



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

(11) PI 0511149-8 B1

(22) Data do Depósito: 05/05/2005

(45) Data de Concessão: 18/07/2017



(54) Título: FERRAMENTA DE CORTE, SUPLEMENTO DE CORTE E MÉTODO PARA REVESTIR
UMA FERRAMENTA DE CORTE E UM SUPLEMENTO DE CORTE

(51) Int.Cl.: C23C 12/00; C23C 16/30; C23C 8/24; C23C 30/00; C23C 28/02

(30) Prioridade Unionista: 19/05/2004 US 10/848,776

(73) Titular(es): KENNAMETAL INC.

(72) Inventor(es): X. DANIEL FANG; DAVID J. WILLS; GILLES FESTEAU

“FERRAMENTA DE CORTE, SUPLEMENTO DE CORTE E MÉTODO PARA
REVESTIR UMA FERRAMENTA DE CORTE E UM SUPLEMENTO DE CORTE”

Antecedentes da Invenção

[001] Atualmente, a maioria dos suplementos de corte compreende substratos feitos de carbonetos cementados por que os carbonetos cementados têm um grau elevado de dureza e boa resistência ao desgaste. Entretanto, o uso de ferramentas de corte e suplementos de corte (“ferramentas de cerâmica”) tendo substratos de cerâmica é crescente. Essas ferramentas de cerâmica encontram uso em uma ampla faixa de operações de acabamento em alta velocidade e para a usinagem de materiais difíceis de usinar em uma taxa de remoção elevada. O aumento no uso de ferramentas de cerâmica pode ser devido à melhora em cerâmicas ligadas, e compósitos de matriz de cerâmica, bem como com os avanços na tecnologia de processamento de cerâmica. As cerâmicas empregadas em ferramentas de corte são materiais não metálicos, tipicamente inorgânicos.

[002] A produção de ferramentas de cerâmica tipicamente envolve a consolidação e sinterização das cerâmicas em pó. A sinterização fornece a densificação necessária do pó consolidado e pode opcionalmente ser realizada sob pressão. Na sinterização sem pressão, o pó é primeiro moldado em um corpo não sinterizado ou cru que pode em seguida ser sinterizado para obter a densificação necessária. A prensagem a quente de cerâmicas envolve aquecer junto com prensagem uniaxial simultânea do pó em uma matriz. Embora as cerâmicas prensadas a quente sejam mais caras, elas podem ser preparadas com um tamanho de grão mais fino, uma densidade mais elevada e força

de ruptura transversa mais elevada do que os materiais prensados a frio.

[003] As cerâmicas atualmente empregadas em ferramentas de corte são com base ou em óxido de alumínio (alumina, Al_2O_3) ou nitreto de silício (Si_3N_4). Outras cerâmicas, tal como, magnésia, ítrio, zircona, óxido de cromo, e carboneto de titânio podem ser empregados como aditivos para auxiliar na sinterização ou para formar as cerâmicas ligadas com propriedades termo-mecânicas melhoradas.

[004] Uma ferramenta de cerâmica compreendendo um substrato de óxido de alumínio pode ser empregada na usinagem de metal com velocidade de corte elevada devido à inércia química e grande resistência do substrato de óxido de alumínio. As ferramentas comercialmente significantes de cerâmica de óxido de alumínio foram basicamente Al_2O_3 granulado fino (menos do que $5\text{ }\mu\text{m}$) com magnésia adicionada como um auxiliar de sinterização e inibidor de crescimento de grão. As cerâmicas de óxido de alumínio podem também ser ligadas com subóxidos ou titânio ou cromo para formar soluções sólidas. Os três principais materiais de ferramenta com base em óxido de alumínio comercialmente disponíveis são $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, e Al_2O_3 reforçados com monocristais fibrilares de carboneto de silício (SiC). Outras cerâmicas com base em Al_2O_3 podem ter aditivos de TiN , TiB_2 , $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$, e $\text{Zr}(\text{C}, \text{N})$.

[005] A alumina-zircônia ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$) é uma cerâmica ligada. A adição de óxido de zircônio aumenta a resistência à fratura mais elevada e resistência ao choque térmico de um substrato de óxido de alumínio. O endurecimento do óxido de

alumínio com óxido de zircônio, explora uma alteração cristalográfica específica, uma transformação tipo martensítica, que resulta de um mecanismo de absorção de energia. A presença de tetraortoganol metastável ZrO_2 fornece o potencial para transformação sob tensão em uma estrutura monoclinica estável. A transformação atua como um absorvente de tensão e previne, mesmo quando as fraturas existem, outro craqueamento.

[006] Tipicamente, as partículas de óxido de zircona são concentradas nos limites do grão de óxido de alumínio. Embora a fratura seja intergranular, a presença dessas partículas é acreditada fornecer dureza adicional antes que a falha possa ocorrer pela fratura. As três composições mais populares contêm 10, 25 e 40% em peso (% em peso) de ZrO_2 com o restante sendo óxido de alumínio. A composição de 40% em peso de ZrO_2 está próxima da concentração eutética. As composições de ZrO_2 mais elevadas são menos duras porém mais resistentes.

[007] Os suplementos de corte podem ser revestidos para aumentar sua resistência ao desgaste. As camadas únicas ou múltiplas de revestimentos por deposição de vapor químico ("CVD") ou deposição de vapor físico ("CVD") podem ser aplicadas à ferramenta de corte. O nitreto de titânio (TiN), nitreto de carbono e titânio (TiCN) e óxido de alumínio (Al_2O_3) estão entre os materiais de revestimento por CDV mais populares para ferramentas de corte com base em carboneto. Os revestimentos finos (2 μm a 5 μm) em substratos de cerâmica têm sido desenvolvidos principalmente para limitar as interações

químicas entre a ferramenta e o material de trabalho e melhorar a resistência ao desgaste. Os exemplos dos esforços de pesquisas muito recentes na aplicação das últimas tecnologias de revestimento por CVD aos suplementos de corte de cerâmica incluem as ferramentas de corte de cerâmica reforçadas revestidas, Patente dos Estados Unidos No. 6.447.896; as ferramentas de corte de cerâmica de nitreto de silício revestidas, Pedido de Patente dos Estados Unidos 2002/0076284; os suplementos de corte de cerâmica de compósito revestido contendo uma fase dura dispersa com uma fase de matriz de alumina, Pedido de Patente dos Estados Unidos Publicado No. 2002/0054794.

[008] Há uma necessidade de desenvolver novas tecnologias de revestimento para ferramentas de cerâmica a fim de também melhorar a resistência aos produtos químicos e ao desgaste de ferramentas de cerâmica para alcançar as demandas sempre crescentes na produtividade da usinagem.

Sumário da Invenção

[009] Em pelo menos um aspecto, a presente invenção está voltada a ferramentas de corte compreendendo um substrato, onde o substrato compreende óxido de alumínio e óxido de zircônio e uma camada realçada de ligação por difusão. A presente invenção está também voltada aos métodos de formação de uma camada realçada de ligação por difusão sobre um substrato. Uma camada realçada de ligação por difusão aumenta a aderência de um revestimento resistente ao desgaste aplicado à ferramenta de corte. A camada realçada de ligação por difusão compreende os produtos de reação entre uma mistura com-

preendendo cloreto de alumínio e nitrogênio, e pelo menos o óxido de zircônio presente no substrato.

[0010] Em outro aspecto, a presente invenção está voltada a um suplemento de corte compreendendo um substrato, onde o substrato compreende o óxido de alumínio e óxido de zircônio, uma camada intermediária compreendendo nitretos de zircônio, óxido de zircônio e nitretos de alumínio, e pelo menos um revestimento resistente ao desgaste.

[0011] Uma modalidade do método da presente invenção compreende expor um substrato ao nitrogênio e cloreto de alumínio, onde o substrato compreende alumina e zircônia; e revestir o substrato por pelo menos um dos processos de deposição de vapor químico ou processo de deposição de vapor por pressão. O substrato pode compreender, em peso, de 0,5 a 45% de óxido de zircônio do peso total do substrato. O método pode incluir expor o substrato a uma mistura gasosa compreendendo nitrogênio e cloreto de alumínio.

[0012] O revestimento sobre o substrato pode ser aplicado por CVD ou PVD, bem como outros meios. Cada revestimento pode independentemente compreender pelo menos um de um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal, e um óxido de metal de um óxido de metal de um metal selecionado dos Grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica, tal como, porém não limitado à pelo menos um dos nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto

de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/ carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/ carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/ carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

[0013] O leitor apreciará as vantagens e detalhes anteriores da presente invenção, bem como outros, sob consideração da seguinte descrição detalhada das modalidades da invenção. O leitor também pode compreender tais vantagens e detalhes adicionais da presente invenção no desenvolvimento e/ou uso das modalidades na presente invenção.

Breve Descrição dos Desenhos

[0014] As características e vantagens da presente invenção podem ser mais bem entendidas em referencia às figuras acompanhantes nas quais:

[0015] Figura 1 é uma fotomicrografia tirada em 1000x de ampliação de uma seção transversal preparada mostrando a camada realçada de ligação por difusão formada sobre a superfície do substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$;

[0016] Figuras 2A e 2B são fotomicrografias tiradas em 1000x de ampliação para comparação de um substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ revestido por CVD sem uma camada realçada de ligação por difusão (Figura 2A) e um substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ revestido por CVD com uma camada realçada de ligação por difusão (Figura 2B);

[0017] Figuras 3A e 3B são fotomicrografias de suplementos de corte de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ após os testes de

risca terem sido realizados sob uma carga constante de 10 kg nos revestimentos por CVD dos dois suplementos de corte de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, um suplemento de corte foi preparado sem uma camada realçada de ligação por difusão (Figura 3A) e o outro suplemento de corte foi preparado com a camada realçada de ligação por difusão (Figura 3B); e

[0018] Figuras 4A e 4B são gráficos descrevendo os resultados dos testes de usinagem comparativos (Caso 1 e Caso 2) que foram realizados sob condições de corte diferentes e com materiais de trabalho a fim de demonstrar as vantagens dos suplementos de corte de cerâmica compreendendo um substrato de óxido de zircônio e óxido de alumínio com camada realçada de ligação por difusão e revestimentos resistentes ao desgaste.

Descrição Detalhada da Presente Invenção

[0019] A presente invenção se refere a ferramentas de corte compreendendo um substrato compreendendo óxido de alumínio e óxido de zircônio, e uma camada realçada de ligação por difusão. A camada realçada de ligação por difusão resulta da reação entre os reagentes e pelo menos um dos, óxido de zircônio e óxido de alumínio no substrato. A camada realçada de ligação por difusão pode compreender nitretos de zircônio e nitretos de alumínio e a presença desses compostos realça a adesão de revestimentos subseqüentes. Portanto, a camada realçada de ligação por difusão pode ser empregada como uma camada intermediária entre o substrato e um revestimento resistente ao desgaste. A presença de uma camada realçada de ligação por difusão pode significativamente melhorar a duração

da ferramenta de suplementos de corte de cerâmica de Al_2O_3 revestidos. Uma modalidade da presente invenção resulta em uma reação química entre pelo menos um dos, óxido de alumínio e o óxido de zircônio do substrato e uma mistura de nitrogênio (N_2) e cloreto de alumínio (AlCl_3) em uma região de superfície. A reação pode ser entre uma mistura gasosa de N_2 e AlCl_3 e os componentes do substrato. Os revestimentos resistentes ao desgaste múltiplos ou únicos podem ser aplicados por um meio de revestimento conhecido, incluindo, porém não limitado a, CVD e PVD.

[0020] A espessura da camada realçada ligada por difusão depende da difusão dos reagentes no substrato. A difusão é o processo pelo qual as moléculas intermisturam-se como um resultado de sua energia cinética de moção aleatória, ou em outras palavras, é o resultado da moção aleatória dos átomos individuais em uma região da superfície do substrato, isto é o óxido de alumínio com o substrato de cerâmica de óxido de zircônio nesta invenção. Em uma temperatura relativamente elevada, a taxa de difusão aumenta e, portanto, certos reagentes podem ser quimicamente ligados a uma região da superfície em uma certa profundidade no substrato. A camada realçada de ligação por difusão não pretende funcionar como um revestimento resistente ao desgaste, de preferência como uma camada intermediária entre o substrato de cerâmica e os revestimentos por CVD com base em metais refratários para aumentar a aderência. Os experimentos mostraram consistentemente que a aplicação direta de revestimentos de CVD sobre o óxido de alumínio com substrato de cerâmica de óxido de zir-

cônio geralmente não resulta em boa adesão. Os revestimentos tipicamente descascam e quebram durante o processo de usinagem resultando em uma vida útil curta da ferramenta de cerâmica.

[0021] A camada realçada de ligação por difusão fornecida nesta invenção pode ser camadas relativamente uniformes, estáveis e altamente aderentes para o substrato de cerâmica. Acredita-se que a camada realçada de ligação por difusão compreenda os produtos de uma reação entre cloreto de alumínio e nitrogênio, e o óxido de zircônio presente no substrato. A espessura da camada realçada de ligação por difusão pode ser controlada ajustando-se pelo menos um dos, tempo de reação, temperatura, pressão, aspereza da superfície do substrato, bem como outros parâmetros para produzir a espessura desejada do revestimento.

[0022] As modalidades da ferramenta de corte da presente invenção compreendem um substrato compreendendo óxido de alumínio e óxido de zircônio. Tipicamente, tais substratos presentemente comercialmente disponíveis compreendem, em peso, de 0,5 a 45% de óxido de zircônio. Em certas modalidades, tal como onde um substrato mais duro pode ser desejado, o substrato pode compreender, em peso, de 0,5 a 26% de óxido de zircônio ou preferivelmente, de 2 a 26% de óxido de zircônio, ou mais preferivelmente de 9 a 11% de óxido de zircônio.

[0023] As modalidades da ferramenta de corte podem compreender revestimentos múltiplos ou únicos resistentes aos produtos químicos ou resistentes ao desgaste, conjuntamente referidos nesta como "revestimentos resistentes ao desgaste".

Os revestimentos resistentes ao desgaste múltiplos ou únicos sobre uma camada realçada de ligação por difusão como um intermediário de *interface* de ligação do primeiro revestimento e revestimentos resistentes ao desgaste e do substrato, resulta no desempenho adesivo realçado do revestimento e do óxido de alumínio com o substrato de cerâmica de óxido de zircônio sendo realçado. A ferramenta de corte pode compreender qualquer revestimento capaz de ser depositado por CVD ou PVD. Mais particularmente, os revestimentos resistentes ao desgaste podem independentemente compreender pelo menos um de um carboneto de metal, um nitreto de metal, um carbonitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica ou combinação destes, tal como, porém não limitado a, nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/ carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/ carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/ carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo e alumínio (AlCrN). Um revestimento de multicamada comercial típico para uma ferramenta de corte pode compreender, por exemplo, um primeiro revestimento resistente ao desgaste de nitreto de titânio, um segundo revestimento resistente ao desgaste de carbonitreto de titânio, e o terceiro

revestimento resistente ao desgaste de nitreto de titânio.

[0024] A espessura de cada revestimento resistente ao desgaste pode ser qualquer espessura desejada para a aplicação de usinagem específica ou para o material a ser usinado. A espessura total do revestimento sobre a superfície do substrato tipicamente será de cerca de 1 a cerca de 20 micrômetros ou mais tipicamente de 1 a 5 micrômetros. Os revestimentos resistentes ao desgaste individuais, tipicamente, podem ter uma espessura de 0,25 a 2 micrômetros.

[0025] As modalidades das ferramentas de corte da invenção podem também compreender um substrato, onde o substrato compreende óxido de alumínio e óxido de zircônio, uma camada intermediária compreendendo nitretos de zircônio, óxido de zircônio e nitretos de alumínio, e pelo menos um revestimento resistente ao desgaste.

[0026] A presente invenção também se refere a um método para revestir uma ferramenta de corte. As modalidades do método compreendem expor um substrato ao cloreto de alumínio e nitrogênio, onde o substrato compreende óxido de alumínio e óxido de zircônio, e o revestir o substrato por pelo menos um processo selecionado de CVD e PVD. As modalidades do método da presente invenção incluem um substrato compreendendo, em peso, de 0,5 a 45% de óxido de zircônio. Em certas modalidades onde um substrato mais duro pode ser desejado, o substrato compreende, em peso, de 0,5 a 26% de óxido de zircônio ou preferivelmente, em peso, de 2 a 26% de óxido de zircônio, ou mais preferivelmente, em peso, de 9 a 11% de óxido de zircônio.

[0027] O substrato pode ser exposto a uma mistura gasosa compreendendo nitrogênio de cloreto de alumínio. A mistura gasosa pode compreender uma concentração de cloreto de alumínio de 25% a 99% em peso ou mais preferivelmente, de 75% a 99% em peso. A mistura gasosa pode conter outros componentes que são inertes ou essencialmente inertes, por "essencialmente inertes" é entendido que os componentes adicionais não interferem com a formação de uma camada realçada de ligação por difusão. Quando uma mistura gasosa compreendendo nitrogênio e cloreto de alumínio, é empregada para formar a camada realçada de ligação por difusão qualquer pressão pode ser empregada embora pressões mais altas permitam mais interação entre a fase gasosa e a fase sólida. A pressão da mistura gasosa empregada no processo de difusão pode ser empregada para controlar a reação para formar a camada realçada por difusão. Uma pressão mais alta pode promover um nível mais elevado de reatividade entre o nitrogênio e óxido de zircônio. Portanto, para fornecer o controle apropriado, pode ser preferível manter uma pressão de 200 milibares a 1500 milibares ou mesmo uma pressão de 400 milibares a 1000 milibares.

[0028] A difusão pode ocorrer em um sólido em qualquer temperatura. Ou a mistura gasosa ou o substrato pode ser aquecido para aumentar a taxa de difusão. As temperaturas mais elevadas podem resultar em uma taxa mais elevada de difusão porém as temperaturas de operação não devem ser tão altas quanto para causar qualquer alteração indesejada no substrato sólido. Portanto, para os substratos compreendendo

óxido de alumínio e óxido de zircônio, pode ser preferido que a mistura gasosa ou o substrato esteja em uma temperatura de 50°C a 1400°C ou de 50°C a 1200°C. As faixas de temperatura mais estreitas podem ser desejadas para manter uma taxa comercialmente aceitável de difusão e não afetar o substrato, portanto, pode ser desejado ter uma temperatura da mistura gasosa ou do substrato de 500°C a 1200°C ou mais preferivelmente de 1000°C a 1200°C.

[0029] A menos que de outro modo indicado, todos os números expressando as quantidades de ingredientes, tempo, temperaturas e assim por diante empregados na presente especificação e reivindicações são para serem entendidos como sendo modificados em todos os casos pelo termo "cerca de". Consequentemente, a menos que indicados ao contrário, os parâmetros numéricos apresentados na seguinte especificação e reivindicações são aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas procuradas serem obtidas pela presente invenção. No mínimo, e não como uma tentativa de limitar a aplicação da doutrina de equivalentes ao escopo das reivindicações, cada parâmetro numérico deve pelo menos ser considerado levando em consideração o número de dígitos significantes reportados e aplicando-se as técnicas de arredondamento ordinárias.

[0030] Apesar dos parâmetros e faixas numéricas apresentando o amplo escopo da invenção serem aproximações, os valores numéricos apresentados nos exemplos específicos são reportados tão precisamente quanto possíveis. Qualquer valor numérico, entretanto, pode inerentemente conter certos erros

necessariamente resultantes do desvio padrão encontrado em suas respectivas medições de teste.

Exemplos das Modalidades da Invenção

[0031] Os seguintes exemplos demonstram a formação da camada realçada de ligação por difusão sobre o substrato compreendendo óxido de alumínio e óxido de zircônio e a aderência aumentada dos revestimentos resistentes ao desgaste sobre o substrato. O substrato de cerâmica deste exemplo compreendeu em percentual em peso, 90% de Al_2O_3 , e 10% de ZrO_2 . O substrato teve uma densidade de $4,0 \text{ g/cm}^3$, uma dureza de 1800 Hv, uma resistência de $4,5 \text{ MN/m}^{3/2}$, e um coeficiente de transferência de calor de $0,07 \text{ cal/cm} \cdot \text{sec } ^\circ\text{C}$.

[0032] O substrato foi exposto a uma mistura gasosa compreendendo cloreto de alumínio e nitrogênio sob uma pressão de 500 milibares. O substrato foi aquecido a uma temperatura de aproximadamente 1020°C . A relação de AlCl_3/N_2 na mistura gasosa foi aproximadamente 7.

[0033] A Figura 1 é uma fotomicrografia tirada em 1000X de ampliação de uma seção transversal preparada de uma ferramenta de corte 10 da presente invenção em uma vista perspectiva mostrando a borda 11 entre o topo 12 e o lado de seção transversal 13. A camada realçada de ligação por difusão 14 é claramente mostrada sobre o substrato 15 após a exposição à mistura gasosa. Como pode ser observada na Figura 1, a camada realçada de ligação por difusão 14 é formada uniformemente através da superfície do substrato 15. A espessura da camada de ligação por difusão 14 no substrato 15 da Figura 1 é cerca de meio micrômetro (0,5 de micrômetro).

[0034] Figura 2A e 2B são fotomicrografias tiradas em uma ampliação de 1000X de seções transversais de substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ revestido sobre o qual múltiplos revestimentos resistentes ao desgaste foram aplicados. A Figura 2A mostra uma fotomicrografia de uma seção transversal de um substrato de cerâmica revestido 20 tendo um primeiro revestimento de TiN 22, um segundo revestimento de TiCN 23, e um terceiro revestimento de TiN 24 aplicado diretamente sobre o substrato 21 sem uma camada realçada de ligação por difusão intermediária. A Figura 2B mostra uma fotomicrografia de uma seção transversal de um substrato de cerâmica revestido 25 com uma camada realçada de ligação por difusão 30 entre o primeiro revestimento de revestimento de TiN 27 e o substrato 26. O substrato de cerâmica revestido 25 também tem um segundo revestimento de TiCN 28 e um terceiro revestimento de TiN 29. Como pode ser observado na Figura 2A, o primeiro revestimento de TiN 22 nem adere bem nem distribui uniformemente através do substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ 21, a aderência fraca pode ser evidenciada pelas áreas escuras 31 da fotomicrografia entre o primeiro revestimento de TiN 22 e o substrato 21. Em contraste, a camada realçada de ligação por difusão 30 tem boa aderência e distribuição uniforme em ambos o primeiro revestimento de TiN 27 e o substrato 26. Os revestimentos múltiplos mostrados em ambos substratos 20 e 25 das Figuras 2A e 2B são TiN-TiCN-TiN todos depositados por CVD com uma espessura total de 3 micrômetros. A camada realçada de ligação por difusão formada sobre o substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ base 26 pode ser composta de vários com-

postos ou elementos químicos, incluindo nitreto de zircônio, óxido de zircônio, e nitreto de alumínio, que são fundidos juntos de um modo para produzir uma distribuição uniforme dos metais misturados.

Teste de Ferramentas de Corte Revestidas

Teste de risca

[0035] Os testes de desempenho foram conduzidos para determinar se uma ferramenta de corte compreendendo uma camada realçada de ligação por difusão intermediária ao substrato e ao primeiro revestimento resistente ao desgaste forneceria uma forte aderência para os revestimentos de CVD ou PVD (camadas únicas e múltiplas). Duas ferramentas de corte foram preparadas, uma com múltiplos revestimentos resistentes ao desgaste aplicados diretamente ao substrato e uma segunda com uma camada realçada de ligação por difusão intermediária ao substrato e os múltiplos revestimentos resistentes ao desgaste formados pelo método descrito acima. Ambos suplementos de corte foram similarmente revestidos com TiN-TiCN-TiN com três micrômetros em espessura por CVD. A Figura 3A e Figura 3B são fotografias de cada dos substratos de cerâmica revestidos após os testes de risca terem sido realizados sob uma carga constante de 10 kg. O suplemento de corte 40 da Figura 3A não compreende uma camada realçada de ligação por difusão e o suplemento de corte 50 da Figura 3B compreende a camada realçada de ligação por difusão. Como mostrado na Figura 3A, os revestimentos por CVD 41 descascaram e quebraram ao longo da marca da risca 42 e a superfície de cerâmica branca 43 é exposta sob a pressão da risca aplicada. Na realidade, a fraca

adesão dos revestimentos por CVD sem uma camada realçada de ligação por difusão é também indicada comparando-se a marca de risca larga 42 na Figura 3A com a marca de risca estreita 52 na Figura 3B. A formação de uma risca mais larga 42 na Figura 3A é por que os revestimentos resistentes ao desgaste 41 têm uma resistência baixa à quebra e descascamento da carga da risca aplicada durante o teste (os mesmos 10 kg de pressão constante para ambos os casos). Ao mesmo tempo em que a formação da marca de risca estreita 52 na Figura 3B é um resultado da aderência forte dos revestimentos por CVD 51 à camada realçada de ligação por difusão entre o substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ e os revestimentos por CVD aplicados. O teste de risca claramente indica que a camada realçada de ligação por difusão melhora a aderência dos revestimentos por CVD sobre o substrato de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$.

Testes de Usinagem

[0036] Uma série de testes de usinagem comparativos foi realizada sob várias condições de corte e com vários materiais de trabalho para demonstrar as vantagens de uma ferramenta de corte compreendendo uma camada realçada de ligação por difusão intermediária e os múltiplos revestimentos resistentes ao desgaste.

Caso 1: Usinagem do Material de Ferro para Peças Automotivas

[0037] Três ferramentas de corte de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ foram selecionadas para o teste de usinagem comparativo - como mostrado na Tabela 1. Todos os implementos de corte têm o mesmo estilo e geometria, designados como SNEN

120412, que significa uma forma quadrada com um diâmetro inscrito de 12 mm, uma espessura de 4,76 mm, e um raio da interferência angular de 1,20 mm de acordo com o ISO padrão. Os suplementos de corte do Caso 1 têm uma T-Face única ao redor das bordas de corte.

[0038] Tabela 1. Suplementos de corte de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, empregados no Teste Comparativo - Caso 1

I.D.	Descrição do Revestimento
C1A	Não revestido
C1B	Revestido por CVD de TiN
C1C	Revestido por CVD de TiN-TiCN-TiN com camada realçada de ligação por difusão

Os testes de usinagem do Caso 1 foram realizados sob as seguintes condições de corte:

Velocidade de corte = 1600 pés por minuto (480 metros por minuto)

Taxa de Alimentação = 0,25 mm por revolução

Profundidade do corte = 0,5 mm

[0039] O suplemento designado C1B foi revestido diretamente sobre o substrato ao mesmo tempo em que o suplemento designado C1C foi revestido de acordo com o método da presente invenção, como descrito acima. Os resultados do teste são mostrados na Figura 4A. É claro que o suplemento de corte C1C (revestido por CVD de TiN-TiCN-TiN) com a camada realçada de ligação por difusão demonstrou o melhor desempenho. A camada realçada de ligação por difusão resultou em mais do que 80% de aumento na duração da ferramenta comparado com o su-

plemento de corte C1B (revestido por CVD de TiN), e um aumento de quase 200% comparando com o suplemento de corte não revestido C1C.

Caso 2: Usinagem dos Aços de Liga

[0040] Três ferramentas de corte de cerâmica de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ foram selecionadas para o teste de usinagem comparativo, como mostrado na Tabela 2. Todos os suplementos de corte têm o mesmo estilo e geometria, designados como RCGX251200, que significa uma forma redonda com um diâmetro de 25 mm, um ângulo de afastamento lateral de 7 graus, e uma espessura de 12,7 mm, de acordo com o ISO padrão. Os suplementos de corte do Caso 2 foram preparados com as T-Faces duplas ao redor das bordas de corte.

[0041] Tabela 2. Suplementos de corte de cerâmica de Al_2O_3 , empregados no Teste Comparativo - Caso 2

I.D.	Descrição do Revestimento
C2A	Revestido por CVD de TiN
C2B	Revestido por CVD de TiN com camada realçada de ligação por difusão
C2C	Revestido por CVD de TiN-TiCN-TiN com camada realçada de ligação por difusão

Os testes de usinagem do Caso 2 foram realizados sob as seguintes condições de teste:

Velocidade de corte = 1000 pés por minuto (305 metros por minuto)

Taxa de Alimentação = 0,76-1,40 mm por revolução

Profundidade do corte = 0,69-1,40 mm

[0042] Os resultados do teste de usinagem do Caso 2 são mostrados na Figura 4B. Ela indica claramente que ambos o suplemento de corte C2B com revestimento por CVD de TiN e o suplemento de corte C2C com revestimento por CVD de TiN-TiCN-TiN demonstram melhor desempenho em termos de duração da ferramenta do que o suplemento de corte C2A com revestimento por CVD de TiN da técnica anterior.

[0043] É para ser entendido que a presente descrição ilustre aqueles aspectos da invenção relevantes para um entendimento claro da invenção. Certos aspectos da invenção que seriam evidentes àqueles de experiência ordinária na técnica e que, portanto, não facilitariam um melhor entendimento da invenção não foram apresentados a fim de simplificar a presente descrição. Embora as modalidades da presente invenção tenham sido descritas, alguém de experiência ordinária na técnica, em consideração à descrição anterior, reconhece que muitas modificações e variações da invenção podem ser empregadas. Todas tais variações e modificações da invenção são pretendidas serem abrangidas pela descrição anterior e pelas seguintes reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta de corte **CARACTERIZADA** por compreender:
um substrato, em que o substrato compreende óxido de alumínio e óxido de zircônio; e
uma camada realçada de ligação por difusão entre o substrato e o revestimento resistente ao desgaste, em que a camada realçada de ligação por difusão compreende os produtos de reação entre uma mistura gasosa compreendendo nitrogênio e cloreto de alumínio e o óxido de zircônio.
2. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** pelo fato da espessura da camada realçada de ligação por difusão variar de 0,25 a 2,0 micrômetros.
3. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** pelo fato da camada realçada de ligação por difusão compreender pelo menos um dentre óxido de zircônio, nitretos de zircônio e nitretos de alumínio.
4. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 0,5 a 45%, em peso, de óxido de zircônio.
5. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 0,5 a 26%, em peso, de óxido de zircônio.
6. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 2 a 26%, em peso, de óxido de zircônio.
7. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 9 a 11%, em peso, de óxido de zircônio.

8. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 0,3 a 35%, em peso, de óxido de zircônio.

9. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADA** pelo fato do substrato compreender de 6 a 20%, em peso, de óxido de zircônio.

10. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** pelo fato do revestimento compreender pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

11. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADA** pelo fato do revestimento compreender pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/ carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/ carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/ carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo e alumínio (AlCrN).

12. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por adicionalmente compreender um segundo revestimento.

13. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADA** pelo fato do segundo revestimento compreen-

der pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

14. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADA** pelo fato do segundo revestimento compreender pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/ carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/ carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al₂O₃), diboreto de titânio (TiB₂), carboneto de tungstênio/ carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

15. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADA** pelo fato do revestimento ter uma espessura de 1 a 20 micrômetros.

16. Ferramenta de corte, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADA** pelo fato do segundo revestimento ter uma espessura de 1 a 20 micrômetros.

17. Suplemento de corte **CARACTERIZADO** por compreender:
um substrato, em que o substrato compreende óxido de alumínio e óxido de zircônio;

uma camada intermediária compreendendo nitretos de zircônio, óxido de zircônio e nitretos de alumínio; e

um primeiro revestimento resistente ao desgaste,

em que a camada intermediária reside entre o substrato e o primeiro revestimento resistente ao desgaste.

18. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 17, **CARACTERIZADO** por adicionalmente compreender um segundo revestimento resistente ao desgaste sobre o primeiro revestimento resistente ao desgaste.

19. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo fato da espessura do primeiro revestimento resistente ao desgaste e do segundo revestimento resistente ao desgaste juntos, ser entre 1 e 20 micrômetros.

20. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro revestimento resistente ao desgaste e do segundo revestimento resistente ao desgaste compreenderem, independentemente, pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos Grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

21. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro revestimento resistente ao desgaste e do segundo revestimento resistente ao desgaste compreenderem, independentemente, pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/carbono (AlTiN+WC/C), óxido

de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

22. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** por adicionalmente compreender um terceiro revestimento resistente ao desgaste.

23. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato do terceiro revestimento resistente ao desgaste compreender pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

24. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato do terceiro revestimento resistente ao desgaste compreender pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (Al-TiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

25. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro revestimento resistente ao desgaste compreender nitreto de titânio, do segundo

revestimento resistente ao desgaste compreender carbonitreto de titânio e do terceiro revestimento resistente ao desgaste compreender nitreto de titânio.

26. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato da camada intermediária ter uma espessura de 0,25 a 2 micrômetros.

27. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** por pelo menos um dentre o primeiro revestimento resistente ao desgaste, o segundo revestimento resistente ao desgaste e o terceiro revestimento resistente ao desgaste serem aplicados por deposição de vapor químico.

28. Suplemento de corte, de acordo com a reivindicação 27, **CARACTERIZADO** pelo fato da concentração de óxido de zircônio no substrato ser de 0,5 a 45% em peso.

29. Método para revestir uma ferramenta de corte, conforme definida na reivindicação 1, e um suplemento de corte, conforme definido na reivindicação 17, **CARACTERIZADO** por compreender:

expor um substrato a uma mistura gasosa de cloreto de alumínio e nitrogênio, em que o substrato compreende alumina e zircônia e produtos da reação são formados entre a mistura gasosa e zircônia para fornecer uma camada realçada de ligação por difusão; e

revestir o substrato com um primeiro revestimento por pelo menos um dentre, processo de deposição de vapor químico ou processo de deposição de vapor físico, o primeiro revestimento entrando em contato com a camada realçada de ligação por difusão.

30. Método, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** pelo fato do substrato compreender de 0,5 a 45%, em peso, de óxido de zircônio.

31. Método, de acordo com a reivindicação 30, **CARACTERIZADO** pelo fato do substrato compreender de 0,5 a 26%, em peso, de óxido de zircônio.

32. Método, de acordo com a reivindicação 31, **CARACTERIZADO** pelo fato do substrato compreender de 2 a 26%, em peso, de óxido de zircônio.

33. Método, de acordo com a reivindicação 32, **CARACTERIZADO** pelo fato do substrato compreender de 0,5 a 11%, em peso, de óxido de zircônio.

34. Método, de acordo com a reivindicação 33, **CARACTERIZADO** pelo fato do substrato compreender de 9 a 11%, em peso, de óxido de zircônio.

35. Método, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa estar sob uma pressão de 200 milibares a 1500 milibares.

36. Método, de acordo com a reivindicação 35, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa estar sob uma pressão de 500 milibares a 1000 milibares.

37. Método, de acordo com a reivindicação 30, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa estar a uma temperatura de 50°C a 1400°C.

38. Método, de acordo com a reivindicação 37, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa estar a uma temperatura de 50°C a 1200°C.

39. Método, de acordo com a reivindicação 38,

CARACTERIZADO pelo fato da mistura gasosa estar a uma temperatura de 500°C a 1200°C.

40. Método, de acordo com a reivindicação 39, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa estar a uma temperatura de 1000°C a 1200°C.

41. Método, de acordo com a reivindicação 40, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa compreender uma concentração de cloreto de alumínio de 25% a 99% em peso.

42. Método, de acordo com a reivindicação 41, **CARACTERIZADO** pelo fato da mistura gasosa compreender uma concentração de cloreto de alumínio de 75% a 99% em peso.

43. Método, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** pelo fato do revestimento do substrato por pelo menos um dentre processo de deposição de vapor químico e processo de deposição de vapor físico, resultar em um revestimento compreendendo pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

44. Método, de acordo com a reivindicação 43, **CARACTERIZADO** pelo fato do revestimento compreender pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio e titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/carbono (AlTiN+WC/C), óxido

de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/ carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

45. Método, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** por adicionalmente compreender:

revestir o substrato com um segundo revestimento por um dentre, processo de deposição de vapor físico e processo de deposição de vapor químico.

46. Método, de acordo com a reivindicação 45, **CARACTERIZADO** pelo fato do revestimento do substrato com um segundo revestimento resultar em um segundo revestimento compreendendo pelo menos um dentre um carboneto de metal, um nitreto de metal, um silício de metal e um óxido de metal de um metal selecionado dos grupos IIIA, IVB, VB e VIB da tabela periódica.

47. Método, de acordo com a reivindicação 46, **CARACTERIZADO** pelo fato do segundo revestimento compreender pelo menos um dentre nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de alumínio de titânio (TiAlN), nitreto de alumínio e titânio mais carbono (TiAlN+C), nitreto de titânio e alumínio (AlTiN), nitreto de titânio e alumínio mais carbono (AlTiN+C), nitreto de alumínio e titânio mais carboneto de tungstênio/carbono (TiAlN+WC/C), nitreto de titânio e alumínio mais carboneto de tungstênio/carbono (AlTiN+WC/C), óxido de alumínio (Al_2O_3), diboreto de titânio (TiB_2), carboneto de tungstênio/carbono (WC/C), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de cromo de alumínio (AlCrN).

48. Método, de acordo com a reivindicação 43,

CARACTERIZADO pelo fato do primeiro revestimento ter uma espessura de 0,25 a 20 micrômetros.

49. Método, de acordo com a reivindicação 48, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro revestimento ter uma espessura de 0,25 a 50 micrômetros.

50. Método, de acordo com a reivindicação 46, **CARACTERIZADO** pelo fato do revestimento total ter uma espessura de 1 a 20 micrômetros.

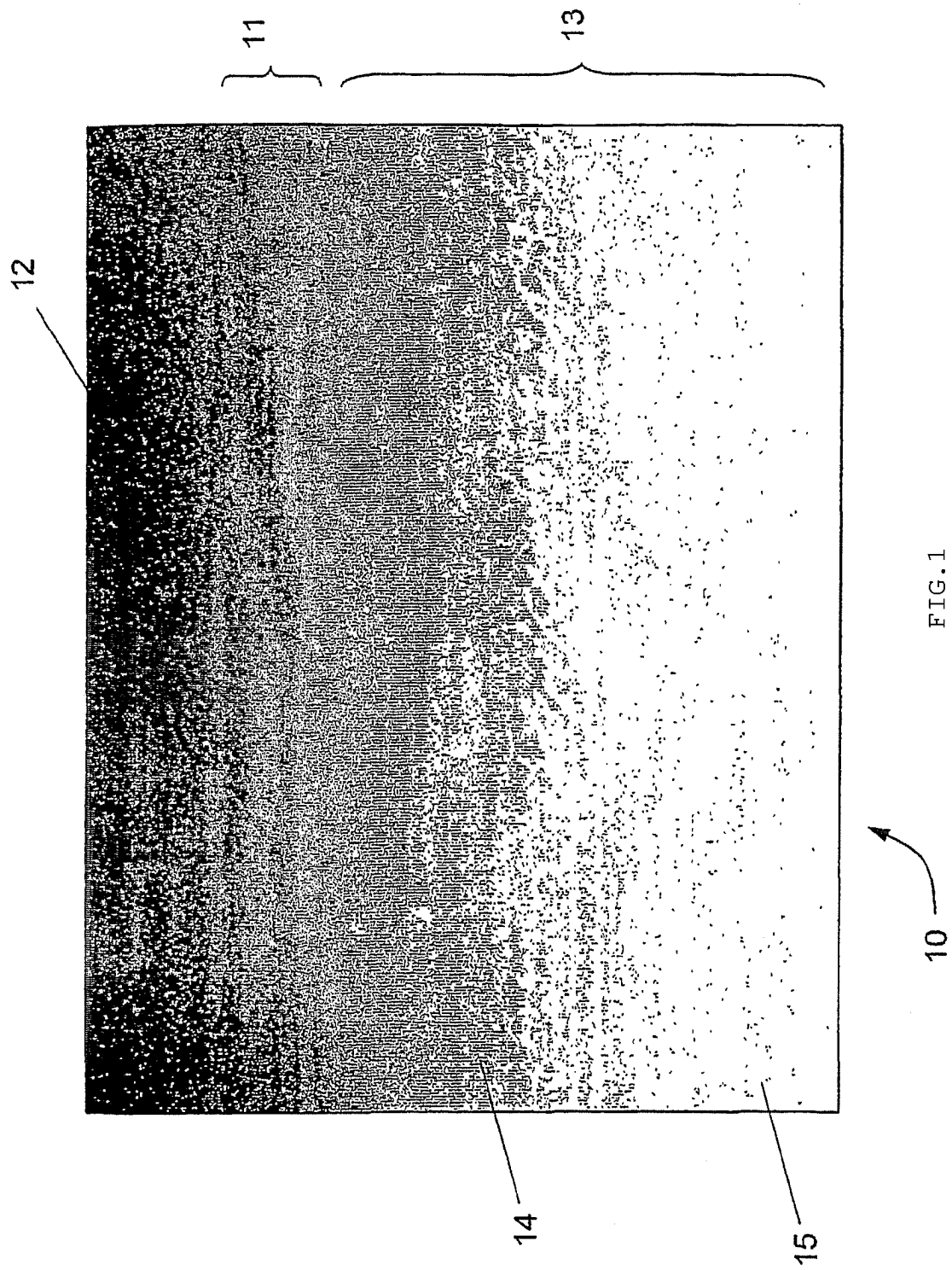
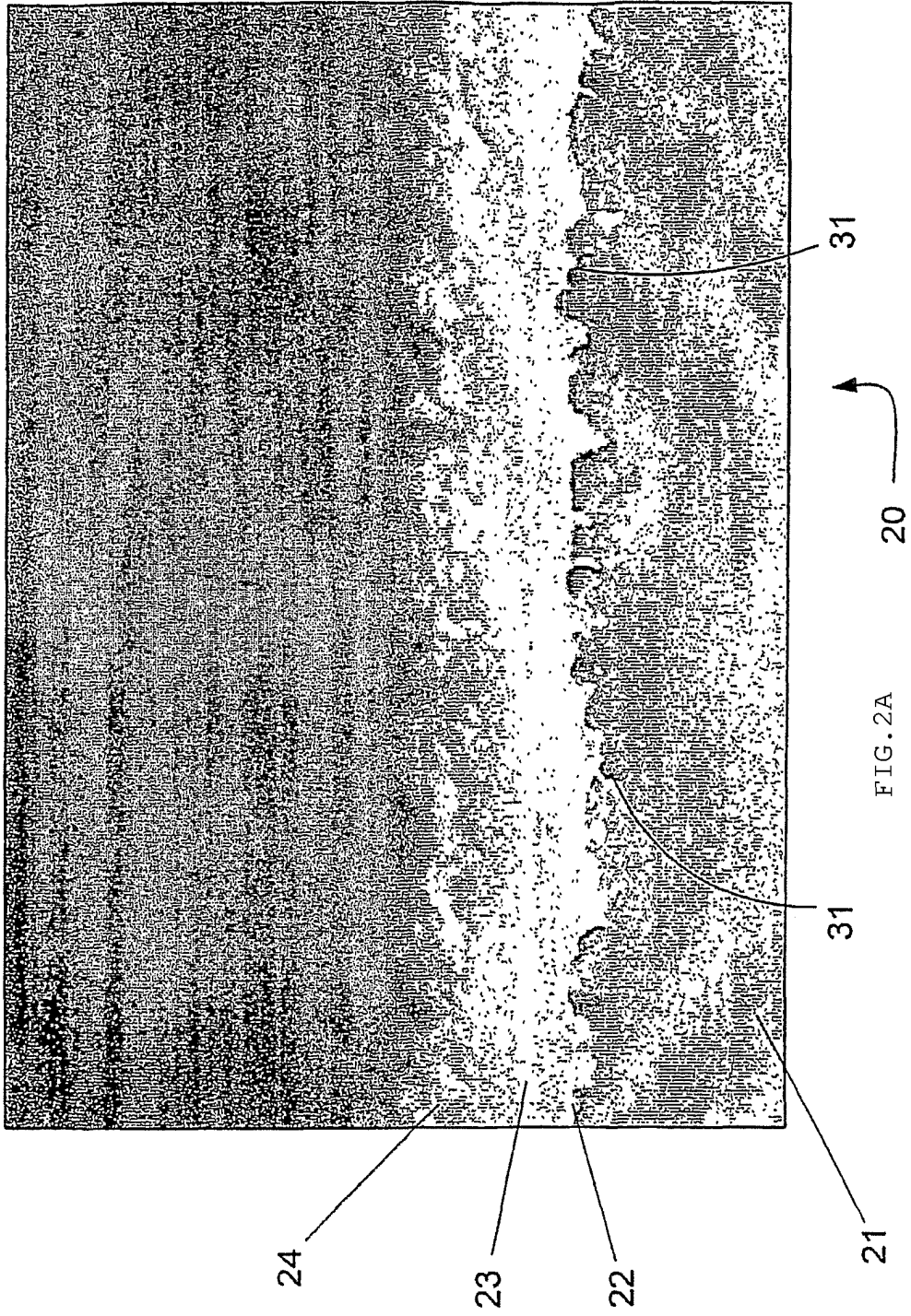
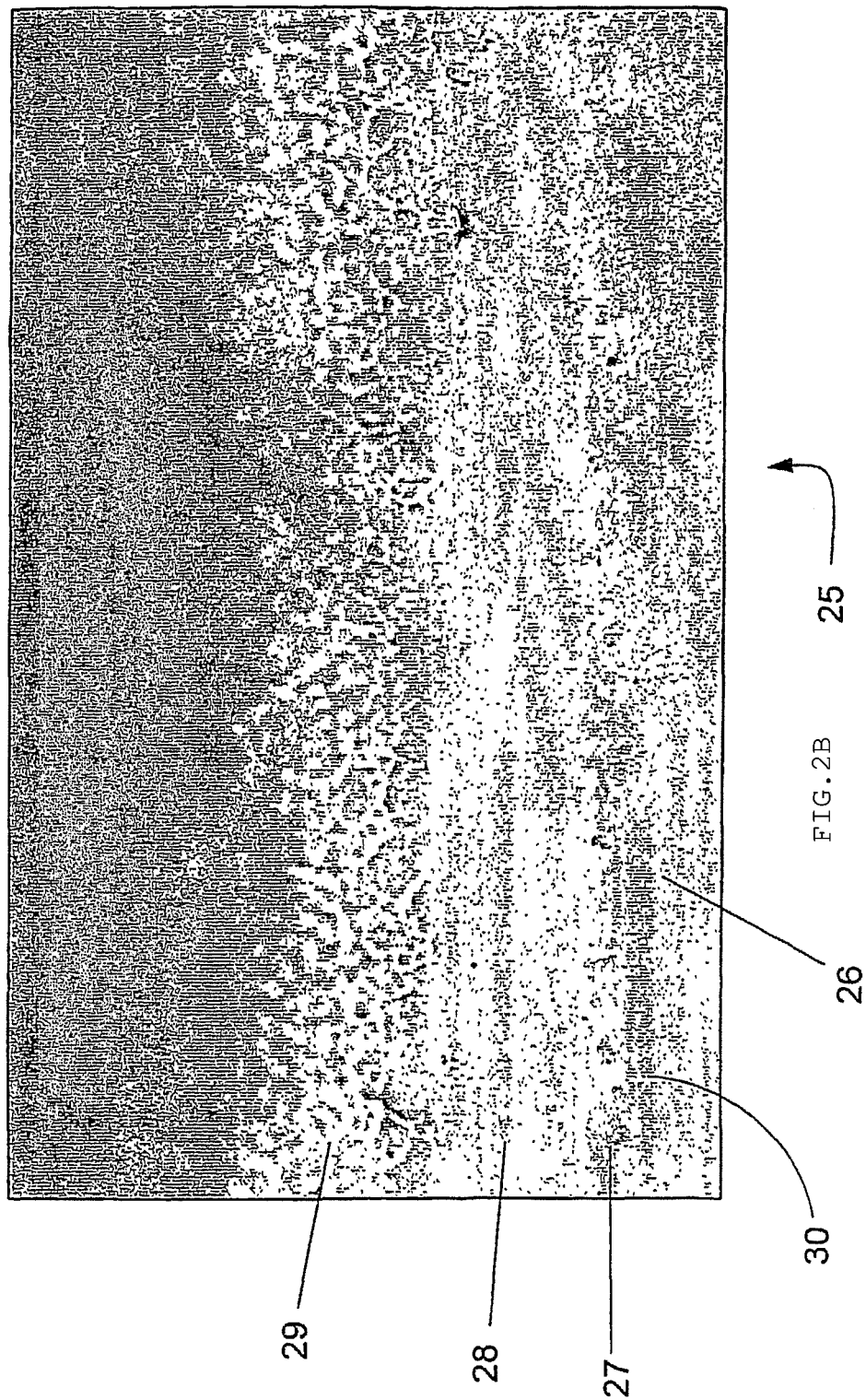


FIG.1





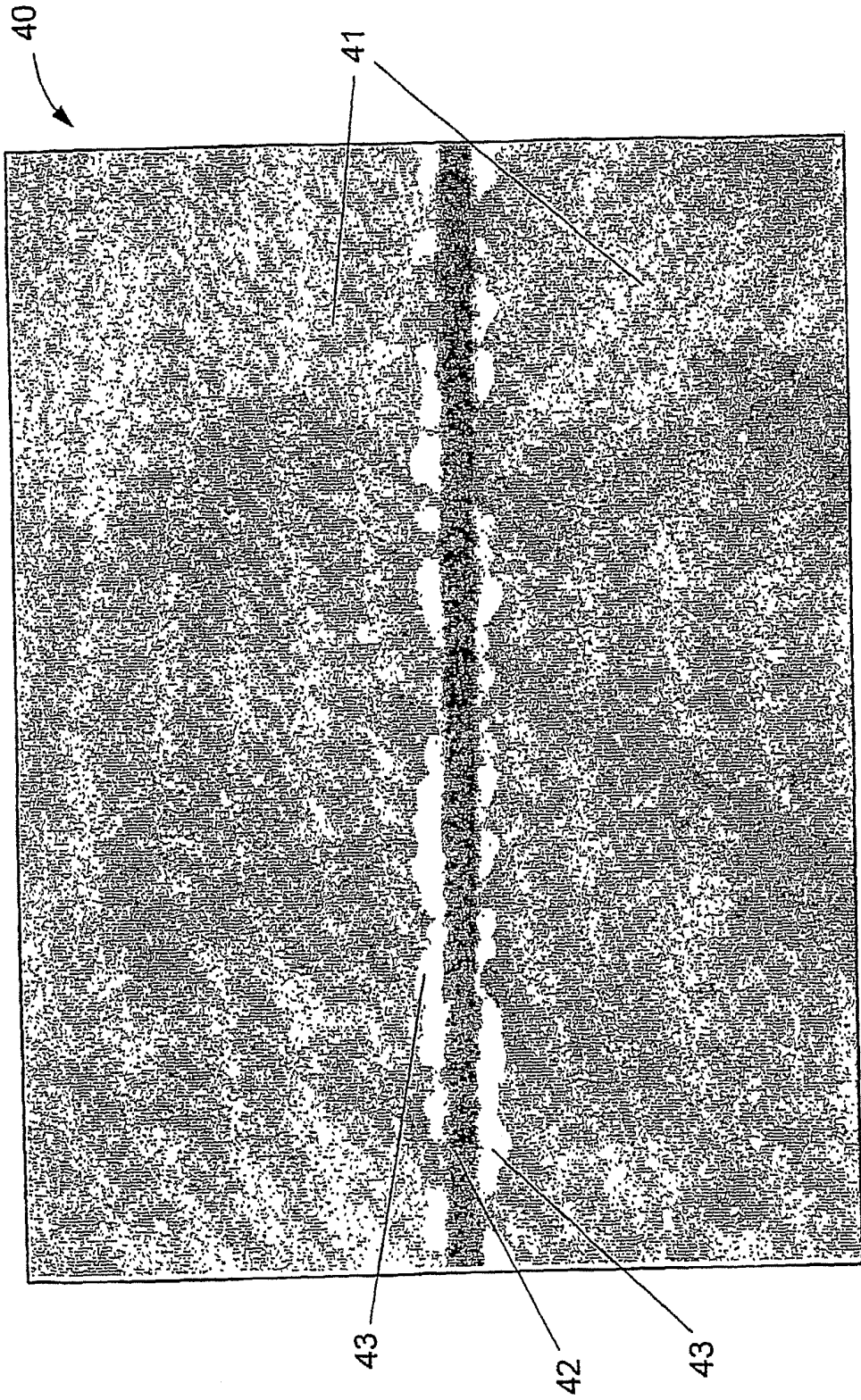


FIG. 3A

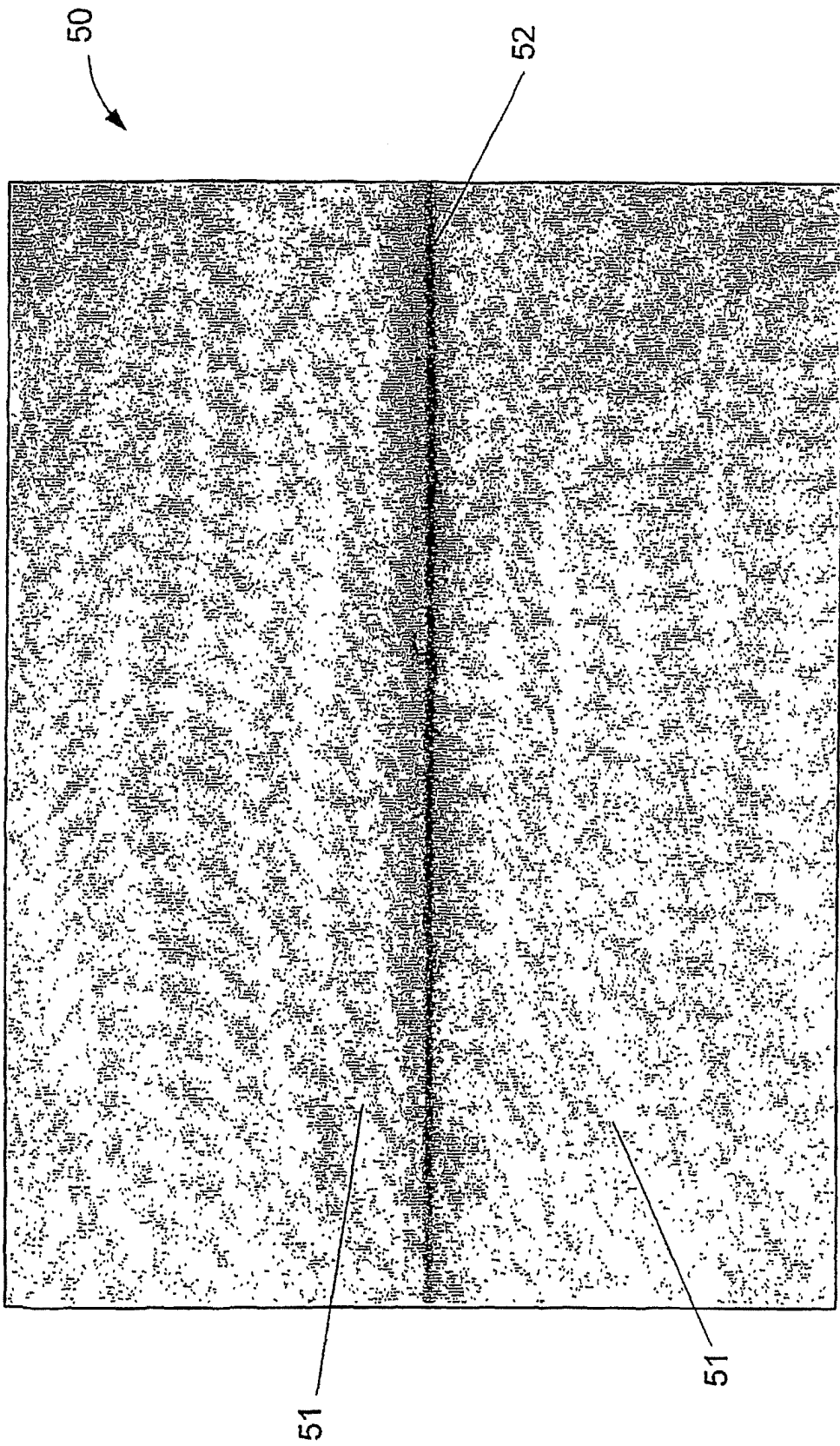


FIG. 3B

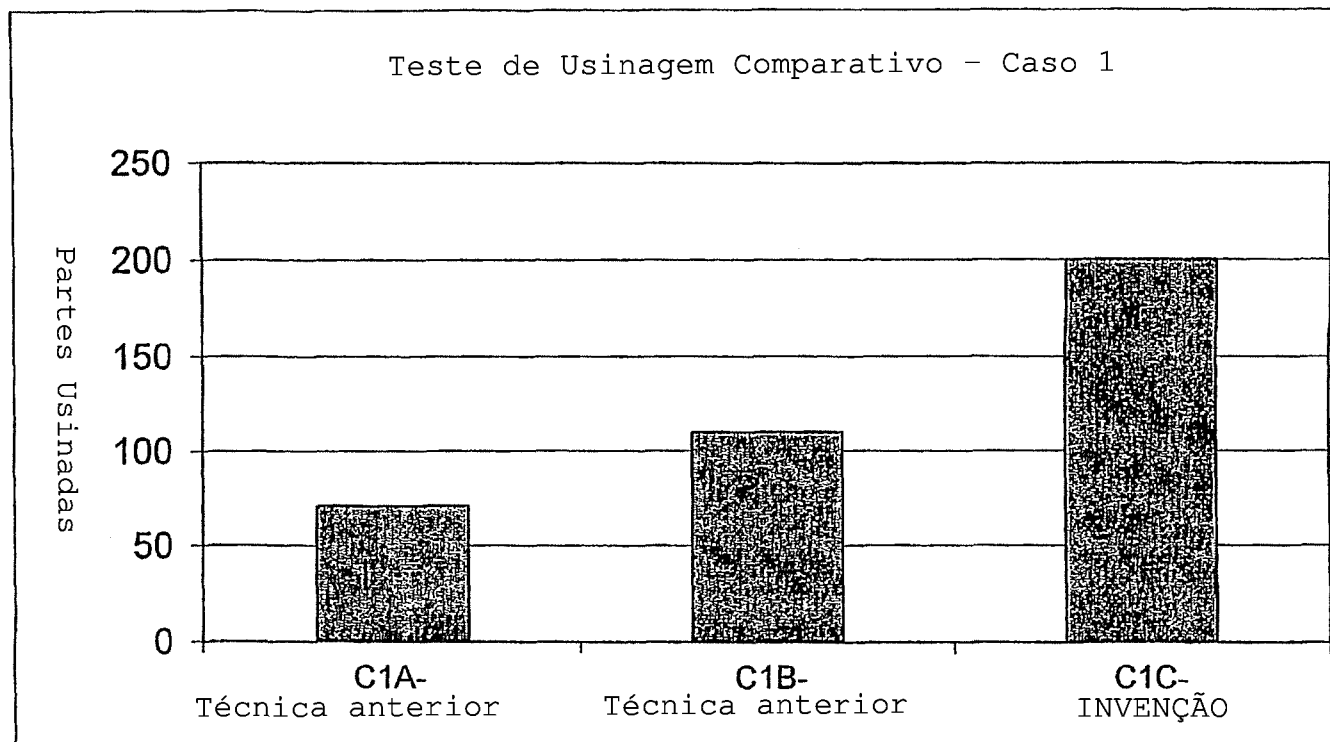


FIG. 4A

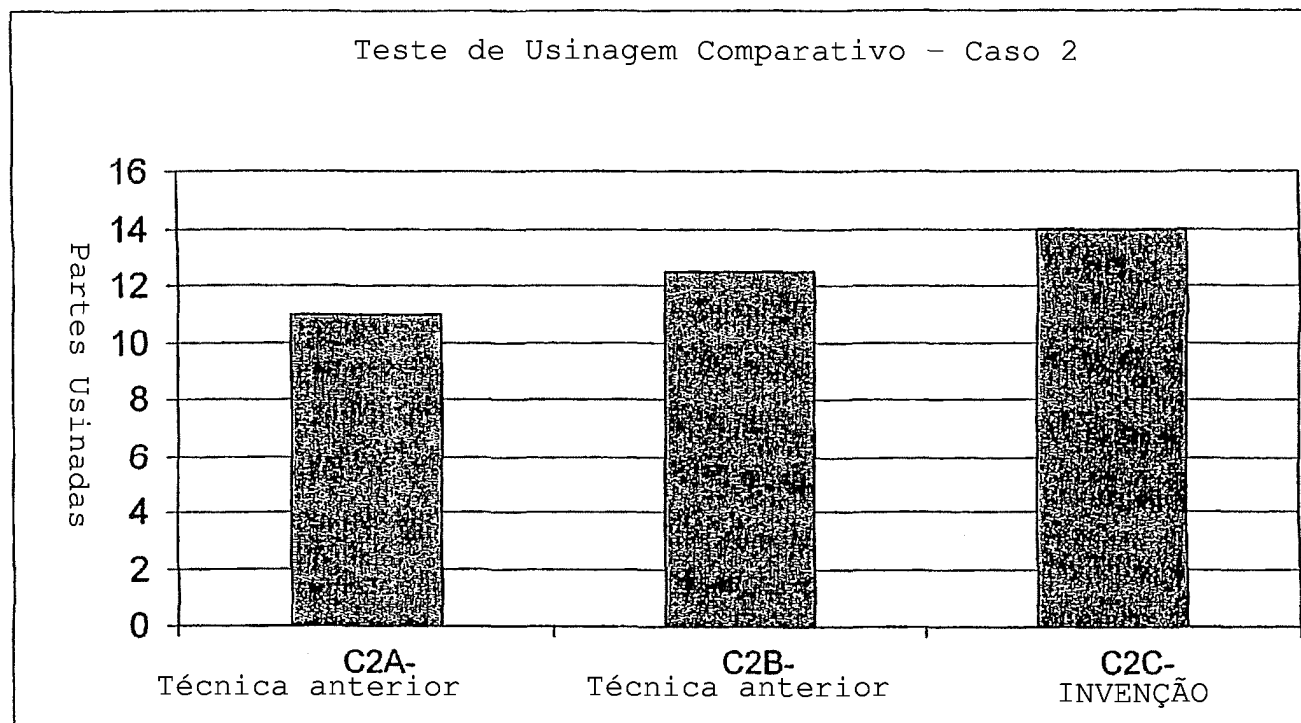


FIG.4B