

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 356**

51 Int. Cl.:

C23C 14/02 (2006.01)
B23C 5/00 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)
C23C 28/04 (2006.01)
C23C 14/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2017 E 17000890 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 3404126**

54 Título: **Herramienta de corte de metal con revestimiento multicapa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.06.2020

73 Titular/es:

**WALTER AG (100.0%)
Derendinger Strasse 53
72072 Tübingen, DE**

72 Inventor/es:

ALBERS, ULRICH

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 767 356 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Herramienta de corte de metal con revestimiento multicapa

5 Campo de la Invención

La invención se refiere a una herramienta de corte de metal que comprende un cuerpo principal hecho de carburo cementado, cermet, cerámica, acero o acero de alta velocidad, y un revestimiento multicapa de protección contra el desgaste que se aplica sobre el cuerpo principal, preferiblemente mediante el proceso PVD. La herramienta de corte de metales de la presente invención es particularmente adecuada para el mecanizado de súper aleaciones, y muestra una vida útil mejorada de la herramienta y resistencia frente el desgaste por difusión a altas temperaturas de corte.

Antecedentes de la Invención

15 Las súper aleaciones resistentes al calor (HRSA) y el titanio, incluidas las aleaciones de titanio, del grupo de materiales ISO-S, muestran una excelente resistencia mecánica y resistencia a la fluencia (tendencia de los sólidos a moverse o deformarse lentamente bajo tensión) a altas temperaturas, buena estabilidad de la superficie, y resistencia a la corrosión y oxidación. Debido a sus propiedades superiores, estos materiales se utilizan, por ejemplo, para la fabricación de motores aeroespaciales y turbinas de gas de potencia en las secciones de combustión y de turbinas, aplicaciones en las industrias del petróleo y gas, aplicaciones marinas, implantes médicos de uniones, aplicaciones de alta resistencia a la corrosión. etc. El titanio se puede usar en entornos muy hostiles, que podrían causar considerables ataques de corrosión en la mayoría de los otros materiales de construcción. Esto es debido al óxido de titanio, TiO₂, que es muy resistente y que cubre la superficie en una capa de aproximadamente 0,01 mm de espesor. Si la capa de óxido está dañada y hay oxígeno disponible, el titanio reconstruye inmediatamente el óxido. El titanio es, por ejemplo, particularmente adecuado para intercambiadores de calor, equipos de desalinización, piezas de motores a reacción, trenes de aterrizaje, piezas estructurales en bastidores aeroespaciales, etc.

Sin embargo, la mecanibilidad tanto de las HRSA como del titanio es pobre, especialmente en condiciones de endurecimiento por envejecimiento, que imponen exigencias particulares a las herramientas de corte.

La mecanibilidad de los materiales HRSA aumenta en dificultad según la siguiente secuencia: materiales a base de hierro, materiales a base de níquel y materiales a base de cobalto. Todos los materiales tienen elevada resistencia a altas temperaturas y producen virutas segmentadas durante el corte que crean fuerzas de corte altas y dinámicas. La baja conductividad térmica y la alta dureza generan altas temperaturas en la herramienta durante el mecanizado. Las propiedades de alta resistencia, endurecimiento por trabajo y endurecimiento por adhesión crean un desgaste de muesca a la máxima profundidad de corte y un entorno extremadamente abrasivo para el filo de corte. Las herramientas de corte de grado de carburo deben tener una alta tenacidad en los bordes y adhesión del revestimiento al sustrato para proporcionar una buena resistencia a la deformación plástica y a la exfoliación del revestimiento (descamación).

El titanio y las aleaciones de titanio tienen poca conductividad térmica, y a altas temperaturas la resistencia se retiene, lo que genera altas fuerzas de corte y calor en el filo de corte. Las finas virutas delgadas, de alta cizalladura, con tendencia al gripado, crean un área de contacto estrecha en la cara inclinada que genera fuerzas de corte concentradas cerca del filo de corte. Una velocidad de corte demasiado alta produce una reacción química entre la viruta y el material de la herramienta de corte, lo que puede ocasionar desconchado y rotura repentina del inserto. Por lo tanto, los materiales para herramientas de corte deben tener una buena dureza en caliente y no deben (o solo lentamente) reaccionar con el titanio.

El carburo de grano fino y sin revestimiento se utiliza a menudo para el mecanizado de materiales de piezas de trabajo HRSA y titanio. Sin embargo, debido a las altas temperaturas en el filo de corte y la afinidad de las HRSA y del titanio con el carbono y el cobalto, se produce un gran desgaste por difusión incluso a velocidades de corte relativamente bajas. La mejora en la productividad y la vida útil de la herramienta, en el mecanizado de materiales HRSA y titanio mediante revestimientos PVD o CVD, está bastante limitado a lo que se conoce de las herramientas para mecanizar acero o hierro fundido. Se conocen casos en los que una herramienta revestida rinde incluso menos, en términos de vida útil, que la misma herramienta sin revestir. Se supone que este efecto está relacionado con los procesos de difusión o soldadura entre el revestimiento y el material de la pieza de trabajo.

Existen varios enfoques para superar los problemas descritos anteriormente.

En un enfoque, se mantienen la velocidad de corte y las fuerzas de corte lo suficientemente bajas como para mantener la temperatura en el filo de corte por debajo de un límite de temperatura de desgaste acelerado por difusión. Sin embargo, las velocidades lentas de corte no son deseables por razones económicas, e incluso pequeñas variaciones del material de la pieza de trabajo pueden cambiar las condiciones de corte de una manera en que todavía se produce el desgaste por difusión.

En otro enfoque, se incrementa el límite de temperatura donde ocurre el desgaste acelerado por difusión mediante aleación de rutenio con el aglutinante de cobalto del cuerpo de carburo cementado de la herramienta. Sin embargo, el rutenio es un elemento de aleación bastante costoso que aumenta los costos generales del proceso de mecanizado. Y, el aumento del límite de temperatura del desgaste acelerado por difusión mediante la aleación de rutenio no es tan alto como se desearía para lograr un equilibrio económicamente viable entre una mayor velocidad de corte y los costos del carburo cementado aleado con rutenio.

En otro enfoque más, se reduce el desgaste por difusión mediante un fuerte enfriamiento (enfriamiento criogénico) del área de corte usando nitrógeno líquido o dióxido de carbono. Sin embargo, este método es complejo y requiere un equipo costoso. Además, el fuerte enfriamiento puede tener una influencia no deseada en el rendimiento de corte y las propiedades de la superficie del material de la pieza de trabajo.

Recientemente, se propuso como barrera de difusión, para la reducción del desgaste por difusión, una capa de revestimiento de TiB₂ preparada por CVD activada por plasma (PA-CVD), lo que resulta en una mayor vida útil de la herramienta en operaciones de torneado en comparación con las herramientas de carburo cementado o recubiertas con CVD convencional. Sin embargo, la temperatura y los tiempos de retención relativamente largos en el proceso de PA-CVD pueden dar lugar a un crecimiento de grano no deseado y a la friabilidad del cuerpo de carburo cementado de la herramienta. Esto es particularmente poco ventajoso para las herramientas de metal duro sólido (SHM) que se fabrican preferiblemente a partir de carburos cementados de grano fino.

El documento US 2016/175939 describe una herramienta con revestimiento superficial para el mecanizado de un "material difícil de cortar" como acero inoxidable, Inconel®, o una aleación de titanio, la herramienta que comprende un sustrato y una película de revestimiento formada sobre dicho sustrato, incluyendo dicha película de revestimiento una capa en la que una o más subcapas A y una o más subcapas B se apilan alternativamente, dicha subcapa A y dicha subcapa B tienen cada una un espesor no menor de 2 nm y no mayor de 100 nm, una composición promedio de dicha subcapa A expresada como Ti_aAl_bSi_cN (0,5 <a <0,8, 0,2 <b <0,4, 0,01 <c <0,1, a + b + c = 1), una composición promedio de dicha subcapa B expresada como Ti_dAl_eSi_fN (0,4 <d <0,6, 0,3 <e <0,7, 0,01 <f <0,1, d + e + f = 1), y satisfaciendo las condiciones de 0,05 <ad < 0,2 y 0,05 <eb < 0,2.

El documento US 2016/193662 también describe una herramienta con revestimiento superficial para el mecanizado de un "material difícil de cortar", formándose el revestimiento duro en la superficie de un material base y que comprende una estructura en la que una primera capa y una segunda capa están laminadas de forma alternativa al menos dos veces, en donde: la primera capa está compuesta de un nitruro de TiAl que tiene una composición de Ti_{1-a}Al_a (0,3 <a <0,7), y la segunda capa tiene una estructura de varias capas nanoescala o una estructura en la cual la estructura de varias capas a nanoescala se lamina repetidamente al menos dos veces, incluyendo la estructura de varias capas nanoescala una subcapa delgada A, una subcapa delgada B, una subcapa delgada C y una subcapa delgada D que tiene espesores de 3 nm a 20 nm, donde: la subcapa delgada A está compuesta por un nitruro AlTiSi que tiene una composición de Al_{1-b-c}Ti_bSi_c (0,3 <b <0,7, 0 <c <0,1), la subcapa delgada B y la subcapa delgada D están compuestas de un nitruro de TiAl que tiene una composición de Ti_{1-d}Al_d (0,3 <d <0,7), la subcapa delgada C es compuesta de un nitruro de AlCr que tiene una composición de Al_{1-e}Cr_e (0,3 <e <0,7), el contenido de aluminio (Al) en la subcapa delgada A difiere del contenido de aluminio en la subcapa delgada B y el contenido de nitrógeno en la primera capa es mayor que el contenido de nitrógeno en la segunda capa. La deposición de tales revestimientos requiere un gran nivel de complejidad en el proceso de revestimiento, y el procedimiento de revestimiento iónico con arco aplicado a presiones de nitrógeno muy bajas conduce a un gran número de macropartículas (gotas) desventajosas en los revestimientos resultantes. El documento EP 2 880 199 A1 describe otra herramienta de corte conocida en el estado de la técnica.

Objeto de la Invención

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar una herramienta revestida de corte de metal que supere las desventajas del estado de la técnica y que sea adecuada para el mecanizado de material de piezas de trabajo del grupo ISO-S, particularmente superaleaciones resistentes al calor (HRSA) y titanio, que incluye aleaciones de titanio, y que muestre una vida útil mejorada de la herramienta, propiedades triboquímicas mejoradas en el filo de corte y una resistencia particularmente mejorada contra el desgaste por difusión.

Descripción de la invención.

Con el fin de superar los problemas anteriores, la presente invención proporciona una herramienta de corte de metal que comprende un cuerpo principal hecho de carburo cementado, cermet, cerámica, acero o acero de alta velocidad, y un revestimiento multicapa de protección contra el desgaste, en donde el revestimiento de protección contra el desgaste comprende

- una capa inferior (CI) que tiene la composición general Ti_mAl_(1-m)N con 0,25 <m <0,55 y un espesor total de la capa inferior (CI) de 500 nm a 3 μm, en donde la capa inferior (CI) consta de 50 a 600 pares de subcapas (A) y (B) apiladas alternativamente con la secuencia (ABAB -...),

teniendo las subcapas (A) la composición $Ti_a Al_{(1-a)}N$ con $0,45 \leq a \leq 0,55$ y un espesor de 1 nm a 10 nm, en donde la primera subcapa en la pila de capas de las subcapas (A) y (B) tiene un espesor de capa de 1 nm a 100 nm, teniendo las subcapas (B) la composición $Ti_b Al_{(1-b)}N$ con $0,25 \leq b \leq 0,40$ y un espesor de 1 nm a 10 nm, y teniendo las subcapas (A) y (B) diferentes composiciones estequiométricas con $(ab) \geq 0,10$

– una capa superior (CS) depositada inmediatamente sobre la capa inferior (CI) y que tiene la composición general $Ti_n Al_o Si_p N$ con $n + o + p = 1$ y $0,30 \leq n \leq 0,50$, $0,40 \leq o \leq 0,60$ y $0,05 \leq p \leq 0,20$ y un espesor total de la capa superior (CS) de 500 nm a 3 μm ,

en donde la capa superior (CS) consta de 30 a 400 tripletes de subcapas (C), (D) y (E) apiladas alternativamente, con la secuencia (CDECDE -...)

estando las subcapas (C) de la capa superior (CS) definidas de la misma manera que las subcapas (A) de la capa inferior (CI), y estando las subcapas (D) de la capa superior (CS) definidas de la misma manera que las subcapas (B) de la capa inferior (CI),

y teniendo las subcapas (C) y (D) diferentes composiciones estequiométricas con $(ab) \geq 0,10$,

y teniendo las subcapas (E) la composición $Ti_x Al_y Si_z N$ con $x + y + z = 1$ y $0,20 \leq x \leq 0,45$, $0,20 \leq y \leq 0,45$ y $0,20 \leq z \leq 0,45$ y un grosor de 1 nm a 10 nm.

Preferiblemente, el revestimiento multicapa de protección contra el desgaste se aplica sobre el cuerpo principal mediante el proceso PVD, más preferiblemente mediante deposición de vapor con arco catódico (Arco-PVD).

Como se indicó anteriormente, uno de los desafíos en el mecanizado de materiales de piezas de trabajo de HRSA y de titanio, utilizando herramientas con filo definido geoméricamente, es el peligro de adhesión del material de la pieza de trabajo a la superficie de la herramienta de corte que conduce a la soldadura por difusión y / u otras reacciones triboquímicas entre el revestimiento y el material de la pieza de trabajo. Las investigaciones sobre los filos de corte desgastados de las herramientas utilizadas en las operaciones de fresado de titanio, respaldan la suposición de que hay dos procesos involucrados en la degradación y destrucción de la herramienta. En un proceso, el revestimiento se degrada por reacciones químicas con el material de la pieza de trabajo. En otro proceso, pequeñas virutas del material de la pieza de trabajo se sueldan al revestimiento, y después estas virutas se sueldan a porciones más grandes del material de la pieza de trabajo, es decir, a las virutas o incluso a la propia pieza de trabajo, y se desgarran del revestimiento llevando consigo la parte del revestimiento al que sean soldado anteriormente.

Sorprendentemente se ha encontrado ahora que la presente invención es adecuada para superar estos problemas. Y, fue aún más sorprendente que los revestimientos de la presente invención, que tienen la composición y la estructura de capas descritas en el presente documento, mostraran una adhesión aún más fuerte del material de la pieza de trabajo de aleación de titanio y de titanio al revestimiento. A partir de este comportamiento observado, cabría esperar una mayor destrucción del revestimiento al soldarse el material de la pieza de trabajo al revestimiento y arrancar el revestimiento durante la operación de torneado. Sin embargo, sorprendentemente se ha demostrado que los revestimientos de la presente invención, a pesar de que muestran una adhesión más fuerte al material de la pieza de trabajo, conduce a la formación de una capa estable de material de la pieza de trabajo en la parte superior del revestimiento que lo protege del calor y de los procesos de difusión en el filo de corte, lo que aumenta notablemente la vida útil de la herramienta en comparación con las herramientas con revestimientos del estado de la técnica.

Sin ceñirse a ninguna teoría, los inventores suponen que las propiedades mejoradas observadas se deben a la combinación específica de la composición de las capas, secuencia y estructura en el revestimiento de la presente invención. Parece que la adhesión del material de la pieza de trabajo al revestimiento se debe principalmente al contenido de Si en las subcapas (E) de la capa superior (CS), y la combinación con la capa inferior libre de Si (CI) y las subcapas sin Si de la capa superior (CS) proporcionan una excelente protección frente el desgaste debido a la dureza mejorada y la resistencia a la abrasión en comparación con los revestimientos del estado de la técnica previamente conocidos en herramientas para el mecanizado de "material difícil de cortar".

La hipótesis descrita anteriormente está respaldada por el fresado FIB (Haz de iones focalizados; en un microscopio electrónico de barrido Zeiss Crossbeam con columna FIB que usa iones de Galio para fresar) en bordes de corte desgastados, que muestran secciones transversales a lo largo del filo de corte desgastado. Aquí, se pueden observar diferentes fenómenos en el progreso del desgaste. El desgaste de las herramientas que tienen el revestimiento de la presente invención es claramente diferente del desgaste visto en las herramientas recubiertas de acuerdo con el estado de la técnica, tal como se describe en el documento US 9.476.114. En el filo de corte de la herramienta recubierta según la presente invención, se puede ver la mancha de titanio, pero la estructura cristalina y la composición del Ti cerca del revestimiento y del sustrato es diferente de la composición y estructura en la superficie de la mancha.

De acuerdo con la presente invención, el espesor de las subcapas dentro de la capa inferior (CI) y de la capa superior (CS) está dentro del intervalo de 1 nm a 10 nm. Tales capas delgadas de composiciones alternas se pueden producir guiando el sustrato para pasar de forma periódica por los diferentes objetivos mixtos en un sistema PVD. El espesor de las subcapas dentro de la capa inferior (CI) y la capa superior (CS) también puede ser ≥ 2 nm, o

5 ≥ 3 nm, o ≥ 4 nm. Los espesores de las subcapas se pueden determinar en un SEM de una sección transversal del revestimiento, en el que se pueden distinguir las subcapas de composiciones alternadas (como los anillos anuales de un árbol), y por lo tanto, se puede calcular el espesor de las subcapas se pueden calcular a partir del espesor total de la capa dividido por el número de subcapas visibles. Alternativamente, se puede determinar el espesor de las subcapas a partir del espesor total de la capa y las condiciones de deposición, es decir, cuántas veces ha pasado el sustrato por el objetivo desde el que se depositó la capa.

10 Como se ha descrito, la primera subcapa en la pila de capas de las subcapas (A) y (B) en la capa inferior (CI), se puede depositar con un espesor mayor que el de las subcapas restantes (posteriores), y la primera la subcapa tiene un espesor de capa de 1 nm a 100 nm, preferiblemente un espesor de 10 nm o más. Además, la primera subcapa en la pila de capas de las subcapas (A) y (B) en la capa inferior (CI), es preferiblemente una subcapa (A) que tiene la composición $Ti_aAl_{(1-a)}N$ con $0,45 \leq a \leq 0,55$, o la primera subcapa en la pila de capas es al menos una subcapa que tiene un contenido de Al de $\leq 0,65$, preferiblemente $\leq 0,60$. Por ejemplo, una capa de $Ti_aAl_{(1-a)}N$ con $a =$ aproximadamente 0,50 se puede depositar desde un objetivo Ti: Al, disponible en el mercado, de cantidades aproximadamente iguales de Ti y Al. La ventaja de proporcionar una primera subcapa (A) (también denominada subcapa inicial) de un espesor de aproximadamente 10 nm o más y de la composición mencionada anteriormente es que esta capa se deposita con una estructura cristalina de red cúbica centrada en la cara (fcc), y promueve y estabiliza la estructura cristalina fcc también en las subcapas delgadas depositadas posteriormente (A) y (B).

20 En capas de TiAlN de mayor contenido de Al, como por ejemplo en subcapas (B) de $Ti_bAl_{(1-b)}N$ con $0,25 \leq b \leq 0,40$, especialmente si $b < 0,35$, es decir, el contenido de Al es $> 0,65$, existe una tendencia general a formar porciones de estructura cristalina hexagonal, lo que no es deseado debido al deterioro de la dureza del revestimiento. Sin embargo, ha resultado que la estructura cristalina fcc se puede estabilizar, incluso en subcapas de TiAlN de contenido de Al más alto, si la deposición de la pila de capas de las subcapas (A) y (B) de la capa inferior se inicia mediante una primera subcapa que tiene la estructura cristalina fcc de preferiblemente > 10 nm de espesor y apilando las subcapas (B) de mayor contenido de Al entre las subcapas (A) de menor contenido de Al.

30 De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, la capa inferior (CI) se deposita inmediatamente sobre la superficie del cuerpo principal (sustrato). De acuerdo con otra forma de realización de la presente invención, el revestimiento multicapa comprende una o más capas adicionales de material duro entre el cuerpo principal (sustrato) y la capa inferior (CI), en donde la una o más capas adicionales de material duro contienen uno o más de los elementos de los grupos 4a, 5a y 6a del Sistema Periódico, Al, Si y uno o más de los no metales N, C, O y B. Por ejemplo, las capas de material duro pueden consistir preferiblemente de TiN, TiC, TiCN etc.

35 El revestimiento multicapa de la presente invención puede comprender una o más capas adicionales de material duro en la parte superior de la capa superior (CS), en donde la una o más capas adicionales de material duro contienen uno o más de los elementos de los grupos 4a, 5a y 6a del sistema periódico, Al, Si, y uno o más de los no metales N, C, O y B.

40 El cuerpo principal de la herramienta de corte de metales de la presente invención puede consistir en carburo cementado, cermet, cerámica, acero o acero de alta velocidad. No obstante, se ha encontrado que la herramienta de corte de la presente invención muestra mejores propiedades y vida útil de la herramienta en el mecanizado de materiales de piezas de trabajo HRSA y titanio si el cuerpo principal (sustrato) de la herramienta está hecho de carburo cementado. Particularmente preferido es un cuerpo principal de carburo cementado que tiene un contenido de aglutinante de Co relativamente alto en combinación con una fase de carburo de tungsteno (WC) de grano fino. De este modo, la herramienta muestra una combinación ventajosa de tenacidad y dureza y permite la preparación de geometrías de filo de corte precisas. Por lo tanto, en una forma de realización preferida de la presente invención, el cuerpo principal de carburo cementado de la herramienta de corte contiene del 6 al 20% en peso de aglutinante de Co, o del 8 al 16% en peso de aglutinante de Co, o del 10 al 14% en peso de aglutinante de Co, o del 11 al 13% en peso de aglutinante de Co. El tamaño medio de grano de WC está preferiblemente en el intervalo de 0,3 a 2,0 μm , o de 0,4 a 1,5 μm , o de 0,5 a 1,2 μm .

55 Si el tamaño promedio de grano de WC del carburo cementado es demasiado grande, como por ejemplo hasta unas 10 μm , como es habitual en muchas herramientas convencionales de carburo cementado, existe un alto riesgo de que los granos de WC se arranquen o se rompan durante la preparación del filo de corte o el redondeo del filo, respectivamente, mediante rectificado, especialmente es necesario preparar fillos de corte de radios del orden de aproximadamente 5-10 μm . Por lo tanto, se pueden preparar fillos de corte más afilados y precisos en cuerpos principales de carburo cementado que tienen un tamaño de grano de WC promedio de grano fino. Además, el tamaño de grano de WC de grano fino contribuye a mejorar la dureza de la herramienta de corte. Sin embargo, al mismo tiempo, es ventajoso ajustar el contenido del aglutinante de Co para lograr una buena combinación de tenacidad y dureza.

60 La herramienta de acuerdo con la presente invención puede ser una herramienta de metal duro sólido (SHM) o un inserto de corte indexable. No obstante, ha resultado que la combinación inventiva del cuerpo principal y el revestimiento multicapa según la invención, es particularmente ventajosa en herramientas de corte rotativo de metal

duro sólido (SHM), especialmente en herramientas de fresado para el fresado de materiales del grupo ISO-S de materiales de la pieza de trabajo, preferiblemente superaleaciones resistentes al calor (HRSA), titanio, aleaciones alfa de titanio, aleaciones beta de titanio, aleaciones alfa + beta mixtas de titanio, tales como aleaciones alfa + beta mixtas de titanio del tipo Ti- 6Al-4V.

5 Otras características y ventajas de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de ejemplos y forma de realización no limitantes de la presente invención.

Figuras

10 La Figura 1: ilustra los tipos de desgaste y las posiciones en una fresa de corte típica.
 La Figura 2: ilustra los diferentes tipos de desgaste de flanco, "desgaste uniforme de flanco (VB1)", "desgaste no uniforme de flanco (VB2)" y "desgaste localizado de flanco (VB3)".
 La Figura 3: muestra un SEM de una sección transversal del revestimiento inventivo TSS3 con capa inferior (CI) y capa superior (CS) con un aumento de 20.000x. En la capa superior (CS) se pueden ver muy bien las subcapas apiladas (C) - (D) - (E), en donde las subcapas (E) que contienen Si aparecen más oscuras que las subcapas (C) y (D). En la capa inferior (CI) se puede observar una estructura tipo "grano de columna", mediante la cual las nanocapas apiladas (A) - (B) están presentes dentro de los granos individuales. Dado que las subcapas (A) y (B) no contiene ninguna Si, como la subcapa (E), el contraste entre las subcapas (A) y (B) es muy bajo, por lo que es difícil de ver la estructura apilada en la representación de la figura 3.
 La Figura 4: muestra un SEM de una sección transversal del revestimiento inventivo TSS3 después de una prueba de corte en material de pieza de trabajo de aleación de Ti con un aumento de 1.610x. (HM) designa el material de sustrato de metal duro; (TSS3) designa el resto del revestimiento que se mantiene después de la prueba de corte; (Ti), que es ligeramente más brillante que (TSS3) en la figura 4, es una "mancha de titanio" del material de la pieza de trabajo adherida a la herramienta, especialmente donde se produjo el desgaste del flanco (VB). La "mancha de titanio" llena las regiones donde el revestimiento fue arrancado por el desgaste del flanco. (Pt) designa una capa de protección de platino que no forma parte de la herramienta de corte de la invención, sino que es necesaria para la medición de SEM.

30 Materiales y métodos

Microanálisis de Microsonda Electrónica (EMPA)

Las composiciones químicas de los revestimientos se determinaron mediante microanálisis de microsondas electrónicas (EMPA) utilizando un Supra 40VP (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemania) equipado con un Oxford INCA EDS y con un voltaje de aceleración de 12 kV y un tiempo de medición de 30 segundos por punto.

Difracción de rayos X

40 Las mediciones de difracción de rayos X se realizaron en un difractor de rayos X PANalytical Empyrean en modo GI (Incidencia rasante) aplicando un ángulo de incidencia de 1 ° usando radiación CuK α . El tubo de rayos X se operó en foco puntual a 40 kV y 40 mA. En el lado primario se utilizó una óptica de haz paralelo usando un espejo de rayos X con una máscara de 2 mm, una abertura de divergencia de 1/8 ° y una ranura Soller con una divergencia de 0,04 °, con lo que se definió el área irradiada de la muestra de tal manera que se evite el desbordamiento del haz de rayos X sobre la cara recubierta de la muestra. En el lado secundario, se utilizó un colimador de placa paralela, con un ángulo de aceptación de 0,18°, junto con un detector de conteo proporcional. Para la clasificación de las reflexiones XRD, se utilizaron las bases de datos JCPDS.

Dureza / Módulo de Young:

50 Las mediciones de la dureza y el módulo de Young (módulo de Young reducido) se realizaron mediante el método de nanoindentación en un Picodentor HM500 de Fischerscope ® (Helmut Fisch-er GmbH, Sindelfingen, Alemania) aplicando el algoritmo de evaluación Oliver y Pharr, en el que se presionó hacia el interior de la capa un cuerpo de prueba de diamante, acorde con Vickers, y se registró la curva de fuerza-trayectoria durante la medición (carga máxima: 15 mN; tiempo de carga / descarga: 20 s; tiempo de fluencia: 5 s). A partir de esta curva se calcularon la dureza y el módulo de Young (reducido). Cabe señalar que la profundidad de impresión no debe ser superior al 10% del espesor del revestimiento, de lo contrario, las características del sustrato pueden falsificar las mediciones.

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

55 La morfología de los revestimientos se estudió mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un Supra 40 VP (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemania). Las secciones transversales se caracterizaron con el detector SE2 (Everhart-Thomley).

Haz de iones focalizados (fresado FIB)

60 Las secciones transversales de los filos cortantes de herramientas desgastadas se prepararon usando un Zeiss Crossbeam 540 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemania) con una columna FIB. Se usaron iones de Ga acelerados a 30 kV para las operaciones de fresado.

65

Determinación del tamaño de grano WC en carburo cementado

El tamaño promedio de grano de WC de carburo cementado o cermet se determina a partir del valor de la coercitividad magnética. La relación entre la coercitividad y el tamaño de grano de WC se describe, por ejemplo, en Roebuck et al., Measurement Good Practice No. 20, National Physical Laboratory, ISSN 1368-6550, noviembre de 1999, revisado en febrero de 2009, sección 3.4.3, páginas 19 -20. Para los propósitos de esta aplicación, el tamaño de grano del WC, "d", se determina de acuerdo con la fórmula (8) en la página 20 en la literatura mencionada anteriormente: $K = (c_1 + d_1W_{Co}) + (c_2 + d_2W_{Co}) / d$. Reordenando, uno obtiene:

$$d = c_2 + d_2W_{Co} / (K - (c_1 + d_1W_{Co})),$$

en donde d = tamaño de grano WC del cuerpo de carburo cementado, K = coercitividad del cuerpo de carburo cementado en kA/m, medido aquí según la norma DIN IEC 60404-7, W_{Co} =% en peso de Co en el cuerpo de carburo cementado, $c_1 = 1,44$, $c_2 = 12,47$, $d_1 = 0,04$ y $d_2 = -0,37$.

Ejemplo 1

Sustrato:

Los sustratos utilizados en este ejemplo 1 fueron fresas de metal duro (SHM) consistentes en un cuerpo base de WC - 12% en peso de Co con un tamaño de grano de WC promedio de 0,5 µm y que contenía 1,4% en peso de carburo de Cr. Se utilizaron dos geometrías de fresa diferentes, S1 y S2:

	Geometría de fresa	
	S1	S2
Diámetro:	16 mm	10 mm
Número de filos de corte:	6	4
Longitud de filos de corte:	200 % del diámetro	220 % del diámetro
Ángulo redondeado	4 mm	1 mm

Revestimientos

Los revestimientos PVD se prepararon en un sistema comercial de evaporación por arco, Innova (Oerlikon Balzers) equipado con 6 fuentes de arco catódico. La variación en las concentraciones de Ti, Al y Si en las capas de revestimiento depositadas se logró mediante el uso de diferentes objetivos mixtos de TiAl y TiAlSi de diferentes composiciones en el sistema PVD, y el sustrato se guió periódicamente para pasar por los diferentes objetivos mixtos mediante rotación triple. Antes de la deposición, los sustratos se limpiaron mediante un proceso de grabado con iones de argón a una presión de Ar de 0,21 Pa a una polarización de sustrato de 170 V CC durante 30 minutos.

Las composiciones de las subcapas A a E preparadas en este ejemplo y las composiciones objetivo mixtas utilizadas para su producción fueron las siguientes:

Composición subcapa	Composición objetivo
A T0.50Al0.50N	TiAl(50:50)
B Ti0.33Al0.67N	TiAl(33:67)
C Ti0.50Al0.50N	TiAl(50:50)
D Ti0.33Al0.67N	TiAl(33:67)
E Ti0.33Al0.34Si0.33N	TiAlSi(33:34:33)

Para garantizar que el revestimiento crezca solo en la estructura cristalina fcc deseada, se depositó una primera subcapa (A) con un espesor de aproximadamente 30 nm inmediatamente sobre la superficie del sustrato, seguida de las capas de revestimiento posteriores. Las condiciones de revestimiento de las subcapas fueron las siguientes, de modo que la corriente de arco de la primera subcapa (A) fue 175A en vez de los 200A para las subcapas posteriores (A).

Condiciones de revestimiento

Subcapa	Polarización M	Presión N ₂ [Pa]	Flujo evaporador específico [A/cm ²]	Corriente de arco [A]	Temp. de Deposición [°C]	Velocidad de Rotación [rpm]
1st A	60	4	0,9	175	550	1,5
A	60	4	1	200	550	1,5
B	60	4	0,6	120	550	1,5
C	80	4	1	200	550	1,5
D	80	4	0,6	120	550	1,5
E	80	4	0,8	160	550	1,5

5

Los siguientes revestimientos de acuerdo con la invención se prepararon en los sustratos de corte S1 y S2:

Revestimiento	Capa inferior (CI)			Capa superior (CS)		
	# Parejas (A-B)	Espesores A / B [nm]	Espesores Totales [mm]	# Tripletes (C-D-E)	Espesores C / D / E [nm]	Espesores Totales [mm]
TSS1	300	3 / 5	2,4	200	3 / 5 / 5	2,6
TSS2	300	5 / 3	2,4	200	5 / 3 / 5	2,6
TSS3	150	9 / 7	2,4	100	9 / 7 / 8	2,4

10

Las propiedades mecánicas de los revestimientos (dureza y módulo de Young reducido) se midieron como se describió anteriormente y fueron las siguientes:

Herramienta	Dureza [HV 0.015]	Módulo de Young reducido [GPa]
TSS1	2700	330
TSS2	2700	330
TSS3	2700	330

15

Las herramientas de comparación se basaron en los mismos sustratos SHM (S1 y S2) que las herramientas de la invención. Las herramientas comparativas fueron las siguientes:

Revestimiento	
COMP1	Substrato si revestimiento
COMP2	Revestimiento multicapa TiAlN por arco PVD según EP 2 880 199 (ejemplo 1)
COMP3	Revestimiento multicapa TiAlN - TiSiN por arco PVD "Ionbond Hardcut" preparado por revestidor externo

Medición del desgaste de herramientas

20

Se probaron las herramientas inventivas y las herramientas de comparación para determinar el desgaste de la herramienta en pruebas de fresado lateral. Las herramientas utilizadas y los parámetros de prueba individuales, así como los resultados se describen a continuación para diferentes pruebas de corte realizadas.

25

El desgaste de la herramienta se define como el cambio en la forma de la parte cortante de una herramienta desde su forma original, como resultado de la pérdida progresiva de material de la herramienta durante el corte. En el presente caso, el desgaste del flanco (VB) se midió como el criterio de vida útil de la herramienta especificado para comparar herramientas inventivas con herramientas de comparación. El desgaste del flanco se define como la pérdida de material de la herramienta de los flancos de la herramienta durante el corte que provoca el desarrollo progresivo de una zona de desgaste del flanco.

La medición del desgaste del flanco se lleva a cabo paralelamente a la superficie de la zona de desgaste y en una dirección perpendicular al filo de corte original, es decir, la distancia desde el filo de corte original hasta ese límite de la zona de desgaste que intersecta el flanco original. Aunque el desgaste del flanco en una porción significativa del flanco puede ser de tamaño uniforme, habrá variaciones en su valor en otras porciones de los flancos dependiendo del perfil de la herramienta y el desconchado del borde. Los valores de las mediciones de desgaste del flanco deberán estar por lo tanto relacionados con el área o la posición a lo largo de los filos de corte en los que se realiza la medición.

La medición del desgaste del flanco distingue entre "desgaste del flanco uniforme (VB1)", "desgaste del flanco no uniforme (VB2)" y "desgaste del flanco localizado (VB3)" (ver figura 2). En el "desgaste uniforme del flanco (VB1)", la zona de desgaste es normalmente de anchura constante y se extiende sobre aquellas partes de los flancos de la herramienta que se unen a toda la longitud del filo activo. En el "desgaste de flanco no uniforme (VB2)", la superficie de desgaste tiene un ancho irregular y el perfil generado por la intersección de la zona de desgaste y el flanco original varía en cada posición de medición. El "desgaste localizado del flanco (VB3)" es una forma exagerada y localizada de desgaste del flanco que se desarrolla en una parte específica del flanco, como se muestra en la figura 1 en las posiciones 1, 2 y 3. Las posiciones 1 y 2 están en el flanco del radio (en este documento también denominado "Esquina") al final de la herramienta, mientras que la posición 3 está esencialmente en el extremo opuesto del filo de corte, en la profundidad de corte ("DOC") El desgaste del flanco localizado (VB3) en la profundidad de corte (posición 3) a veces también se conoce como desgaste de muesca.

En las pruebas de corte en este documento, el desgaste del flanco localizado (VB3) se midió en la "esquina" (posiciones 1 y 2), así como en el "DOC" (posición 3), ya que el desgaste del flanco fue más alto en estas posiciones. "Promedio VB3 medio" significa el promedio de todos los valores medidos de VB3 (en la posición especificada) de todos los filos de corte de una herramienta (p. ej.: S1 = 6 filos de corte; S2 = 4 filos de corte) y de las tres pruebas de corte realizadas con cada tipo de herramienta (revestimiento). "VB3max" es el valor VB3 más alto de todos los valores VB3 medidos (en la posición especificada) de todos los filos de corte de una herramienta y de las tres pruebas de corte realizadas con cada tipo de herramienta (revestimiento).

Prueba de corte 1:

Las herramientas inventivas y las herramientas de comparación, cada una basada en la geometría de corte S1, se probaron en pruebas de fresado lateral y se midió el desgaste localizado del flanco. Las condiciones de corte se resumen en la siguiente tabla.

Condiciones de corte (Prueba de corte 1)

Avance de diente f_z [mm/diente]	0,08
Velocidad de corte v_c [m/min]	135
Ancho de corte a_e [mm]	1,6 (0,1 x diámetro herramienta)
Profundidad de corte a_p [mm]	8,5
Rendimiento de metal eliminado [cm ³ /min]	17,53
Enfriamiento	Emulsión de agua en aceite con 9 % de aceite (Blasocut B25) a través de canales internos y boquillas externas
Criterio de parada (Número de pasadas)	160 pasadas o VB3 \geq 0,2 mm
Material de pieza de trabajo	Ti-6Al-4V (170mmx170mmx100mm; resistencia a la tracción: 950 N/mm ²)

El mecanizado se detuvo después del número predefinido de pasadas o ante un desgaste de flanco localizado promedio de VB3 \geq 0.2 mm en la esquina

La siguiente tabla muestra una conversión entre "número de ciclos de corte", "tiempo de corte", "distancia" y "número de pasadas":

ES 2 767 356 T3

Nº de ciclos de corte	5833	7583	9333	11083
Tiempo de corte [min]	13,06	16,94	20,85	24,76
Longitud de corte [m]	16,80	21,84	26,88	31,92
Pasadas	100	130	160	190

En esta prueba se observó el desgaste máximo en el radio de redondeado del filo de corte ("Esquina"; posiciones 1 y 2), por lo tanto, se tuvieron en cuenta los valores medidos allí.

5 Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Resultados (Prueba de corte 1):

Revestimiento	Nº de pasadas	VB3 medio Esquina [mm]	VB3max Esquina [mm]
TSS1	160	0,16	0,26
TSS2	160	0,18	0,37
TSS3	160	0,13	0,20
COMP1	160	0,24	0,37
COMP2	160	0,15	0,21
COMP3	160	0,18	0,24

10 Prueba de corte 2:

Las herramientas inventivas y las herramientas de comparación, cada una basada en la geometría de corte S2, se probaron en pruebas de fresado lateral y se midió el desgaste localizado del flanco. Las condiciones de corte se resumen en la siguiente tabla.

15 Condiciones de corte (Prueba de corte 2):

Avance de diente f_z [mm/diente]	0,04
Velocidad de corte v_c [m/min]	100
Ancho de corte a_e [mm]	2 (0,2 x diámetro herramienta)
Profundidad de corte a_p [mm]	2,5
Enfriamiento	Emulsión de agua en aceite con 9 % de aceite (Blasocut B25) a través de canales internos y boquillas externas
Criterio de parada (Número de pasadas)	Se detuvo al prueba cuando la segunda mejor herramienta tenía $VB3 \geq 0,2$ mm
Material de pieza de trabajo	Ti-6Al-4V (175mmx175mmx50mm; resistencia a la tracción: 950 N/mm ²)

La siguiente tabla muestra una conversión entre "número de ciclos de corte", "tiempo de corte", "distancia" y "número de pasadas":

20

Tiempo de corte [min]	34,36	48,11	54,98	79,03
Longitud de corte [m]	17,5	24,5	28	40,25
Pasadas	100	140	160	230

ES 2 767 356 T3

Resultados (Prueba de corte 2):

Revestimiento	Nº de Pasadas	VB3 medio Esquina [mm]	VB3max Esquina [mm]	VB3 medio DOC [mm]	VB3max DOC [mm]
TSS1	160	0,020	0,027	0,032	0,035
COMP2	160	0,051	0,086	0,228	0,295
TSS1	230	0,052	0,059	0,051	0,060
COMP2	230	-	-	-	-

"-": Se alcanzó el criterio de parada

5 Se pudo ver que el desgaste de la herramienta recubierta con el revestimiento de acuerdo con la invención muestra un desgaste muy uniforme en la esquina (posiciones 1 y 2) y en el DOC (posición 3), por lo que la prueba se realizó hasta que la herramienta recubierta con TSS1 fue la única herramienta restante en la prueba. La herramienta de comparación mostró un desgaste mucho mayor en el DOC (posición 3) que en la esquina (posiciones 1 y 2) en 160 pases, y no se llegó a 230 pasadas (se alcanzó el criterio de detención).

10 Prueba de corte 3:

Las herramientas inventivas y las herramientas de comparación, cada una basada en la geometría de corte S2, se probaron en pruebas de fresado lateral y se midió el desgaste localizado del flanco. Las condiciones de corte se resumen en la siguiente tabla.

15 Condiciones de corte (Prueba de corte 3):

Avance de diente f_z [mm/diente]	0,11
Velocidad de corte v_c [m/min]	130
Ancho de corte a_e [mm]	1 (0,1 x diámetro herramienta)
Profundidad de corte a_p [mm]	2,5
Enfriamiento	Emulsión de agua en aceite con 9 % de aceite (Blasocut B25) a través de canales internos y boquillas externas
Criterio de parada (Número de pasadas)	120 pasadas o $VB3 \geq 0,2$ mm
Material de pieza de trabajo	Ti-6Al-4V (175mmx175mmx50mm; resistencia a la tracción: 950 N/mm ²)

Resultados (Prueba de corte 3):

Revestimiento	Nº de Pasadas	VB3 medio Esquina [mm]	VB3max Esquina [mm]	VH3 medio DOC [mm]	VB3max DOC [mm]
TSS1	120	0,057	0,100	0,143	0,193
COMP2	120	0,056	0,144	0,162	0,307

20 Las condiciones de mecanizado en la prueba de corte 3 son bastante exigentes, por lo tanto, las herramientas se desgastaron tras un número relativamente bajo de pasadas.

25 Prueba de corte 4:

Las herramientas inventivas y las herramientas de comparación, cada una basada en la geometría de corte S2, se probaron en pruebas de fresado lateral y se midió el desgaste localizado del flanco. Las condiciones de corte se resumen en la siguiente tabla.

ES 2 767 356 T3

Condiciones de corte (Prueba de corte 4):

Avance de diente f_z [mm/diente]	0,04
Velocidad de corte v_c [m/min]	100
Ancho de corte a_e [mm]	2 (0,2 x diámetro herramienta)
Profundidad de corte a_p [mm]	2,5
Enfriamiento	Emulsión de agua en aceite con 9 % de aceite (Blasocut B25) a través de canales internos y boquillas externas
Criterio de parada (Número de pasadas)	200 pasadas o $VB3 \geq 0,2$ mm
Material de pieza de trabajo	Ti-6Al-4V (175mmx175mmx50mm; resistencia a la tracción: 950 N/mm ²)

5

Resultados (Prueba de corte 4):

Revestimiento	Nº de Pasadas	VB3 medio Esquina [mm]	VB3max Esquina [mm]	VB3 medio DOC [mm]	VB3max DOC [mm]
TSS1	120	0,026	0,030	0,033	0,038
COMP1	120	0,030	0,049	0,031	0,039
COMP2	120	0,032	0,042	0,038	0,053
TSS1	200	0,063	0,114	0,060	0,114
COMP1	200	0,052	0,108	0,057	0,165
COMP2	200	0,076	0,195	0,066	0,178

10

En esta prueba, también se probaron herramientas sin revestimiento (COMP1), ya que las herramientas sin revestimiento todavía se usan en este campo, porque en algunas aplicaciones en el mecanizado de titanio no se han observado beneficios debidos a los revestimientos, y en el campo de las fresas de extremo, el reacondicionamiento de las herramientas es mucho más fácil y rápido cuando las herramientas se usan sin revestimiento. La prueba se detuvo antes del final de la vida útil de la herramienta.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una herramienta de corte de metal que comprende un cuerpo principal hecho de carburo cementado, cermet, cerámica, acero o acero de alta velocidad, y un revestimiento multicapa de protección contra el desgaste, en el que el revestimiento de protección contra el desgaste comprende:
- 10 – una capa inferior (CI) que tiene la composición general $Ti_mAl_{(1-m)}N$ con $0,25 < m < 0,55$ y un espesor total de la capa inferior (CI) de 500 nm a 3 μm ,
 en donde la capa inferior (CI) consta de 50 a 600 pares de subcapas (A) y (B) apiladas alternativamente con la secuencia (ABAB -...),
 teniendo las subcapas (A) la composición $Ti_aAl_{(1-a)}N$ con $0,45 \leq a \leq 0,55$ y un espesor de 1 nm a 10 nm, en donde la primera subcapa en la pila de capas de las subcapas (A) y (B) tiene un espesor de capa de 5 nm a 50 nm,
 15 teniendo las subcapas (B) la composición $Ti_bAl_{(1-b)}N$ con $0,25 \leq b \leq 0,40$ y un espesor de 1 nm a 10 nm, y teniendo las subcapas (A) y (B) diferentes composiciones estequiometricas con $(ab) \geq 0,10$
 – una capa superior (CS) depositada inmediatamente sobre la capa inferior (CI) y que tiene la composición general $Ti_nAl_oSi_pN$ con $n + o + p = 1$ y $0,30 \leq n \leq 0,50$, $0,40 \leq o \leq 0,60$ y $0,05 \leq p \leq 0,20$ y un espesor total de la capa superior (CS) de 500 nm a 3 μm ,
 20 en donde la capa superior (CS) consta de 30 a 400 tripletes de subcapas (C), (D) y (E) apiladas alternativamente, con la secuencia (CDECDE -...) estando las subcapas (C) de la capa superior (CS) definidas de la misma manera que las subcapas (A) de la capa inferior (CI), y estando las subcapas (D) de la capa superior (CS) definidas de la misma manera que las subcapas (B) de la capa inferior (CI),
 y teniendo las subcapas (C) y (D) diferentes composiciones estequiométricas con $(ab) \geq 0,10$,
 25 y teniendo las subcapas (E) la composición $Ti_xAl_ySi_zN$ con $x + y + z = 1$ y $0,20 \leq x \leq 0,45$, $0,20 \leq y \leq 0,45$ y $0,20 \leq z \leq 0,45$ y un grosor de 1 nm a 10 nm.
- 30 2. La herramienta de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el revestimiento multicapa de protección contra el desgaste se aplica sobre el cuerpo principal mediante el proceso PVD, más preferiblemente mediante deposición por vapor de arco catódico (Arco-PVD).
- 35 3. La herramienta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una o más capas adicionales de material duro en la parte superior de la capa superior (CS) y/o entre el sustrato y la capa inferior (CI), conteniendo la una o más capas adicionales de material duro uno o más elementos de los grupos 4a, 5a y 6a del Sistema Periódico, Al, Si y uno o más de los no metales N, C, O y B.
- 40 4. La herramienta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la capa inferior (CI) se deposita inmediatamente sobre la superficie del sustrato.
- 50 5. La herramienta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el cuerpo principal está hecho de carburo cementado.
- 45 6. La herramienta según la reivindicación 5, en la que el carburo cementado contiene del 6 al 20% en peso de aglutinante de Co, o del 8 al 16% en peso de aglutinante de Co, o del 10 al 14% en peso de aglutinante de Co, o del 11 a 13% en peso de aglutinante de Co.
7. La herramienta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en la que el carburo cementado tiene un tamaño de grano de WC promedio de 0,3 a 2,0 μm , o de 0,4 a 1,5 μm , o de 0,5 a 1,2 μm .
- 50 8. La herramienta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la herramienta es una herramienta de corte giratoria de metal duro sólido (SHM), preferiblemente una herramienta de fresado.
- 55 9. Uso de la herramienta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para el fresado de acero del grupo ISO-S de materiales para piezas de trabajo, preferiblemente superaleaciones resistentes al calor (HRSA), titanio, aleaciones alfa de titanio, aleaciones beta de titanio, titanio aleaciones alfa + beta mixtas, preferiblemente de aleaciones alfa + beta mixtas de titanio del tipo Ti-6Al-4V.

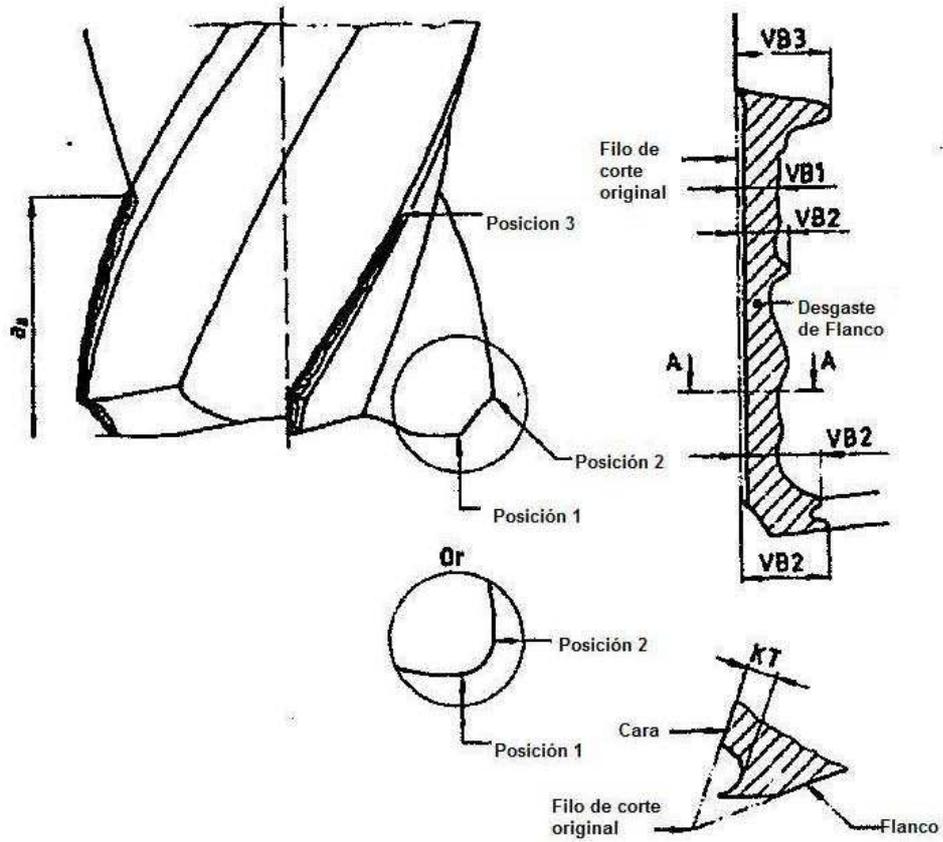
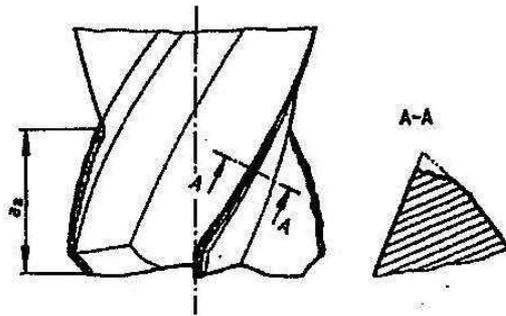
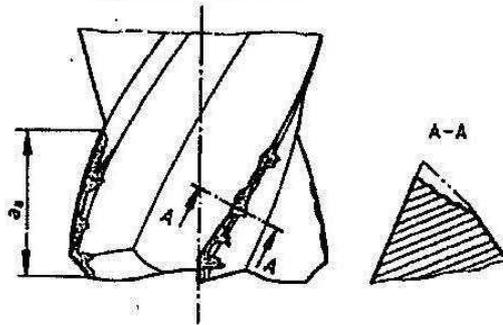


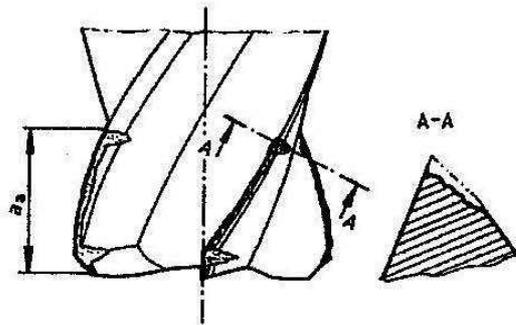
Fig. 1



(VB1) Desgaste de flanco uniforme



(VB2) Desgaste de flanco no uniforme



(VB3) Desgaste de flanco localizado

FIG. 2

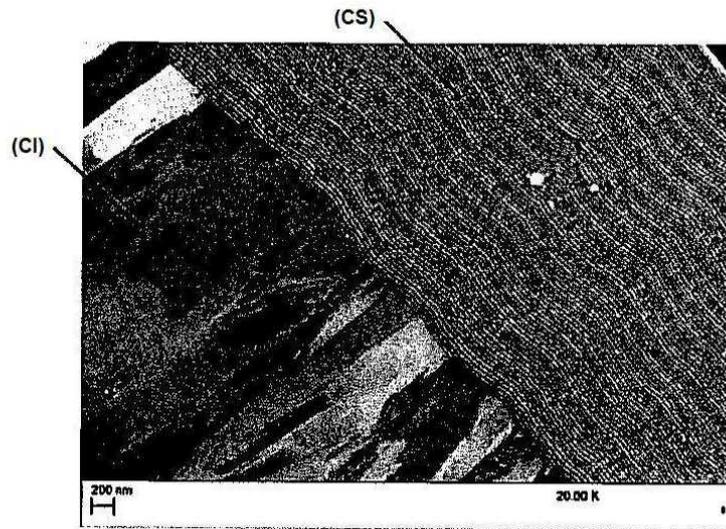


Fig. 3

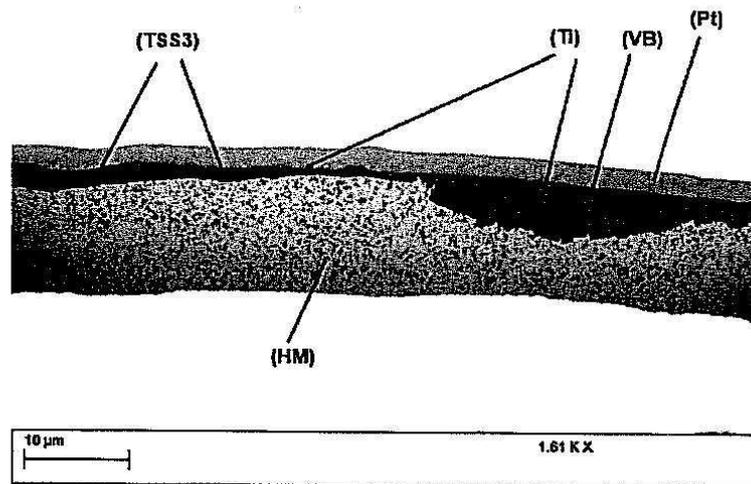


FIG. 4