

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 822 351**

51 Int. Cl.:

C04B 35/5831 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.04.2014** **PCT/EP2014/058569**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014** **WO14177503**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2014** **E 14720123 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2020** **EP 2991952**

54 Título: **Material de PCBN, procedimiento para fabricar el mismo, herramientas que componen el mismo y procedimiento para uso del mismo**

30 Prioridad:

30.04.2013 GB 201307800

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

30.04.2021

73 Titular/es:

ELEMENT SIX LIMITED (50.0%)
Shannon Airport
County Clare, IE y
ELEMENT SIX ABRASIVES HOLDINGS LIMITED
(50.0%)

72 Inventor/es:

ANDERSIN, STIG ÅKE y
CAN, ANTIONETTE

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 822 351 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

Material de PCBN, procedimiento para fabricar el mismo, herramientas que componen el mismo y procedimiento para uso del mismo

5 La divulgación se refiere en general a material de nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN), procedimientos para fabricar el material de PCBN, elementos de corte que lo comprenden y procedimientos para usarlo.

10 La Publicación de la Solicitud de Patente PCT No. WO/2006/046128 divulga un compacto de CBN para su uso en el mecanizado continuo, con interrupción ligera y con interrupción media a pesada de aceros templados tales como aceros cementados y de rodamientos de bolas. Un compacto divulgado comprende de aproximadamente un 45 a aproximadamente un 75 por ciento en volumen de granos de CBN, que tienen más de un tamaño de grano promedio y tienen un tamaño promedio de menos de 10 micrómetros, preferiblemente menos de 5 micrómetros. El compacto también comprende una fase dura secundaria que incluye uno o más de nitruro, carbonitruro o ciertos compuestos de carburo de metal, así como una fase aglutinante presente en una cantidad de aproximadamente 5 a 30 por ciento en masa de la fase dura secundaria. El compacto puede contener carburo de tungsteno en una cantidad que no exceda el 3 por ciento en volumen (del compacto).

15 La Publicación de la Solicitud de Patente PCT No. WO/2006/046124 describe un procedimiento para preparar una composición de materia prima en polvo para la fabricación de un compacto de CBN. El procedimiento incluye la molienda por desgaste de granos de un material duro secundario, un material aglutinante y granos de CBN para producir una mezcla en la que los granos del material duro secundario y el material aglutinante son finos (pequeños). El tamaño medio de los granos de CBN puede ser menor de 10 micrómetros, preferiblemente menor de 5 micrómetros. Pueden usarse bolas de carburo de tungsteno cementadas en la molienda por desgaste, que probablemente no introduzca más del 3 por ciento en volumen o menos del 3 por ciento en masa de carburo de tungsteno en la composición en polvo. La trituración por desgaste es capaz de lograr granos más finos y mejor homogeneidad de materiales en el compacto sinterizado que los otros procedimientos de molienda, y se pueden lograr mezclas homogéneas que comprenden granos de tamaño nanométrico que tienen un tamaño de partícula promedio de entre aproximadamente 200 y aproximadamente 500 nanómetros. Es probable que el pequeño tamaño de las partículas duras secundarias conseguidas mediante el procedimiento descrito dé como resultado una alta resistencia del compacto de CBN.

30 La Patente de los Estados Unidos No. 8,148,282 describe un compacto compuesto de nitruro de boro cúbico sinterizado que tiene una parte que no es de cBN, comprendiendo el compacto de aproximadamente 86 a aproximadamente 90 por ciento en masa de cBN y consistiendo la parte que no es de cBN esencialmente de aproximadamente 10 a aproximadamente 14 por ciento en masa de nitruro de aluminio, diboruro de aluminio y otros boruros de aluminio. El compacto tiene una distribución de tamaño de grano de cBN que es al menos bimodal y comprende aproximadamente un 80 por ciento de partículas gruesas que varían en tamaño de aproximadamente 10 a aproximadamente 60 micrómetros y aproximadamente un 20 por ciento de partículas finas que varían en tamaño de aproximadamente 1 a aproximadamente 12 micrómetros. El documento EP1780186 describe un procedimiento para fabricar un material de PCBN que incluye proporcionar una agregación de cBN que comprende una pluralidad de granos de cBN con una distribución bimodal de tamaño de grano de cBN.

40 Existe la necesidad de elementos de herramienta de corte que comprendan material de PCBN, que tengan una vida útil mejorada, en particular, pero no exclusivamente, cuando se utilicen para el mecanizado interrumpido intermedio de cuerpos de acero.

45 Visto desde un primer aspecto, se proporciona material de PCBN que consiste en granos de cBN dispersos en una matriz (en otras palabras, la matriz se refiere a todo el material comprendido en el material de PCBN, distinto de los granos de cBN), estando el contenido de los granos de cBN en el rango del 35 al 70 por ciento en volumen del material de PCBN; la matriz comprende al menos una clase de compuesto químico que incluye aluminio (Al) y al menos una clase de compuesto químico que incluye titanio (Ti); una pluralidad de superficies de cBN que son colindantes con una superficie sustancialmente plana del material de PCBN; en el que la distribución de tamaño de los granos de cBN es tal que al menos el 50 por ciento del área circular equivalente total (ECA) proviene de longitudes de intersección de cBN de hasta 5 micrómetros; y al menos el 20 por ciento del ECA total proviene de longitudes de intersección de cBN mayores de 5 micrómetros.

50 Debido a los importantes desafíos prácticos en la medición de la distribución de tamaño real de los granos de cBN en PCBN sinterizado, probablemente será útil caracterizar la distribución de tamaño al menos en parte en términos de cantidades que se pueden medir directa y sin intermitencias, y que estén fuertemente relacionadas con los tamaños de los granos de cBN. Dicho de otra manera, puede ser útil caracterizar la distribución de tamaños de los granos de cBN en PCBN sinterizados en términos de una o más cantidades que pueden verse como aproximaciones de la distribución de tamaños de cBN. En consecuencia, el material de PCBN divulgado se caracterizará en parte en términos de distribuciones estadísticas de una cantidad que puede derivarse sin intermitencias a partir de una dimensión directamente medible de granos de cBN expuestos en una superficie del material de PCBN, sin necesidad de una corrección estereográfica compleja. Como se describe a continuación, esto se hará en términos de "áreas circulares equivalentes" de las secciones expuestas de los granos de cBN, calculadas a partir de un número

suficientemente grande de "longitudes de intersección" sustancialmente aleatorias entre puntos en los bordes de las secciones de cBN.

Cada ECA se calcula utilizando una longitud de intersección respectiva, que es la longitud de un segmento de línea recta generalmente arbitraria que conecta un par de puntos arbitrarios respectivos en un límite de un grano de cBN, siendo el límite colindante con (en otras palabras, intersectante o sobrepuesto) la superficie del material de PCBN. Cada ECA se calcula como el área de un círculo que tiene un diámetro igual a una longitud de intersección respectiva. Un ECA total es la suma de todos de una pluralidad de ECA, calculado a partir de una pluralidad de longitudes de intersección respectivas asociadas con los granos de cBN respectivos (en esta divulgación y a menos que se indique lo contrario, una longitud de intersección significará una longitud de intersección de cBN, asociada con un grano de cBN). En algunos ejemplos, las áreas de cBN pueden ser secciones a través de los correspondientes granos de cBN. Si bien es poco probable que una longitud de intersección determinada y un ECA correspondiente sean de mucha utilidad, un número estadísticamente suficiente de longitudes de intersección dibujadas arbitrariamente y, en consecuencia, de los ECA correspondientes, puede proporcionar información asociada con la distribución de tamaño de los granos de cBN dentro de un cuerpo de PCBN sinterizado; con la condición de que las intersecciones y los granos de cBN se seleccionen sustancialmente aleatoriamente. Más adelante, se describirán más detalles y ejemplos no limitativos de medidas de longitud de intersección y cálculos de ECA consecuentes después de que se hayan proporcionado las leyendas de los dibujos adjuntos.

Se prevén diversas composiciones y aspectos de microestructura para el material de PCBN, de los cuales se describen más adelante ejemplos no limitativos y no exhaustivos.

En algunos ejemplos, el contenido de los granos de cBN puede ser al menos aproximadamente un 27 por ciento en masa o al menos aproximadamente un 40 por ciento en masa del material de PCBN. En algunos ejemplos, el contenido de granos de cBN puede ser como máximo aproximadamente 62 por ciento en masa o como máximo aproximadamente 50 por ciento en masa del material de PCBN. El contenido de cBN puede ser aproximadamente de 27 por ciento en masa a aproximadamente 62 por ciento en masa del material de PCBN.

En algunos ejemplos, la matriz puede comprender un material basado en carbonitruro de titanio o carburo de titanio; en algunos ejemplos, la matriz puede comprender material de carburo de titanio o material de nitruro de titanio; y en algunos ejemplos, la matriz puede comprender compuestos de carburo y/o carbonitruro y/o nitruro de niobio, tántalo, vanadio o zirconio. El contenido de uno cualquiera o más (en combinación) de estos materiales puede ser al menos aproximadamente el 75 por ciento en masa o al menos aproximadamente el 85 por ciento en peso de la matriz; y/o a lo sumo alrededor del 92 por ciento en masa de la matriz. Por ejemplo, el contenido de uno cualquiera o una combinación de estos materiales puede ser aproximadamente el 90 por ciento en masa de la matriz.

En algunos ejemplos, la matriz puede comprender nitruro de aluminio. La matriz puede comprender al menos un compuesto de boruro de aluminio y/o diboruro de titanio.

En algunos ejemplos, la matriz puede comprender carbonitruro de titanio y nitruro de aluminio, en el que el contenido combinado del carbonitruro de titanio y el nitruro de aluminio puede ser al menos aproximadamente 80 por ciento en masa o al menos aproximadamente 90 por ciento en masa de la matriz; y/o el contenido combinado puede ser inferior al 97 por ciento en masa o como máximo aproximadamente el 95 por ciento en masa de la matriz. En algunos ejemplos, el contenido de carbonitruro de titanio puede ser al menos aproximadamente 35 por ciento en masa o al menos aproximadamente 40 por ciento en masa del material de PCBN, y en algunos ejemplos, el contenido de carbonitruro de titanio puede ser como máximo aproximadamente 50 por ciento en masa del material de PCBN.

En algunos ejemplos, el material de PCBN puede contener granos de carburo de metal comprendidos en la matriz, siendo el contenido de granos de carburo de metal superior al 3 por ciento en masa, al menos aproximadamente el 4 por ciento en masa o al menos aproximadamente el 5 por ciento en masa del material de PCBN. Por ejemplo, los granos de carburo de metal pueden comprender o consistir en carburo de tungsteno.

En algunos ejemplos, la matriz puede comprender o consistir en material policristalino, siendo el tamaño medio de los granos comprendidos en el material de la matriz menos de aproximadamente 1 micrómetro (es probable que se necesite utilizar microscopía electrónica de transmisión, TEM, para medir el tamaño de grano del material de la matriz en algunos ejemplos de materiales PCBN). En algunos ejemplos, el tamaño de grano medio del material de matriz sinterizado puede ser de al menos aproximadamente 50 nanómetros (nm) y, como máximo, aproximadamente 1.000 nanómetros (nm). Esto puede deberse al uso de polvo de materia prima muy fino para producir el material de matriz y, en algunos ejemplos, el tamaño de grano medio del polvo puede ser como máximo de aproximadamente 1 micrómetro.

En algunos ejemplos, el ECA y/o la distribución de frecuencia de longitud de intersección pueden ser bimodales. Por ejemplo, un modo puede ocurrir a menos de 5 micrómetros y otro modo puede ocurrir en el rango de aproximadamente 8 micrómetros a aproximadamente 10 micrómetros. En algunos ejemplos, la ECA y/o la distribución de frecuencia de longitud de intersección pueden ser monomodales, teniendo un modo único (también pueden estar presentes modos menores correspondientes a picos sustancialmente más pequeños).

El material de PCBN descrito probablemente será adecuado para torneado duro H05 a H30 de acero templado que

tiene una dureza Rockwell C de al menos aproximadamente 52 HRc. Por ejemplo, el material de PCBN descrito probablemente será adecuado para torneado intermedio o duro H15 de tal acero templado.

Visto desde un segundo aspecto, se proporciona un inserto para una herramienta de corte, que comprende el material de PCBN descrito y configurado de manera que el material de PCBN es capaz de proporcionar un borde de corte en uso. El inserto puede comprender una película cerámica (que también se puede denominar recubrimiento) unida a un límite del material de PCBN adyacente a una superficie de trabajo del inserto. Por ejemplo, la película cerámica puede comprender uno o más compuestos químicos que incluyen titanio, aluminio, nitrógeno o silicio.

Visto desde un tercer aspecto, se puede proporcionar un procedimiento para usar un inserto descrito, incluyendo el procedimiento el uso del inserto para cortar acero que tenga una dureza Rockwell C de al menos 52 HRc. El acero comprendido en un cuerpo puede configurarse de manera que se interrumpa el modo de corte. La relación entre el corte continuo y el corte interrumpido puede ser de al menos aproximadamente el 50 por ciento y como máximo aproximadamente el 95 por ciento. El procedimiento puede incluir el uso del inserto en una operación de torneado duro H05 a H30. Por ejemplo, el procedimiento puede incluir el uso del inserto en una operación de torneado duro H15.

Visto desde un cuarto aspecto, se proporciona un procedimiento para fabricar material de PCBN divulgado, incluyendo el procedimiento proporcionar una agregación de cBN que comprende una pluralidad de granos de cBN que tienen una distribución de frecuencia de masa con respecto al diámetro del círculo equivalente de grano (ECD), teniendo la distribución de frecuencia un primer modo y un segundo modo, ocurriendo el primer modo con un ECD mayor de 0 micrómetros y como máximo alrededor de 3 micrómetros, y ocurriendo el segundo modo mayor de 3 micrómetros; en el que los granos de cBN que tienen un ECD de más de 0 micrómetros a un máximo de 3 micrómetros representan al menos alrededor del 30 por ciento de la agregación de cBN, y los granos de cBN que tienen un ECD de más de 3 micrómetros representan al menos aproximadamente el 20 por ciento de la masa de la agregación de cBN; combinar la agregación de cBN con una fuente de aluminio (Al) y una fuente de titanio (Ti), y/o una fuente de Ti y Al, para proporcionar una agregación combinada; formar un cuerpo de presinterización que comprende la agregación mezclada y someter el cuerpo de presinterización a una presión suficientemente alta y a una temperatura suficientemente alta para proporcionar material de PCBN que consiste en granos de cBN dispersos en una matriz sinterizada que comprende al menos una clase de compuesto químico que incluye aluminio (Al) y al menos una clase de compuesto químico que incluye titanio (Ti); en el que la masa de los granos de cBN en la agregación mezclada es suficiente para que el contenido de granos de cBN en el material de PCBN esté en el rango de 35 a 70 por ciento en volumen del material de PCBN.

Dado que los granos de cBN de la materia prima se pueden proporcionar en forma de polvo que fluye sustancialmente de forma libre, se pueden usar procedimientos conocidos para medir diversos aspectos de la distribución del tamaño de grano de la materia prima de cBN. Como se mencionó anteriormente, esto contrasta con la relativa dificultad de medir la distribución del tamaño de grano de cBN cuando están dispersos a través de una matriz dura, a la que es probable que estén muy fuertemente unidos. Por lo tanto, el material de PCBN divulgado se caracteriza al menos en parte en términos de las distribuciones estadísticas de una cantidad de tipo ECA sustituto para la distribución de tamaño de cBN real, calculada a partir de una población sustancialmente aleatoria de longitudes de intersección a través de granos de cBN. Sin embargo, no se proporciona la relación matemática precisa entre la distribución ECA de los granos de cBN en material de PCBN sinterizado, por un lado, y un aspecto dado de la distribución del tamaño de grano real del polvo de materia prima de cBN, ya que esto no sería necesario para medir y caracterizar ciertos aspectos del material de PCBN. En consecuencia, las caracterizaciones de la distribución del tamaño de grano de cBN en el material de PCBN sinterizado por un lado y de los granos de materia prima de cBN por otro lado son apropiadamente diferentes.

En algunos ejemplos, la presión puede ser de al menos aproximadamente 4 gigapascuales (GPa) y la temperatura puede ser de al menos aproximadamente 1.000 grados Celsius.

En algunos ejemplos, el procedimiento puede incluir introducir suficiente material de carburo de metal en la agregación mezclada de modo que el contenido de granos de carburo de metal en el material de PCBN sea superior al 3 por ciento en masa, al menos aproximadamente al 4 por ciento en masa o al menos al menos alrededor del 5 por ciento en masa del material de PCBN.

En algunos ejemplos, el carburo de metal contenido en el material de PCBN de ejemplo puede surgir de un proceso de mezcla, dispersión o trituración de granos de cBN relativamente gruesos usando un dispositivo de trituración, que puede realizarse en el proceso de fabricación del material de PCBN de ejemplo. En algunos ejemplos, el proceso de fabricación de material de PCBN de ejemplo puede incluir polvo de materia prima de molienda por desgaste que comprende granos de cBN. El dispositivo de molienda puede comprender elementos de carburo de tungsteno cementado para entrar en contacto con los granos de cBN, y es probable que los elementos experimenten un grado relativamente alto de desgaste abrasivo, debido en particular al contenido relativamente alto de granos de cBN relativamente gruesos en el polvo de materia prima para el material de PCBN descrito. En algunos ejemplos, la cantidad de material de carburo de metal presente en el material de PCBN como resultado directo de la molienda de los granos de cBN relativamente gruesos puede ser suficiente para introducir al menos un 3 por ciento en masa de material de carburo de metal en el material de PCBN de ejemplo.

En algunos ejemplos, el segundo modo puede ocurrir en un ECD de como máximo aproximadamente 20 micrómetros.

En algunos ejemplos, la fuente de Al y/o la fuente de Ti, y/o de Al y Ti (por ejemplo, material que comprende un compuesto químico que contiene tanto Al como Ti, tal como Al_3Ti) puede estar en forma de polvo.

5 En algunos ejemplos, el procedimiento puede incluir mezclar los granos de cBN con la fuente de Al y la fuente de Ti, y/o la fuente de Al y Ti, por medio de un aparato de trituración por desgaste.

10 En algunos ejemplos, el procedimiento puede incluir proporcionar una primera agregación de cBN y una segunda agregación de cBN, comprendiendo cada una de las agregaciones de cBN primera y segunda una pluralidad de granos de cBN; siendo el ECD medio volumétrico ($D[4,3]$) de la primera agregación de cBN mayor que 0 y como máximo aproximadamente 3 micrómetros, y el ECD medio volumétrico de la segunda agregación de cBN es mayor que aproximadamente 3 micrómetros.

En algunos ejemplos, el ECD medio volumétrico medio de la segunda agregación de cBN puede ser como máximo de aproximadamente 10 micrómetros, y o el ECD medio volumétrico medio de la primera agregación de cBN puede ser como máximo de aproximadamente 2 micrómetros.

15 En algunos ejemplos, la superficie específica media de la primera agregación de granos de cBN puede ser de al menos aproximadamente 5 metros cuadrados por gramo (m^2/g), y/o la superficie específica media de la primera agregación de granos de cBN puede ser como máximo de aproximadamente 0,5 metros cuadrados por gramo (m^2/g). En algunos ejemplos, el área superficial específica media de la agregación de cBN puede ser como máximo de aproximadamente 5 metros cuadrados por gramo (m^2/g).

20 En algunos ejemplos, la relación entre la masa de la primera agregación de cBN y la masa de la segunda agregación de cBN puede ser al menos 1:5 y como máximo 1:1.

A continuación, se describirán ejemplos no limitativos con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales

La Figura 1 muestra una micrografía electrónica de barrido esquemática de un área de una superficie pulida de material de PCBN de ejemplo, en la que se superpone una línea para medir las longitudes de intersección de granos en la micrografía;

25 La Figura 2A muestra cinco gráficos de las distribuciones ECA de cinco materiales de PCBN de ejemplo respectivos frente a la longitud de intersección del grano (estos materiales de PCBN de ejemplo no caen dentro del alcance de las reivindicaciones);

Las Figuras 2B y 2C muestran gráficos de las distribuciones ECA de dos materiales PCBN de ejemplo respectivos frente a la longitud de intersección del grano;

30 La Figura 3 muestra un gráfico de dos distribuciones de frecuencia de masa de ejemplo frente al diámetro circular equivalente (ECD) de granos de cBN en polvo de materia prima para fabricar material de PCBN de ejemplo; y

35 La Figura 4 muestra un gráfico de la vida útil L de una herramienta de corte que comprende el PCBN de ejemplo, expresada en términos de número de pases hasta que se cumplió un criterio de fin de vida útil en una prueba de torneado, frente al ECA sumado asociado con granos de cBN relativamente grandes correspondiente a longitudes de intersección de más de 5 micrómetros.

40 El material de PCBN de acuerdo con esta divulgación se caracteriza en términos de área circular equivalente (ECA), calculada usando una longitud de intersección respectiva asociada con una superficie de grano de cBN expuesta en una superficie pulida de material de PCBN. Cada longitud de intersección será la longitud de un segmento de línea recta teórica que conecta un par de puntos en un límite de una superficie de grano de cBN expuesta colindante con la superficie del material de PCBN. El ECA se calculará como el área de un círculo que tiene un diámetro igual a la longitud de intersección. El ECA total para la medición se obtiene integrando (sumando) la distribución ECA sobre todas las longitudes de intersección medidas.

La superficie puede proporcionarse cortando o triturando los materiales PCBN, por ejemplo, o la superficie puede ser sustancialmente una superficie de un artículo que comprende el material de PCBN.

45 Puede obtenerse una pluralidad de ECA a partir de una imagen ampliada de una superficie de material de PCBN, midiendo una pluralidad de longitudes de intersección utilizando pares respectivos de puntos sustancialmente seleccionados aleatoriamente que se encuentran en límites respectivos de superficies expuestas sustancialmente seleccionadas aleatoriamente de granos de cBN. El número de longitudes de intersección y, en consecuencia, el número de ECA será lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativo para caracterizar el material de PCBN en estos términos. En algunos ejemplos, se pueden utilizar más de aproximadamente 1.000 longitudes de intersección (y, en consecuencia, ECA).

Puede obtenerse una pluralidad de longitudes de intersección a partir de una superficie pulida de material de PCBN de ejemplo proporcionando una imagen de microscopio electrónico de un área de la superficie y dibujando una o más

líneas rectas aleatoriamente a través de la imagen. Esto se puede hacer manualmente o con la ayuda de una aplicación de software, como un software de análisis de imágenes. Se puede calcular una pluralidad de ECA utilizando la pluralidad de longitudes de intersección respectivas. Es probable que ocurran diferentes longitudes de intersección a diferentes frecuencias. La distribución de frecuencia de longitud de intersección se puede representar como números de instancias de longitud de intersección medida dentro de ciertos intervalos (contenedores) de longitud de intersección, o como el ECA combinado de longitudes de intersección que caen dentro de cada intervalo.

En la práctica, el valor máximo de longitud de intersección se puede dividir en una serie de intervalos iguales, o contenedores, teniendo cada contenedor un límite superior e inferior. Cada una de las longitudes de intersección medidas se puede asignar a un contenedor de modo que la longitud de intersección sea mayor que el límite inferior del contenedor y como máximo el límite superior del contenedor. Por tanto, a cada contenedor se le puede asignar un número de longitudes de intersección medidas, siendo la frecuencia de las longitudes de intersección correspondientes al contenedor. La distribución de frecuencia de todas las longitudes de intersección medidas puede trazarse gráficamente contra un eje de longitud de intersección agrupada. La distribución de la frecuencia de longitud de la intersección se puede normalizar expresando el valor de la frecuencia de la longitud de la intersección correspondiente a cada intervalo como un porcentaje del valor total obtenido al sumar todos los valores correspondientes a todos los intervalos.

Las frecuencias ECA respectivas se pueden calcular como el área de un círculo que tiene un diámetro igual al valor medio de la longitud de intersección de cada contenedor, y multiplicando el valor del área por el valor de frecuencia de las longitudes de intersección correspondientes al contenedor. La longitud media de la intersección asociada con cada contenedor se calcula como la mitad de la suma de los límites superior e inferior del contenedor. Por tanto, a cada contenedor se le puede asignar un múltiplo del ECA correspondiente al contenedor respectivo, siendo el factor el número o la frecuencia porcentual correspondiente al contenedor respectivo. La distribución de todos los ECA calculados a partir de todas las longitudes de intersección medidas puede trazarse gráficamente contra un eje de longitud de intersección agrupada. La distribución de frecuencia ECA se puede normalizar expresando el valor de frecuencia ECA correspondiente a cada contenedor como un porcentaje del valor total obtenido sumando todos los valores correspondientes a todos los contenedores. El porcentaje de ECA total correspondiente a longitudes de intersección menores o al menos un valor umbral se puede calcular sumando todos los porcentajes de frecuencia ECA correspondientes a longitudes de intersección menores o al menos, respectivamente, el valor umbral.

La distribución de frecuencias ECA se puede determinar de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) Se proporciona un cuerpo que comprende o consiste en material de PCBN.
- b) Se proporciona una superficie sustancialmente plana del material de PCBN cortando a través del material de PCBN, o proporcionando un cuerpo que ya tiene una superficie sustancialmente plana.
- c) Se pule la superficie para que sea adecuada para obtener una imagen de la superficie por medio de un microscopio electrónico, y se obtiene al menos una imagen micrográfica de al menos un área respectiva de la superficie PCBN.
- d) Al menos el aumento, la resolución y el contraste de la imagen se seleccionarán de manera que el material cBN expuesto en la superficie pueda discriminarse del material de la matriz y al menos aproximadamente 100 superficies cBN sean evidentes en la imagen. El procesamiento de imágenes digital o manual se puede utilizar para mejorar la discriminación, con la condición de que se conserven la escala de longitud correcta y la integridad de las formas de la superficie del cBN (límites) en las imágenes.

Una vez que se ha proporcionado una imagen adecuada, se realizan las siguientes mediciones utilizando la imagen o imágenes, manualmente o mediante un software de procesamiento y análisis de imágenes. Con referencia a la Figura 1, en la que las áreas de grano de cBN se muestran como áreas negras y la matriz como área blanca:

- e) Una o más líneas rectas L (reales o nocionales) deben dibujarse aleatoriamente a través de la imagen o imágenes.
- f) Se miden las longitudes de cada segmento de línea l entre los puntos a-b en los que la línea interseca los límites de todas las secciones de grano cBN respectivas a través de las cuales pasa la línea L, proporcionando una lista de al menos 1.000 longitudes de intersección (más de una línea y puede ser necesario utilizar más de una imagen).
- g) Se proporciona una distribución de frecuencia numérica asignando cada longitud de intersección l a uno de una serie de intervalos consecutivos correspondientes a intervalos iguales de longitud de intersección, teniendo cada intervalo un límite de longitud superior e inferior. Uno de un par de contenedores consecutivos debe tener un límite superior de 5 micrómetros y el otro contenedor un límite inferior de 5 micrómetros (las longitudes de intersección medidas de 5 micrómetros deben asignarse al contenedor anterior).
- h) Se calcula un ECA respectivo para cada contenedor, como el área de un círculo que tiene como diámetro la longitud media de intersección del contenedor (el concepto de un área circular equivalente como se usa en esta divulgación, se ilustra esquemáticamente en la Figura 1 como círculos EC correspondientes a las respectivas

longitudes de intersección l que conectan los puntos a-b en un límite de un grano de cBN),

i) Una distribución ECA sobre los intervalos de longitud de intersección se calcula multiplicando el ECA correspondiente a cada intervalo por la frecuencia de las longitudes de intersección que caen dentro del intervalo (en otras palabras, el número o porcentaje de longitudes de intersección medidas que caen dentro del intervalo). Los valores de área resultantes se suman para proporcionar un ECA total para la medición, y se calcula un valor de área porcentual respectivo para cada ubicación, en el que cada valor de área se divide por el valor de área total y se expresa como un porcentaje. Se obtiene así una distribución de frecuencia ECA normalizada.

j) Los porcentajes de los valores de ECA correspondientes a todos los contenedores que tienen un límite superior de hasta 5 micrómetros y todos los contenedores que tienen un límite inferior de al menos 5 micrómetros se calculan sumando los valores de ECA respectivos sobre los respectivos contenedores de longitud de intersección.

Dado que no se lleva a cabo ninguna corrección estereológica de las longitudes de intersección usando el procedimiento descrito anteriormente, la longitud de intersección y las distribuciones de frecuencia ECA no proporcionarán directamente las distribuciones de tamaño real de los granos de cBN dispersos por todo el volumen del material de PCBN. Más bien, se utilizan como valores sustitutos asociados con la distribución del tamaño de grano de cBN, para ser utilizados para caracterizar el material de PCBN de acuerdo con esta divulgación. Esta metodología tiene la ventaja de que se puede aplicar directamente a partir de una imagen ampliada de una superficie PCBN sin requerir aplicaciones complejas de análisis de imágenes y evitando las complejidades matemáticas que surgen al realizar una corrección estereológica. No obstante, las distribuciones obtenidas según esta divulgación son útiles para caracterizar el material de PCBN.

Se prepararon diversos materiales de PCBN usando diferentes agregaciones de cBN, que constan de diferentes distribuciones de tamaño de grano de cBN respectivas. Todos los materiales de PCBN del ejemplo comprendían un 60 por ciento en volumen de granos de cBN dispersos en una matriz que comprendía carbonitruro de titanio y carbonitruro de aluminio, y alrededor de 5 a 6 por ciento en masa de granos de carburo de tungsteno (los porcentajes de volumen y masa son porcentajes del material de PCBN). Estaba presente una pequeña cantidad de impurezas tales como compuestos de óxido. El contenido del material de carbonitruro de titanio era aproximadamente 9 veces mayor que el del material de nitruro de aluminio, en términos de porcentaje en masa de la matriz.

Cada uno de los materiales de PCBN de ejemplo se fabricó en forma de disco, que se cortó mediante mecanizado por electrodescarga (EDM) para proporcionar superficies de sección transversal respectivas a través de los discos. Las superficies de las secciones se pulieron y se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM) para obtener imágenes ampliadas de cada una de las superficies de PCBN. Se dibujaron líneas rectas aleatoriamente en cada una de las imágenes, cada una de las líneas cruzando al menos 10 superficies de grano de cBN e intersectando el límite de cada grano de cBN en dos puntos, como se ilustra en la Figura 1. Se midieron las longitudes de intersección entre los puntos de intersección en los límites de los respectivos granos de cBN, utilizando la escala de longitud apropiada de acuerdo con el aumento utilizado para obtener la imagen. De este modo, se obtuvieron al menos aproximadamente 1.000 longitudes de intersección para cada uno de los materiales de PCBN de ejemplo, y se asignaron a uno de los diez contenedores de longitud de intersección, siendo cada contenedor de 1 micrómetro de ancho y, cuando se combinan secuencialmente, corresponde a una longitud combinada de 10 micrones. De este modo se obtuvo el número de instancias medidas de longitudes de intersección dentro de cada contenedor. El ECA correspondiente a cada contenedor se calculó como el área de un círculo que tiene un diámetro igual a la longitud media de intersección correspondiente al contenedor, y el número de instancias en cada contenedor se multiplicó por el ECA correspondiente para el contenedor para proporcionar una distribución de ECA en todos los contenedores. Las distribuciones de ECA se normalizaron, de modo que el ECA combinado total sumado en todos los contenedores es del 100%.

Los gráficos que se muestran en las Figuras 2A, 2B y 2C muestran las distribuciones ECA de los diversos materiales PCBN de ejemplo, en los que las áreas circulares equivalentes A se expresan como porcentajes, correspondientes a cada uno de los contenedores respectivos de la longitud de intersección D. El porcentaje sumado de ECA correspondiente a contenedores que tienen un límite superior de 5 micrómetros o menos se muestra en el lado izquierdo de una línea vertical discontinua (que cruza el eje horizontal a 5 micrómetros) y el porcentaje sumado de ECA correspondiente a contenedores que tienen un límite inferior de 5 micrómetros o más se muestra en el lado derecho de la línea punteada vertical.

Los materiales PCBN correspondientes a los gráficos mostrados en la Figura 2A no están dentro del alcance de las reivindicaciones, ya que sustancialmente menos del 20 por ciento del ECA total surge de longitudes de intersección de cBN mayores de 5 micrones en estos ejemplos. En cuatro de los gráficos, ninguno de los intervalos de longitud de intersección correspondientes a más de 5 micrómetros contribuye sustancialmente al ECA total, y en uno de los g, el intervalo correspondiente a la longitud de intersección de más de 5 micrómetros y hasta 6 micrómetros contribuye aproximadamente 9 por ciento del ECA total para el material de PCBN.

Los materiales de PCBN de ejemplo correspondientes a la Figura 2B y la Figura 2C son ejemplos de material de PCBN de acuerdo con esta divulgación. La distribución de tamaño de los granos de cBN comprendidos en estos ejemplos de materiales de PCBN es tal que aproximadamente el 80 por ciento (Figura 2B) y el 68 por ciento (Figura 2C), respectivamente, del ECA total proviene de longitudes de intersección de cBN de hasta 5 micrómetros; y

aproximadamente el 20 por ciento (Figura 2B) y aproximadamente el 32 por ciento (Figura 2C), respectivamente, del ECA total proviene de longitudes de intersección de cBN mayores de 5 micrómetros.

Se describirá un procedimiento de ejemplo no limitativo para preparar el material de PCBN de ejemplo. Primera y segunda agregaciones de cBN sustancialmente monomodales que consisten en granos de cBN, cada una con una única distribución de modo y tamaño respectiva tienen las características mostradas en la Tabla 1 (pueden estar presentes otros modos menores, que son sustancialmente más pequeños que los modos principales). En este ejemplo particular, la primera y segunda agregaciones de cBN se combinaron en la relación de masa 70:30 para proporcionar una agregación combinada de cBN bimodal. Las distribuciones de tamaño de masa de dos agregaciones de cBN de ejemplo para hacer PCBN de ejemplo se muestran en la Figura 3. Ambas agregaciones son bimodales, teniendo un primer modo M1 en aproximadamente 1 micrómetro y un segundo modo M2 en aproximadamente 7 micrones, definiendo el pico que el segundo modo es sustancialmente más amplio en términos de tamaño de grano que la esférula que define el primer modo.

Tabla 1

Parámetros de distribución del tamaño de grano	Primera agregación de cBN	Segunda agregación de cBN
Modo, micrón	aprox. 1	aprox. 7
Tamaño de grano medio volumétrico $D[4,3]$, micrómetros	1,15	6,42
Tamaño medio de grano en masa $D[3,2]$, micrómetros	0,83	6,09
Tamaño de grano en décimo percentil $d(0,1)$, micrones	0,45	4,65
Tamaño de grano medio $d(0,5)$, micrómetros	1,00	6,25
Tamaño de grano en nonagésimo percentil $d(0,9)$, micrómetros	2,05	8,40
Área superficial específica, m ² /g	7,27	0,28

El polvo que comprende material Al_3Ti se preparó mezclando polvo de aluminio y polvo de carbonitruro de titanio subestequiométrico en la relación de masa deseada, y calentando la mezcla de polvo mezclada a aproximadamente 1.025 grados Celsius en vacío durante un período suficiente para que el polvo reaccionara químicamente para formar un polvo reaccionado que comprende Al_3Ti (la subestequiometría del polvo de carbonitruro de titanio fue de aproximadamente 0,8), compuestos químicos que incluyen carbono y compuestos químicos que incluyen nitrógeno. El polvo reaccionado se trituró, se tamizó y luego se molió por medio de un molino de desgaste durante 4 horas, utilizando disolvente de hexano y una pequeña cantidad de material dispersante. Luego se introdujeron los granos de cBN en el polvo molido y el polvo combinado se molió adicionalmente por medio del molino de desgaste durante varios períodos hasta un máximo de 1 hora y la suspensión resultante se secó por medio de un evaporador rotatorio para proporcionar una mezcla de polvo de sinterización. A continuación, se compactó la mezcla de polvo de presinterización para proporcionar un disco de presinterización, que se desgasifica a 1.116 grados Celsius. El disco de presinterización se ensambló en una cápsula para un horno de ultraalta presión (prensa HPHT) y se sinterizó a aproximadamente una presión de aproximadamente 5 gigapascuales y una temperatura de aproximadamente 1.400 grados Celsius para sinterizar los polvos y proporcionar un disco que comprende PCBN de material de ejemplo. El material de PCBN en el que la matriz comprende carburo de titanio o nitruro de titanio puede prepararse mediante un proceso similar, que incluye prerreacción de carburo de titanio o nitruro de titanio, respectivamente, con aluminio.

Se prepararon diversos ejemplos de material de PCBN comprendido en diferentes discos de PCBN como se describió anteriormente, difiriendo en las respectivas distribuciones de tamaño de los granos de cBN comprendidos en las respectivas agregaciones de cBN. Los discos de PCBN se cortaron y procesaron para proporcionar insertos de corte con geometría de borde SNMN090308 S02020 de acuerdo con la Norma Internacional ISO 1832 (cuarta edición, 15 de junio de 2004, "Indexable inserts for cutting tools - designation", ISO 2004, Ginebra) (bajo esta nomenclatura, las dimensiones y otros aspectos de un inserto indexable se designan mediante un código que comprende al menos nueve símbolos).

Cada inserto de corte se probó en una prueba de torneado (denominada "prueba 4340 perforada"), en la que se utilizó el inserto de corte para mecanizar (girar) un cuerpo de acero templado, en condiciones seleccionadas para tener similitudes con torneado duro H15. Cada prueba finalizó cuando el borde del cortador, definido por el ejemplo de material de PCBN, se fracturó hasta el punto de que el tamaño de la cicatriz de la fractura (medida en paralelo al vector de velocidad de corte) es mayor que el tamaño medio de la cicatriz de desgaste del flanco, o la longitud de la marca de desgaste del flanco alcanza al menos 0,3 milímetros. La ocurrencia de cualquiera de estas ocurrencias fue el criterio de final de vida útil, que puede ser evidente en un cambio relativamente repentino en la fuerza de corte medida. La

fractura catastrófica del borde puede ocurrir antes de que se haya formado una dimensión de la superficie de desgaste del flanco de 0,3 milímetros (mm). El rendimiento del material de PCBN se puede reportar en términos del número de pases necesarias para alcanzar el criterio de fin de vida útil; cuanto mayor sea la vida útil del inserto, mejor será el rendimiento del material de PCBN en la prueba. Se espera que este resultado proporcione una indicación de la vida útil potencial del material de PCBN en ciertas aplicaciones de mecanizado industrial que implican el corte interrumpido de cuerpos de acero.

La pieza de trabajo tenía sustancialmente la misma dureza en todo su volumen (que también se puede denominar "templado"), estando la dureza Rockwell C en el intervalo de aproximadamente 52 a 54 HRC, siendo un material de acero templado según la especificación AISI 4340. Se cree que la prueba proporciona una indicación razonablemente buena del rendimiento potencial del material de PCBN en el mecanizado de aceros cementados (en particular, pero no exclusivamente) en muchas aplicaciones en la práctica. La pieza de trabajo y las condiciones de corte se configuraron para someter la herramienta a una proporción particular de condiciones de corte continuo e interrumpido, siendo esta proporción sustancialmente constante para cada ciclo de corte (que puede denominarse "pase"). En particular, esta relación se mantuvo sustancialmente constante a lo largo de la prueba mediante la adopción de una metodología de giro frontal con control de velocidad de superficie constante. La pieza de trabajo se configuró como un tubo que tenía una pared de tubo de espesor uniforme para mejorar la uniformidad del endurecimiento radialmente a través de la pared (de acuerdo con las curvas de temple). Se proporcionó una serie de orificios en el tubo paralelos al eje del tubo de modo que se espera que el diámetro y el espaciado de paso de los orificios presenten condiciones de giro que probablemente sean representativas de ciertas operaciones de torneado duro comunes en la industria. Los parámetros de torneado utilizados fueron una velocidad de 150 metros por minuto (m/min), un avance de 0,1 milímetros (mm) y una profundidad de corte de 0,2 milímetros (mm).

Los resultados de las pruebas de torneado utilizando insertos de corte que comprenden varios materiales PCBN de ejemplo se muestran en la Figura 4, en la que la vida útil L del cortador en términos de número de pases hasta el criterio del final de la vida útil se representa contra el porcentaje de ECA sumado A correspondiente a longitudes de intersección de más de 5 micrómetros. La tendencia evidente es que la vida L aumente a medida que aumenta este parámetro de ECA sumado, al menos hasta un valor de alrededor del 35 por ciento. En términos físicos, esto sugiere que la presencia de un cierto número de granos de cBN relativamente más gruesos tiene un efecto beneficioso, al menos en aplicaciones de torneado de las cuales la prueba de perforación 4340 es ampliamente representativa.

Si el ECA sumado correspondiente a longitudes de intersección de hasta 5 micrómetros es sustancialmente menor que aproximadamente el 50 por ciento, es probable que la resistencia del material de PCBN sea demasiado baja o el acabado de la superficie de la pieza de trabajo sea demasiado pobre para ciertas aplicaciones.

Si el ECA sumado correspondiente a longitudes de intersección mayores de 5 micrómetros es sustancialmente menor al 20 por ciento, entonces la vida útil de un inserto de corte que comprende el material de PCBN probablemente no será tan alta y la resistencia al desgaste químico del PCBN el material en uso puede ser relativamente pobre.

Sorprendentemente, el material de PCBN descrito parece tener suficiente resistencia para efectuar un torneado duro, a pesar de la presencia de granos de cBN relativamente gruesos, ya que los PCBN que comprenden granos de cBN relativamente pequeños se han utilizado generalmente para aplicaciones de torneado duro. También sorprendentemente, el procedimiento descrito, en el que los granos de cBN de materia prima relativamente gruesos presentes en la mezcla de polvo de materia prima, parece preservar sustancialmente la fracción de grano de cBN grueso hasta el producto de material de PCBN sinterizado (la molienda por desgaste es un procedimiento de molienda de alta potencia y probablemente resultará en una mayor cantidad de material de carburo de metal de los elementos de molienda que se desgastará e introducirá en la mezcla de polvo de materia prima).

Otro ejemplo de material de PCBN puede comprender aproximadamente 35 por ciento en volumen de granos de cBN (en este ejemplo particular, aproximadamente 27 por ciento en masa del material de PCBN), aproximadamente 60 a aproximadamente 62 por ciento en masa de material de carbonitruro de titanio y aproximadamente 3 por ciento a aproximadamente 5 por ciento en masa de compuestos químicos, incluido el aluminio, como el nitruro de aluminio. El resto de la matriz puede comprender aproximadamente un 3 por ciento en masa hasta aproximadamente un 6 por ciento en masa de material de carburo de tungsteno.

Otro ejemplo de material de PCBN puede comprender aproximadamente 70 por ciento en volumen de granos de cBN (en este ejemplo particular, aproximadamente 62 por ciento en masa del material de PCBN), aproximadamente 30 por ciento en masa de material de carbonitruro de titanio y hasta aproximadamente 3 por ciento en masa de compuestos químicos, incluido el aluminio, como el nitruro de aluminio. El resto de la matriz puede comprender aproximadamente un 3 por ciento en masa hasta aproximadamente un 6 por ciento en masa de material de carburo de tungsteno.

El PCBN puede dividirse en dos grupos amplios, a saber, "cBN bajo" y "cBN alto", en los que el contenido de cBN es aproximadamente del 30 al 70 por ciento en volumen y aproximadamente del 70 al 95 por ciento en volumen, respectivamente. Los insertos de herramientas PCBN se utilizan para mecanizar tres amplios grupos de materiales, a saber, acero templado ("torneado duro"), metales en polvo sinterizados que comprenden granos duros en una matriz relativamente más blanda y hierros fundidos grises y duros. El grado de corte interrumpido puede clasificarse en una escala de severidad creciente de la interrupción de H5 a H30. Es probable que se utilicen materiales con alto contenido

de CBN para operaciones que impliquen un mayor grado de corte interrumpido, lo que puede ocurrir como resultado de las características de la forma de la pieza de trabajo o del material que la contiene. Un contenido de cBN más alto y un tamaño de grano de cBN medio más bajo tienden a producir un PCBN más fuerte, lo cual es especialmente importante para las operaciones interrumpidas.

- 5 Aunque el cBN es relativamente poco reactivo con los metales ferrosos, es probable que el desgaste químico de los granos de CBN comprendidos en el material de PCBN sea evidente a las altas temperaturas alcanzadas en el mecanizado continuo. Por lo tanto, es probable que se utilice un alto PCBN que comprende un contenido relativamente alto de granos de cBN en operaciones como el mecanizado interrumpido, en el que el material del inserto de la herramienta debe ser relativamente fuerte y mantener su dureza a temperaturas relativamente altas. Es probable que el material de PCBN que comprende un contenido relativamente menor de granos de cBN se utilice en operaciones como el mecanizado continuo, en el que el material de la inserción de la herramienta debe ser relativamente resistente al desgaste químico. Es probable que la resistencia del material de PCBN que comprende granos de cBN relativamente grandes sea menor que la del material de PCBN que comprende granos de cBN relativamente pequeños (finos), en igualdad de condiciones (esto puede ser particularmente evidente cuando el contenido de cBN es relativamente alto). Por lo tanto, es probable que el PCBN de grano fino sea más resistente y produzca un mejor acabado de la superficie de la pieza de trabajo que el material de PCBN de grano más grueso. Sin embargo, es probable que el PCBN de grano más fino sea más susceptible al desgaste químico debido a la mayor superficie de los granos de cBN por unidad de volumen de material de PCBN, en igualdad de condiciones. En general, por lo tanto, es probable que el PCBN que comprende un alto contenido de granos finos de cBN sea adecuado para el mecanizado muy interrumpido, por un lado, y es probable que el PCBN que comprende un bajo contenido de granos de cBN más gruesos sea adecuado para el mecanizado continuo rápido, por el otro (con la condición de que el tamaño de grano del cBN sea suficientemente pequeño para lograr el acabado superficial deseado).

- En general, se puede esperar que el material de PCBN que comprenda granos de cBN relativamente gruesos dé como resultado un acabado superficial demasiado pobre de la pieza de trabajo en algunas aplicaciones. Por lo tanto, el cBN comprendido en material de PCBN para operaciones de mecanizado ha tendido a no ser sustancialmente mayor de aproximadamente 4 micrómetros y la mayoría de los materiales PCBN utilizados comercialmente comprenden granos de cBN en el intervalo de aproximadamente 1 micrómetro a aproximadamente 2 micrómetros.

- Las operaciones de mecanizado intermedias que implican un grado de corte interrumpido en combinación con altas velocidades de mecanizado plantean un desafío para el diseño de material de PCBN. En determinadas aplicaciones, por ejemplo, aplicaciones en las que se utiliza material de PCBN para mecanizar acero templado en un modo intermedio interrumpido (como se caracteriza en el llamado "perforado 43/40"), tiende a haber un grado de desgaste químico y abrasivo del cBN incluido en el PCBN. El principal modo de falla en tales aplicaciones es el astillado, que se cree que surge de la combinación de desgaste químico (cráter) e impacto asociado con la naturaleza interrumpida de la pieza de trabajo.

- Los insertos de corte que comprenden el material de PCBN descrito pueden usarse para mecanizar acero templado, que tiene una dureza de al menos aproximadamente 52 HRC (escala de dureza Rockwell C). El material de PCBN descrito puede tener una buena combinación de resistencia al desgaste químico, alta tenacidad y alta resistencia.

Ciertos términos y conceptos, tal como se usan en este documento, se explican brevemente a continuación.

- Como se usa en este documento, un modo de una distribución es un valor máximo local, que ocurre con más frecuencia en los datos que otros valores dentro de un rango que incluye el modo. Visualmente, un modo en un gráfico de distribución de tamaño será evidente como un pico. Por ejemplo, en una distribución monomodal, sólo es evidente un pico y no hay máximos locales, o sólo otros picos muy menores e insustanciales; en una distribución bimodal, hay dos y solo dos picos evidentes, uno de los cuales puede ser un máximo global y el otro puede ser un máximo local, o ambos pueden ser sustancialmente iguales en frecuencia. En general, las distribuciones multimodales comprenden al menos dos modos.

- Como se usa en este documento, la distribución de ECD de una pluralidad de granos sueltos, ilimitados y no aglomerados se puede medir por medio de difracción láser, en la que los granos están dispuestos aleatoriamente en el camino de la luz incidente y se mide el patrón de difracción que surge de la difracción de la luz por los granos. El patrón de difracción puede interpretarse matemáticamente como si hubiera sido generado por una pluralidad de granos esféricos, cuya distribución de diámetro se calcula y se informa en términos de ECD. Los aspectos de una distribución de tamaño de grano pueden expresarse en términos de diversas propiedades estadísticas utilizando diversos términos y símbolos. Ejemplos particulares de tales términos incluyen media, mediana y modo. La distribución de tamaño puede considerarse como un conjunto de valores D_i correspondientes a una serie de canales de tamaño respectivos, en el que cada D_i es el valor ECD medio geométrico correspondiente al canal i respectivo, siendo un número entero en el rango de 1 al número n de canales utilizados.

Los valores medios obtenidos por medio de procedimientos de difracción láser pueden expresarse más fácilmente sobre la base de una distribución de volúmenes de grano, el volumen medio puede representarse como $D[4,3]$ según una fórmula matemática bien conocida. El resultado se puede convertir en una distribución del área superficial, cuya media es $D[3,2]$ según una fórmula matemática conocida. A menos que se indique lo contrario, los valores medios de

las distribuciones de tamaño como se utilizan en la presente divulgación se refieren a la media $D[4,3]$ basada en el volumen. El valor mediano $D50$ de una distribución de tamaño es el valor que divide la pluralidad de granos en dos poblaciones iguales, una que consta de granos que tienen un tamaño de ECD superior al valor y la otra mitad que tiene un tamaño de ECD como máximo. El modo de una distribución de tamaño es el valor correspondiente a la frecuencia más alta de granos, que se puede visualizar como el pico de la distribución (las distribuciones pueden incluir más de una frecuencia máxima local y se puede decir que son multimodales). Se pueden proporcionar diversos otros valores $d(y)$, que expresan el tamaño por debajo del cual una fracción y de la pluralidad de granos reside en la distribución. Por ejemplo, $d(0,9)$ se refiere al tamaño de ECD por debajo del cual reside el 90 por ciento de los granos, $d(0,5)$ se refiere al tamaño de ECD por debajo del cual reside el 50% de los granos y $d(0,1)$ se refiere al tamaño de ECD por debajo del cual reside el 10 por ciento de los granos.

REIVINDICACIONES

1. Material de PCBN consistente en granos de cBN dispersos en una matriz, estando el contenido de granos de cBN en el rango del 35 al 70 por ciento en volumen del material de PCBN; comprendiendo la matriz al menos una clase de compuesto químico que incluye aluminio (Al) y al menos una clase de compuesto químico que incluye titanio (Ti); una pluralidad de superficies de grano de cBN que son colindantes con una superficie sustancialmente plana del material de PCBN; en el que la distribución de tamaño de los granos de cBN es tal que al menos el 50 por ciento del área circular equivalente total (ECA) proviene de longitudes de intersección de cBN de hasta 5 micrómetros; y al menos el 20 por ciento del ECA total proviene de longitudes de intersección de cBN mayores de 5 micrómetros.
2. Material de PCBN como se reivindica en la reivindicación 1, en el que la matriz comprende uno o más de carbonitruro de titanio, carburo de titanio o nitruro de titanio.
3. Material de PCBN como se reivindica en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la matriz comprende nitruro de aluminio y al menos un compuesto de boruro de aluminio.
4. Material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz comprende carbonitruro de titanio y nitruro de aluminio, en el que el contenido combinado de carbonitruro de titanio y nitruro de aluminio es al menos el 80 por ciento en masa de la matriz.
5. Material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz comprende compuestos de carburo, carbonitruro o nitruro de niobio, tántalo, vanadio o zirconio.
6. Material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz contiene granos de carburo de tungsteno, siendo el contenido de granos de carburo de tungsteno superior al 3 por ciento en masa del material de PCBN.
7. Material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz comprende material policristalino que tiene un tamaño de grano medio de al menos 50 nanómetros (nm) y como máximo 1.000 nanómetros (nm).
8. Un inserto para una herramienta de corte que comprende material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, configurado de manera que el material de PCBN sea capaz de proporcionar un borde de corte en uso.
9. Un procedimiento para su uso en un inserto como se reivindica en la reivindicación 8, incluyendo el procedimiento el uso del inserto para cortar acero que tiene una dureza Rockwell C de al menos 52 HRC.
10. Un procedimiento de fabricación de un material de PCBN como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, incluyendo el procedimiento proporcionar una agregación de cBN que comprende una pluralidad de granos de cBN que tienen una distribución de frecuencia de masa con respecto al diámetro del círculo equivalente de grano (ECD), teniendo la distribución de frecuencia un primer modo y un segundo modo, ocurriendo el primer modo un ECD mayor de 0 micrómetros y como máximo 3 micrómetros, y ocurriendo el segundo modo mayor de 3 micrómetros; en el que los granos de cBN que tienen un ECD de más de 0 micrómetros hasta un máximo de 3 micrómetros representan al menos el 30 por ciento de la agregación de cBN, y los granos de cBN que tienen un ECD de más de 3 micrómetros representan al menos el 20 por ciento de la masa del agregación de cBN; combinar la agregación de cBN con una fuente de aluminio (Al) y una fuente de titanio (Ti), o una fuente de Al y Ti, para proporcionar una agregación combinada; formar un cuerpo de presinterización que comprende la agregación mezclada y someter el cuerpo de presinterización a una presión suficientemente alta y a una temperatura suficientemente alta para proporcionar material de PCBN que consiste en granos de cBN dispersos en una matriz sinterizada que comprende al menos una clase de compuesto químico que incluye aluminio (Al) y al menos una clase de compuesto químico que incluye titanio (Ti); en el que la masa de los granos de cBN en la agregación mezclada es suficiente para que el contenido de granos de cBN en el material de PCBN esté en el rango de 35 a 70 por ciento en volumen del material de PCBN.
11. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 10, que incluye introducir suficiente material de carburo de metal en la agregación mezclada de modo que el contenido de granos de carburo de metal en el material de PCBN sea superior al 3 por ciento en masa.
12. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 10 u 11, en el que el segundo modo ocurre a un ECD de como máximo 20 micrómetros.
13. Un procedimiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que la fuente de Al está en forma de polvo.
14. Un procedimiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la fuente de Ti está en forma de polvo.
15. Un procedimiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, que incluye proporcionar una primera agregación de cBN y una segunda agregación de cBN, comprendiendo cada una de la primera y la segunda

agregaciones de cBN una pluralidad respectiva de granos de cBN; siendo el ECD medio volumétrico ($D[4,3]$) de la primera agregación de cBN mayor que 0 y como máximo 3 micrómetros, y siendo el ECD medio volumétrico de la segunda agregación de cBN mayor que 3 micrómetros.

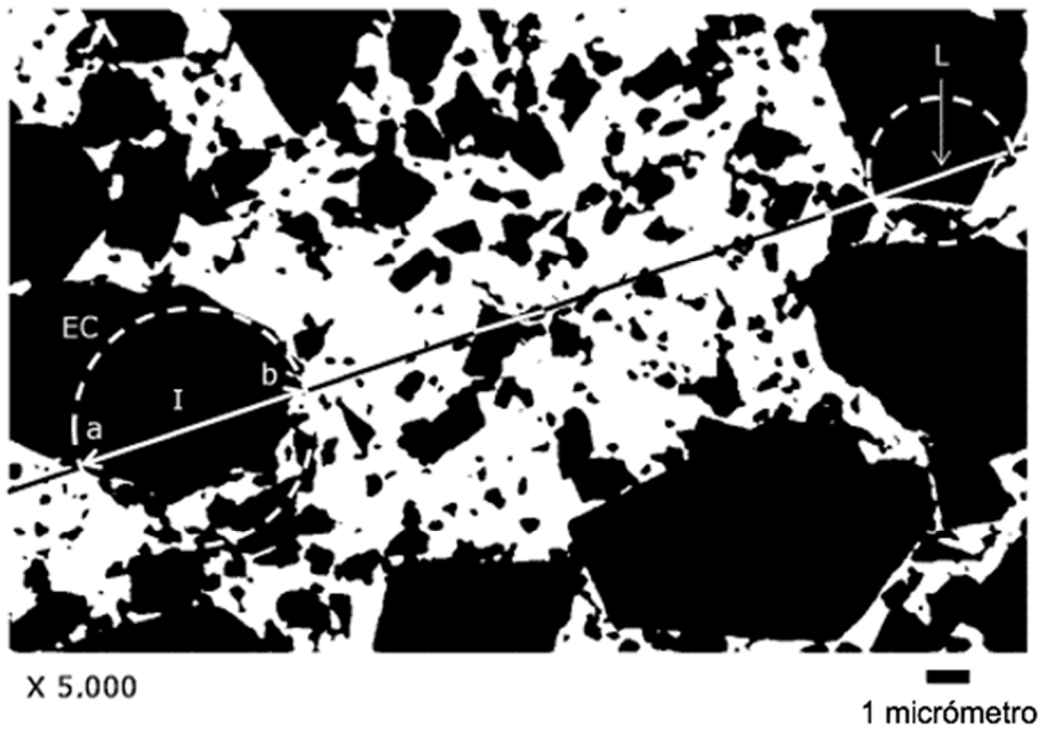


Fig. 1

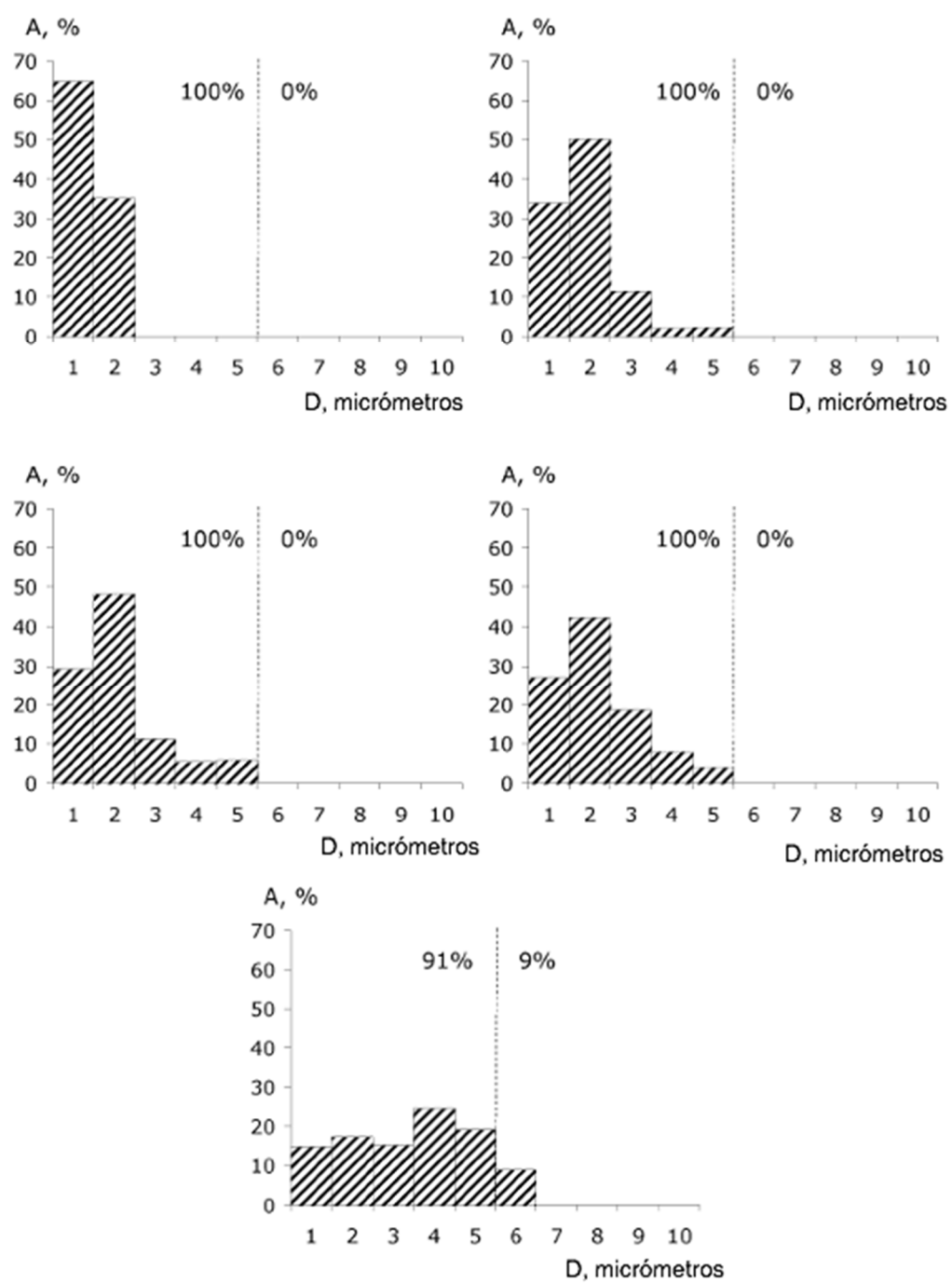


Fig. 2A

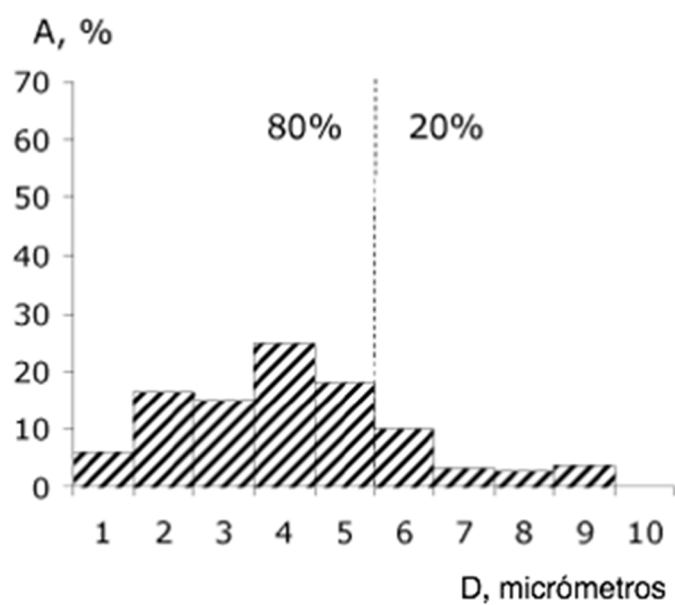


Fig. 2B

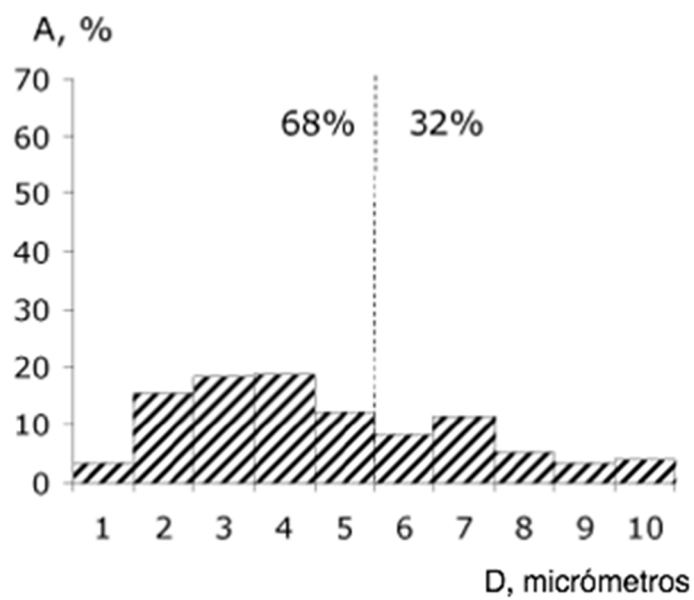


Fig. 2C

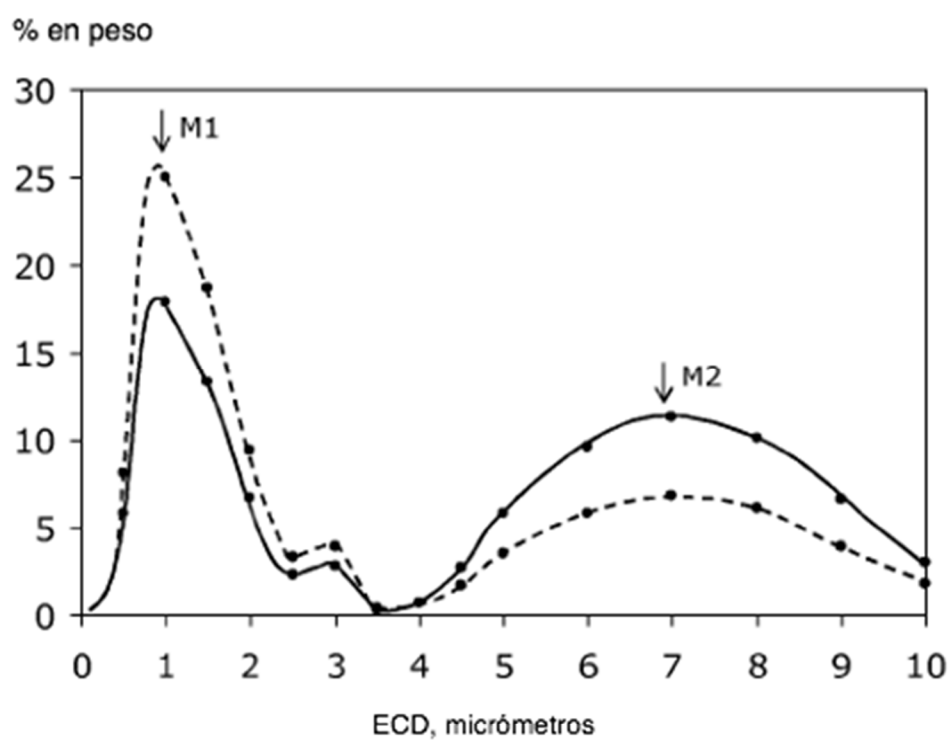


Fig. 3

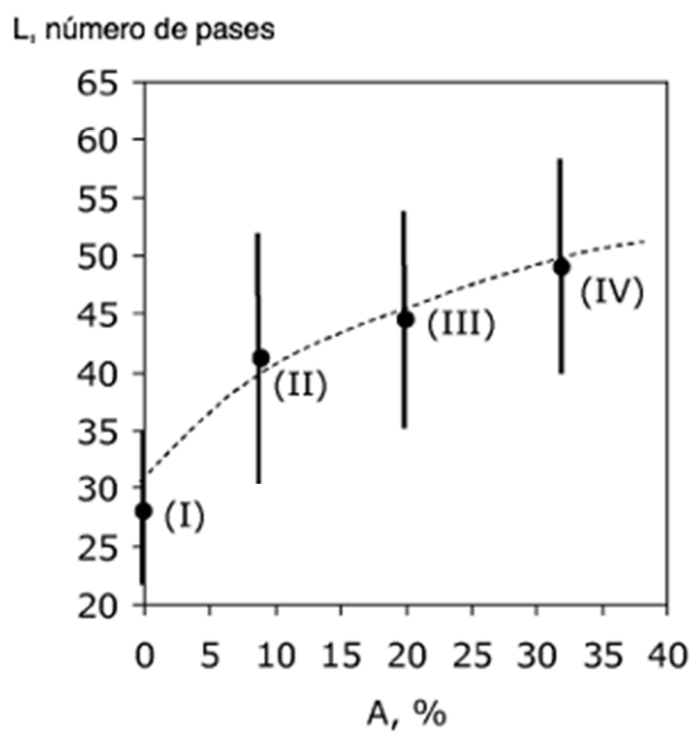


Fig. 4