



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

**(11) BR 112015002527-7 B1**



**(22) Data do Depósito: 12/08/2013**

**(45) Data de Concessão: 17/11/2020**

**(54) Título:** FERRAMENTA REVESTIDA

**(51) Int.Cl.:** B23B 27/14; B23B 51/00; B23C 5/16.

**(30) Prioridade Unionista:** 10/08/2012 JP 2012-177843; 24/08/2012 JP 2012-185370.

**(73) Titular(es):** TUNGALOY CORPORATION.

**(72) Inventor(es):** SHOTA ASARI; MASAKAZU KIKUCHI.

**(86) Pedido PCT:** PCT JP2013071753 de 12/08/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/025057 de 13/02/2014

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 05/02/2015

**(57) Resumo:** FERRAMENTA REVESTIDA. A presente invenção refere-se a uma ferramenta revestida incluindo um substrato e a camada de revestimento disposta na superfície do substrato, a camada de revestimento incluindo a primeira estrutura de pilha (3) e a segunda estrutura de pilha (4). a primeira estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 60 nm a 500 nm, a segunda estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 2 nm a menos do que 60 nm, as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha incluindo pelo menos uma selecionada do grupo que consiste em um metal incluindo pelo menos um elemento de metal selecionado de Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, Si, Sr, Y, Sn e Bi: e compostos que incluem pelo menos um dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado de carbono, nitrogênio,(...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
**"FERRAMENTA REVESTIDA".**

Campo Técnico

[0001] A presente invenção refere-se a ferramentas revestidas.

Técnica Antecedente

[0002] Com um aumento recente na demanda para uma maior eficiência de corte, há uma necessidade de uma vida mais longa das ferramenta de cortes do que a até agora disponível. Consequentemente, a necessidade das propriedades dos materiais da ferramenta que se tornaram cada vez mais importante é que a resistência a desgaste e resistência a fratura associado com a vida das ferramentas de corte seja aumentada. De modo a obter aumentos das referidas propriedades, ferramentas revestidas são usadas nas quais uma pilha de películas alternadas de películas de revestimento é disposta em um substrato.

[0003] Várias técnicas têm sido propostas para aprimorar as propriedades das referidas pilhas de películas alternadas. Por exemplo, a Literatura de Patente 1 propõe uma ferramenta de corte altamente resistente a desgaste na qual um elemento de metal específico ou um componente do mesmo e um componente de liga específica são empilhadas com um período de empilhamento de 0,4 nm a 50 nm na superfície de um material de base.

[0004] A Literatura de Patente 2 propõe uma ferramenta de corte que exhibe excelente resistência a desgaste mesmo sob condições de corte pesadas. A referida ferramenta é de modo que a superfície da base é revestida com 4 ou mais camadas tendo uma espessura da Camada média total de 2 a 10  $\mu\text{m}$  que são na forma de uma pilha alternada de primeira camada delgada de um nitreto compósito representado pela composição de fórmula  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)\text{N}$  (x em proporção atômica: 0,30 a 0,70) e de segunda camada delgada que contém uma

fase de óxido de alumínio em uma relação de 35 a 65 mass% em relação ao total da massa do mesmo e da massa de uma fase de nitreto de titânio, a espessura média da camada das camadas individuais sendo 0,2 a 1  $\mu\text{m}$ .

[0005] A Literatura de Patente 3 propõe uma ferramenta de corte com excelente resistência a desgaste e resistência a solda que é de modo que camadas de pilha de 100-5000 nm incluindo uma pilha periódica de camadas com espessuras de 1 a 50 nm, e 100-5000 nm camadas simples são alternadamente empilhadas em 10 ou mais camadas uma em cima da outra em um material de base rígido.

#### REFERÊNCIAS DA TÉCNICA ANTERIOR

##### Literaturas de Patente

Literatura de Patente 1: Publicação Kokai de Pedido de Patente Japonesa No. H07-205361

Literatura de Patente 2: Publicação Kokai de Pedido de Patente Japonesa No. 2003-200306

Literatura de Patente 3: Publicação Kokai de Pedido de Patente Japonesa No. H11-12718

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

##### PROBLEMAS A SEREM RESOLVIDOS PELA INVENÇÃO

[0006] As ferramentas de corte recentes são submetidas a aumentos mais marcados em velocidade, alimentação e profundidade de corte. Conseqüentemente, é com mais frequência o caso que as rachaduras que ocorreram na superfície da ferramenta em virtude da carga aplicada às bordas de corte durante o corte alcançar os substratos, ou rachaduras que tenham ocorrido nos substratos em virtude de mudanças bruscas na temperatura das bordas de corte penetram nas camadas de revestimento, resultando na fratura das ferramentas.

[0007] Embora a ferramenta de corte da invenção de Literatura de

Patente 1 que inclui uma pilha de camada delgada com um período de empilhamento de 0,4 a 50 nm exibe alta resistência a desgaste, a ferramenta é problematicamente propensa a ser fraturada sob as circunstâncias descritas acima. A ferramenta de corte da invenção de Literatura de Patente 2 que inclui uma pilha alternada de camadas com uma grande espessura da Camada média individual tem um problema em que a dureza das películas de revestimento é tão insuficiente que a ferramenta exibe pobre resistência a desgaste. Na ferramenta de corte da invenção de Literatura de Patente 3 que tem uma estrutura empilhada formada de camadas de pilha de películas delgadas e camadas simples, a resistência a fratura é insuficiente e a ferramenta não pode mais com frequência satisfazer o desempenho necessário descrito aqui acima.

[0008] A presente invenção foi produzida para resolver os referidos problemas. É, portanto, um objetivo da presente invenção proporcionar ferramentas revestidas de vida longa que são aumentadas em resistência a fratura sem qualquer redução na resistência a desgaste.

#### MEIOS PARA RESOLVER OS PROBLEMAS

[0009] Os presentes inventores realizaram estudos na extensão da vida das ferramentas revestidas. Os presentes inventores observaram então que a resistência à fratura pode ser aumentada sem ocasionar uma redução na resistência a desgaste por aprimorar as configurações da camada e as composições das camadas de revestimento. Como resultado, a extensão da vida das ferramentas revestidas foi realizada.

[00010] Especificamente, a presente invenção pode ser resumida como a seguir.

[00011] (1) A ferramenta revestida que compreende um substrato e a camada de revestimento disposta na superfície do substrato, a

camada de revestimento incluindo uma primeira estrutura de pilha e uma segunda estrutura de pilha, a primeira estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 60 nm a 500 nm, a segunda estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 2 nm a menos do que 60 nm, as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha incluindo pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em um metal incluindo pelo menos um elemento de metal selecionado a partir de Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, Si, Sr, Y, Sn e Bi; e compostos que incluem pelo menos um dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro.

[00012] (2) A ferramenta revestida de (1), em que a primeira estrutura de pilha é uma estrutura de pilha alternada que inclui dois tipos de camadas com diferentes composições empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

[00013] (3) A ferramenta revestida de (1) ou (2), em que a segunda estrutura de pilha é uma estrutura de pilha alternada que inclui dois tipos de camadas com diferentes composições empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

[00014] (4) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (3), em que a camada de revestimento inclui uma estrutura que inclui a primeira estrutura de pilhas e a segunda estrutura de pilhas empilhadas alternadamente e continuamente cada uma em duas ou mais camadas.

[00015] (5) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (4), em que

$(T_1 - T_2)$  é 20 nm a 996 nm em que  $T_1$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na primeira estrutura de pilha e  $T_2$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na segunda estrutura de pilha.

[00016] (6) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (5), em que as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha cada uma inclui pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em metais incluindo pelo menos dois elementos de metal selecionados a partir de Ti, Nb, Ta, Cr, W, Al, Si, Sr e Y; e compostos que incluem pelo menos dois dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro.

[00017] (7) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (6), em que os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a primeira estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e incluem um ou mais elementos de metal tendo a diferença em valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total dos elementos de metal presentes na camada que constitui a primeira estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

[00018] (8) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (7), em que os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a segunda estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha e incluem um ou mais elementos de metal tendo uma diferença em valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total dos elementos de metal presentes na camada que constitui a segunda

estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

[00019] (9) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (6), em que uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha contém um ou mais elementos de metal diferentes a partir do elemento de metal ou dos elementos presentes na camada que constitui a primeira estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

[00020] (10) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (6) e (9), em que uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha contém um ou mais elementos de metal diferentes a partir do elemento de metal ou dos elementos presentes na camada que constitui a segunda estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

[00021] (11) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (10), em que a espessura da Camada média total da totalidade da camada de revestimento é 0,22 a 12  $\mu\text{m}$ .

[00022] (12) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (11), em que a espessura média da primeira estrutura de pilha é 0,2 a 6  $\mu\text{m}$ .

[00023] (13) A ferramenta revestida de qualquer de (1) a (12), em que a espessura média da segunda estrutura de pilha é 0,02 a 6  $\mu\text{m}$ .

#### EFEITOS DA INVENÇÃO

[00024] As ferramentas revestidas da presente invenção têm excelente resistência a desgaste e resistência a fratura para alcançar uma vida mais longa da ferramenta do que a até agora possível.

#### Breve Descrição dos Desenhos

[00025] A figura 1 é um exemplo de vistas esquemáticas que ilustram uma estrutura seccionada da ferramenta revestida da presente invenção.

#### Descrição das Modalidades

[00026] A ferramenta revestida da presente invenção inclui um substrato e a camada de revestimento disposta na superfície do substrato. Os substratos na presente invenção não são

particularmente limitados, e quaisquer substratos de ferramentas revestidas podem ser usados. Exemplos dos mesmos incluem carburetos cimentados, cermets, cerâmicas, nitretos de boro cubico sinterizados, diamantes sinterizados e aços de alta velocidade. Em particular, os substratos de carbureto cimentado são mais preferidos em virtude de excelente resistência a desgaste e resistência a fratura.

[00027] Resistência a desgaste tende a ser reduzida se a espessura da Camada média total da totalidade da camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção é menos do que  $0,22 \mu\text{m}$ . Uma redução na resistência a fratura tende a ser causada se a espessura da Camada média total da totalidade da camada de revestimento excede  $12 \mu\text{m}$ . É portanto preferido que a espessura da Camada média total da totalidade da camada de revestimento ser  $0,22$  a  $12 \mu\text{m}$ . Em particular, a espessura da Camada média total da totalidade da camada de revestimento é mais preferivelmente  $1,0$  a  $8,0 \mu\text{m}$ .

[00028] Como descrito aqui acima, a camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção inclui uma primeira estrutura de pilha específica e uma segunda estrutura de pilha específica. Cada uma das camadas que constituem a primeira estrutura de pilha inclui pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em:

um metal incluindo pelo menos um elemento de metal selecionado a partir de Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, Si, Sr, Y, Sn e Bi; e

compostos que incluem pelo menos um dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro. As referidas camadas exibem excelente resistência a desgaste.

[00029] Em particular, é mais preferido que as camadas que

constituem a primeira estrutura de pilha incluem pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em:

metais incluindo pelo menos dois elementos de metal selecionados a partir de Ti, Nb, Ta, Cr, W, Al, Si, Sr e Y; e

compostos que incluem pelo menos dois dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro. A referida configuração acrescenta dureza. Exemplos específicos dos metais ou os compostos para formar as camadas constituintes na primeira estrutura de pilha incluem  $(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$ ,  $(Al_{0,60}Ti_{0,40})N$ ,  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$ ,  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})CN$ ,  $(Al_{0,45}Ti_{0,45}Si_{0,10})N$ ,  $(Al_{0,45}Ti_{0,45}Y_{0,10})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,30}Cr_{0,20})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}Nb_{0,05})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}Ta_{0,05})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}W_{0,05})N$ ,  $(Ti_{0,90}Si_{0,10})N$  e  $(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$ .

[00030] Na camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção, a primeira estrutura de pilha tem uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas incluindo qualquer um dos referidos metais ou compostos são periodicamente empilhados um em cima do outro com cada camada tendo uma camada média de espessura de 60 nm a 500 nm. A referida estrutura de pilha tendo uma periodicidade específica inclui dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições. Para evitar a penetração de rachaduras e para obter maior resistência a fratura, é preferido que as referidas camadas com diferentes composições sejam empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

[00031] Na presente invenção, a espessura da unidade mínima cuja repetição constitui a pilha é escrita como o "período de empilhamento". O período de empilhamento será explicado abaixo com referência à figura 1 que é um exemplo de vistas esquemáticas que ilustram uma estrutura seccionada de uma ferramenta revestida da presente invenção. Quando, por exemplo, a pilha consiste da repetição de

Camada A1 (5), Camada B1 (6), Camada C1 e Camada D1 tendo diferentes composições na ordem de Camada A1 → Camada B1 → Camada C1 → Camada D1 → Camada A1 → Camada B1 → Camada C1 → Camada D1 → ... a partir do substrato 1 em direção da superfície da camada de revestimento 2, o total das espessuras de camada da Camada A1 a Camada D1 é definido como o "período de empilhamento". No caso onde a pilha consiste da repetição de Camada A1 (5) e Camada B1 (6) tendo diferentes composições na ordem de Camada A1 → Camada B1 → Camada A1 → Camada B1 → Camada A1 → Camada B1 → ... a partir do substrato 1 em direção da superfície da camada de revestimento 2, o "período de empilhamento" indica o total da espessura da camada da Camada A1 e da espessura da camada da Camada B1.

[00032] Com a configuração na qual as camadas tendo diferentes composições e respectivas espessuras de camada média de 60 nm a 500 nm são empilhadas com a periodicidade acima, a rachadura que ocorreu na superfície da camada de revestimento durante o uso da ferramenta revestida é evitada a partir da penetração do substrato. Especificamente, a referida rachadura que alcançou a primeira estrutura de pilha é incentivada a avançar em uma direção paralela à interface entre as camadas com diferentes composições. De modo vantajoso, o referido efeito é adicionalmente aumentado quando uma estrutura de pilha alternada é adotada na qual dois tipos de camadas tendo diferentes composições são empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas. Especificamente, a primeira estrutura de pilha é preferivelmente uma estrutura de pilha alternada na qual as Camadas A1 e as Camadas B1 com diferentes composições são empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas na ordem de Camada A1 → Camada B1 → Camada A1 → Camada B1 → ... a partir do substrato em direção da superfície da camada de

revestimento.

[00033] Com relação a cada uma das camadas que constituem a primeira estrutura de pilha na camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção, qualquer espessura de camada média de cada camada que é menos do que 60 nm resulta em uma redução no efeito de evitar a penetração de rachaduras ao substrato. Por outro lado, a resistência a fratura é reduzida se a espessura média da camada excede 500 nm. Assim, a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a primeira estrutura de pilha é limitada a 60 nm a 500 nm. Mais preferivelmente, a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a primeira estrutura de pilha é 60 nm a 250 nm.

[00034] Se a espessura média da primeira estrutura de pilha é menos do que 0,2  $\mu\text{m}$ , a primeira estrutura de pilha tem um número tão pequeno de repetições do empilhamento periódico das camadas com diferentes composições que a primeira estrutura de pilha tende a reduzir o efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato. Por outro lado, qualquer espessura média que excede 6  $\mu\text{m}$  resulta em um aumento na tensão compressiva residual na totalidade da camada de revestimento, e conseqüentemente a camada de revestimento é propensa a ser separada ou fraturada, ou seja, tende a exibir pobre resistência a fratura. Assim, a espessura média da primeira estrutura de pilha na presente invenção é mais preferivelmente 0,2 a 6  $\mu\text{m}$ .

[00035] Como descrito aqui acima, a camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção inclui a segunda estrutura de pilha. As camadas que constituem a segunda estrutura de pilha incluem pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em:

um metal incluindo pelo menos um elemento de metal selecionado a partir de Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, Si, Sr, Y, Sn

e Bi; e

compostos que incluem pelo menos um dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro. As referidas camadas exibem excelente resistência a desgaste.

[00036] Em particular, é mais preferido que as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha incluem pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em:

metais incluindo pelo menos dois elementos de metal selecionados a partir de Ti, Nb, Ta, Cr, W, Al, Si, Sr e Y; e

compostos que incluem pelo menos dois dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro. A referida configuração adiciona dureza. Exemplos específicos dos metais ou os compostos para formar as camadas constituintes na segunda estrutura de pilha incluem  $(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$ ,  $(Al_{0,60}Ti_{0,40})N$ ,  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$ ,  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})CN$ ,  $(Al_{0,45}Ti_{0,45}Si_{0,10})N$ ,  $(Al_{0,45}Ti_{0,45}Y_{0,10})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,30}Cr_{0,20})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}Nb_{0,05})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}Ta_{0,05})N$ ,  $(Al_{0,50}Ti_{0,45}W_{0,05})N$ ,  $(Ti_{0,90}Si_{0,10})N$  e  $(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$ .

[00037] A segunda estrutura de pilha na presente invenção tem a estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas incluindo qualquer um dos referidos metais ou compostos são periodicamente empilhados um em cima do outro com cada camada tendo uma espessura de camada média de 2 nm a menos do que 60 nm. A referida estrutura de pilha tendo uma periodicidade específica inclui dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições. Para garantir a alta dureza e para obter maior resistência a desgaste, é preferido que a segunda estrutura de pilha seja uma estrutura de pilha alternada na qual as referidas camadas com diferentes composições são empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

[00038] Na segunda estrutura de pilha, de modo similar como descrito acima, a espessura da unidade mínima cuja repetição constitui a pilha é escrita como o "período de empilhamento". Com referência à figura 1 como um exemplo, quando a pilha consiste da repetição de Camada A2 (7), Camada B2 (8), Camada C2 e Camada D2 tendo diferentes composições na ordem de Camada A2 → Camada B2 → Camada C2 → Camada D2 → Camada A2 → Camada B2 → Camada C2 → Camada D2 → ... a partir do substrato 1 em direção da superfície da camada de revestimento 2, o total das espessuras de camada de Camada A2 a Camada D2 é definido como o "período de empilhamento". No caso onde a pilha consiste da repetição de Camada A2 (7) e Camada B2 (8) tendo diferentes composições na ordem de Camada A2 → Camada B2 → Camada A2 → Camada B2 → Camada A2 → Camada B2 → ... a partir do substrato 1 em direção da superfície da camada de revestimento 2, o "período de empilhamento" indica o total da espessura da camada da Camada A2 e a espessura da camada da Camada B2.

[00039] Com a configuração na qual as camadas tendo diferentes composições e respectivas espessuras de camada média de 2 nm a menos do que 60 nm são empilhadas com a periodicidade acima, a segunda estrutura de pilha na ferramenta revestida da presente invenção alcança alta dureza para alcançar um aumento na resistência a desgaste. De modo vantajoso, o referido efeito é adicionalmente aumentado quando uma estrutura de pilha alternada é adotada na qual dois tipos de camadas tendo diferentes composições são empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas. Especificamente, a segunda estrutura de pilha é mais preferivelmente uma estrutura de pilha alternada na qual as Camadas A2 e as Camadas B2 com diferentes composições são empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas na ordem de

Camada A2 → Camada B2 → Camada A2 → Camada B2 → ... a partir do substrato em direção da superfície da camada de revestimento.

[00040] Se a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a segunda estrutura de pilha é menos do que 2 nm, uma dificuldade é encontrada para formar a camada com uma espessura uniforme. Se a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a segunda estrutura de pilha é 60 nm ou mais, a dureza é reduzida para causar uma redução na resistência a desgaste. Adicionalmente, a referida segunda estrutura de pilha tem pouca diferença em espessura da camada a partir da primeira estrutura de pilha com o resultado de que é difícil de alcançar completamente o efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato ao fazer com que a rachadura avance em uma direção paralela à interface entre a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha. Assim, a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a segunda estrutura de pilha na presente invenção é limitada a 2 nm a menos do que 60 nm. A partir dos pontos de vista acima, a espessura média da camada de cada uma das camadas que constituem a segunda estrutura de pilha é mais preferivelmente 5 nm a 30 nm.

[00041] Se a espessura média da segunda estrutura de pilha é menos do que 0,02  $\mu\text{m}$ , a segunda estrutura de pilha tem um número tão pequeno de repetições do empilhamento periódico das camadas que o aumento na dureza não pode ser obtido. Por outro lado, qualquer espessura média da segunda estrutura de pilha que excede 6  $\mu\text{m}$  resulta em um aumento na tensão compressiva residual na segunda estrutura de pilha, e conseqüentemente a camada de revestimento é propensa a ser separada ou fraturada, ou seja, tende a exibir pobre resistência a fratura. Assim, a espessura média da

segunda estrutura de pilha é preferivelmente 0,02 a 6  $\mu\text{m}$ .

[00042] A ferramenta revestida da presente invenção preferivelmente tem a diferença entre  $T_1$  e  $T_2$  ( $T_1 - T_2$ ) de 20 a 996 nm em que  $T_1$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na primeira estrutura de pilha e  $T_2$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na segunda estrutura de pilha. Se a diferença ( $T_1 - T_2$ ) é menos do que 20 nm, a ferramenta revestida tende a reduzir o seu efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato ao fazer com que a rachadura avance em uma direção paralela à interface entre a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha. Se, por outro lado, a diferença entre  $T_1$  e  $T_2$  ( $T_1 - T_2$ ) excede 996 nm, a espessura média da primeira estrutura de pilha é tão grande que a resistência a fratura tende a ser reduzida. Em particular, a diferença entre  $T_1$  e  $T_2$  ( $T_1 - T_2$ ) é mais preferivelmente 20 a 500 nm, e still mais preferivelmente 20 a 250 nm.

[00043] Desde que a unidade "Camada A2  $\rightarrow$  Camada B2" é repetidamente empilhada uma em cima da outra 100 vezes, o valor médio dos períodos de empilhamento é calculado ao se obter o total dos períodos de empilhamento das 100 unidades de repetição "Camada A2  $\rightarrow$  Camada B2  $\rightarrow$  Camada A2  $\rightarrow$  Camada B2  $\rightarrow$  Camada A2  $\rightarrow$  Camada B2  $\rightarrow$  ..." e dividir o total dos períodos de empilhamento pelo número de repetições, ou seja, 100.

[00044] Em uma modalidade preferida da ferramenta revestida da presente invenção, os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a primeira estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e include um ou mais elementos de metal tendo a diferença em valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total

dos elementos de metal presentes na outra camada que constitui a primeira estrutura de pilha que é adjacente a uma camada.

[00045] Com a referida configuração, o desalinhamento das treliças de cristal pode ser obtido na interface entre camadas adjacentes que constituem a primeira estrutura de pilha sem ocasionar qualquer redução na adesão entre as camadas. Consequentemente, a estrutura pode facilmente causar uma rachadura para avançar em uma direção paralela à interface entre as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha, e é, portanto, mais vantajoso em que o efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato é aumentado.

[00046] A frase que os elementos de metal "incluem um ou mais elementos de metal que têm uma diferença em valor absoluto de 5 % ou mais" será descrita. Quando, por exemplo, a primeira estrutura de pilha inclui camadas de  $(Al_{0,55}Ti_{0,45})N$  e camadas de  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$ , os dois tipos de camadas incluem elementos idênticos de metal, ou seja, elemento Al e elemento Ti. A relação do elemento Al presente na camada de  $(Al_{0,55}Ti_{0,45})N$  é 55 % em relação ao total dos elementos de metal, e a relação do elemento Al presente na camada  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$  é 67 % em relação ao total dos elementos de metal. Assim, a diferença na relação do elemento Al entre as duas camadas é 12 %, o que satisfaz a necessidade acima. Adicionalmente, as camadas  $(Al_{0,49}Ti_{0,39}Cr_{0,12})N$  e as camadas  $(Al_{0,56}Ti_{0,36}Cr_{0,08})N$  serão discutidas. Os referidos dois tipos de camadas incluem elementos idênticos de metal, ou seja, elemento Al, elemento Ti e elemento Cr. Embora a diferença na relação do elemento Ti entre as duas camadas seja 3 % e a diferença na relação do elemento Cr entre as duas camadas é 4 %, ou seja, as diferenças para ambos os elementos são menos do que 5 %, a estrutura satisfaz a necessidade pelo fato de que a diferença na relação de Al entre as duas camadas é 7 %.

[00047] Na presente invenção, nitretos são algumas vezes escritos

como  $(M_aL_b)N$  com a letra a indicando a proporção atômica do elemento M e a letra b indicando a proporção atômica do elemento L em relação ao total dos elementos de metal. Por exemplo,  $(Al_{0,55}Ti_{0,45})N$  quer dizer que a proporção atômica do elemento Al em relação ao total dos elementos de metal é 0,55 e a proporção atômica do elemento Ti em relação ao total dos elementos de metal é 0,45, ou seja, a relação do elemento Al em relação ao total dos elementos de metal é 55 % e a relação do elemento Ti em relação ao total dos elementos de metal é 45 %.

[00048] Em uma modalidade preferida da ferramenta revestida da presente invenção, os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a segunda estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha e incluem um ou mais elementos de metal tendo uma diferença no valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total dos elementos de metal presentes na outra camada que constitui a segunda estrutura de pilha que é adjacente a uma camada.

[00049] Com a referida configuração, o desalinhamento de treliças de cristal pode ser obtido na interface entre as camadas adjacentes que constituem a segunda estrutura de pilha sem ocasionar qualquer redução da adesão entre as camadas. Conseqüentemente, a estrutura pode facilmente causar uma rachadura para avançar em uma direção paralela à interface entre as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha, e é, portanto, mais vantajoso em que o efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato é aumentado. O significado da frase que os elementos de metal "incluem um ou mais elementos de metal que têm a diferença em valor absoluto de 5 % ou

mais" é o mesmo que o descrito acima com relação à primeira estrutura de pilha.

[00050] Em outra modalidade da ferramenta revestida da presente invenção, é mais preferido que uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha e a outra camada que constitui a primeira estrutura de pilha que é adjacente a uma camada incluam um ou mais elementos de metal diferentes entre as camadas. Com a referida configuração, as treliças de cristal podem ser desalinhasadas na interface entre as camadas e conseqüentemente a estrutura pode facilmente fazer com que a rachadura avance em uma direção paralela à interface entre as camadas, assim alcançando um aumento no efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato. Quando, por exemplo, a primeira estrutura de pilha inclui as camadas  $(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$  e as camadas  $(Al_{0,50}Ti_{0,30}Cr_{0,20})N$ , a comparação dos elementos de metal presentes nos referidos dois tipos de camadas mostra que o elemento Al e o elemento Ti são contidos nas duas camadas enquanto o elemento Cr é presente apenas em uma das camadas. Ou seja, a necessidade acima é satisfeita. Adicionalmente, quando a primeira estrutura de pilha inclui as camadas de  $(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$  e as camadas de  $(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$ , a comparação dos elementos de metal presentes nos referidos dois tipos de camadas mostra que o elemento Al é contido nas duas camadas enquanto o elemento Cr está presente apenas em uma das camadas e o elemento Ti está presente apenas na outra das camadas. Assim, a necessidade acima é satisfeita.

[00051] De modo similar, na ferramenta revestida da presente invenção, é mais preferido que uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha e a outra camada que constitui a segunda estrutura de pilha que é adjacente a uma camada incluam um ou mais elementos de metal diferentes entre as camadas. Com a referida configuração, as treliças de cristal podem ser desalinhasadas na

interface entre as camadas e conseqüentemente a estrutura pode facilmente fazer com que a rachadura avance em uma direção paralela à interface entre as camadas, assim alcançando um aumento no efeito de suprimir a penetração de rachaduras ao substrato.

[00052] Na ferramenta revestida da presente invenção, a camada de revestimento inclui a primeira estrutura de pilha tendo excelente resistência a fratura e a segunda estrutura de pilha tendo excelente resistência a desgaste. Como resultado, a ferramenta revestida exibe excelente resistência a fratura e resistência a desgaste. A camada de revestimento pode incluir uma camada superior na superfície da camada de revestimento no lado oposto ao substrato através da primeira estrutura de pilha e da segunda estrutura de pilha. Adicionalmente, a camada de revestimento pode incluir uma camada inferior no lado mais próximo ao substrato do que a primeira e segunda estrutura de pilhas. Adicionalmente, a camada de revestimento pode incluir uma camada intermediária entre a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha.

[00053] As configurações das referidas camadas superiores, camadas intermediárias e camadas inferiores não são particularmente limitadas e qualquer uma das camadas de revestimento proporcionada em ferramentas revestidas pode ser usada. Em particular, maior resistência a desgaste pode ser de modo vantajoso obtido ao se adotar uma única configuração de camada ou uma configuração de múltiplas camadas não periódicas incluindo pelo menos uma selecionada a partir do grupo que consiste em um metal incluindo pelo menos um elemento de metal selecionado a partir de Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, Si, Sr, Y, Sn e Bi; e compostos que incluem pelo menos um dos referidos elementos de metal e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro.

[00054] Em uma modalidade mais preferida, a primeira estrutura de pilhas e a segunda estrutura de pilhas são empilhadas alternadamente e continuamente cada uma em duas ou mais camadas. Com a referida configuração, a estrutura pode facilmente fazer com que a rachadura avance em uma direção paralela à interface entre a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha, e assim suprima de modo eficaz a penetração de rachaduras ao substrato, ou seja, alcance uma maior resistência a fratura. A relação de posição entre a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha não é limitada e pode ser de modo que a primeira estrutura de pilha esteja mais próxima ao substrato e a segunda estrutura de pilha esteja mais próxima da superfície da camada de revestimento no lado oposto ao substrato ou pode ser de modo que a segunda estrutura de pilha esteja mais próxima ao substrato e a primeira estrutura de pilha esteja mais próxima da superfície da camada de revestimento no lado oposto ao substrato. Alternativamente, a primeira estrutura de pilha ou a segunda estrutura de pilha pode ser disposta mais próxima não só do substrato, mas também da superfície da camada de revestimento no lado oposto ao substrato. Com base no fato de que a tensão compressiva residual na primeira estrutura de pilha é mais baixa do que a tensão compressiva residual na segunda estrutura de pilha, é mais preferido que a primeira estrutura de pilha seja disposta mais próxima ao substrato e a segunda estrutura de pilha seja disposta mais próxima da superfície. Nesse caso, a camada de revestimento tende a exibir uma maior resistência à separação.

[00055] A camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção pode ser produzida por quaisquer métodos sem limitação. Por exemplo, um método de deposição física tal como um método de laminação a íon, um método de laminação a íon de arco, um método de cintilação ou um método de mistura de íons pode ser

usado para formar as camadas tal como a primeira estrutura de pilha e segunda estrutura de pilha acima mencionadas no substrato. Em particular, o método de laminação a íon de arco é mais preferido em virtude de sua excelente adesão entre a camada de revestimento e o substrato.

[00056] A ferramenta revestida da presente invenção pode ser obtida ao formar as camadas sobre a superfície do substrato por um método de revestimento convencional. Um exemplo de método de produção é descrito abaixo.

[00057] Um substrato processado em um formato da ferramenta é disposto em um recipiente de reação de um aparelho de deposição física, e um vácuo é produzido por evacuar o lado de dentro do recipiente de reação a uma pressão de  $1 \times 10^{-2}$  Pa ou abaixo. Após o vácuo ter sido gerado, a temperatura do substrato é elevada para 200 a 800°C com um aquecedor disposto no recipiente de reação. Após o aquecimento, gás de Ar é introduzido no recipiente de reação para elevar a pressão para 0,5 a 5.0 Pa. Na atmosfera de gás de Ar a uma pressão de 0,5 a 5.0 Pa, uma voltagem de orientação de -200 a -1000 V é aplicada ao substrato e uma corrente de 5 a 20 A é passada através de um filamento de tungstênio disposto no recipiente de reação, desse modo tratando a superfície do substrato por bombardeio de íon do gás de Ar. Após a superfície do substrato ter sido tratada por bombardeio de íon, vácuo é implementado a uma pressão de  $1 \times 10^{-2}$  Pa ou abaixo.

[00058] Em seguida, um gás de reação tal como gás nitrogênio é introduzido no recipiente de reação para aumentar a pressão dentro do recipiente de reação a 0,5 a 5.0 Pa. A voltagem de orientação de -10 a -150 V é aplicada ao substrato, e as fontes de deposição de metal de acordo com os componentes de metal das respectivas camadas são vaporizados por descarga de arco, desse modo formando camadas na

superfície do substrato. No caso onde dois ou mais tipos de fontes de deposição de metal arrançadas em separado serem vaporizadas ao mesmo tempo por descarga de arco e as camadas para constituir a primeira estrutura de pilha ou a segunda estrutura de pilha são formadas ao mesmo tempo em que se gira uma mesa giratória na qual o substrato foi fixado, a espessura das camadas das respectivas camadas para constituir a primeira estrutura de pilha ou a segunda estrutura de pilha pode ser controlada ao se ajustar a velocidade rotacional da mesa giratória que suporta o substrato no recipiente de reação. Quando dois ou mais tipos de fontes de deposição de metal são vaporizadas alternadamente por descarga de arco para formar as camadas para constituir a primeira estrutura de pilha ou a segunda estrutura de pilha, a espessura das camadas das respectivas camadas para constituir a primeira estrutura de pilha ou a segunda estrutura de pilha pode ser controlada ao se ajustar o tempo de descarga de arco para as respectivas fontes de deposição de metal.

[00059] A espessura da camada das respectivas camadas que constituem a camada de revestimento na ferramenta revestida da presente invenção pode ser medida ao analisar a estrutura seccionada da ferramenta revestida com um dispositivo tal como um microscópio ótico, um microscópio de leitura de elétron (SEM) ou um microscópio de transmissão de elétron (TEM). A espessura média da camada de cada uma das camadas na ferramenta revestida da presente invenção pode ser obtida ao se medir a espessura da camada de cada camada com relação às seções transversais amostradas a partir de 3 ou mais regiões aproximadamente 50  $\mu\text{m}$  a partir da borda de corte da superfície oposta à fonte de deposição de metal em direção do centro da superfície, e calcular o valor médio da espessura obtida das camadas.

[00060] A composição de cada uma das camadas na ferramenta

revestida da presente invenção pode ser medida ao se analisar a estrutura seccionada da ferramenta revestida da presente invenção com um dispositivo tal como um espectrômetro de raios X de energia dispersiva (EDS) ou um espectrômetro de raios X de comprimento de onda dispersivo (WDS).

[00061] Exemplos específicos das ferramentas revestidas da presente invenção incluem dispositivos de inserção de corte, brocas e brocas de extremidade.

## EXEMPLOS

### Exemplo 1

[00062] Um carbureto cimentado que corresponde a P10 no dispositivo de inserção ISO SEEN 1203 foi proporcionado como um substrato. Fontes de deposição de metal foram arranjadas em um recipiente de reação de um aparelho de laminação de íon de arco como para projetar camadas que têm as composições descritas em qualquer uma das Tabelas 1 a 3. O substrato foi fixado a um hardware de fixação da mesa giratória disposta no recipiente de reação.

[00063] Posteriormente, a vácuo foi produzido ao se evacuar o lado de dentro do recipiente de reação a uma pressão de  $5,0 \times 10^{-3}$  Pa ou abaixo. Após o vácuo ter sido gerado, o substrato foi aquecido a uma temperatura de 500°C com um aquecedor disposto no recipiente de reação. Após o aquecimento, gás de Ar foi introduzido no recipiente de reação para elevar a pressão a 5,0 Pa.

[00064] Na atmosfera de gás de Ar a uma pressão de 5,0 Pa, a voltagem de orientação de -1000 V foi aplicada ao substrato e uma corrente de 10 A foi passada através de um filamento de tungstênio disposto no recipiente de reação, desse modo tratando a superfície do substrato por bombardeio de íon do gás de Ar por 30 minutos. Após a conclusão do tratamento com bombardeio de íon, o lado de dentro do recipiente de reação foi evacuado para levar o vácuo a uma pressão

de  $5,0 \times 10^{-3}$  Pa ou abaixo.

[00065] Após o vácuo ter sido produzido, gás nitrogênio foi introduzido no recipiente de reação para criar uma atmosfera de gás nitrogênio tendo uma pressão de 2,7 Pa. A voltagem de orientação de -50 V foi aplicada ao substrato, e uma corrente de arco de 200 A foi passada para produzir descarga de arco e desse modo para vaporizar as fontes de deposição de metal, assim formando as respectivas camadas.

[00066] Na formação das Camadas A1 e das Camadas B1 nos produtos da invenção 1 a 11, a fonte de deposição de metal para as Camadas A1 e a fonte de deposição de metal para as Camadas B1 foram alternadamente vaporizadas por descarga de arco para formar as Camadas A1 e as Camadas B1. Durante doo referido processo, a espessura de camadas das Camadas A1 e das Camadas B1 foi controlada ao se ajustar o respectivo tempo de descarga de arco. Na fabricação do Produto Comparativo 1, as Camadas X e as Camadas Y com grande espessura de camadas foram formadas do modo similar por alternadamente vaporizar a fonte de deposição de metal para as Camadas X e a fonte de deposição de metal para as Camadas Y por descarga de arco. Durante o referido processo, a espessura de camadas das Camadas X e das Camadas Y foi controlada ao se ajustar o respectivo tempo de descarga de arco.

[00067] Na formação das Camadas A2 e das Camadas B2 nos produtos da invenção 1 a 11, a fonte de deposição de metal para as Camadas A2 e a fonte de deposição de metal para as Camadas B2 foram simultaneamente vaporizadas por descarga de arco para formar as Camadas A2 e as Camadas B2. Durante o referido processo, a espessura de camada das Camadas A2 e das Camadas B2 foi controlada ao se ajustar a velocidade rotacional da mesa giratória na faixa de 0,2 a  $10 \text{ min}^{-1}$ . Na fabricação do Produto Comparativo 2, as

Camadas X e as Camadas Y com pequena espessura das camadas foram formadas do modo similar por simultaneamente vaporizar a fonte de deposição de metal para as Camadas X e a fonte de deposição de metal para as Camadas Y por descarga de arco. Durante o referido processo, a espessura de camadas das Camadas X e das Camadas Y foi controlada ao se ajustar a velocidade rotacional da mesa giratória na faixa de 0,2 a 10 min<sup>-1</sup>.

[00068] Após as camadas terem sido formadas na superfície do substrato para a espessura prescrita de camadas, o aquecedor foi desligado. Após a temperatura da amostra ter sido reduzida a 100°C ou abaixo, a amostra foi coletada a partir do recipiente de reação.

Tabela 1

Amostra No.	Primeira estrutura de pilha				Segunda estrutura de pilha				T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub> (nm)		
	Camadas A1	Camadas B1	Camadas A1 + Camadas B1	Espessura média (µm)	Camadas A2	Camadas B2	Camadas A2 + Camadas B2	Espessura média (µm)			
Prod. Inv. 1	Composição (Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) 10 0	Composição (Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) 10 0	Valor médio de períodos de empenhamento T <sub>1</sub> (nm) 20 0	5	1,0	Composição (Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) 10	Composição (Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) 10	Valor médio de períodos de empenhamento T <sub>2</sub> (nm) 20 20	50	1,0	180
Prod. Inv. 2	Composição (Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) 60	Composição (Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) 60	Valor médio de períodos de empenhamento T <sub>1</sub> (nm) 12 0	10	1,2	Composição (Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) 10	Composição (Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) 10	Valor médio de períodos de empenhamento T <sub>2</sub> (nm) 20 20	25	0,5	100

Prod . Inv. 3	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	25 0	2 50	1,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	1 0	2 0	10 0	2, 0	48 0
Prod . Inv. 4	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	10 0	1 20	2,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	2 0	4 0	10 0	0, 4	19 6
Prod . Inv. 5	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	10 0	5 20	1,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	4 5	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	4 5	9 0	10 0	0, 9	11 0
Prod . Inv. 6	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	60	3 12	0,3 6	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	3 5	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	3 5	7 0	30 0	2, 1	50
Prod . Inv. 7	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	25 0	4 50	2,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	2 0	4 0	20 0	0, 8	49 6
Prod . Inv. 8	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	60	3 12	0,3 6	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	3 5	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	3 5	7 0	30 0	2, 1	50

Prod . Inv. 9	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	25 0	50 0	4	2,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	2	4	20 0	0, 8	49 6
Prod . Inv. 10	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	60	12 0	3	0,3 6	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	3 5	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	3 5	7 0	30 1	2, 1	50
Prod . Inv. 11	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	25 0	50 0	4	2,0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	2	4	20 0	0, 8	49 6

Tabela 2

		Camada de revestimento									
Amostra No.	Primeira camada (lado do substrato)	Segunda camada		Terceira camada	Quarta camada		Quinta camada (lado superfície)		Espessura Total da camada (μm)		
	Camada inferior	Estrutura de pilha	espessura média (μm)	Camada intermediária	Estrutura de pilha	espessura média (μm)	Composição	Composição	espessura média (μm)	Composição	espessura média (μm)
Prod. Inv. 1	TiN 0,5	Primeira	1,0	TiN 0,5	Segunda	1,0	TiN 0,5	TiN 0,5	0,5	TiN 0,5	3,5
Prod. Inv. 2	TiN 0,5	Primeira	1,2	TiN 0,5	Segunda	0,5	TiN 0,5	TiN 0,5	0,5	TiN 0,5	3,2
Prod. Inv. 3	TiN 0,5	Primeira	1,0	TiN 0,5	Segunda	2,0	TiN 0,5	TiN 0,5	0,5	TiN 0,5	4,5

Prod. Inv. 4	TiN	0,5	Primeira	2,0	TiN	0,5	Segunda	0,4	TiN	0,5	3,9
Prod. Inv. 5	TiN	0,5	Primeira	1,0	TiN	0,5	Segunda	0,9	TiN	0,5	3,4
Prod. Inv. 6	TiN	0,5	Primeira	0,36	TiN	0,5	Segunda	2,1	TiN	0,5	3,96
Prod. Inv. 7	TiN	0,5	Primeira	2,0	TiN	0,5	Segunda	0,8	TiN	0,5	4,3
Prod. Inv. 8	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	Primeira	0,36	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	Segunda	2,1	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	3,96
Prod. Inv. 9	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	Primeira	2,0	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	Segunda	0,8	(Ti <sub>0.60</sub> Al <sub>0.40</sub> )N	0,5	4,3
Prod. Inv. 10	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	Primeira	0,36	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	Segunda	2,1	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	3,96
Prod. Inv. 11	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	Primeira	2,0	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	Segunda	0,8	(Ti <sub>0.85</sub> Si <sub>0.15</sub> )N	0,5	4,3

\*"Primeira" e "Segunda" nas seções "Estrutura empilhada" indica a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha nos produtos da invenção com os números correspondentes na Tabela 1.

Tabela 3

Amostr aNo.	Camada de revestimento						
	Estrutura de pilha						Espes sura total da cama da ( $\mu\text{m}$ )
	Camadas X		Camadas Y		Camadas X + Camadas Y		
	Compo sição	Espes sura de cama da média (nm)	Compo sição	Espes sura de cama da média (nm)	Valor médio de períodos de empilha mento T (nm)	Núme ro de repeti ções (veze ras)	
Prod. Comp. 1	(Al <sub>0,50</sub> Ti 0,50)N	100	(Al <sub>0,67</sub> Ti 0,33)N	100	200	20	
Prod. Comp. 2	(Al <sub>0,50</sub> Ti 0,50)N	10	(Al <sub>0,67</sub> Ti 0,33)N	10	20	200	4,0

[00069] As respectivas espessuras de camada média das camadas nas amostras obtidas foram determinadas ao se medir a espessura da camada de cada camada por observação de TEM com relação às seções transversais amostradas a partir de 3 regiões aproximadamente 50  $\mu\text{m}$  a partir da borda de corte da superfície da ferramenta revestida oposta à fonte de deposição de metal em direção do centro da superfície, e calcular o valor médio da espessura obtida das camadas. As respectivas composições das camadas nas amostras obtidas foram determinadas ao analisar a seção transversal amostrada a partir de uma região de a partir da borda de corte da superfície da ferramenta revestida oposta à fonte de deposição de

metal para a distância de 50  $\mu\text{m}$  em direção do centro usando um EDS. Os resultados são descritos nas Tabelas 1 a 3. As relações de composição dos elementos de metal nas camadas descritas nas Tabelas 1 a 3 indicam uma proporção atômica dos elementos de metal em relação ao total dos elementos de metal nos compostos de metal que foram as respectivas camadas.

[00070] A resistência à fratura das amostras obtidas acima foi avaliada pelo uso das amostras no triturador de face sob as condições de teste a seguir. Os resultados da avaliação são descritos na Tabela 4.

#### Condições de Teste

Peças de trabalho: SCM440

Formato da peça de trabalho: cuboide de 105 mm x 200 mm x 60 mm (tendo 6 orifícios com um diâmetro de 30 mm na face de 105 mm x 200 mm a ser triturada do cuboide)

Coefficiente de corte: 250 m/min

Alimentação: 0,4 mm/tooth

Profundidade de corte: 2,0 mm

Largura do corte: 105 mm

Refrigerante: nenhum

Diâmetro efetivo do cortador: 125 mm

Item de avaliação: a extensão de corte para a ocorrência de fratura da amostra (a ocorrência de fratura na lâmina de corte da amostra) foi medida.

Tabela 4

Amostra No.	Extensão de corte (m)
Produto da invenção 1	7,0
Produto da invenção 2	6,2
Produto da invenção 3	5,5
Produto da invenção 4	6,9

Amostra No.	Extensão de corte (m)
Produto da invenção 5	5,3
Produto da invenção 6	4,7
Produto da invenção 7	5,5
Produto da invenção 8	4,8
Produto da invenção 9	6,5
Produto da invenção 10	4,6
Produto da invenção 11	5,3
Produto Comparativo 1	3,3
Produto Comparativo 2	3,6

[00071] Os resultados na Tabela 4 mostram que os Produtos da invenção alcançaram uma extensão de corte mais longa e tinham uma vida mais longa da ferramenta do que os Produtos Comparativos que tinham uma estrutura de pilha alternada composta de camadas com várias espessuras uniformes de camadas.

#### Exemplo 2

[00072] Um carbureto cimentado que corresponde a P10 no formato do dispositivo de inserção ISO SEEN 1203 foi proporcionado como um substrato. Fontes de deposição de metal foram arranjadas em um recipiente de reação de um aparelho de laminação de íon de arco de modo a projetar camadas tendo as composições descritas na Tabela 5. Amostras tendo as configurações de camadas descritas nas Tabelas 5 e 6 foram fabricadas pelo mesmo método de produção que no Exemplo 1.

Tabela 5

Amostra No.	Primeira estrutura de pilha					Segunda estrutura de pilha					T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub> (nm)			
	Camadas A1		Camadas B1		Camadas A1 + Camadas B1	Camadas A2		Camadas B2		Camadas A2 + Camadas B2		Espessura média (µm)		
	Composição	camada média	Composição	camada média	períodos de empilhamento T <sub>1</sub>	repetições	Composição	camada média	períodos de empilhamento T <sub>2</sub>	repetições		Espessura média (µm)		
Prod. Inv. 12	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )N	60	120	5	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	2	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )N	2	4	12	0,5	116
Prod. Inv. 13	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )N	10	200	10	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )N	10	20	10	2,0	180

Prod . Inv. 14	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	25 0	50 0	1 2	6, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	1 0	2 0	30 0	6,0 0	48 0
Prod . Inv. 15	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	10 0	20 0	5 0	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	1 0	2 0	50 0	1,0 0	18 0
Prod . Inv. 16	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	60	12 0	1 0	1, 2	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	1 0	2 0	50 0	1,0 0	10 0
Prod . Inv. 17	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	60	12 0	1 0	1, 2	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	2	4 0	25 0	1,0 6	11 6
Prod . Inv. 18	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	25 0	50 0	4 0	2, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	1 0	2 0	10 0	0,2 0	48 0
Prod . Inv. 19	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	10 0	20 0	5 0	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	4 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )	4 0	8 0	13 0	1,0 4	12 0

Prod . Inv. 20	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	10 0	20 0	2 0	0, 4	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	1 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	1 0	2 0	25 5	0, 5	18 0
Prod . Inv. 21	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	60	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	60 0	12 0	1 0	1, 2	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	4 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	4 0	8 0	5 4	0, 4	40
Prod . Inv. 22	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	25 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	25 0	50 0	2 0	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> ) N	2	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> ) N	2	4	25 0	1, 0	49 6

Tabela 6

		Camada de revestimento																
		Primeira camada (lado do substrato)		Segunda camada		Terceira camada		Quarta camada		Quinta camada		Sexta camada		Sétima camada		Oitava camada (lado da superfície)		
Amostragem		Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura média	Estrutura de pilha	Espessura total da camada (µm)
Prod. Inv. 12	Primeira a	0,6	Segunda a	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1
Prod. Inv. 13	Primeira a	2,0	Segunda a	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0
Prod. Inv. 14	Primeira a	6,0	Segunda a	6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,0
Prod. Inv. 15	Primeira a	1,0	Segunda a	1,0	Primeira a	1,0	Segunda a	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0





[00073] As respectivas espessuras de camada média e as respectivas composições das camadas nas amostras obtidas foram determinadas da mesma maneira que no Exemplo 1, os resultados sendo descritos na Tabelas 5 e 6. Adicionalmente, a resistência a fratura das amostras obtida foi avaliada ao se usar as amostras na trituração de face sob as mesmas condições de teste que no Exemplo 1. Os resultados da avaliação são descritos na Tabela 7.

Tabela 7

Amostra No.	Extensão de corte (m)
Produto da invenção 12	7,5
Produto da invenção 13	9,1
Produto da invenção 14	6,6
Produto da invenção 15	9,2
Produto da invenção 16	8,8
Produto da invenção 17	9,1
Produto da invenção 18	6,6
Produto da invenção 19	7,5
Produto da invenção 20	7,8
Produto da invenção 21	7,2
Produto da invenção 22	6,6
Produto Comparativo 1	3,3
Produto Comparativo 2	3,6

[00074] A partir da Tabela 7, foi mostrado que os produtos da invenção alcançaram uma extensão de corte mais longa e tinham uma vida mais longa da ferramenta do que os Produtos Comparativos que tinham uma estrutura de pilha alternada composta de camadas com várias espessuras uniformes de camadas.

### Exemplo 3

[00075] Um carbureto cimentado que corresponde ao dispositivo de inserção P10 no formato de ISO SEEN 1203 foi proporcionado como

um substrato. Na fabricação dos Produtos da invenção 23 e 25 a 35 e dos Produtos Comparativos 3 e 5 a 15, as fontes de deposição de metal foram arranjadas em um recipiente de reação de um aparelho de laminação de íon de arco de maneira a projetar as camadas tendo as composições descritas nas Tabelas 8 e 10, e as amostras tendo as configurações de camada descritas nas Tabelas 9 e 10 foram fabricadas pelo mesmo método de produção que o do Exemplo 1.

[00076] Na fabricação do Produto da invenção 24 e do Produto Comparativo 4, as fontes de deposição de metal foram arranjadas em um recipiente de reação de um aparelho de laminação de íon de arco de maneira a projetar as camadas tendo as composições descritas nas Tabelas 8 e 10, e as amostras tendo as configurações de camada descritas nas Tabelas 9 e 10 foram fabricadas da mesma maneira que no Exemplo 1 exceto que a atmosfera no recipiente de reação durante a formação das camadas foi criada por alimentação de uma mistura de gás que contém gás  $N_2$  e gás  $CH_4$  em uma relação de pressão parcial de  $N_2:CH_4 = 1:1$  a uma pressão dentro do recipiente de reação de 2,7 Pa.

Tabela 8

Amostra No.	Primeira estrutura de pilha					Segunda estrutura de pilha					T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub> (n m)				
	Camadas A1		Camadas B1		Camadas A1 + Camadas B1	Espessura média (µm)	Camadas A2		Camadas B2			Camadas A2 + Camadas B2	Espessura média (µm)		
	Composição	camada	Composição	camada			Composição	camada	Composição	camada				de repetições	
Prod. Inv. 23	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10 0	(Al <sub>0,60</sub> Ti <sub>0,40</sub> )N	10 0	20 0	5	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,60</sub> Ti <sub>0,40</sub> )N	10	20	50	1, 0	18 0
Prod. Inv. 24	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )CN	10 0	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )C	10 0	20 0	5	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )CN	10	(Al <sub>0,67</sub> Ti <sub>0,33</sub> )C	10	20	50	1, 0	18 0
Prod. Inv. 25	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10 0	(Al <sub>0,45</sub> Ti <sub>0,45</sub> Si <sub>0,10</sub> )N	10 0	20 0	5	1, 0	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,45</sub> Ti <sub>0,45</sub> Si <sub>0,10</sub> )N	10	20	50	1, 0	18 0

Amos	Primeira estrutura de pilha						Segunda estrutura de pilha						T <sub>1</sub> -		
	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,45</sub> Ti <sub>0,45</sub> Sr 0.10)N	10	20	5	1,	(Al <sub>0,50</sub> Ti <sub>0,50</sub> )N	10	(Al <sub>0,45</sub> Ti <sub>0,45</sub> Sr 0.10)N	10	20		50	1,
Prod. Inv. 26		0		0	0		0							0	18
Prod. Inv. 27		0		0	0		0							0	18
Prod. Inv. 28		0		0	0		0							0	18

Prod. Inv. 29	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	100	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}Nb_{0,05})N$	100	200	5	1,0	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	10	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}Nb_{0,05})N$	10	20	50	1,0	180
Prod. Inv. 30	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	100	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}Ta_{0,05})N$	100	200	5	1,0	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	10	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}Ta_{0,05})N$	10	20	50	1,0	180
Prod. Inv. 31	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	100	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}W_{0,05})N$	100	200	5	1,0	$(Al_{0,50}Ti_{0,50})N$	10	$(Al_{0,50}Ti_{0,45}W_{0,05})N$	10	20	50	1,0	180
Prod. Inv. 32	$(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$	100	$(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$	100	200	5	1,0	$(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$	10	$(Al_{0,67}Ti_{0,33})N$	10	20	50	1,0	180
Prod. Inv. 33	$(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$	100	$(Ti_{0,90}Si_{0,10})N$	100	200	5	1,0	$(Al_{0,50}Cr_{0,50})N$	10	$(Ti_{0,90}Si_{0,10})N$	10	20	50	1,0	180
Prod.	$(Ti_{0,50}Cr_{0,50})$	100	$(Al_{0,67})$	100	200	5	1,0	$(Ti_{0,50}Cr_{0,50})$	10	$(Al_{0,67}Ti_{0,33})$	10	20	50	1,0	180



Tabela 9

Amostra No.	Camada de revestimento								
	Primeira camada (lado do substrato)		Segunda camada		Terceira camada		Quarta camada (lado da superfície)		Total de espessura da camada ( $\mu\text{m}$ )
	Estrutura de pilha	Espessura média ( $\mu\text{m}$ )	Estrutura de pilha	Espessura média ( $\mu\text{m}$ )	Estrutura de pilha	Espessura média ( $\mu\text{m}$ )	Estrutura de pilha	Espessura média ( $\mu\text{m}$ )	
Prod. Inv. 23	Primeira	1,0	Segunda	1,0	Primeira	1,0	Segunda	1,0	4,0
Prod. Inv. 24	Primeira	1,0	Segunda	1,0	Primeira	1,0	Segunda	1,0	4,0
Prod. Inv. 25	Primeira	1,0	Segunda	1,0	Primeira	1,0	Segunda	1,0	4,0
Prod. Inv. 26	Primeira	1,0	Segunda	1,0	Primeira	1,0	Segunda	1,0	4,0
Prod. Inv.	Primeira	1,0	Segunda	1,0	Primeira	1,0	Segunda	1,0	4,0

27									
Pro d. Inv. 28	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 29	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 30	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 31	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 32	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 33	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro d. Inv. 34	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	Prim eira	1,0	Seg unda	1,0	4,0
Pro	Prim	1,0	Seg	1,0	Prim	1,0	Seg	1,0	4,0

d.	eira		unda		eira		unda		
Inv.									
35									

\*"Primeira" e "Segunda" nas seções "Estruturas empilhadas" indicam a primeira estrutura de pilha e a segunda estrutura de pilha nos produtos da invenção com os números correspondentes na Tabela 8.

Tabela 10

Amostra No.	Camada de revestimento						
	Estrutura de pilha						Total de espessura da camada ( $\mu\text{m}$ )
	Camadas X		Camadas Y		Camadas X + Camadas Y		
	Composição	Espessura de camada média (nm)	Composição	Espessura de camada média (nm)	Valor médio de períodos de empilhamento T (nm)	Número de repetições (vezes)	
Prod. Comp. 3	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,60}\text{Ti}_{0,40})\text{N}$	10	20	200	
Prod. Comp. 4	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{C}$ N	10	$(\text{Al}_{0,67}\text{Ti}_{0,33})\text{C}$ N	10	20	200	4,0
Prod. Comp. 5	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,45}\text{Ti}_{0,45}\text{Si}_{0,10})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod.	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,45}\text{Ti}_{0,45}\text{Sr}_{0,10})\text{N}$	10	20	200	4,0

Com p. 6	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$		$(\text{Al}_{0,10}\text{Ti}_{0,90})\text{N}$				
Prod. Com p. 7	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,45}\text{Ti}_{0,45}\text{Y}_{0,10})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 8	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,30}\text{Cr}_{0,20})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 9	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,45}\text{Nb}_{0,05})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 10	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,45}\text{Ta}_{0,05})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 11	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,45}\text{W}_{0,05})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 12	$(\text{Al}_{0,50}\text{Cr}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,67}\text{Ti}_{0,33})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 13	$(\text{Al}_{0,50}\text{Cr}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Ti}_{0,90}\text{Si}_{0,10})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 14	$(\text{Ti}_{0,50}\text{Cr}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Al}_{0,67}\text{Ti}_{0,33})\text{N}$	10	20	200	4,0
Prod. Com p. 15	$(\text{Ti}_{0,50}\text{Cr}_{0,50})\text{N}$	10	$(\text{Ti}_{0,90}\text{Si}_{0,10})\text{N}$	10	20	200	4,0

[00077] As respectivas espessuras das camadas e as respectivas

composições das camadas nas amostras obtidas foram determinadas da mesma maneira que no Exemplo 1, os resultados sendo descritos nas Tabelas 8 a 10. As relações de composição dos elementos de metal nas camadas descritas nas Tabelas 8 e 10 indicam uma proporção atômica dos elementos de metal em relação ao total dos elementos de metal nos compostos de metal formando as respectivas camadas. A resistência a fratura das amostras obtida foi avaliada ao se usar as amostras em trituração de face sob as mesmas condições de teste que no Exemplo 1. Os resultados da avaliação são descritos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11

Amostra No.	Extensão de corte (m)
Produto da invenção 23	9,1
Produto da invenção 24	8,8
Produto da invenção 25	8,8
Produto da invenção 26	8,7
Produto da invenção 27	8,8
Produto da invenção 28	9,0
Produto da invenção 29	8,8
Produto da invenção 30	8,8
Produto da invenção 31	9,0
Produto da invenção 32	9,0
Produto da invenção 33	8,6
Produto da invenção 34	9,0
Produto da invenção 35	8,6

Tabela 12

Amostra No.	Extensão de corte (m)
Produto Comparativo 3	3,5
Produto Comparativo 4	3,3
Produto Comparativo 5	3,3

Produto Comparativo 6	3,1
Produto Comparativo 7	3,2
Produto Comparativo 8	3,4
Produto Comparativo 9	3,3
Produto Comparativo 10	3,3
Produto Comparativo 11	3,4
Produto Comparativo 12	3,4
Produto Comparativo 13	3,0
Produto Comparativo 14	3,4
Produto Comparativo 15	3,0

[00078] A partir das Tabelas 11 e 12, foi mostrado que os Produtos da invenção alcançaram uma extensão de corte mais longa e tinham uma vida mais longa da ferramenta do que os Produtos Comparativos que tinham uma estrutura de pilha alternada composta de camadas com várias espessuras uniformes de camadas.

#### Lista de Sinais de Referência

- 1 Substrato
- 2 Camada de revestimento
- 3 Primeira estrutura de pilha
- 4 Segunda estrutura de pilha
- 5 Camada A1
- 6 Camada B1
- 7 Camada A2
- 8 Camada B2

## REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta revestida, caracterizada pelo fato de que compreende um substrato e uma camada de revestimento disposta na superfície do substrato, a camada de revestimento incluindo uma primeira estrutura de pilha e uma segunda estrutura de pilha, caracterizado pelo fato de que

a primeira estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 60 nm a 500 nm,

a segunda estrutura de pilha tendo uma estrutura na qual dois ou mais tipos de camadas com diferentes composições são periodicamente empilhadas em que a espessura média da camada de cada uma das camadas é 2 nm a menos do que 60 nm,

as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha incluindo pelo menos uma selecionada do grupo que consiste em compostos incluindo pelo menos dois elementos de metal selecionado a partir de Ti, Nb, Ta, Cr, W, Al, Si, Sr e Y e pelo menos um elemento de não metal selecionado a partir de carbono, nitrogênio, oxigênio e boro.

2. Ferramenta revestida, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a primeira estrutura de pilha é uma estrutura de pilha alternada que inclui dois tipos de camadas com diferentes composições empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

3. Ferramenta revestida, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que a segunda estrutura de pilha é uma estrutura de pilha alternada que inclui dois tipos de camadas com diferentes composições empilhadas alternadamente cada uma em duas ou mais camadas.

4. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de que a camada de revestimento inclui uma estrutura que inclui as primeiras estruturas de pilhas e as segundas estruturas de pilhas empilhadas alternadamente e continuamente em cada duas ou mais estruturas.

5. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de que  $(T_1 - T_2)$  é 20 nm a 996 nm em que  $T_1$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na primeira estrutura de pilha e  $T_2$  é o valor médio dos períodos de empilhamento na segunda estrutura de pilha.

6. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo fato de que as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha cada uma inclui pelo menos uma selecionada do grupo que consiste em compostos incluindo pelo menos dois elementos de metal selecionados a partir de Ti, Cr, Al e Si e pelo menos um elemento de não metal selecionado de carbono e nitrogênio.

7. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo fato de que os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a primeira estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e

incluem um ou mais elementos de metal tendo a diferença em valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total dos elementos de metal presentes na camada que constitui a primeira estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

8. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo fato de que os elementos de metal presentes nas camadas que constituem a segunda estrutura de pilha são idênticos entre as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha e

incluem um ou mais elementos de metal tendo a diferença em valor absoluto de 5 % ou mais entre a relação do mesmo em relação ao total dos elementos de metal presentes em uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha e a relação do elemento de metal idêntico em relação ao total dos elementos de metal presentes na camada que constitui a segunda estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

9. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo fato de que uma camada que constitui a primeira estrutura de pilha contém um ou mais elementos de metal diferentes a partir do elemento de metal ou dos elementos presentes na camada que constitui a primeira estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

10. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6 e 9, caracterizada pelo fato de que uma camada que constitui a segunda estrutura de pilha contém um ou mais elementos de metal diferentes a partir do elemento de metal ou dos elementos presentes na camada que constitui a segunda estrutura de pilha cuja camada é adjacente a uma camada.

11. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada pelo fato de que a espessura da camada média total da totalidade da camada de revestimento é 0,22 a 12  $\mu\text{m}$ .

12. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizada pelo fato de que a espessura

média da primeira estrutura de pilha é 0,2 a 6  $\mu\text{m}$ .

13. Ferramenta revestida, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizada pelo fato de que a espessura média da segunda estrutura de pilha é 0,02 a 6  $\mu\text{m}$ .

14. Ferramenta revestida de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizado pelo fato de que as camadas que constituem a primeira estrutura de pilha e as camadas que constituem a segunda estrutura de pilha cada uma inclui pelo menos uma selecionada do grupo que consiste em compostos incluindo pelo uma selecionada do grupo que consiste em compostos incluindo Ti, Al e N.

Fig. 1

