

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

(21) PI 0809256-7 A2



* B R P I 0 8 0 9 2 5 6 A 2 *

(22) Data de Depósito: 03/03/2008
(43) Data da Publicação: 23/09/2014
(RPI 2281)

(51) Int.Cl.:
C23C 4/12
C23C 28/04
C23C 30/00
B23B 27/00
C23C 14/34

(54) Título: REVESTIMENTO DURO RESISTENTE AO DESGASTE PARA UMA PEÇA DURA A SER TRABALHADA E PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DO MESMO

(30) Prioridade Unionista: 23/03/2007 US 11/690,270, 10/05/2007 US 11/747,128, 10/05/2007 US 11/747,128

(73) Titular(es): Oerlikon Trading AG, Trübbach

(72) Inventor(es): Andreas Reiter, Markus Lechthaler

(74) Procurador(es): Dannemann ,Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT EP2008052572 de 03/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/116728de 02/10/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "REVESTIMENTO DURO RESISTENTE AO DESGASTE PARA UMA PEÇA DURA A SER TRABALHADA E PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DO MESMO".

Antecedente da Invenção

5 A presente invenção refere-se a um revestimento duro e resistente ao desgaste projetado para trabalhar materiais difíceis de serem usinados tais como, por exemplo, aços endurecidos para ferramentas, aços inoxidáveis e ligas de titânio. Uma tal aplicação de condições extremas de usinagem requer um revestimento que tenha uma excelente resistência ao
10 desgaste, resistência à dureza a quente e resistência à oxidação combinadas com uma grande tenacidade e uma boa adesão.

 A presente invenção refere-se também ao processo de fabricação de um tal revestimento resistente ao desgaste, isto é, um processo definido de evaporação com arco PVD.

15 Ele se refere ainda a uma peça a ser trabalhada revestida, especialmente a uma ferramenta que tenha um corpo feito de um carbureto cimentado, de um "cermet" (cerâmica + metal), de um nitreto de boro cúbico (CBN) ou de aço para alta velocidade.

Discussão da Técnica Relacionada

20 AlTiN é um revestimento PVD altamente usado para usinagem de aço endurecido. No entanto, o AlTiN se usado como uma única camada ou multicamada que consiste em subcamadas de diferentes estequiometrias de Ti/Al/N pode ser usado até 900° C no máximo para aplicações de usinagem devido ao declínio incipiente de dureza com temperaturas mais altas do
25 que 800 a 850 °C dependendo da proporção de Alumínio / Titânio.

 Portanto, a US 2005-0003239 aplica revestimentos de AlCrN a peças a ser trabalhadas para aumentar a sua resistência à oxidação. Sabe-se que este revestimento tem uma boa resistência à oxidação e dureza a quente até 1100° C dependendo da proporção de Alumínio / Titânio. Tais revestimentos ajudam a melhorar o desempenho da fresagem para muitas aplicações de modelagem, no entanto não melhoraram significativamente o desempenho de modelagem para os materiais mais difíceis de serem usina-

dos tais como aços endurecidos para ferramentas, aços para alta velocidade, ligas de titânio e de níquel e aços austeníticos. Similar àquilo, o pedido de patente também a WO-2006/005217, a WO-2006/084404 e a US 2006-0222893 experimentam otimizar ainda mais a resistência à oxidação e/ou a dureza (a quente) dos revestimentos por utilização de diferentes multicamadas e/ou introdução de outros elementos na matriz de AlCrN.

Um outro revestimento foi declarado como constituindo um progresso com o corte de aços endurecidos está descrito pela EP 1690959. O revestimento compreende um sistema em duas camadas baseados em (Ti-AlSi)N de estequiometria diferente de Al e de Si.

A US 2006-0269789 descreve uma multicamada dura para cortar um material de grande dureza a uma alta velocidade. A multicamada compreende uma primeira camada de revestimento à base de TiAlCrNX (X = C ou O), uma segunda camada de revestimento sendo uma mistura de TiAl-CrNX e TiAl(SiC)NX ou uma multicamada de tais camadas alternativas e uma terceira camada de revestimento mais externa que consiste essencialmente em TiAl(SiC)NX.

Apesar de um certo progresso que pudesse ser conseguido com tais sistemas de camada em termos de resistência ao desgaste e à oxidação, parece ainda ser uma necessidade melhorar ainda mais o desempenho de ferramentas de corte revestidas como parece ainda ser uma necessidade para melhorar ainda mais o desempenho de ferramentas de corte revestidas como mencionado difíceis para usinar materiais.

Sumário da Invenção

Portanto um objetivo da presente invenção é fornecer um revestimento duro otimizado e uma peça para ser trabalhada, especialmente uma ferramenta de corte com um revestimento duro para aumentar o desempenho de modelagem com dificuldade para usinagem de materiais tais como aços para alta velocidade, ligas de titânio, ligas de níquel, aços austeníticos e especialmente materiais duro como aço para ferramentas endurecido que tenha uma dureza mais alta do que 50, de preferência mais alta do que 55 HRC. Um outro objetivo da invenção é fornecer tais revestimentos sem per-

der as excelentes propriedades de oxidação e de dureza a quente de AlCrN. Estes objetivos podem ser alcançados por qualquer um dos primeiros dois aspectos da invenção como descrito a seguir e nas reivindicações 1 e 2. Um terceiro objetivo da invenção é fornecer uma ferramenta para corte aperfeiçoada de acordo com a reivindicação 12 usada para fabricar peças para montagens mecânicas como, por exemplo, moldes e matrizes e outras ferramentas para corte como lâminas assim como um processo para corte para realizar tais operações acordo com a reivindicação 16. Um foco de aplicação é a melhoria do desempenho de corte em operações de fresagem com referência a redução de custo otimização de sequências de produção e uma rugosidade melhorada da superfície da peça a ser trabalhada como por exemplo.

Um quarto objetivo da invenção é fornecer um processo PVD para produzir revestimentos da invenção e ferramentas de acordo com a reivindicação 13.

Surpreendentemente o primeiro e o segundo objetivo da invenção podem ser resolvidos por uma peça para ser trabalhada que tenha uma superfície enquanto pelo menos partes da dita superfície estão revestidas com um revestimento duro em multicamada resistente ao desgaste depositado por um processo PVD e o revestimento duro compreende pelo menos uma primeira camada de suporte e uma segunda camada que contém silício nano cristalino com a primeira camada interposta entre a peça para ser trabalhada e a segunda camada, que é um primeiro aspecto da presente invenção.

A primeira camada compreende um material para revestimento com a seguinte composição $(Ti_aAl_{1-a})N_{1-x-y}C_xO_y$, enquanto $0,4 < a < 0,6$ e $0 \leq x \text{ e } y < 0,3$. Alternativamente a primeira camada pode compreender $(Al_bCr_{1-b})N_{1-x-y}C_xO_y$, enquanto $0,5 < b < 0,7$ e $0 \leq x \text{ e } y < 0,3$.

A segunda camada compreende um material para revestimento com a seguinte composição $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$, ao passo que M representa pelo menos um elemento de metais de transição do grupo 4 (Ti, Zr, Hf), 5 (V, Cb[Nb], Ta), 6 (Cr, Mo, W) do sistema periódico exceto cromo e

0,2 < c < 0,35, 0 < d < 0,20, 0 < e < 0,04. Em uma modalidade preferida da invenção a segunda camada compreende um material para revestimento com a composição a seguir $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM')N_{1-x-y}C_xO_y$, enquanto M' representa W, Mo, Ta ou Cb [Nb] e $0,06 < d' < 0,15$, especialmente com $0,10 < d' < 0,11$. (Nióbio ou Colúmbio refere-se ao elemento 41 do sistema periódico, internacionalmente de modo mais sucinto Nb, às vezes também Cb)

Outros aspectos da invenção estão dirigidos à estrutura cristalina da primeira camada que de preferência compreende duas fases diferentes, especialmente uma face centrada cúbica (fcc) e uma fase compactada fechada hexagonal (hcp). Desse modo o sinal de XRD da fase hcp pode ser tornar mais propenso se sujeito a tratamento térmico ou a altas temperaturas de trabalho de pelo menos $700^{\circ} C$ ou $750^{\circ} C$. A fase hcp pode ser enriquecida com Al e a percentagem da fase hexagonal como depositada devia estar entre 5 e 40 % em volume, de preferência entre 10 e 30 % em volume.

Outros aspectos da invenção estão dirigidos à proporção de Al/Cr dentro da camada nano cristalina, à proporção da espessura da primeira e da segunda camada e à espessura total do revestimento, a texturas e à estrutura da cadeia assim como a uma multicamada de primeira e segunda camadas alternativas. Como, por exemplo, o desempenho de ferramentas de corte revestidas parece ser especialmente bom quando a proporção de Al/Cr como expressa pelo quociente $Q_{Al/Cr} = (1-c-d-e) / c$ está dentro da faixa a seguir: $1,5 < Q_{Al/Cr} \leq 2,4$.

Em uma outra modalidade uma espessura D_1 do primeiro revestimento é menor do que uma espessura D_2 do segundo revestimento, por exemplo, o quociente $Q_D = D_2 / D_1$ está dentro da seguinte faixa: $1 < Q_D \leq 4$, enquanto que a espessura total D do revestimento D dos revestimentos da invenção está dentro da faixa a seguir: $1 \mu m \leq D \leq 10 \mu m$ e de preferência $2 \mu m \leq D \leq 6 \mu m$.

Um outro aspecto da invenção refere-se à dureza e ao módulo de Young das camadas definidas do sistema de revestimento. Uma dureza maior da camada nano cristalina comparada à camada de suporte provou ser vantajosa. Como, por exemplo, a primeira camada de preferência apre-

senta uma dureza entre 2.400 e 2.800 HV, ao passo que a segunda camada terá uma dureza entre 2.800 e 3.200 HV medida por uma microindentação de Vickers a uma carga de 40 mN. A dureza e o modulo de Young – este último influenciando a rigidez de um sistema de revestimento até uma grande extensão – pode ser ajustado como, por exemplo, pelo controle de certos parâmetros do processo especialmente em relação ao substrato e pressão do processo ou a pressão do gás da reação como sabido pelo perito na técnica pela US 6 071 560 e US 6 274 249 e outros documentos.

No entanto, para a presente invenção foi provado usar vantajosamente um processo de deposição que compreende a etapa de aplicar uma primeira menor voltagem do substrato U_1 durante a deposição do primeiro revestimento e aplicação de uma segunda voltagem de substrato mais alta U_2 durante a deposição do segundo revestimento. Enquanto a voltagem do primeiro substrato está na faixa de $0 \text{ V} < U_1 < 100 \text{ V}$ e a voltagem do segundo substrato está na faixa de $80 \text{ V} < U_2 < 200 \text{ V}$, enquanto $U_2 - U_1 > 20 \text{ V}$. Adicionalmente ou alternativamente pode ser usada uma mais alta pressão do processo durante a deposição do primeiro revestimento para reduzir o esforço intrínseco da camada e com isto a dureza da primeira camada. O aquecimento das peças a serem trabalhadas até temperaturas mais altas do que 550° C , especialmente até em torno de 600° C e mantendo-se as mesmas a este nível de temperatura durante o processo de deposição pareceu fornecer uma outra influência benéfica à adesão do revestimento e ao desempenho da ferramenta.

Uma outra possibilidade para influenciar as propriedades da camada como mencionadas é variar o teor de certos elementos adicionais para variar a proporção de Al/Cr como mencionado acima ou com os exemplos a seguir. A dureza da segunda camada à base de AlCrN ligada nano cristalina pode ser adiantada mais ainda por ajuste do teor de silício para fornecer uma condição ótima em refinamento de grão que resulte em um máximo de dureza. Além disso, é obtida uma solução de contribuição como metais de transição mencionados, especialmente de W, Mo, Cb e Ta, que servem adicionalmente como barreira de difusões como, por exemplo, na fase limite do

grão do revestimento duro. No total, provou-se que tais camadas à base de AlCrN nano cristalinas em liga são extremamente resistentes a altas temperaturas e à oxidação e, portanto, sendo altamente eficazes na proteção da camada de suporte e do substrato à oxidação dos mesmos. O melhor desempenho com as operações de corte podia ser conseguido com um coeficiente de textura $Q_1 = I(200)/I(111)$ na faixa de $0,7 \leq Q_1 \leq 2$ (Q_1 é definido como a razão das intensidades de difração 1(200) para 1(111), atribuídas respectivamente aos planos (200) e (111) no espectro de difração de raios X de um material). Isto corresponde a um crescimento equilibrado ao longo dos planos (200) e (111). Os detalhes referentes à medida podem ser observados na figura 1.

Contrário à segunda camada a camada de suporte exibe uma estrutura de crescimento de coluna e uma maior elasticidade através de um maior módulo de Young. Isto provou ser a melhor combinação para transferir a carga mecânica da segunda camada extremamente resistente ao desgaste e a alta temperatura para o material substrato da peça a ser trabalhada.

Alternativamente à camada dois estabelecida como descrito acima pode ser usado outro sistema de camada para melhorar ainda mais o desempenho da camada para aplicações especiais. Como por exemplo, pode ser usada uma camada de adesão metálica fina para fornecer uma interface otimizada entre o substrato e a primeira camada de suporte. Esta camada de adesão pode compreender Ti, Cr, TiAl ou AlCr e pode ter uma zona de transição com o teor crescente de N, C e/ou O em relação à primeira camada como sabido pelo perito na técnica.

Uma outra possibilidade ou adicional é fazer com que a primeira camada compreenda uma multicamada de camadas alternativas de $(Ti_aAl_{1-a})N_{1-x-y}C_xO_y$ e $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$ ou de camadas alternativas de $(Al_bCr_{1-b})N_{1-x-y}C_xO_y$ e $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$. As camadas desta pilha terão uma espessura preferida da camada de um nanômetro de observação até uns 100 nanômetros até o máximo que possa ser variado dentro da camada empilhada até as necessidades.

O corpo da peça a ser trabalhada ou o material do substrato se-

rá de preferência selecionado pelo menos de um dos seguintes materiais como aço de alta velocidade, carbureto cimentado, nitreto de boro cúbico, cermet ou um material de cerâmica. Tais peças para serem trabalhadas podem ser usadas para muitos tipos de ferramentas, no entanto, serão especialmente úteis para ferramentas de corte, como por exemplo, fresadoras de mesa, perfuradoras, ferramentas de facas postiças ou ferramentas de corte com engrenagem como fresas helicoidais. Quando aplicados a ferramentas feitas de carbureto cimentado, nitreto de boro cúbico, cermet ou um material de cerâmica estes revestimentos têm um bom potencial para melhorar o desempenho de corte com processos de corte sobre materiais duros – como, por exemplo, aço endurecido – que tenha uma dureza Rockwell de HRC 50 e mais alta ou mesmo de HRC 55 e mais alta como será demonstrado em detalhe com os exemplos a seguir.

Breve Descrição das Ilustrações

15 Com as figuras e os exemplos a seguir pretende-se explicar a presente invenção por meio de algumas modalidades específicas com as quais não se pretende restringir o âmbito das reivindicações de forma alguma. Está sendo feita referência às ilustrações anexas em que
a figura 1 apresenta espectros de XRD de revestimentos duros
20 de TiAlN/AICrN e TiAlN/AICrSiWN;
a figura 2 apresenta um espectro de XRD adaptado de um revestimento duro de TiAlN/AICrN e de TiAlN/AICrSiWN;
a figura 3 é uma seção transversal SEM de um revestimento duro de TiAlN/AICrN e TiAlN/AICrSiWN;
25 a figura 4 apresenta espectros de XRD de revestimentos duros de TiAlN/ AICrSiWN com fase hexagonal;
a figura 5 é um diagrama de intensidade de pico;
a figura 6 apresenta espectros de XRD de TiAlN/ AICrSiWN em uma ferramenta de corte antes e depois do uso;
30 a figura 1 apresenta padrões de XRD de um TiAlN/AICrN e três revestimentos de TiAlN/AICrSiWN de proporção de Al/Cr variável. Os revestimentos foram depositados sobre uma peça introduzida comercialmente de

carbureto cimentado que tem uma fase aglutinante de cobalto e correspondem aos revestimentos N°s 1.6, 2.4, 2.5 e 2.6 dos exemplos 1 e 2. Os parâmetros de revestimento foram os mesmos para todos os revestimentos com exceção do material-alvo usado para depositar a segunda camada. Os detalhes sobre a composição-alvo assim como as características dos revestimentos podem ser observadas com a tabela 1 e 2.

Todos os espectros de XRD foram registrados com um equipamento Bruker AXS com uma fonte de Cu K_a ($\lambda = 1,5406$ nm) usando uma geometria de Bragg-Brentano a uma incidência de observação de 2° para minimizar os sinais de distúrbio de difração que vêm da camada de suporte e do substrato.

Dois fatos importantes podem ser deduzidos dos espectros:

- O uso de alvos de AlCr ligados com W e Si provoca uma diminuição nas alturas do pico dos padrões de difração dos revestimentos combinada com um alargamento do sinal do pico. Isto pode ser atribuído a um efeito de refino do grão devido aos elementos de formação da liga, especialmente do silício. Devido a este AlCrSiWN as segundas camadas são depositadas com uma estrutura nano cristalina, como pode ser observado também com a seção transversal das imagens SEM da figura 3b.

- Comparados aos sistemas de revestimento que tenham uma segunda camada de AlCrN não-ligada que apresenta uma orientação (111) transparente, os sistemas com uma segunda camada ligada não apresentam ou apresentam somente uma preferência fraca na orientação do cristal. Portanto um termo Q1 que é definido como a proporção das intensidades de difração 1(200) até 1(111), atribuídas respectivamente aos planos (200) e (111) no espectro de difração de raios X de um material, está na região de 1, de preferência entre 0,7 e 2, se medida por incidência de observação como mencionado acima.

Uma informação mais detalhada sobre a estrutura do revestimento pode ser deduzida dos padrões XRD se for aplicada adaptação do pico de acordo com o método de Lorentian como pode ser observado pela figura 2. A adaptação foi aplicada aos sinais (200) próximo de 44,5° na escala

la de 2Θ proveniente dos espectros referentes aos revestimentos N° 1.6 e N° 1.9. Desse a ampliação pode ser avaliada quantitativamente pela medição da Largura completa do Pico na Metade do Máximo (FWHM). Excluindo a influência da base constante da aparelhagem, foram obtidos da aparelhagem, foram obtidos os seguintes valores, que apresentam uma aumento acentuado da largura do pico com uma segunda camada de AlCrSiWN:

$$\text{TiAlN/AlCrSiWN: FWHM (200) = } 1,7^\circ$$

$$\text{TiAlN/AlCrN: FWHM (200) = } 1^\circ$$

A formação de liga dos revestimentos de AlCrN com Si e W leva a um deslocamento do pico de $43,8^\circ$ em direção a um menor ângulo 2-teta de $43,4^\circ$, que os autores atribuem a um alargamento do plano da rede devido ao tamanho maior dos átomos de tungstênio. Desse modo o parâmetro da rede varia de desde $d(200) = 2,064 \text{ nm}$ para AlCrN até $d(200) = 2,082 \text{ nm}$ para AlCrSiWN.

As imagens SEM das duas seções transversais do revestimento com um aumento de 100.000 diâmetros podem ser observadas com as figuras 3a e 3b. As imagens SEM foram gravadas a uma voltagem de aceleração de 5 kV.

As fotos apresentam revestimentos em duas camadas duplas, cada uma tendo uma camada de suporte crescida em coluna ($\text{Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$) de aproximadamente 1 μm de espessura e uma camada de topo mais espessa. Desse modo a figura 3a apresenta uma camada de topo de AlCrN que já tem uma camada mais fina do que a primeira camada comparavelmente grossa e em forma de coluna. Entretanto, a estrutura da segunda camada de ($\text{Al}_{0,57}\text{Cr}_{0,31}\text{Si}_{0,10}\text{W}_{0,02}\text{N}$) na figura 3b exibe uma estrutura nano cristalina significativamente mais fina comparada à figura 3a que corresponde à ampliação do pico como observado com os espectros de XRD das figuras 1 e 2.

Na figura 4 os espectros de XRD dos revestimentos duros de TiAlN/ AlCrSiWN da figura 1 são apresentados em um modo de resolução maior com os números de 29 indicados por setas onde deviam aparecer picos de fase hexagonal. Pode ser reconhecido claramente que com referência aos picos hexagonais ficam cada vez mais acentuados com o aumento

do teor de alumínio do revestimento de AlCrSiWN, o que combina com o bom desempenho de corte dos revestimentos N° 1.6, 2.4, 2.5.

Figura 5 é um diagrama da intensidade do pico como analisado por TEM-SAED (Microscopia Eletrônica de Transmissão – Difração de Elétron em Área Selecionada ("Transmission Electron Microscopy - Selected Area Electron Diffraction")) para fornecer uma representação mais detalhada dos padrões cúbicos e hexagonais de um revestimento de TiAlN / (Al_{0,62}Cr_{0,26}Si_{0,10}W_{0,02})N. Os números da estequiometria do compostos referem-se à composição-alvo.

Com a figura 6 é apresentado um espectro de XRD de um revestimento de TiAlN / (Al_{0,57}Cr_{0,31}Si_{0,10}W_{0,02})N como depositado depois do processo PVD (A) e como usado de acordo com um processo de fresagem lateral de alta velocidade (B) com partilhas de cor vermelha brilhante como descrito em detalhe com o exemplo 8. Ver na tabela os detalhes na composição-alvo, proporção da espessura e desempenho. O espectro (B) que foi obtido depois de aproximadamente 40 m de fresagem apresenta surpreendentemente sinais maiores distintos de XRD hexagonal. Podia ser observado um crescimento similar da percentagem de fase hexagonal por témpera de tais revestimentos até pelo menos 750° C. A percentagem mínima de Al para se observar tais transições de fase acionadas pela temperatura estava entre 49 e 57 %, dependendo da matriz de outros elementos, o que pode ser facilmente determinado pelo perito na técnica quando surge o caso. De 750° até 800° C em diante a fase hexagonal parece crescer com o aumento da temperatura até pelo menos 1100° C. Dentro da faixa de temperatura de 600° C, que pode ser como depositado pelo processo PVD, até em torno de 1100° C uma rede de endurecimento por precipitação constituída de uma fase hcp de alto teor de AlN que incrusta cristalitos de fase cúbica podia ser detectada em análise STEM da seção transversal. O tamanho dos cristalitos a 750° C estava entre 5 e 200 nm. Como a maioria dos testes de corte tais revestimentos eram superiores aos revestimentos que não apresentam transição de fase e uma composição-alvo de mais alto teor de Al como 57 % pareceu ter melhor desempenho. É mais surpreendente como até agora os revesti-

mentos de alumina que têm uma fase de coríndon estável em toda a faixa de temperatura desde temperatura ambiente até qualquer temperatura que possa ser alcançada por ação de ferramentas com alta velocidade pareceram ter um benefício invencível quando vai até uma carga térmica extremamente alta do revestimento. Para revestimentos de (AlCrSiW)N entretanto a transição de fase parece ter efeito benéfico que podia ser consequência de uma proliferação contínua de fase de nitreto de alumínio estável a alta temperatura durante os processos de corte. As posições do pico de 33,2° como observado na figura 6 (B) parecem se adaptar perfeitamente com pico hcp 100 de hcp-AlN compactado fechado hexagonal proveniente da coleta de dados de JCPDS XRD. Outros picos de AlN, que podiam ser reconhecidos inambiguamente, estão a 36,1° (refere-se a sinal 002), 49,2° (102), 59,4° (110) e 101,6° (211). Em qualquer caso até agora podem ser feitas apenas presunções sobre as razões para tal comportamento de transição de fase induzida por temperatura. As investigações detalhadas ainda estão por fazer. Quando a percentagem de Al exceder aproximadamente 70 %, a fase hcp-AlN fica sendo a fase principal e tal transição de fase não pode mais ser observada.

Descrição Detalhada da Modalidade Preferida
20 A seguir são descritas algumas das modalidades específicas da invenção por meio de exemplos, comparando-se o desempenho de corte das ferramentas da invenção às ferramentas do estado da técnica usando diferentes operações de corte e parâmetros de corte.

Todos os revestimentos duros e exemplos comparativos da invenção foram depositados usando-se o sistema de revestimento da Oerlikon Balzers RCS®, na configuração de evaporação com arco. As ferramentas de corte foram montadas em acessórios que giram três vezes durante a deposição de PVD. Os revestimentos duros depositados sobre as ferramentas de corte como descrito nos exemplos a seguir tinham uma espessura total entre 25 30 2 e 6 µm medido na parte inferior da ferramenta de corte. Os novos revestimentos foram comparados aos revestimentos do estado da técnica obtidos por processos de revestimento padronizados obtidos por Oerlikon Balzers

para TiAlN o chamado FUTURA NANO, AlTiN o chamado XCEED e AlCrN o chamado ALCRONA.

Exemplo 1

Como o exemplo 1 o desempenho de corte de fresa de topo revestida com os revestimentos do estado da técnica como TiAlN, AlTiN, AlCrN e (AlCrSiW)N foi comparado a uma série de fresas de topo da invenção revestidos com revestimentos em camada dupla de TiAlN ou AlCrN / (Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dW_e)N.

Todos os revestimentos foram sintetizados por evaporação do arco catódico. A deposição de revestimentos N° 1.4 até N° 1.10 foi conduzida a uma temperatura deposição de 600° C e a uma pressão total de 3,5 Pa sob atmosfera de nitrogênio. Para a primeira camada de suporte foi aplicada uma baixa voltagem direcionada de preferência entre -40 V e -100 V enquanto que para a segunda camada foi usada uma voltagem direcionada mais alta de desde - 80 V até – 200 V, enquanto que o valor absoluto de voltagem direcionada da segunda camada era de pelo menos 20 V, de preferência 40 V mais alta do que a voltagem direcionada da primeira camada. A deposição dos revestimentos N° 1.1 até N° 1.3 foi conduzida a uma temperatura deposição de 500° C e a uma pressão total de 3,0 até 4,0 Pa sob atmosfera de nitrogênio.

Os dados com referência à composição dos respectivos materiais de evaporação (alvos), a razão de Al/Cr dentro da segunda camada nano cristalina de revestimento (m.l.) do revestimento, a razão da espessura Q_D das camadas (m.l./s.L) e o desempenho de corte resultante expresso por desgaste lateral em micrômetro depois de um comprimento de corte de 90 m foi atingido e a vida acumulada da ferramenta em metros quando foi alcançada uma marca de desgaste de 100 µm, estão resumidos na tabela 1.

Condições de fresagem:

Peça a ser trabalhada:	DIN 1.2379 (60HRC)
Ferramenta de corte:	fresa de mesa com ponta de bola com 2 orifícios, Ø 10 mm, grau de carbureto de microgrão
Rotação do eixo:	8000 min-1

- Velocidade de corte: 200 mmin-1
 Taxa de alimentação: 0,1 mm/dente
 Profundidade de corte radial: 0,5 mm
 Profundidade axial de corte: 0,3 mm
 5 Agente de resfriamento: ar seco comprimido
 Operação de fresagem: comprimento de fresagem na mesma
 direção de passagem única: 30 m
 Final da vida inteira: $V_{b\max} > 100 \mu\text{m}$ no final de pas-
 sagem única
- 10 Com a tabela 1 o desempenho dos exemplos comparativos 1.3 a
 1.6 é fraco comparado às ferramentas da invenção revestidas com uma es-
 trutura em dupla camada. Apesar de uma melhoria acentuada dos revesti-
 mentos simples em camadas de AlCrSiWN dos exemplos 1.4 a 1.5 quando
 comparados ao revestimento de AlCrN sem ser de liga do exemplo 1.3 ou a
 15 camada dupla de TiAlN/ AlCrN do exemplo 1.6, estes revestimentos não po-
 dem ser comparados ao desempenho dos exemplos da invenção 1.7 a 1.8.
 No entanto, a proporção da espessura Q_D das duplas camadas da invenção
 parece ser um aspecto importante como apresentado com o fraco desempe-
 nho do exemplo 1.10 para os revestimentos com uma camada fina que con-
 20 tém silício.
- Exemplo 2
- Com o exemplo 2 foram aplicados os mesmos parâmetros de deposição como com o exemplo 1.
- Com os experimentos 2.1 a 2.3 o teor de Si do segundo revesti-
 25 mento é variado a uma proporção constante de Al/Cr, com os experimentos
 2.4 até 2.6 razão de Al/Cr é variada a um teor de Si constante. Somente pe-
 quenas variações de tungstênio – em torno de $2 \pm 0,3 \%$ até o máximo – fo-
 ram medidas para todos os experimentos do exemplo 2, como apresentado
 na tabela 2.
- 30 Condições de fresagem:
 Peça a ser trabalhada: DIN 1.2379 (60 HRC)
 Ferramenta de corte: fresa de mesa com ponta de

bola com 2 orifícios, Ø 10 mm, grau de carbureto de microgrão

	Rotação do eixo:	8000 min-1
	Velocidade de corte:	200 mmin-1
	Taxa de alimentação:	0,1 mm/dente
5	Profundidade radial de corte:	0,5 mm
	Profundidade axial de corte:	0,3 mm
	Agente de resfriamento:	ar seco comprimido
	Operação de fresagem:	fresagem na mesma direção
	Comprimento de passagem única:	30 m
10	Final do tempo de vida:	$V_{b\max} > 100 \mu\text{m}$ no final de uma passagem única

Na tabela 2, a um teor constante de Si (Nº. 2.4-2.6) as medidas da dureza apresentam uma diminuição da dureza com o aumento do teor de Al/Cr – do segundo revestimento. A razão constante de Al/Cr pode ser observado um máximo da dureza e do desempenho de corte a um teor de Si em torno de 10 %. Além disso, pode ser observado claramente que o teor de Si precisa ser pelo menos mais alto do que 5,3 % para se obter um bom desempenho de corte.

Os parâmetros e a configuração como usados para a análise de XRD para definir os valores de Q_1 como mencionados acima foram descritos em detalhe com a figura 1. Sendo que o pico de (111) usado para definir o quociente está situado a um ângulo de 2θ de aproximadamente $37,5^\circ$ e o pico de referência (200) está situado em torno de $43,7^\circ$. Preferencialmente o valor de $Q = I(200)/I(111)$, medido a uma incidência de observação de 2° é encontrado na região de 1, especialmente entre 0,7 e 2.

Exemplo 3

A capacidade de fresagem de revestimento inovador Nº 3.4 foi comparada aos revestimentos do estado da técnica Nº 3.1-3.3 durante uma operação de tornar áspero de acordo com os parâmetros mencionados a seguir. Com o exemplo 3 os mesmos parâmetros de deposição de referência foram aplicados como mencionado com o exemplo 1.

Condições de fresagem:

	Peça para ser trabalhada:	DIN 1.2344 (52HRC)
	Ferramenta de corte:	fresa de mesa com ponta de
	bola com 2 orifícios, Ø 10 mm, grau de carbureto de microgrão	
	Rotação do eixo:	4690 min ⁻¹
5	Velocidade de corte:	80 mmin ⁻¹
	Taxa de alimentação:	0,15 mm/dente
	Profundidade radial de corte:	4 mm
	Profundidade axial de corte:	0,8 mm
	Agente de resfriamento:	ar seco comprimido
10	Operação de fresagem:	Fresagem na mesma direção
	Comprimento da passagem única:	15,5 m
	Final do tempo de vida:	$V_{b\max} > 150 \mu\text{m}$ no final de uma única passagem

15 Tabela 3

Nº	Re-vesti-mento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)	Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)						Propor-ção da espessu-ra	Desem-penho de corte	
			Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W	m.l./s.l.
3.1	TiAIN	- - -	50	-	50	-	-	-	-	-	93
3.2	AlTiN	- - -	66	-	33	-	-	-	-	-	162
3.3	AlCrN	- - -	70	30	-	-	-	-	-	-	181,5
3.4	TiA-IN/Al Cr-SiWN	50 - 50	57	31	-	10	2	-	1,84	264	

Exemplo 4

O mesmo revestimento novo como usado no Nº 3.4 foi usado no Nº 4.4 para comparar o desempenho aos revestimentos 4.1 a 4.3 do estado

da técnica durante uma operação de acabamento em aço para ferramentas recozido que tem uma dureza de 36 HRC.

Condições de fresagem:

	Peça para ser trabalhada:	DIN 1.2344 (36HRC)
5	Ferramenta de corte:	fresa de topo com 3 sulcos, Ø 8 mm, grau de carbureto de microgrão
	Rotação do eixo:	4777 min-1
	Velocidade de corte:	120 mmin-1
	Taxa de alimentação:	0,05 mm/dente
10	Profundidade radial de corte:	0,5 mm
	Profundidade axial de corte:	0,10 mm
	Agente de resfriamento:	ar seco comprimido
	Direção de fresagem:	fresagem na mesma direção
	Comprimento da passagem única:	5 m
15	Final do tempo de vida:	$V_{b\max} > 100 \mu\text{m}$ no final de uma única passagem

Tabela 4

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)	Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)						Proporção da espessura	Desempenho de corte	
			Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W	
4.1	TiAIN	- - -	50	-	50	-	-	-	-	-	25
4.2	AlTiN	- - -	66	-	33	-	-	-	-	-	30
4.3	AlCrN	- - -	70	30	-	-	-	-	-	-	65
4.4	TiAIN/AlCrSiWN	50 -	50	57	31	-	10	2	1,84	80	

O melhoramento significativo em desempenho comparado aos revestimentos do estado da técnica prova o potencial dos novos revestimen-

tos com usinagem de aços mais moles.

Exemplo 5

Com o exemplo 5 antes da aplicação de corte foi aplicado um tratamento de escovação usando uma máquina para escovar de acordo com a DE 20 2006 000 654 1 aos revestimentos para ajustar um estado comparável a um desgaste homogêneo inicial, que garante depois disso um progresso homogêneo do desgaste durante a aplicação de corte.

O tratamento da ferramenta revestida foi conduzido com escovas giratórias de acordo com DEGM 20 2006 000 645.1 figura2 e citando a descrição no último parágrafo da página 5 até o final do parágrafo da página 6 que é assim incluído como referência ao presente pedido de patente. O ângulo da escova era em torno de 30° com referência ao eixo da ferramenta, velocidade de rotação 650 revoluções/minuto. O material para escovar era Nylon impregnado de SiC, tamanho do grão de SiC 400 mesh, diâmetro das cerdas 0,45 mm, comprimento das cerdas 35 mm. A rotação do satélite da ferramenta era de 9 revoluções/minuto, a rotação da mesa que suporta os satélites era de aproximadamente 0,3 revolução/minuto. Um efeito similar para analisar uma tira de alguns micrômetros do material da peça para ser trabalhada ao longo da borda de corte podia ser conseguido por utilização de escovas impregnadas de Al₂O₃. Neste caso no entanto o tempo de escovação precisa ser triplicado se deviam ser usados os mesmos parâmetros como mencionado acima (por exemplo, a rotação da mesa de suporte é ajustada a 0,1 revolução/minuto).

Os revestimentos foram depositados de acordo com os parâmetros com o N° 1.2 e o N°. 1.8.

Condições de fresagem:

Ferramenta de corte:	fresa de mesa com ponta de bola com 2 orifícios, raio da bola 5 mm, grau de carbureto de microgrão
Peça para ser trabalhada:	1.2379 62 HRC
Velocidade de rotação do eixo:	6000 revoluções/minuto
Profundidade axial de corte:	0,4 mm
Profundidade radial de corte:	0,05 mm

- Taxa de alimentação: 0,10 mm/dente
 Velocidade de corte: 184 m/min
 Alimentação: 600 mm/min
 Agente de resfriamento: ar
 5 Operação de fresagem: técnica de fresagem na mesma
 direção para bolsas (56 mm x 26 mm)
 Comprimento da passagem única: 1 Bolsa
 Final do tempo de vida: $V_{b\max} > 100 \mu\text{m}$ na extremidade
 de uma bolsa
- 10 Os dados de fresagem com a tabela 5 demonstram que o tratamento de escovação com tais operações de corte é extremamente útil para ferramentas revestidas com novos revestimentos em multicamada (5.3 e 5.4), enquanto que para as ferramentas revestidas com AlTiN é encontrado mesmo uma ligeira diminuição no desempenho quando tal tratamento foi
 15 aplicado.
 Alternativamente ou mesmo adicionalmente pode ser aplicado um tratamento de acabamento similar por escova, jato, operações de polimento ou similares antes do processo de revestimento.
- Exemplo 6
- 20 Foi preparada uma série de amostras para testar a influência de tungstênio como um único elemento de formação de liga. Os revestimentos foram depositados de acordo com parâmetros com N° 1.2 e N° 1.8.
 Condições de fresagem:
 Ferramenta de corte: fresa de mesa com ponta de
 25 bola com 2 orifícios, Ø 10 mm, grau de carbureto de microgrão
 Peça para ser trabalhada: 1.2379 (62 HRC)
 Rotação do eixo: 8000 min⁻¹
 Velocidade de corte: 200 mmin⁻¹
 Taxa de alimentação: 0,1 mm/dente
- 30 Profundidade radial de corte: 0,5 mm
 Profundidade axial de corte: 0,3 mm
 Agente de resfriamento: ar seco comprimido

Operação de fresagem: fresagem na mesma direção
 Comprimento da passagem única: 30 m
 Final do tempo de vida: $V_{b\max} > 100 \mu\text{m}$ no final de uma
 única passagem

5 Tabela 6

Nº	Revesti- mento	Camada de suporte de composi- ção-alvo s.l. (% at)			Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)					Propor- ção da espes- sura	Desem- penho de corte
		Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W		
6.1	TiA- IN/AlCrN	50	-	50	70	30	-	-	-	2,30	120
6.2	TiA- IN/AlCrW N	50	-	50	70	28	-	-	2	2,30	150
6.3	TiA- IN/AlCrSi WN	50	-	50	57	31	-	10	2	2,30	270

Em comparação ao Nº 6.1, o Nº 6.2 apresenta um desempenho de fresagem ligeiramente melhorado. Isto pode ser atribuído claramente à adição de W à segunda camada à base de AlCrN. Em comparação ao revestimento otimizado, que tem uma proporção de Al/Cr diferente e que contém 10 adicionalmente Si, ainda há um espaço.

Exemplo 7

Com a tabela 7 foram medidos a dureza e o módulo de Young de uma camada de TiAIN camada correspondente à camada de suporte e um revestimento duplo em camadas da invenção. O método de medição era 15 um teste de dureza micro de Vickers a uma carga de 40 mN que resulta em uma profundidade de penetração de em torno de 0,3 μm apenas. Portanto nenhuma influência significativa do material do substrato podia ser detectada para as medidas. Em comparação ao segundo revestimento a camada de suporte é caracterizada por um menor valor de dureza e uma mais alto mó- 20 dulo de Young.

Pelos exemplos na tabela 7 é evidente que as ferramentas revestidas com AlCrSiWN da invenção apresentam um aumento surpreendente no desempenho com operações de usinagem forte quando comparadas com os revestimentos de AlCrN do estado da técnica.

5 Exemplo 8

Com a tabela 8 é apresentado o desempenho de um revestimento 8.1 do estado da técnica e dois revestimentos 8.2 e 8.3 da invenção que apresenta transição de fase térmica induzida como descrito em detalhe com a figura 6. No entanto, com o revestimento da composição-alvo 8.2 a evidência da fase hcp como depositada foi difícil de se observar. Somente depois de 40 m de corte podia ser detectado um sinal claro porém definitivamente menor do que na figura 6 (B) com o revestimento 8.3.

Ferramenta de corte: fresa de topo quadrada com 6 orifícios, grau de carbureto de microgrão

Peça para ser trabalhada: DIN 1.2379 (60HRC)

Velocidade da rotação do eixo: 7958 1/min

Profundidade axial de corte ae: 8 mm

Profundidade radial de corte ap : 0,1 mm

Taxa de alimentação fz: 0.042 mm/dente

Velocidade de corte vc: 200 m/min

Agente de resfriamento: ar comprimido

Operação de fresagem: fresagem lateral

Comprimento da passagem única: 10 m

Final do tempo de vida: $V_{b\max} > 150 \mu\text{m}$

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)			Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)					Proporção da espessura	Desempenho de corte
		Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W	m.l./s.l.	Tempo de vida a $v_b = 150 \mu\text{m}$ (m)
8.1	TiAIN	50	-	50	-	-	-	-	-	-	40

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)			Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)					Proporção da espessura	Desempenho de corte
		Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W		
8.2	TiA-IN/AICrWN	50	-	50	53	35	-	10	2	2,20	50
8.3	TiA-IN/AICrSiWN	50	-	50	57	31	-	10	2	2,30	75

Apesar do foco sobre as aplicações de ferramentas duras dentro do presente relatório descritivo e dos exemplos acima os peritos na técnica irão saber que tais revestimentos podem ser aplicados vantajosamente também para outras ferramentas e aplicações com ferramentas como por exemplo para formação de operações como estampagem e forjamento ou operações de injeção a quente como fundição ou moldagem com matriz, assim como para componentes de engenharia especialmente para componentes que tenham uma necessidade de grande resistência ao desgaste e alta dureza quente. Exemplos para tais aplicações de engenharia podiam ser peças de motores de combustão, especialmente peças do conjunto propulsor como excêntricos e platinados, peças para sistemas de injeção de combustível como agulhas de injeção e bases de válvula, anéis de pistão e pinos, rolamentos para alta temperatura e similares.

Tabela 1

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)				Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)			Proporção atómica m.l.	Proporção da espessura	Desempenho de cor-te		
		Al	Cr	Ti	Al	Cr	Ti	Si	W	Al/Cr	m.l./s.l.		
1.1	TiAlN	-	-	-	50	-	50	-	-	-	-	80	120
1.2	AlTiN	-	-	-	66	-	33	-	-	-	-	80	150
1.3	AlCrN	-	-	-	70	30	-	-	-	2,33	-	120	90
1.4	AlCrSiWN	-	-	-	62	26	-	10	2	2,38	-	70	150
1.5	AlCrSiWN	-	-	-	57	31	-	10	2	1,84	-	60	180
1.6	TiAlN/AlCrN	50	-	50	70	30	-	-	-	2,33	2,3	80	120
1.7	AlCrN/AlCrSiWN	70	-	30	62	26	-	10	2	2,38	2,2	40	270
1.8	TiAlN/AlCrSiWN	50	-	50	62	26	-	10	2	2,38	2,2	40	270
1.9	TiAlN/AlCrSiWN	50	-	50	57	31	-	10	2	1,84	2,3	50	300
1.10	TiAlN/AlCrSiWN	50	-	50	57	31	-	10	2	1,84	0,5	90	120

Tabela 2

Nº	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)	Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)	Proporção atômica de metais medida por EDX (Ti mostra a influência da camada de suporte (% at))						Caracterização XRD	Dureza	Desgaste lateral depois de 120 µm (m)	Tempo de vida vbmax = 100 µm					
			Ti	Al	Cr	Si	W	Al	Cr	Si	Ti	W	Al/Cr	I200/I111	HV	M. de Young (GPa)	
Variação com teor de Si																	
2.1	50	50	60	33	5	2	53,5	38,6	5,3	0,7	1,9	1,4	0,7	2840	425	110	120
2.2	50	50	57	31	10	2	49,9	36,7	10,5	1,0	1,9	1,4	0,9	2960	385	50	300
2.3	50	50	54	29	15	2	48,0	36,5	12,4	0,9	2,3	1,3	1,8	2930	367	75	270
Variação da proporção de Al/Cr																	
2.4	50	50	62	26	10	2	56,7	30,2	10,4	0,7	2,1	2,0	0,7	2830	337	60	240
2.5	50	50	57	31	10	2	49,9	36,7	10,5	1,0	1,9	1,9	0,9	2960	385	50	300
2.6	50	50	53	35	10	2	47,3	39,5	10,7	0,7	1,8	1,7	1,4	3090	403	60	270

Tabela 5

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)	Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)	Proporção da espessura	Tratamento de escovação	Desempenho de corte N° de bolas a v.b- max = 100 µm
5.1	AlTiN	-	-	66 - 33 - -	-	não
5.2	AlTiN	-	-	67 - 34 - -	-	sim
5.3	TiAlN/AlCrSiWN	50 -	50 57 31 -	10 2 1,84	não	6
5.4	TiAlN/AlCrSiWN	50 -	50 57 31 -	10 2 1,84	sim	8
						16

Tabela 7

Nº	Revestimento	Camada de suporte de composição-alvo s.l. (% at)	Camada principal de composição-alvo m.l. (% at)	Proporção da espessura	Espessura da camada de topo	Dureza HV	Dureza Vickers	Módulo de Young GPa				
		Al	Ti	Al	Cr	Si	W	m.l./s.l.	(μm)	GPa	HV	GPa
7.1	TiAIN	-	-	50	50	-	-	-	4,7	35,7	2520	462
7.2	TiAIN/AlCrSiWN	50	50	57	31	10	2	1,84	2,5	50,8	2960	385

REIVINDICAÇÕES

1. Peça para ser trabalhada que tem uma superfície em que pelo menos partes da dita superfície estão revestidas com um revestimento duro em multicamada resistente ao desgaste por um processo de PVD, em que o revestimento duro compreende pelo menos uma primeira camada de suporte e uma segunda camada nano cristalina, em que a primeira camada está interposta entre a peça para ser trabalhada e a segunda camada, em que a primeira camada compreende um material para revestimento com a composição a seguir

10 $(Ti_aAl_{1-a})N_{1-x-y}C_xO_y$

em que $0,4 < a < 0,6$ e $0 < x \leq y < 0,3$ ou

$$(Al_bCr_{1-b})N_{1-x-y}C_xO_y$$

em que $0,5 < b < 0,7$ e $0 < x \leq y < 0,3$;

a segunda camada compreende um material para revestimento

15 da seguinte composição

$$(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dMe)N_{1-x-y}C_xO_y$$

em que M representa pelo menos um elemento dos metais de transição do grupo 4, 5, 6 do sistema periódico exceto cromo e $0,2 < c \leq 0,35$, $0 < d \leq 0,20$, $0 < e \leq 0,04$.

20 2. Peça para ser trabalhada de acordo com a reivindicação 1,
em que a primeira camada compreende um material para revestimento com
a seguinte composição

$(Ti_aAl_{1-a})N_{1-x-y}C_xO_y$ em que $0,4 < a < 0,6$ e $0 \leq x \leq y < 0,3$, ou

(Al_bCr_{1-b})N_{1-x-y}C_xO_y em que 0,5 < b < 0,7 e 0 ≤ x e y < 0,3 ; a segunda cama-

25 da compreende um material para revestimento com a seguinte composição

$(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM'e')Ni_{-x-y}C_xO_y$ em que M' representa W, Mo, Ta ou

Cb (Nb) e

$$0,2 < c \leq 0,35, \quad 0,06 < d' \leq 0,15, \quad 0 < e \leq 0,04.$$

3. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das

30 reivindicações 1 ou 2, em que a primeira camada compreende duas fases cristalinas diferentes.

4. Peça para ser trabalhada de acordo com a reivindicação 2,

em que as diferentes fases cristalinas são uma fase cúbica centrada (fcc) e uma fase compactada fechada hexagonal (hcp).

5. Peça para ser trabalhada de acordo com a reivindicação 4, em que um sinal XRD da fase hcp se torna mais propenso se sujeito a tratamento térmico ou a altas temperaturas de trabalho.

6. Peça para ser trabalhada de acordo com a reivindicação 4 ou 5, em que a fase hcp é enriquecida com Al.

7. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 4 a 6, em que a percentagem da fase hcp como depositada 10 está entre 5 e 40 % em volume.

8. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, em que um quociente $Q_{Al/Cr} = (1-c-d-e) / c$ está dentro da faixa a seguir: $1,7 \leq Q_{Al/Cr} \leq 2,4$.

9. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das 15 reivindicações 1 a 8, em que uma espessura do revestimento D está dentro da faixa a seguir: $1 \mu m \leq D \leq 10 \mu m$, de preferência $2 \mu m \leq D \leq 6 \mu m$.

10. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, em que uma espessura D_1 da primeira camada de suporte é menor do que uma espessura D_2 do segundo revestimento.

20 11. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, em que uma dureza HV_1 da primeira camada de suporte é menor do que uma dureza HV_2 do segundo revestimento.

12. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das 25 reivindicações 1 a 11, em que a segunda camada exibe uma estrutura de crescimento nano cristalino na seção transversal de SEM.

13. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, em que a primeira camada exibe uma estrutura de crescimento em coluna na seção transversal de SEM.

30 14. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, em que o coeficiente da textura $Q_1 = I(200)/I(111)$ da segunda camada nano cristalina está na faixa de $0,7 \leq Q_1 \leq 2$.

15. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das

reivindicações 1 a 14, em que a primeira camada compreende uma multicamada de camadas alternativas de $(Ti_3Al_{1-a})N_{1-x-y}C_xO_y$ e $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$ ou de camadas alternativas de $(Al_bCr_{1-b})Ni_{x-y}C_xO_y$ e $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$.

5 16. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, que tem um corpo feito de aço de grande velocidade, carbureto cimentado, nitreto de boro cúbico, cermet ou um material de cerâmica.

10 17. Peça para ser trabalhada de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, em que a peça para ser trabalhada é uma ferramenta de corte, especialmente uma fresa de mesa, uma perfuradora, um enchimento para corte ou uma ferramenta de corte com engrenagem.

15 18. Processo de PVD para fabricar uma peça para ser trabalhada como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 17, que compreende a etapa de aquecimento da peça para ser trabalhada até uma temperatura mais alta do que 550° C, especialmente até uma temperatura de aproximadamente 600° C e mantendo a temperatura durante o processo de deposição.

20 19. Processo de PVD de acordo com a reivindicação 18, que compreende a etapa de aplicação de uma primeira voltagem do substrato U_1 durante a deposição do primeiro revestimento e aplicação de uma segunda voltagem do substrato U_1 mais alta durante a deposição do segundo revestimento.

25 20. Processo de PVD de acordo com a reivindicação 19, em que $0 V \leq U_1 \leq -100 V$ e $-80 V \leq U_2 \leq -200 V$, em que $[U_2 - U_1] \geq 20$.

21. Processo de corte para cortar um material duro, especialmente um material que tenha uma dureza de Rockwell de HRC 50 ou mais alta que usa a ferramenta de corte da reivindicação 17.

30 22. Processo de corte de acordo com a reivindicação 21, em que o material duro é aço endurecido.

23. Processo para a fabricação de uma peça para ser trabalhada de material duro cortada que compreende aplicar o processo de corte como

definido na reivindicação 21 ou 22.

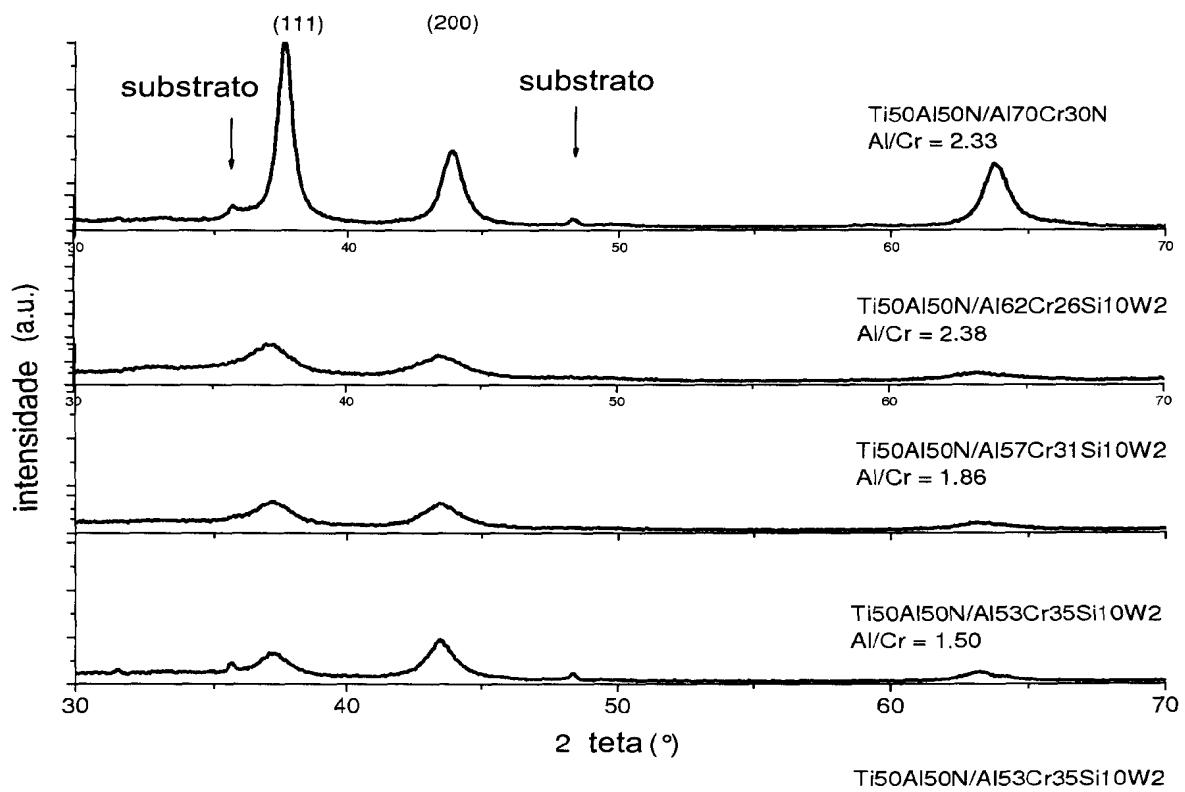


FIG. 1

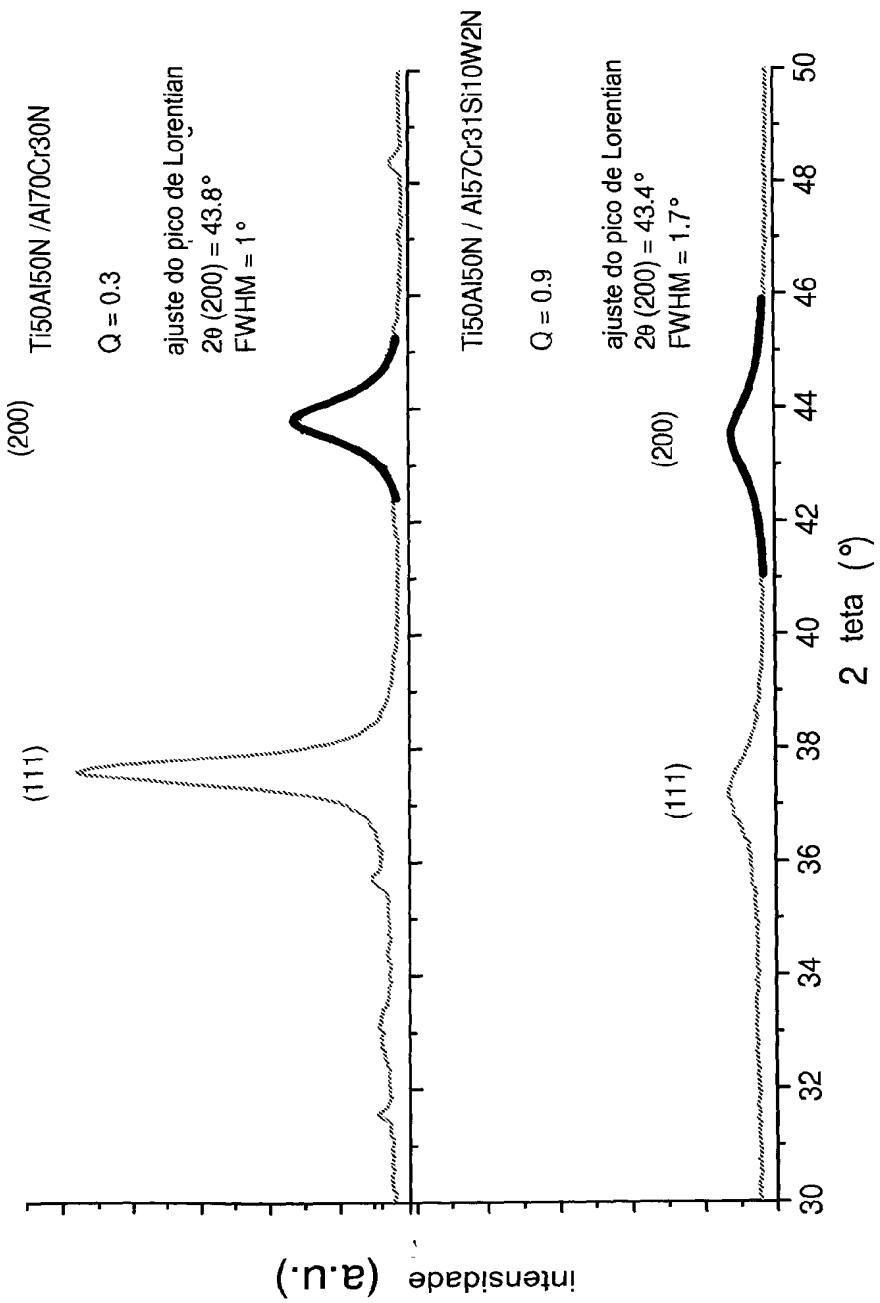
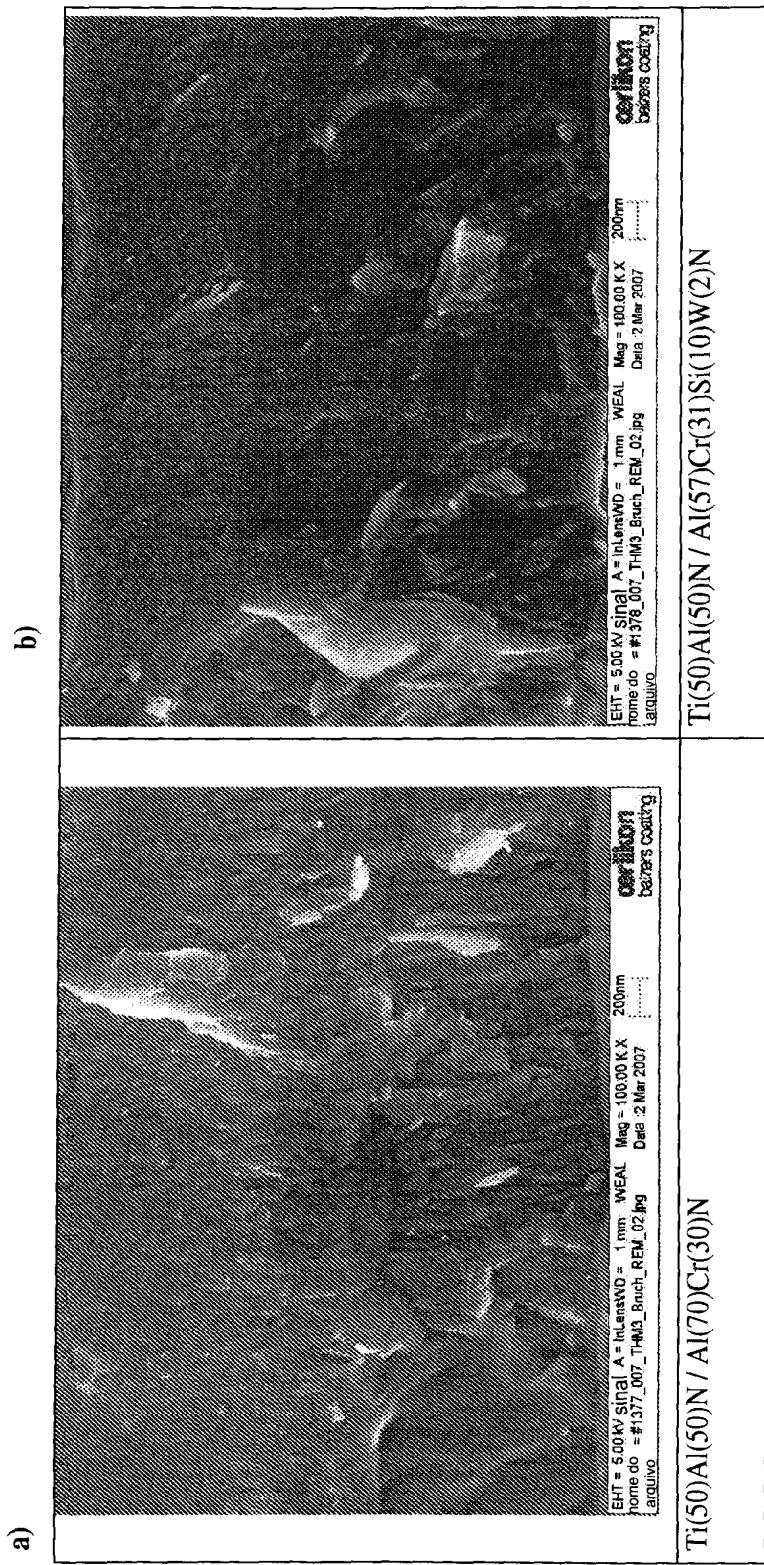


FIG. 2

FIG. 3



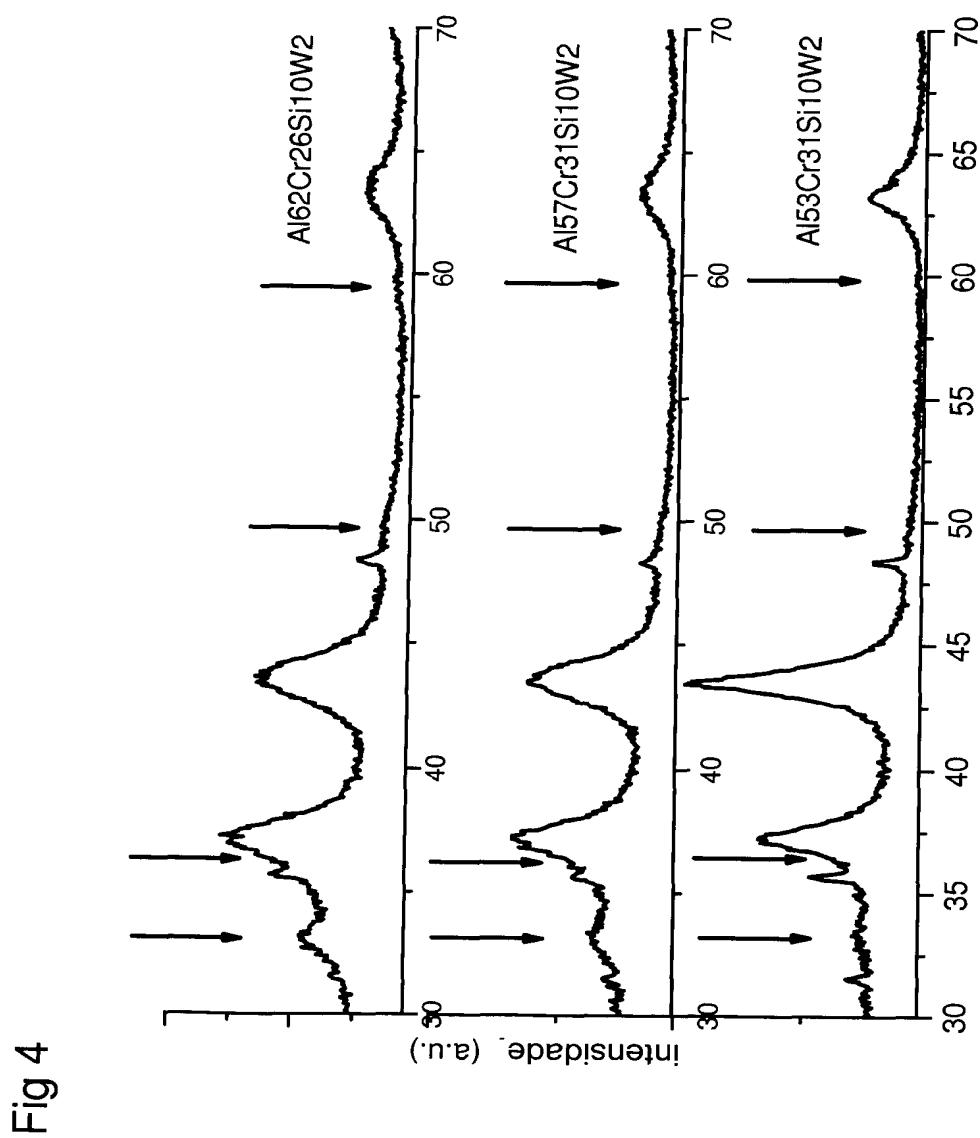


Fig 4

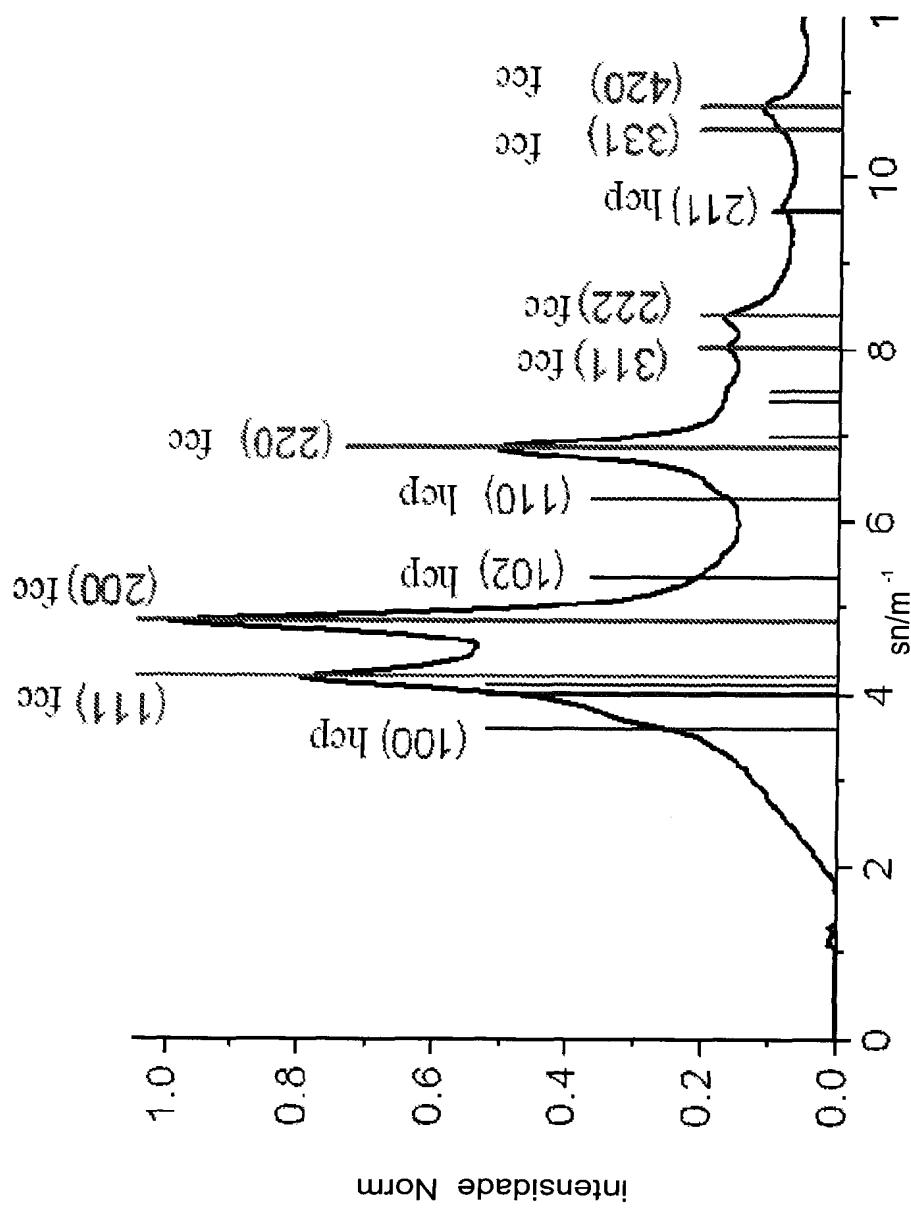


Fig 5

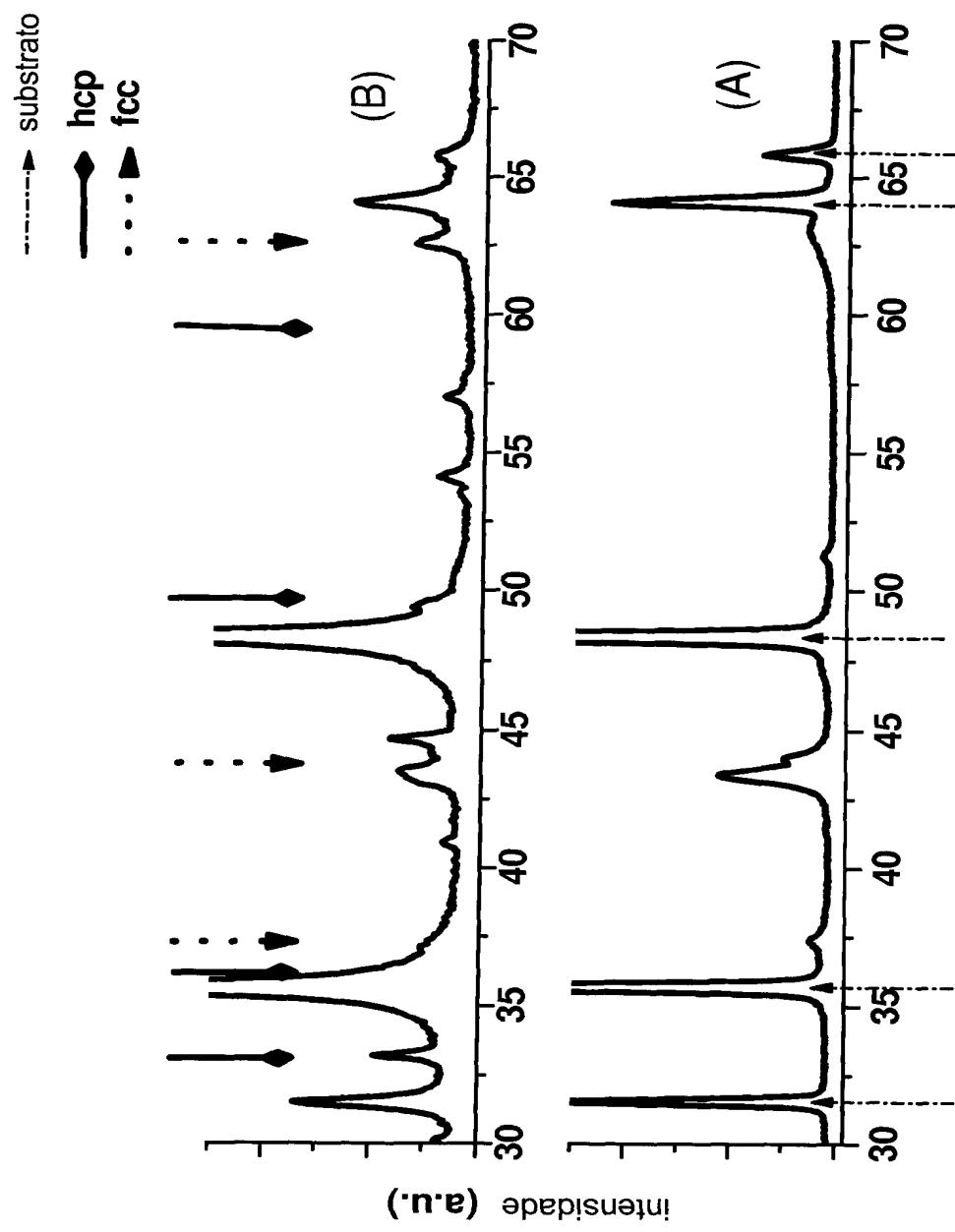


Fig 6

RESUMO

Patente de Invenção: "REVESTIMENTO DURO RESISTENTE AO DESGASTE PARA UMA PEÇA DURA A SER TRABALHADA E PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DO MESMO".

5 A presente invenção refere-se a um revestimento duro otimizado e uma peça para ser trabalhada, especialmente uma ferramenta para corte com um revestimento duro para aumentar o desempenho da ação das ferramentas com dificuldade para usinagem de materiais tais como aços para alta velocidade, ligas de titânio, ligas de níquel aços austeníticos e especial-
10 mente materiais duros como aço endurecido para ferramentas que têm uma dureza maior do que 50, de preferência maior do que 55 HRC. Isto é conseguido por uma peça para ser trabalhada revestida com uma multicamada resistente ao desgaste que compreende pelo menos uma primeira camada de suporte e uma segunda camada nano cristalina, enquanto a primeira ca-
15 mada compreende um material para revestimento da seguinte composição $(Ti_aAl_{1-a})N_{1-x}C_xO_y$ com $0,4 < a < 0,6$ e $0 < x < 0,3$ ou $(Al_bCr_{1-b})N_{1-x-y}C_xO_y$, com $0,5 < b < 0,7$ e $0 < x < 0,3$. A segunda camada compreende um material para revestimento da seguinte composição $(Al_{1-c-d-e}Cr_cSi_dM_e)N_{1-x-y}C_xO_y$, ao passo que M representa pelo menos um ele-
20 mento de metais de transição do grupo 4, 5 ou 6 da tabela periódica exceto Cromo e $0,2 < c < 0,35$, $0 < d < 0,20$, $0 < e < 0,04$.