316 da transmissão 315. Por meio de uma correia 318, as rodas dentadas de acionamento 317 são ligadas nas rodas dentadas da roda traseira 319 da roda traseira 310. A transmissão 315 e a correia 318 funcionam como um mecanismo de transmissão para transmitir a energia motriz gerada no motor de combustão interna 150 até a roda de acionamento.

20 De acordo com a presente invenção, é fornecido um bloco de cilindro com excelente resistência à abrasão e resistência ao emperramento e com uma pequena perda por atrito, bem como um método de produção deste.

 O bloco de cilindro de acordo com a presente invenção pode ser adequadamente usado nos motores de combustão interna para vários tipos de aparelhos de transporte, e pode ser adequadamente usado de forma particular para motores de combustão interna que são operados em altas velocidades de revolução e para motores de combustão interna nos quais lubrificante não é compulsoriamente suprido em um cilindro por meio de uma bomba.

25 Embora a presente invenção tenha sido descrita em relação às suas modalidades preferidas, ficará aparente aos versados na técnica que a invenção divulgada pode ser modificada de inúmeras maneiras e pode assumir muitas modalidades diferentes daquelas especificamente supradescritas. Dessa maneira, pretende-se que as reivindicações anexas cubram todas as modificações da invenção que caem nos verdadeiros espírito e escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende: uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, e uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento, em que

uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento e uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % são maiores em uma parte 1/4 superior da superfície de deslizamento do que em uma parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.

2. Bloco de cilindro, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de $0,54\text{ }\mu\text{m}$ ou mais e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é 20 % ou mais.

3. Bloco de cilindro, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de $2,0\text{ }\mu\text{m}$ ou menos.

4. Bloco de cilindro, de acordo com as reivindicações 2 ou 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é 55 % ou menos.

5. Bloco de cilindro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é menor que $0,54\text{ }\mu\text{m}$ e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é 15 % ou menos.

6. Bloco de cilindro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a superfície de deslizamento foi submetida a um processo de ataque químico.

7. Bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende: uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, e uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento, em que

em uma parte 1/4 superior da superfície de deslizamento uma rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento é de $0,54\text{ }\mu\text{m}$ ou mais e uma razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um nível de corte de 30 % é 20 % ou mais; e

um revestimento é fornecido em pelo menos uma parte 1/4 superior da superfície de deslizamento.

8. Bloco de cilindro, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato

de que na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} é de 2,0 μm ou menos.

9. Bloco de cilindro, de acordo com as reivindicações 7 ou 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ em um nível de corte de 30 % é 55 % ou menos.

10. Motor de combustão interna, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende: o bloco de cilindro de qualquer uma das reivindicações 1 a 9; e um pistão que desliza, ainda ficando em contato com a superfície de deslizamento do bloco de cilindro.

11. Motor de combustão interna, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o pistão é composto por uma liga de alumínio.

12. Aparelho de transporte, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende o motor de combustão interna das reivindicações 10 ou 11.

13. Método para produzir um bloco de cilindro que inclui uma parede do cilindro, a parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o método compreende:

uma etapa de fornecer uma peça moldada que é composta por uma liga de alumínio que contém silício;

uma etapa de polir uma região da superfície da peça moldada a se tornar a superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais; e

uma primeira etapa de ataque químico para gravar somente uma parte da região polida.

14. Método para produzir um bloco de cilindro, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente, depois da primeira etapa de ataque químico, uma segunda etapa de ataque químico para gravar a íntegra da região.

15. Método para produzir um bloco de cilindro, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que nenhuma etapa de ataque químico adicional para gravar a região é realizada depois da primeira etapa de ataque químico.

16. Método para produzir um bloco de cilindro que inclui uma parede do cilindro, a parede do cilindro com uma superfície de deslizamento na qual um pistão desliza, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o método compreende:

uma etapa de fornecer uma peça moldada que é composta por uma liga de alumínio que contém silício;

uma etapa de polir uma região na superfície da peça moldada a se tornar a superfície de deslizamento pelo uso de um brunidor com um granularidade 1.500 ou mais;

uma etapa de ataque químico para gravar a região polida; e

uma etapa de fornecer um revestimento somente em uma parte da região gravada.

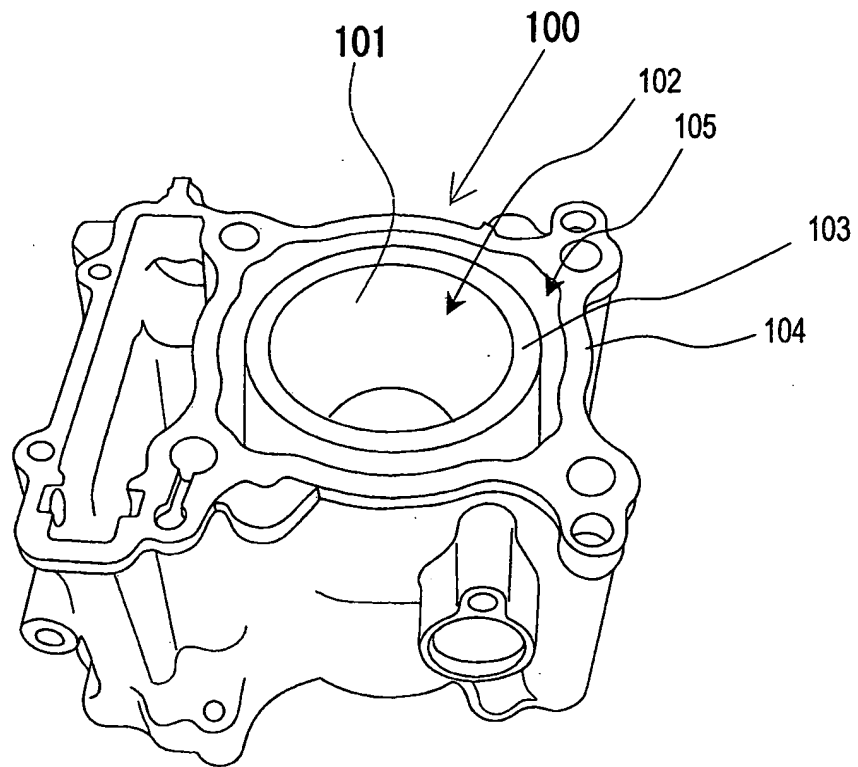
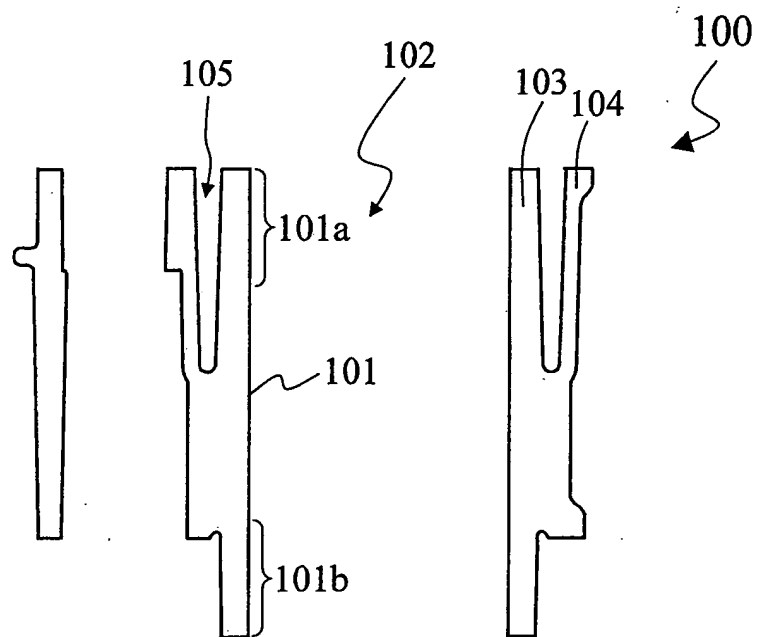
FIG. 1*FIG. 2*

FIG.3

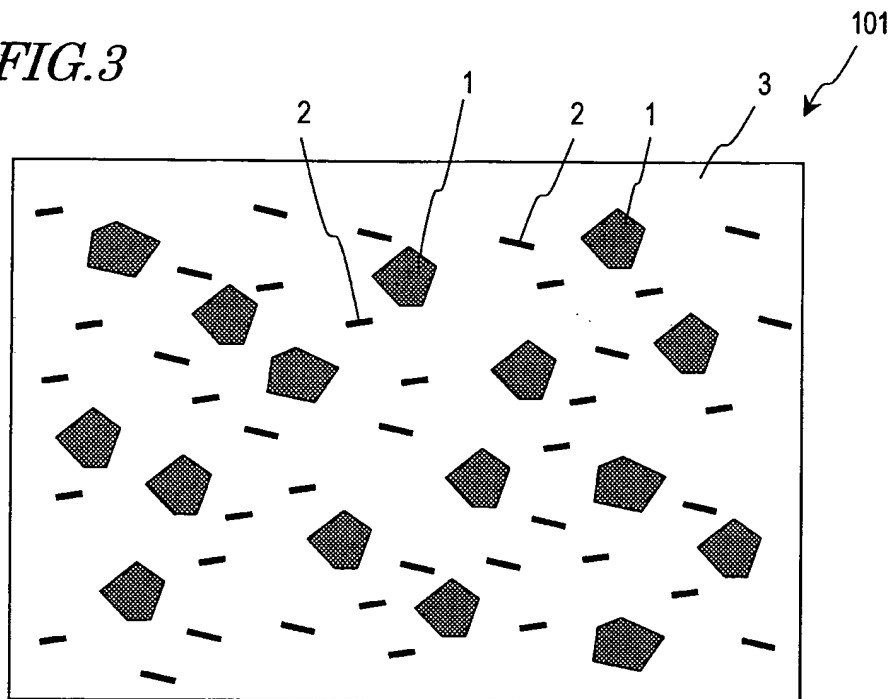


FIG.4

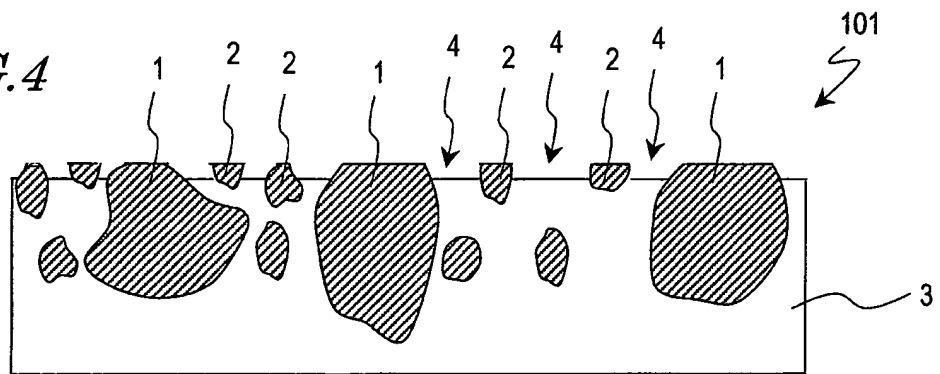


FIG.5

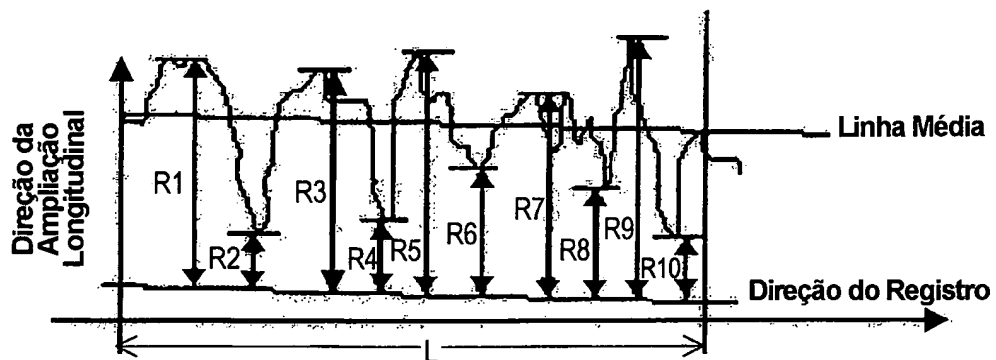


FIG. 6

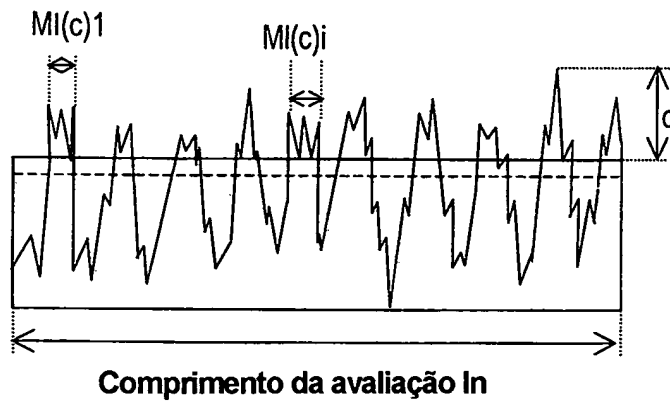


FIG. 7

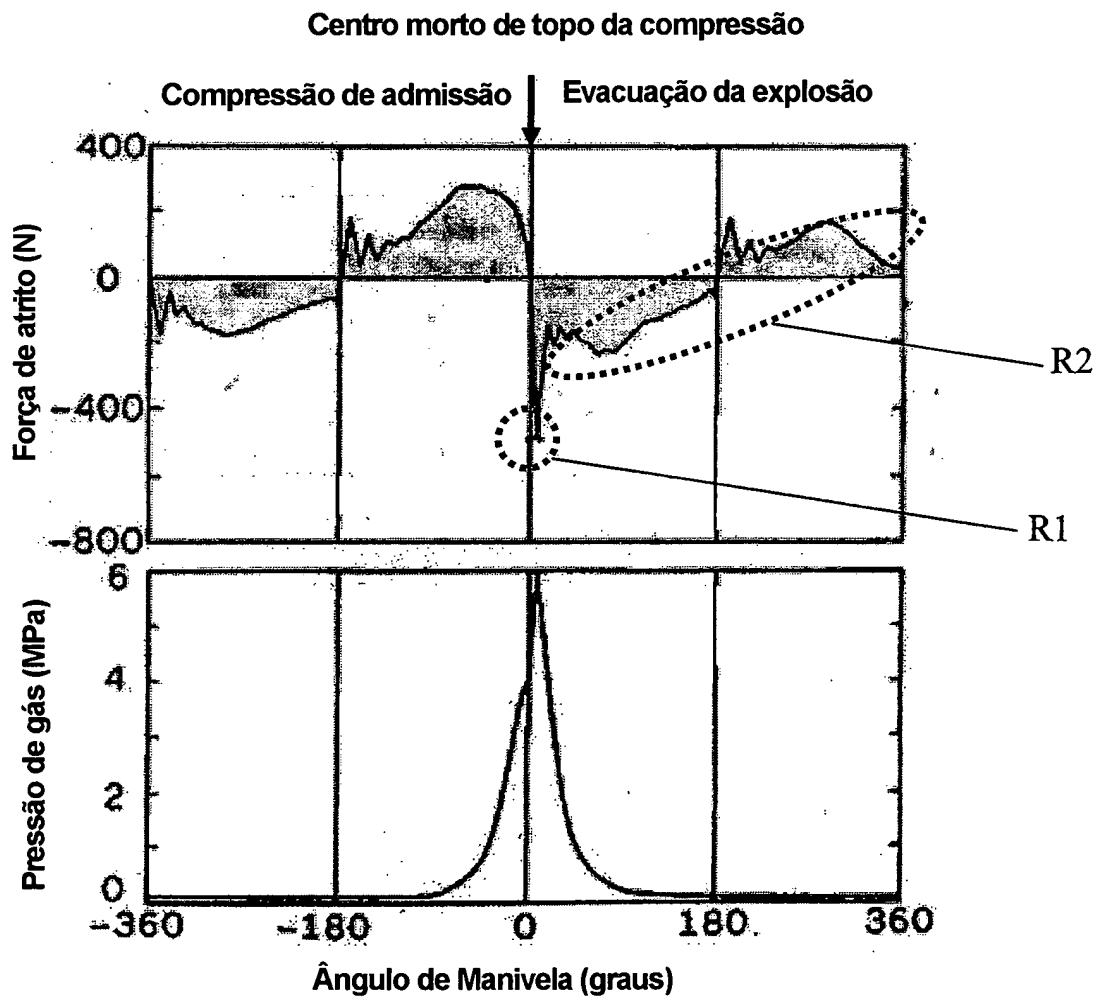


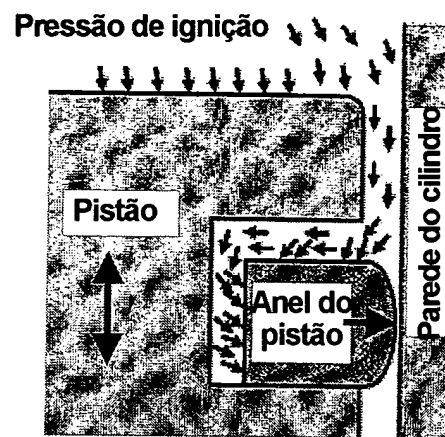
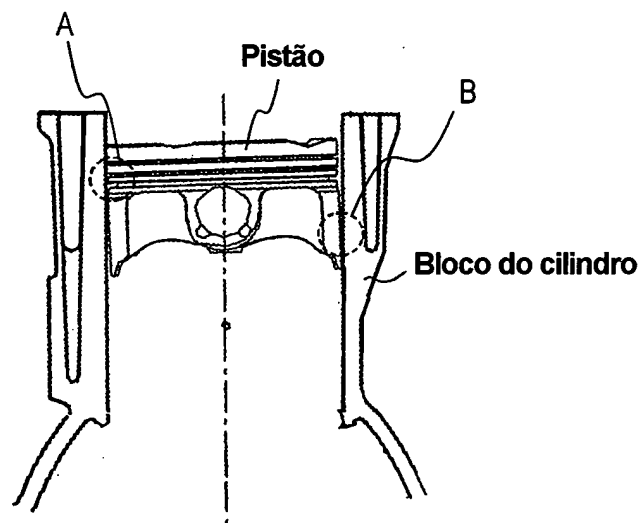
FIG.8A*FIG.8B*

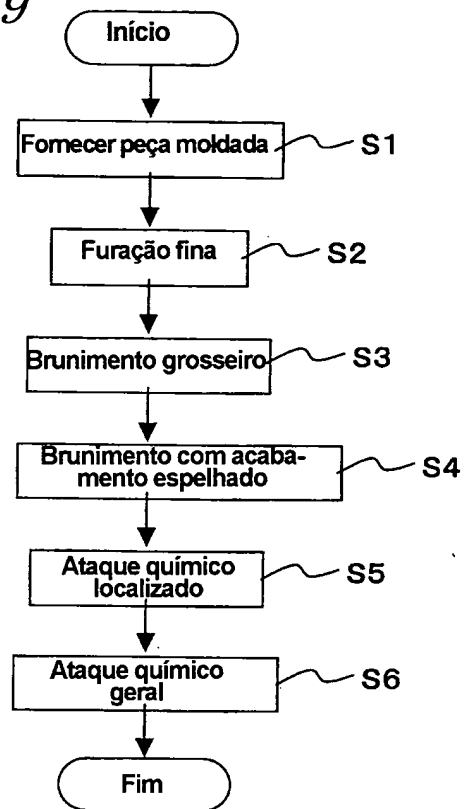
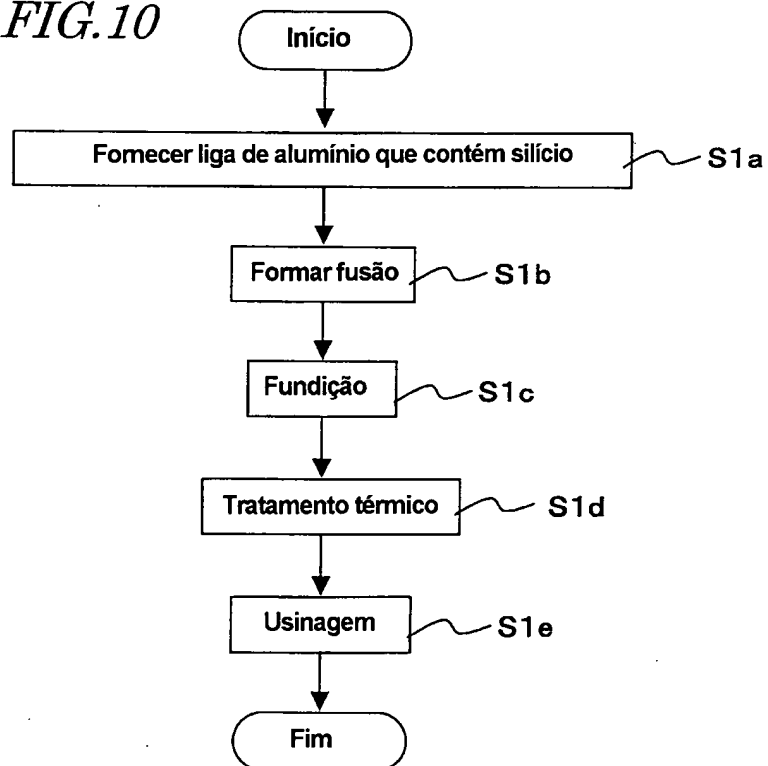
FIG.9*FIG.10*

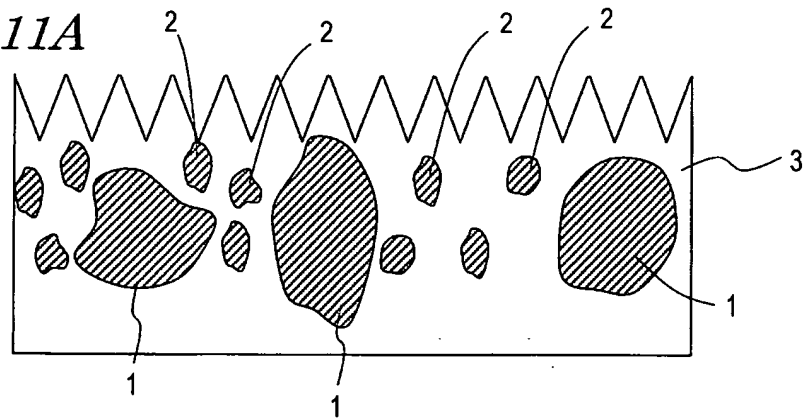
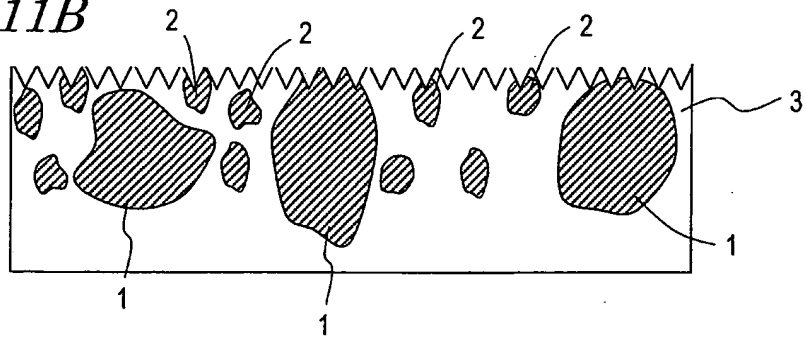
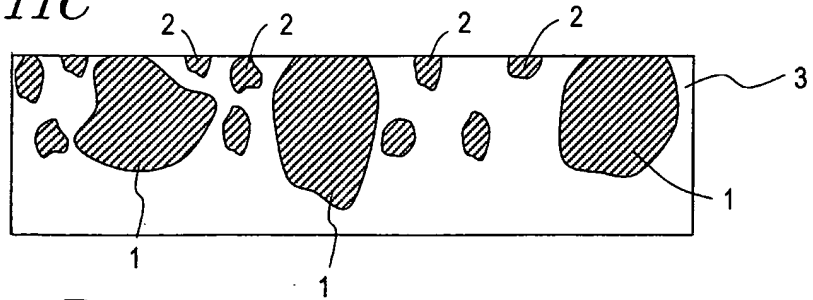
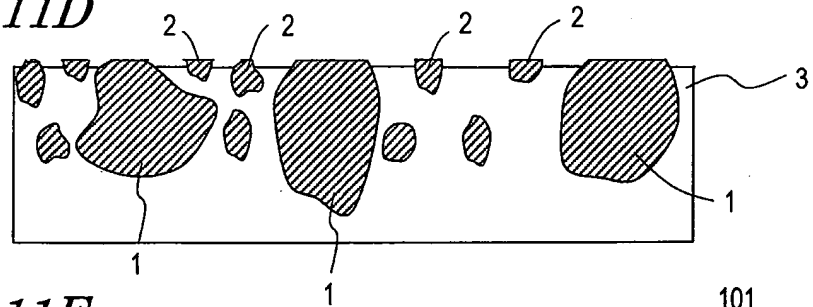
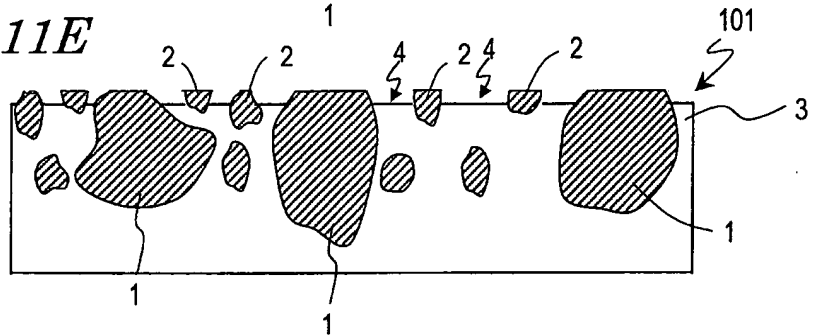
FIG. 11A*FIG. 11B**FIG. 11C**FIG. 11D**FIG. 11E*

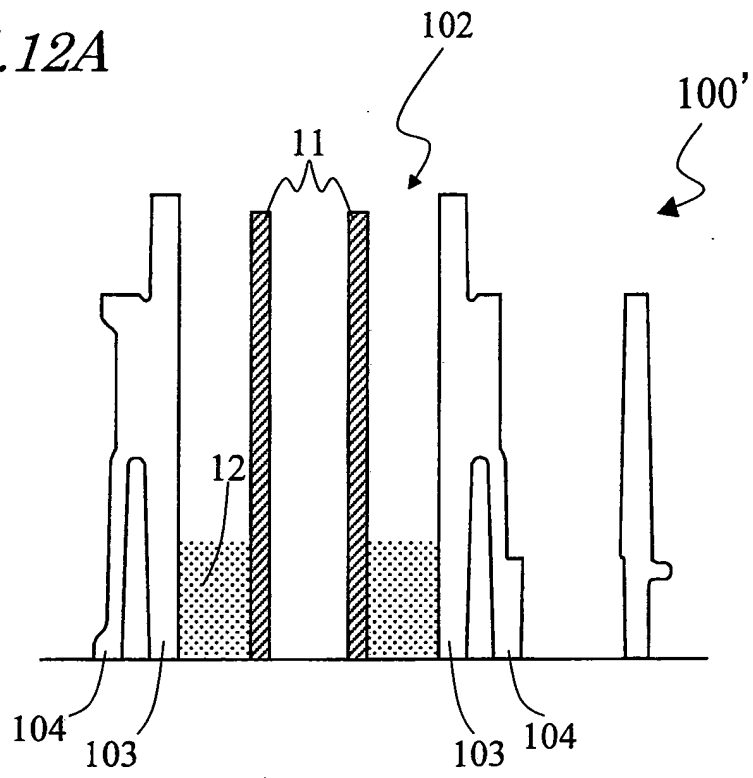
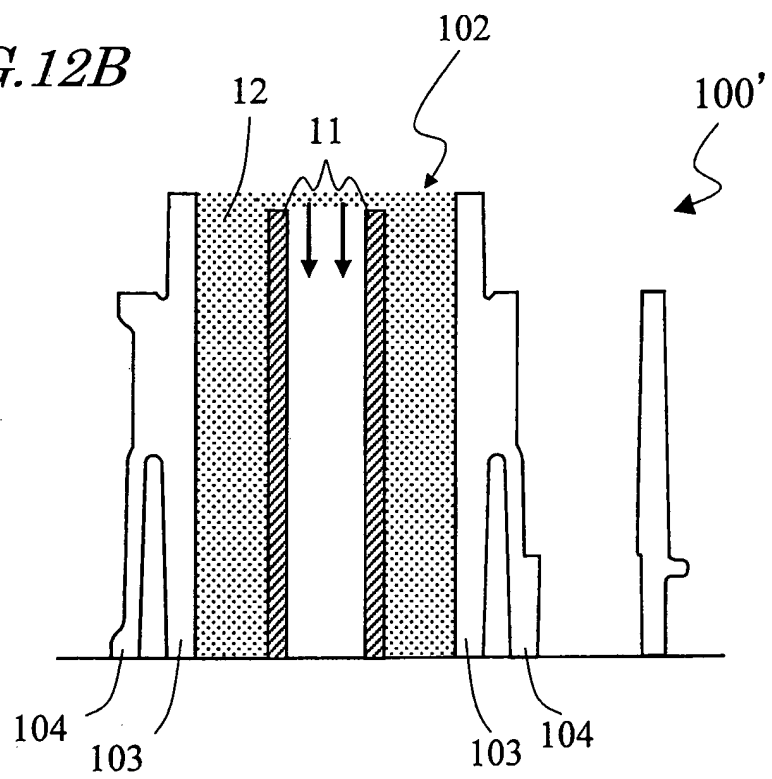
FIG. 12A*FIG. 12B*

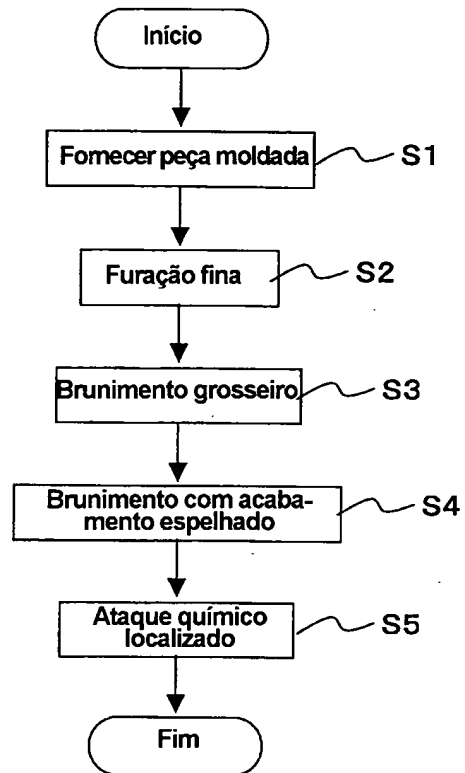
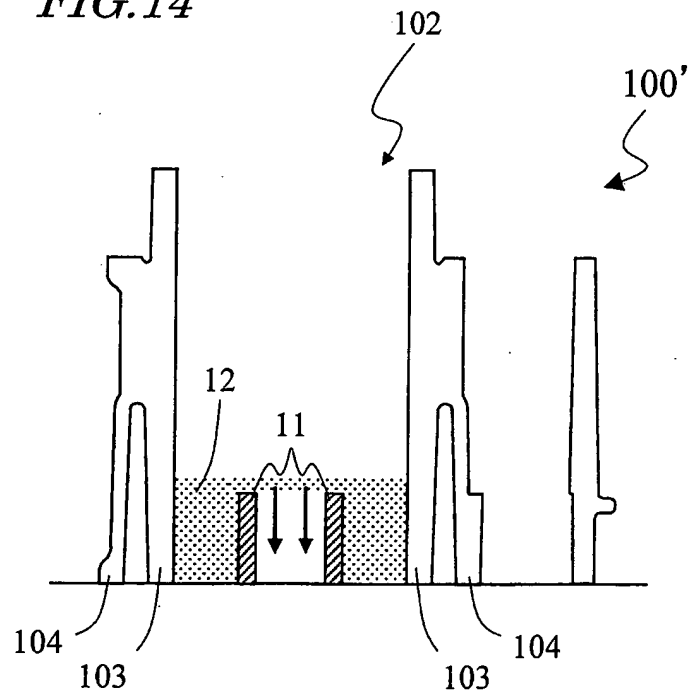
FIG.13*FIG.14*

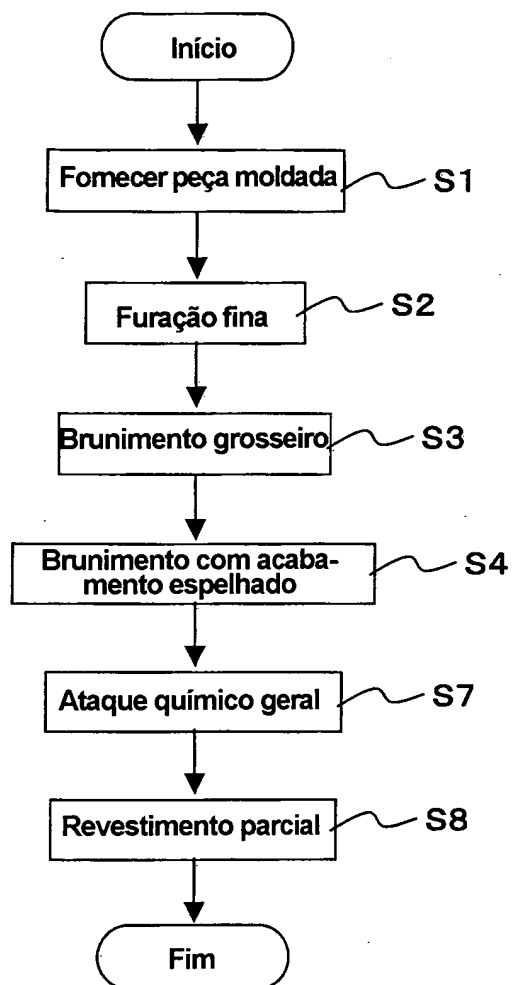
FIG.15

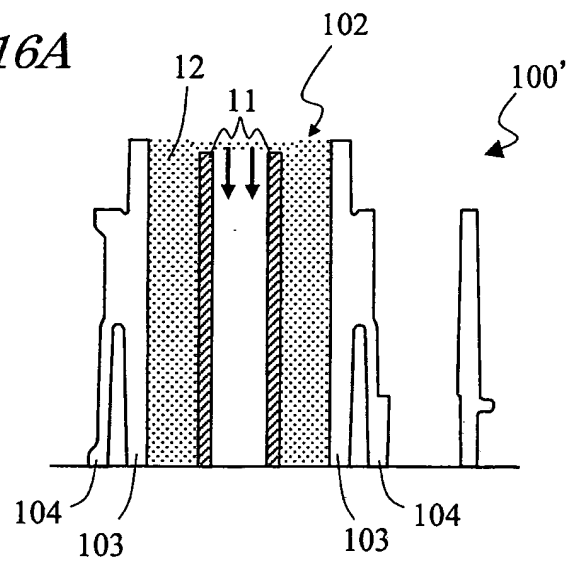
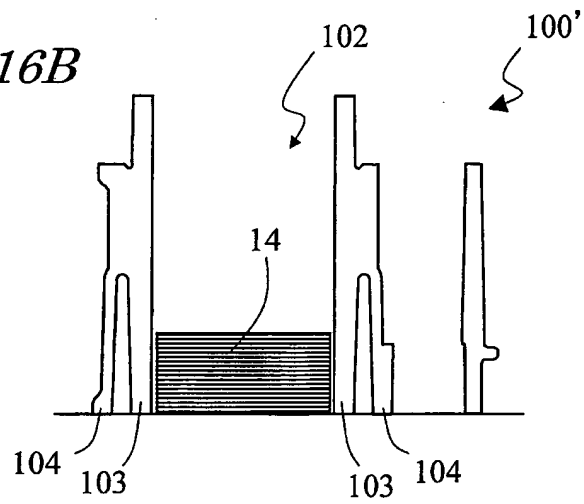
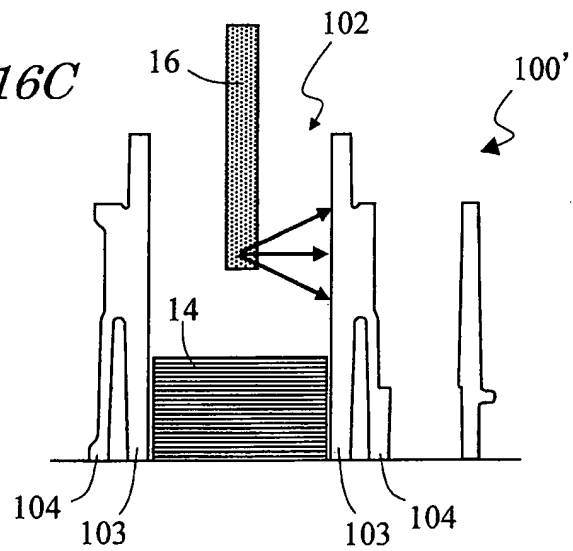
FIG. 16A*FIG. 16B**FIG. 16C*

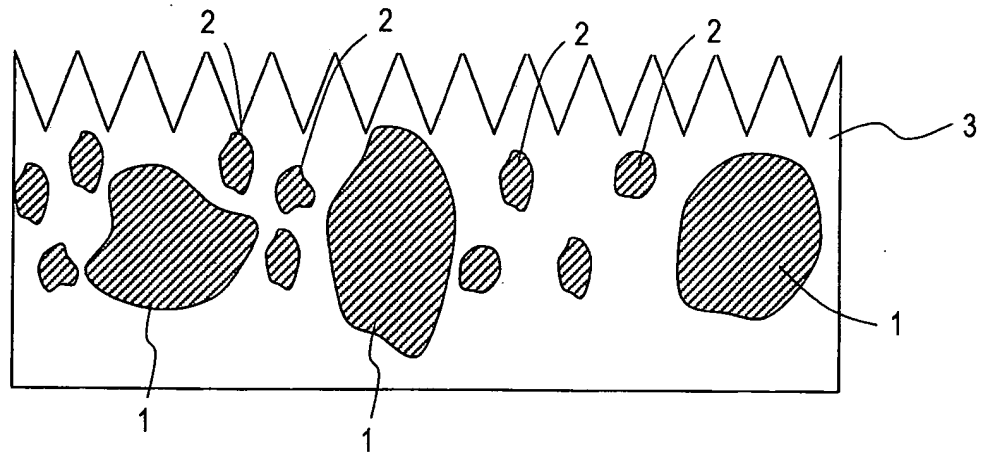
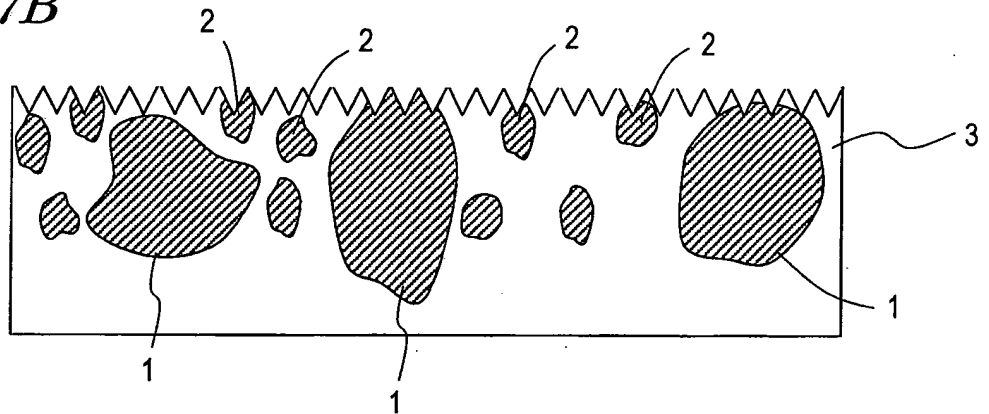
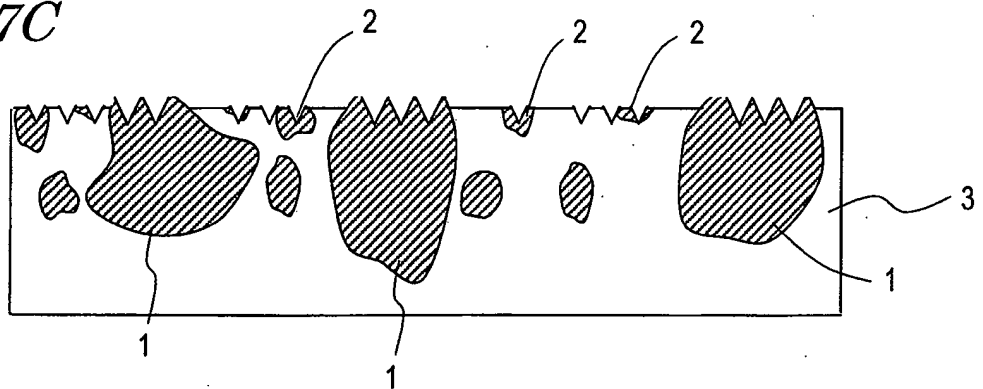
FIG. 17A*FIG. 17B**FIG. 17C*

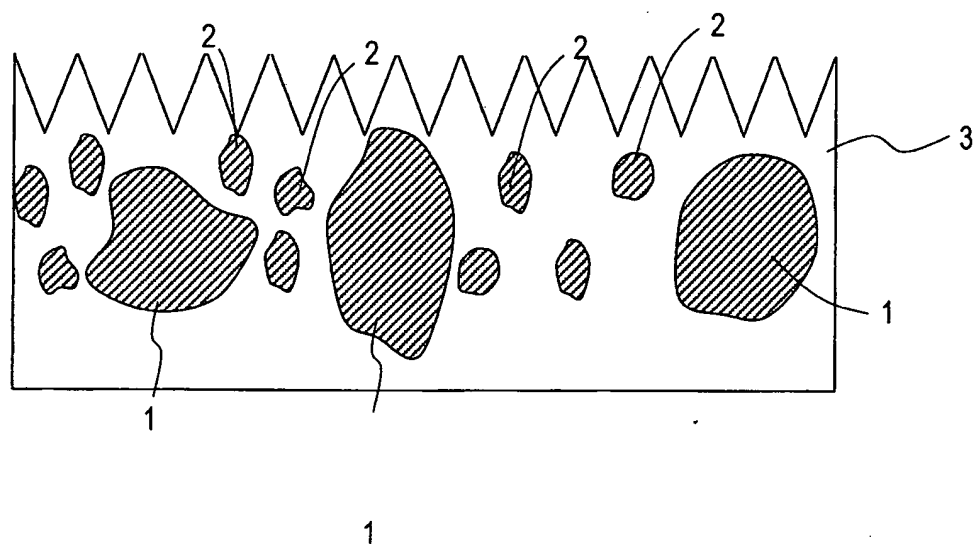
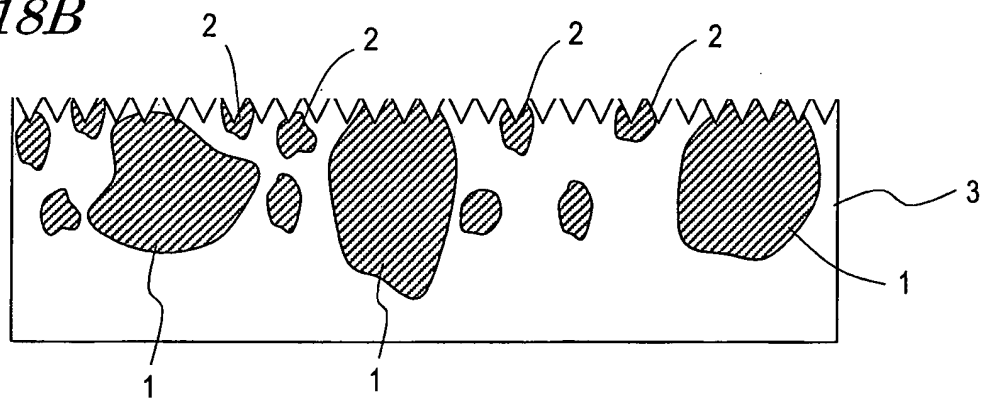
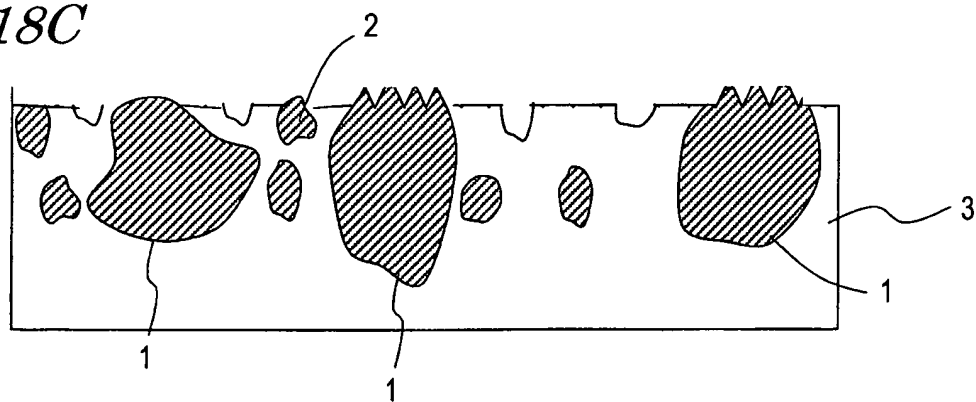
FIG. 18A*FIG. 18B**FIG. 18C*

FIG.19

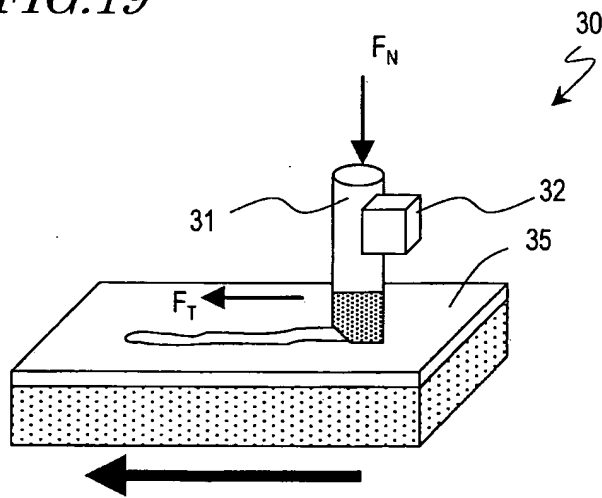


FIG.20

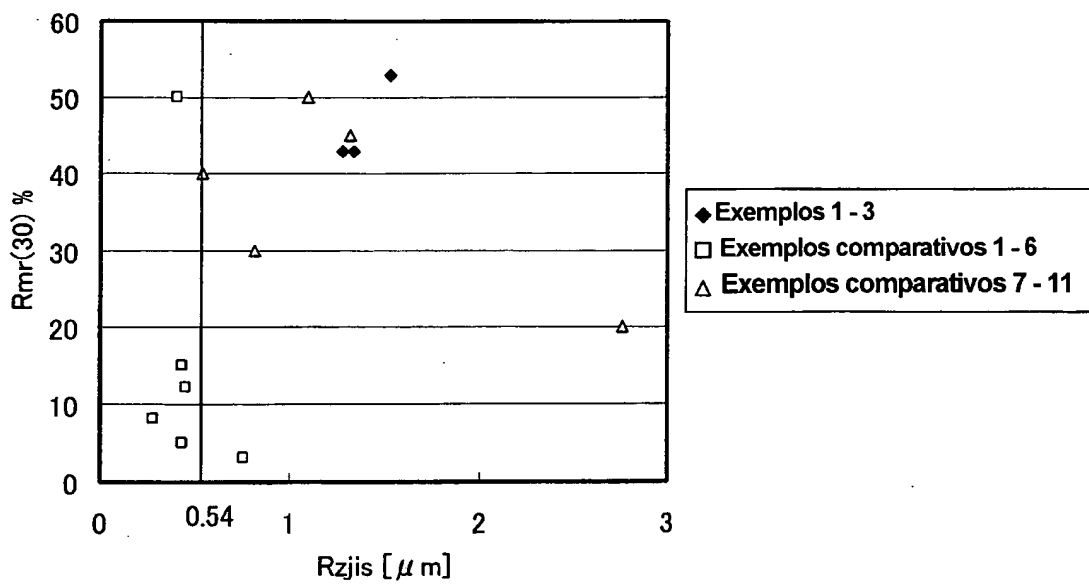


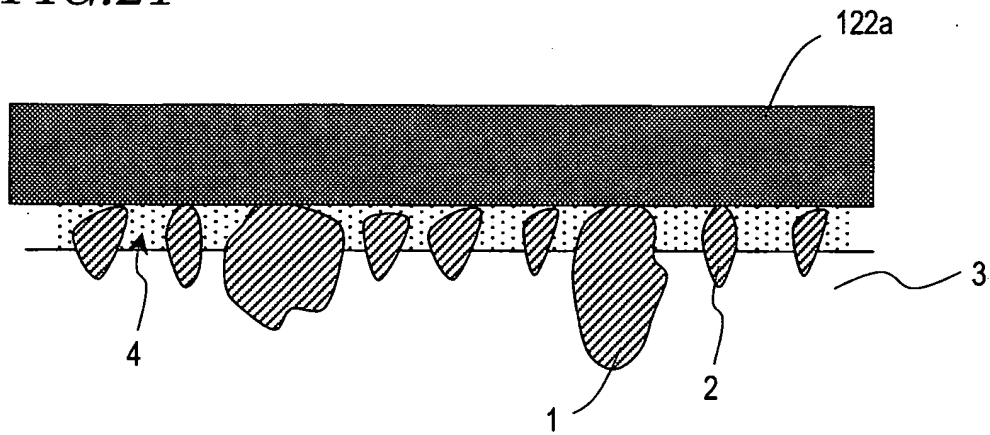
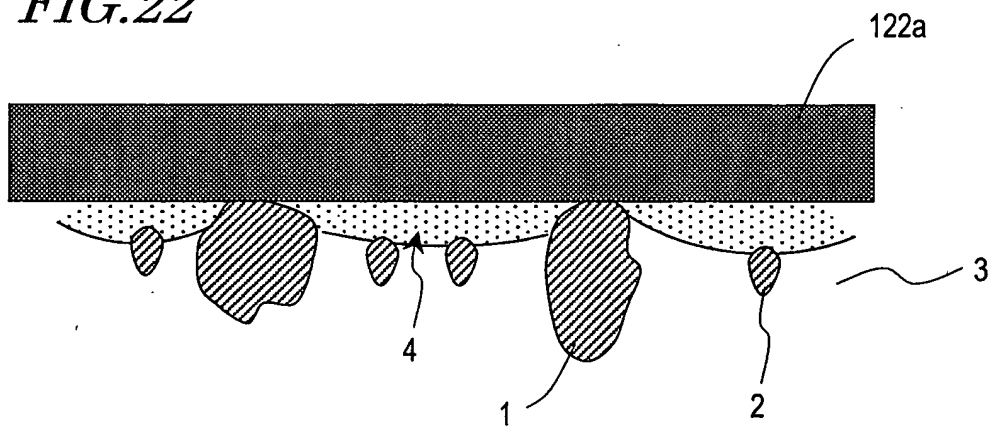
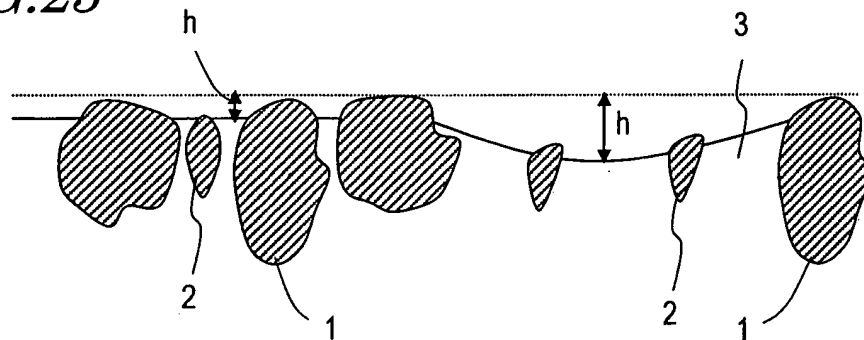
FIG.21*FIG.22**FIG.23*

FIG.24

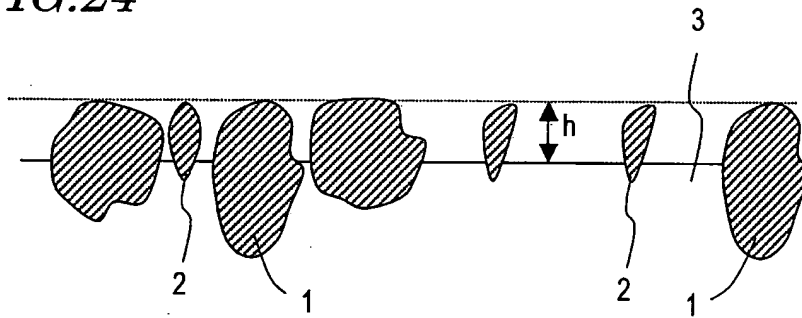


FIG.25

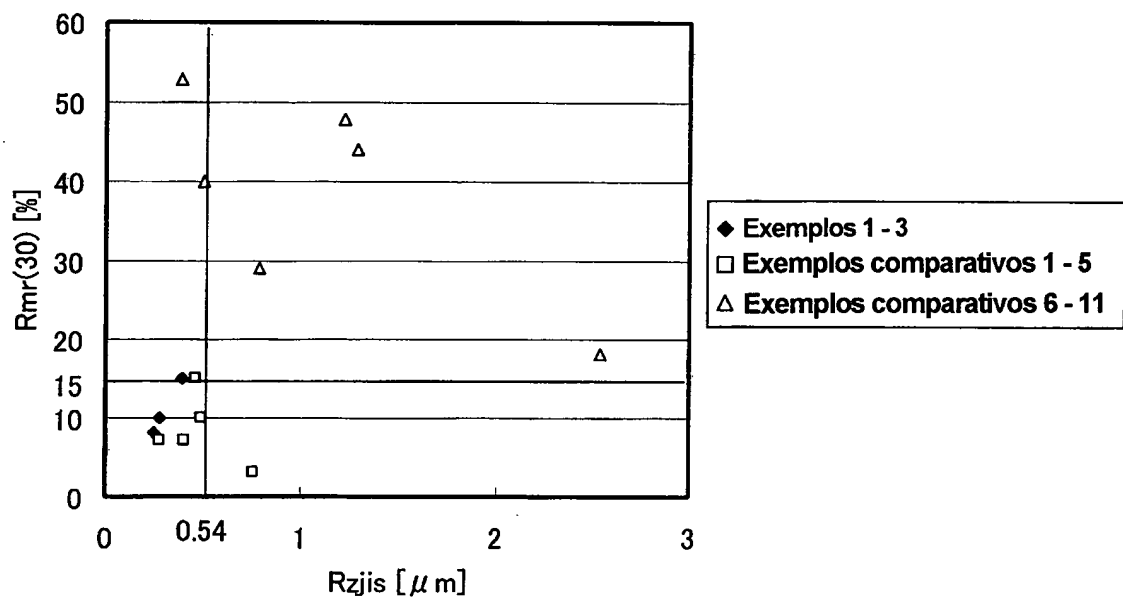


FIG.26

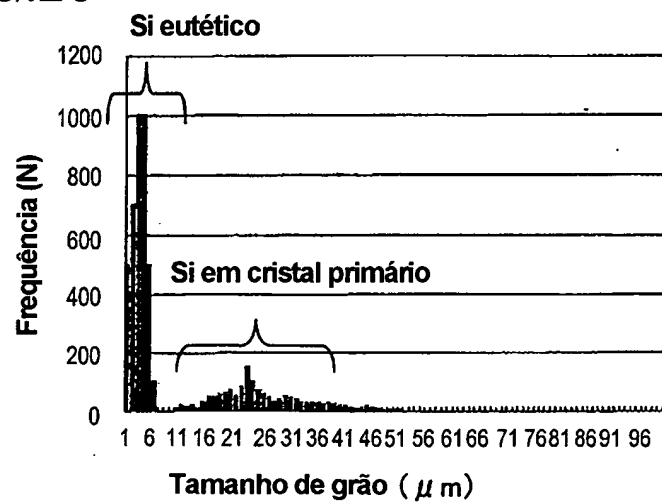
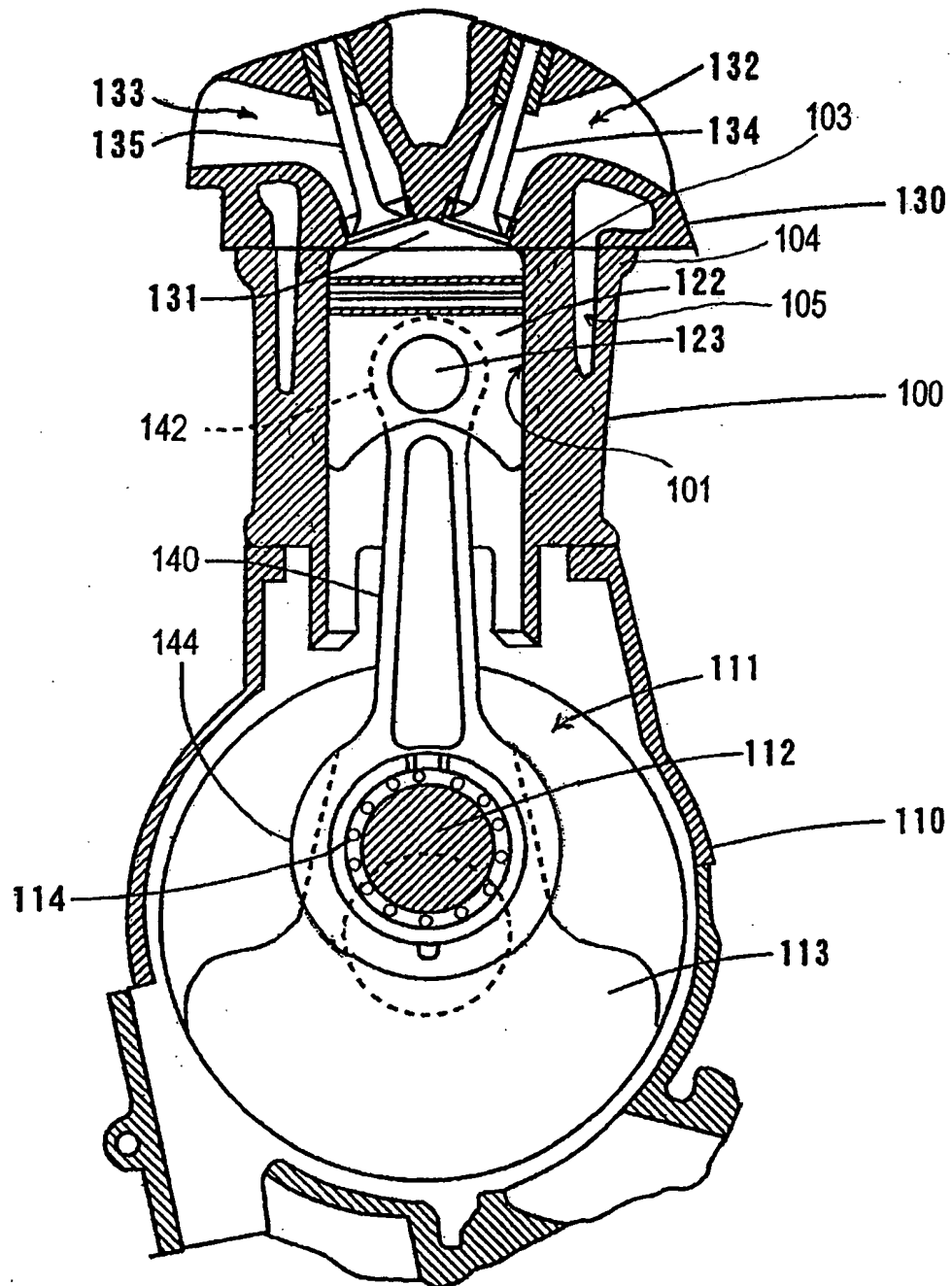
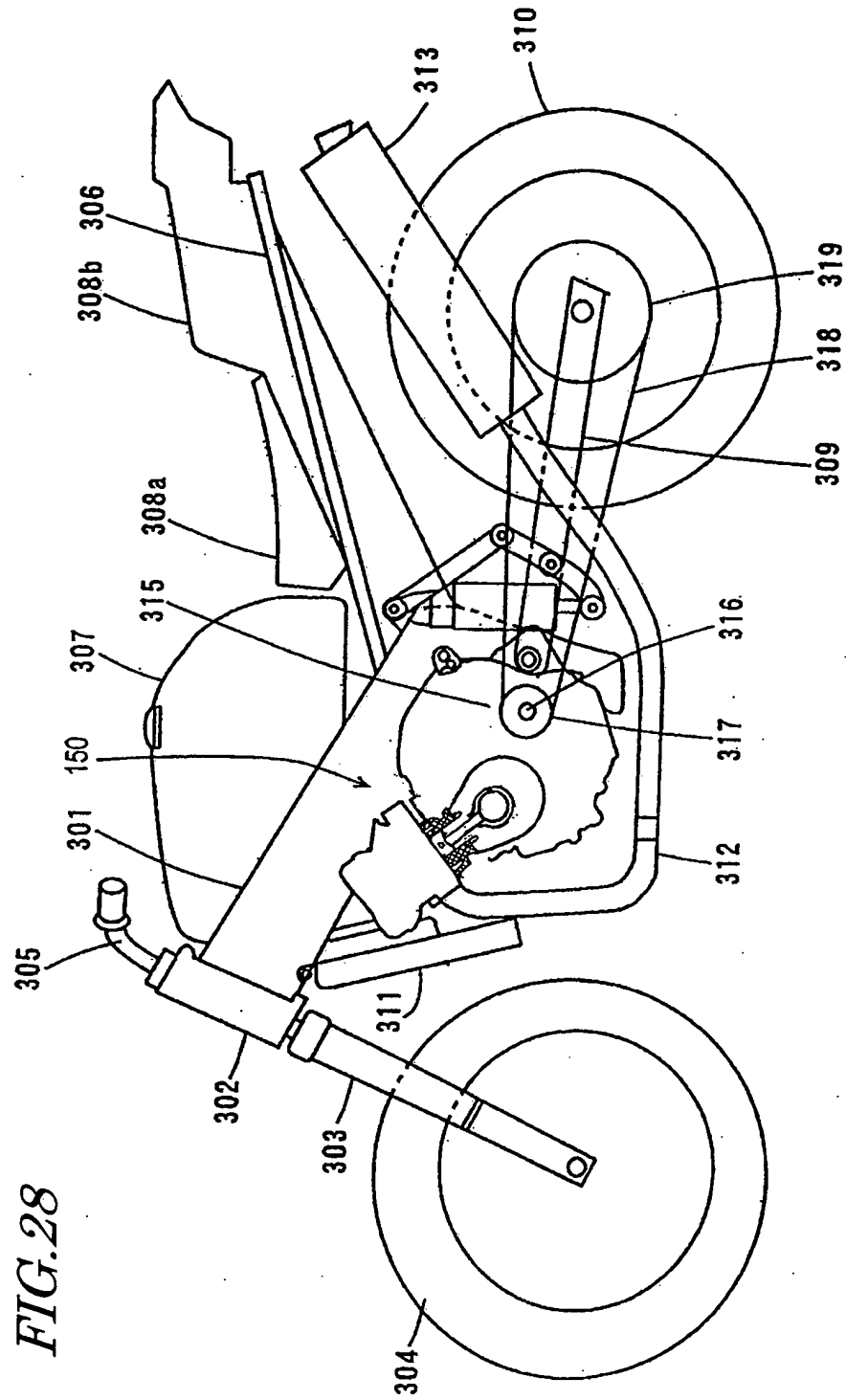


FIG. 27

150
↓





RESUMO

"BLOCO DE CILINDRO, MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA, APARELHO DE TRANSPORTE E MÉTODO PARA PRODUZIR BLOCO DE CILINDRO"

5 O bloco de cilindro de acordo com a presente invenção é um bloco de cilindro composto por uma liga de alumínio que contém silício, o bloco de cilindro incluindo uma parede do cilindro com uma superfície de deslizamento. O bloco de cilindro de acordo com a presente invenção inclui uma pluralidade de grãos cristalinos de silício na superfície de deslizamento de maneira tal que a rugosidade média de dez pontos Rz_{JIS} da superfície de deslizamento e a razão do comprimento de carga $Rmr(30)$ da superfície de deslizamento em um
10 nível de corte de 30 % sejam maiores na parte 1/4 superior da superfície de deslizamento do que na parte 1/4 inferior da superfície de deslizamento.