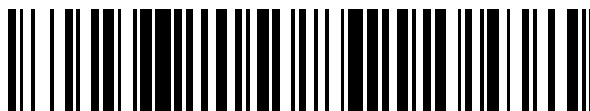


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 858 096**

51 Int. Cl.:

C22C 29/08 (2006.01)
B22F 5/00 (2006.01)
B22F 9/04 (2006.01)
B22F 9/02 (2006.01)
B22F 3/15 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2017** **PCT/EP2017/074193**
87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2018** **WO18060125**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2017** **E 17777852 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2021** **EP 3519371**

54 Título: **Una pieza de inserción de perforadora de roca**

30 Prioridad:

28.09.2016 EP 16191046

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.09.2021

73 Titular/es:

SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB
(100.0%)
811 81 Sandviken, SE

72 Inventor/es:

MÅRTENSSON, MALIN;
ARVANITIDIS, IOANNIS y
TURBA, KRYSTOF

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 858 096 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

Una pieza de inserción de perforadora de roca

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a una pieza de inserción de perforadora de roca que comprende un cuerpo hecho de un carburo cementado basado en WC-Co en donde hay un gradiente de dureza significativo entre la superficie y el volumen del cuerpo de carburo cementado.

Antecedentes de la invención

- 10 La perforación de roca es un área técnica en la que las piezas de inserción que se usan con el fin de perforar en la roca se someten tanto a condiciones corrosivas severas como a impactos repetidos debido a la naturaleza inherente de la perforación. Diferentes técnicas de perforación darán como resultado diferentes cargas de impacto sobre las piezas de inserción. Se encuentran condiciones de impacto particularmente severas en aplicaciones tales como aquellas en las que las piezas de inserción de perforadora de roca se montan en un cuerpo de barrena de perforadora de roca de un dispositivo de martillo en cabeza (TH, por sus siglas en inglés), un dispositivo de perforación de fondo de pozo (DTH, por sus siglas en inglés) o un dispositivo de perforación rotatorio.

- 15 Las condiciones a las que se someten las piezas de inserción de perforadora de roca durante la perforación de roca también requieren que las piezas de inserción de perforadora de roca tengan una conductividad térmica predeterminada para evitar que alcancen una temperatura demasiado alta.

- 20 Tradicionalmente, las piezas de inserción de perforadora de roca pueden consistir en un cuerpo hecho de carburo cementado que comprende constituyentes duros de carburo de wolframio (WC) en una fase de aglutinante que comprende cobalto (Co).

La presente invención surge a partir de investigaciones de los efectos de adiciones de cromo a los componentes adicionales que forman el carburo cementado, antes de la compactación y sinterización del material compacto. Por tanto, el carburo cementado de la pieza de inserción de perforadora de roca contiene cromo en su fase de aglutinante.

- 25 El documento EP1697551 divulga piezas de inserción de corte de carburo cementado que tienen una parte de superficie que contiene Cr. El documento US2008/075621 divulga un método para producir una aleación dura de metal que contiene un aditivo inhibidor del crecimiento y aplicar una dispersión a la superficie del polvo para establecer un gradiente de concentración. El documento EP2036997 divulga herramientas de corte de carburo cementado que tienen una relación Cr/Co de 0,08 a 0,12.

El objeto de la invención

- 30 Es un objeto de la presente invención presentar una pieza de inserción de perforadora de roca que está mejorada en comparación con piezas de inserción de la técnica anterior hechas de carburo cementado basado en WC-Co en el sentido de que tienen una resistencia a la corrosión mejorada que reduce el desgaste en condiciones de perforación en húmedo. Todavía, el carburo cementado debe tener una dureza y ductilidad aceptables para resistir la carga de impacto repetida a la que se someterá durante el uso. Dicho de otro modo, no debe ser demasiado frágil. Además, es un objeto presentar una pieza de inserción de perforadora de roca tanto con una resistencia al desgaste aumentada como con una tenacidad al impacto aumentada, lo que reduce los fallos por carga de flexión y daños tempranos.

Definiciones

Por el término "volumen" en el presente documento quiere decirse el carburo cementado de la parte más interior (centro) de la pieza de inserción de perforadora de roca.

Sumario de la invención

- 40 El objeto de la invención se logra por medio de una pieza de inserción de perforadora de roca hecha de carburo cementado que comprende constituyentes duros de carburo de wolframio (WC) en una fase de aglutinante que comprende Co, en donde el carburo cementado comprende 4-18% en masa de Co y siendo el resto WC e impurezas inevitables, caracterizada porque dicho carburo cementado también comprende Cr en una cantidad tal que la relación en masa Cr/Co es 0,04-0,19 y, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad en cualquier punto de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza mínima del volumen de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 40 HV3, y en donde el valor medio del tamaño de grano de WC del carburo cementado medido usando un método Jeffries definido en la presente descripción es por encima de 1,5 μm pero menor que 18 μm .

- 50 La pieza de inserción de perforadora de roca de la presente invención se produce mediante un proceso en el que un polvo que comprende los elementos del carburo cementado y se muele se compacta en un material compacto que luego se sinteriza. Se realiza generalmente una etapa de rectificado para obtener la dimensión precisa de la pieza de inserción de perforadora. Una pieza de inserción de perforadora de la presente invención tiene generalmente una pieza de base cilíndrica y una superior redondeada que puede ser hemisférica, cónica o asimétrica. Típicamente, la

superficie curvada de la pieza de base cilíndrica se somete a rectificación para obtener el diámetro preciso deseado, mientras que las superficies de la pieza superior y la pieza de base circular se mantienen en su estado sinterizado. La pieza de inserción de perforadora se somete entonces a un tratamiento posterior que introduce altos niveles de esfuerzos de compresión en la pieza de inserción, tales como un proceso especial de colisión por oscilación de alta energía.

Se ha descubierto sorprendentemente que los efectos combinados de la inducción de esfuerzos de compresión y el endurecimiento de aglutinante son particularmente intensos para piezas de inserción que contienen cromo tanto durante el tratamiento previo de aplicación en el proceso de colisión por oscilación a alta energía como también durante la propia aplicación de perforación. Por tanto, las piezas de inserción de perforadora de roca basadas en un carburo cementado que contiene cromo de la presente invención proporcionarán un endurecimiento superficial más intenso durante la perforación real que las piezas de inserción de perforadora de roca de carburo cementado que no contienen cromo.

El resultado es desgaste reducido y resistencia aumentada a la rotura de la pieza de inserción durante el uso de la misma. Además, la adición de Cr da como resultado una mejora de la resistencia a la corrosión de la fase de aglutinante con Co, lo que reduce el desgaste en condiciones de perforación en húmedo.

Si la relación en masa Cr/Co es demasiado baja, los efectos positivos mencionados del Cr serán demasiado pequeños. Si, por otro lado, la relación en masa Cr/Co es demasiado alta, habrá una formación de carburos de cromo en los que está disuelto cobalto, por lo que se reduce significativamente la cantidad de fase de aglutinante y el carburo cementado se vuelve demasiado frágil.

Se elige el tamaño de grano de WC para adaptarse a las propiedades finales deseadas del carburo cementado en términos de, por ejemplo, conductividad térmica y la ausencia de fragilidad del carburo cementado. Según la presente invención, el tamaño de grano medio de WC es superior a 1,5 μm , o superior a 1,75 μm , o superior a 2,0 μm . Si el tamaño de grano de WC es demasiado grande, el material se vuelve difícil de sinterizar. Por tanto, de acuerdo con la presente invención, el tamaño de grano medio de WC es menor que 18 μm , o menor que 15 μm , o menor que 10 μm , o menor que 5 μm . El tamaño de grano medio de WC se determina con el método como se describe en la sección de Ejemplos en el presente documento.

En una realización, el carburo cementado comprende 4,5-15% en masa de Co, o 5-12% en masa de Co.

Según una realización preferida, la relación en masa Cr/Co es 0,075-0,15.

Según aún una realización preferida, la relación en masa Cr/Co es 0,085 a 0,15.

Según aún otra realización preferida, la relación en masa Cr/Co es 0,085 a 0,12.

Aunque el Cr está presente en gran medida en la fase de aglutinante disuelto en cobalto, puede quedar en el carburo cementado cierta cantidad de carburos de cromo no disueltos, habitualmente añadidos como Cr_3C_2 en el proceso de producción. Puede permitirse en el carburo cementado hasta el 3% en masa, preferiblemente hasta el 2% en masa, más preferiblemente hasta el 1% en masa, de carburos de cromo (como carburos añadidos, o Cr_3C_2). Esto significa que en una realización, el carburo cementado contiene hasta el 3% en masa, preferiblemente hasta el 2% en masa, más preferiblemente hasta el 1% en masa, de carburos de cromo (como carburos añadidos, o Cr_3C_2). Si están presentes, el tamaño de grano medio de los carburos de cromo (como carburos añadidos, o Cr_3C_2) es preferiblemente inferior a 1 μm .

En una realización, todos los carburos de cromo añadidos, o Cr_3C_2 , se disuelven en cobalto, y el carburo cementado sinterizado está esencialmente libre de carburos de cromo no disueltos (como carburos añadidos, o Cr_3C_2). Preferiblemente, para evitar la presencia de tales carburos de cromo, la relación Cr/Co debería ser lo suficientemente baja como para garantizar que el contenido máximo de cromo no supere el límite de solubilidad de cromo en cobalto a 1000°C.

Para evitar la generación de carburo de cromo o grafito en la fase de aglutinante, la cantidad de carbono añadido debería estar a un nivel suficientemente bajo.

Preferiblemente, el carburo cementado sinterizado está libre de cualquier grafito y también está libre de cualquier fase η .

Según aún otra realización, está presente M_7C_3 en el carburo cementado. En este caso, M es una combinación de Cr, Co y W, es decir, $(\text{Cr}, \text{Co}, \text{W})_7\text{C}_3$. La solubilidad de Co puede llegar a ser de hasta el 38% at. del contenido metálico en el carburo M_7C_3 . El resto exacto de Cr:Co:W se determina mediante el contenido total de carbono del carburo cementado. La relación Cr/ M_7C_3 (Cr como % en peso y M_7C_3 como % en vol.) en el carburo cementado es adecuadamente igual o superior a 0,05 o igual o superior a 0,1, o igual o superior a 0,2, o igual o superior a 0,3, o igual o superior a 0,4. La relación Cr/ M_7C_3 (Cr como % en peso y M_7C_3 como % en vol.) en el carburo cementado es adecuadamente igual a o menor que 0,5, o igual a o menor que 0,4. El contenido de M_7C_3 se define como % en vol. puesto que así es como se mide en la práctica. Sorprendentemente, no pueden observarse los efectos negativos esperados en la perforación de roca por la presencia de M_7C_3 . Tales efectos negativos en la perforación de roca

habrían sido fragilidad del carburo cementado debido al carburo adicional y también tenacidad reducida debido a la disminución del contenido de fase de aglutinante (Co) cuando se forma M_7C_3 . Por tanto, el intervalo aceptable de contenido de carbono durante la producción de carburo cementado puede ser más amplio puesto que puede aceptarse M_7C_3 . Esto es una gran ventaja de producción.

- 5 Las piezas de inserción de perforadora de roca se someten a intensos impactos durante su uso y de manera tradicional se considera que es mejor (más tenaz) una pieza de inserción de perforadora de roca usada que una nueva, sin usar puesto que han tenido lugar endurecimiento por deformación y acumulación de esfuerzos de compresión en y cerca de la superficie de una pieza de inserción usada que ha estado activa en la perforación de roca. Por tanto, se reduce el riesgo de fallo de la barrena de perforación para una pieza de inserción usada en comparación con una nueva. La
- 10 presente invención proporciona una pieza de inserción de perforadora de roca que ya desde el principio, como nueva pieza de inserción, presenta una gran diferencia de dureza entre la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y su interior, y la pieza de inserción de perforadora de roca tiene una dureza superficial más similar a la de una pieza de inserción usada. Por tanto, una pieza de inserción de perforadora de roca según la presente invención presenta un menor riesgo de fallo y daños tempranos.
- 15 Además, la gran diferencia de dureza entre la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y su interior está presente por toda la superficie y, por tanto, también reducirá el riesgo de otros tipos de fallos durante el manejo.

En una realización, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad en cualquier punto de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza mínima del volumen de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 50 HV3, o al menos 60 HV3, o al menos 70 HV3, o al menos 80 HV3, o al menos 90 HV3.
- 20 El motivo para usar el valor de dureza a 0,3 mm por debajo de la superficie es que con el método de indentación Vickers usado, tal como se describe en el ejemplo 5, es difícil medir la dureza en la misma superficie.

De acuerdo con la presente invención, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad en cualquier punto 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 20 HV3, o al menos 25 HV3, o al menos
- 25 30 HV3, o al menos 35 HV3.

En una realización, hay de al menos una parte de la pieza de inserción de perforadora de roca en la que la diferencia entre la dureza a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza del volumen de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 90 HV3, o al menos 100 HV3, o al menos 120 HV3.
- 30 En una realización, hay al menos una parte de la pieza de inserción de perforadora de roca donde la diferencia entre la dureza a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca es al menos 30 HV3, o al menos 35 HV3, o al menos 40 HV3.
- 35 En una realización, la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza promedio a 1 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 30 HV3, o al menos 35 HV3, o al menos 40 HV3, o al menos 45 HV3. La dureza promedio a una determinada profundidad se define como el promedio de al menos 50 valores de dureza medidos a la determinada profundidad distribuidos de manera uniforme alrededor de la pieza de inserción.
- 40 En una realización, la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza promedio en el volumen de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 50 HV3, o al menos 60 HV3, o al menos 70 HV3, o al menos 80 HV3. La dureza promedio a 0,3 mm de profundidad se define como el promedio de al menos 50 valores de dureza medidos a la determinada profundidad distribuidos de manera uniforme alrededor de la pieza de inserción.
- 45 El contenido de fase de aglutinante del carburo cementado es sustancialmente igual en la totalidad de la pieza de inserción de perforadora de roca, es decir, no hay un gradiente sustancial del contenido de Co cuando se pasa de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca a su interior. Sin embargo, puede aparecer una ligera diferencia en el contenido de Co en la zona más superior entre la superficie y hacia abajo hasta una profundidad de 0,2 mm.
- 50 La pieza de inserción de perforadora de roca de la presente invención tiene una relación en masa Cr/Co en el volumen dentro del intervalo de 0,04-0,19.

La pieza de inserción de perforadora de roca de la presente invención que se ha sometido a un tratamiento posterior que introduce altos niveles de esfuerzos de compresión en la pieza de inserción, tal como el proceso de colisión por oscilación de alta energía, presenta una coercitividad magnética (Hc) aumentada en comparación con una sin tratar, y también un aumento de coercitividad (ΔH_c) significativamente mayor que cuando se aplica el tratamiento por
- 55 vibración convencional. Por ejemplo, pueden alcanzarse valores de ΔH_c de > 5% e incluso > 6% para un carburo cementado que contiene 6% en peso de Co y 0,6% en peso de Cr y > 10% para una calidad de carburo cementado

que contiene 11% en peso de Co y 1,1% en peso de Cr (véanse los ejemplos 4 y 5). Para el carburo cementado que contiene Cr usado en las piezas de inserción de perforadora de la invención, el aumento de ΔH_c se corresponde bien con el aumento de tenacidad al impacto, tal como se muestra adicionalmente en la Figura 16.

- 5 En una realización, la diferencia ΔH_{c21} en % entre la coercitividad magnética H_{c2} de la pieza de inserción de perforadora de roca de la invención y la coercitividad magnética H_{c1} de una parte interna tratada térmicamente de la pieza de inserción de perforadora de roca, es decir $((H_{c2} - H_{c1})/H_{c1}) \cdot 100$, dividido por el contenido de cobalto, es decir, $\Delta H_{c21}/Co$, es $>0,6$, o $\Delta H_{c21}/Co$ es $>0,75$, o $\Delta H_{c21}/Co$ es $>0,9$, con la coercitividad H_c en kA/m, ΔH_{c21} en % y el contenido de cobalto Co en % en peso.

La coercitividad magnética H_{c1} se determina según el siguiente procedimiento:

- 10 Se retira la zona superficial más exterior de una pieza de inserción de perforadora de roca (hasta una profundidad de aproximadamente 1 mm por debajo de la superficie original), usando un método adecuado tal como rectificado sin centros, mientras que se mantiene la forma original aproximada de la pieza de inserción. La pieza de inserción con la zona superficial retirada se somete entonces a recocido durante aproximadamente 2 h a aproximadamente 1100°C en una atmósfera inerte. Tras la etapa de recocido, se mide de nuevo la coercitividad magnética, obteniéndose así un valor de H_{c1} que puede considerarse el valor de coercitividad magnética reconstruido para el estado "sinterizado" del material.

- La pieza de inserción de perforadora de roca de la invención no debe ser propensa a fallo debido a problemas relacionados con la fragilidad. Por tanto, el carburo cementado de la pieza de inserción de perforadora de roca tiene adecuadamente una dureza del volumen no mayor que 1700 HV3, o no mayor que 1650 HV3, o no mayor que 1600 HV3.

La dureza de un carburo cementado depende del tamaño de grano de WC y del contenido de fase de aglutinante. El carburo cementado de la pieza de inserción de perforadora de roca tiene adecuadamente una dureza del volumen de al menos 800 HV3, o al menos 900 HV3, o al menos 1000 HV3.

- 25 Según una realización, las piezas de inserción de perforadora de roca según la invención se montan en un cuerpo de barrena de perforadora de roca de un dispositivo de martillo en cabeza (TH) o un dispositivo de perforación de fondo de pozo (DTH) o un dispositivo de perforación rotatorio o un dispositivo de disco de corte. El dispositivo de perforación rotatorio puede ser un dispositivo cortador rotatorio de petróleo y gas. La invención también se refiere a un dispositivo de perforadora de roca, en particular un dispositivo de martillo en cabeza, o un dispositivo de perforación de fondo de pozo, o un dispositivo de perforación rotatorio, o un dispositivo de disco de corte así como al uso de una pieza de inserción de perforadora de roca según la invención en tal dispositivo.

Breve descripción de los dibujos

Se presentarán ejemplos con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una representación esquemática de la geometría de una pieza de inserción de perforadora de roca usada en los ensayos.

- 35 La Figura 2 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca sin tratar donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto pero no contiene cromo (referencia A).

La Figura 3 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca sometida a agitación en tambor por vibración donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto pero no contiene cromo (referencia A).

- 40 La Figura 4 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto pero no contiene cromo (referencia A).

La Figura 5 muestra un mapa de HV3 ampliado de una parte de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto pero no contiene cromo (referencia A).

- 45 La Figura 6 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca sin tratar cuando el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto y cromo (calidad A de Cr).

La Figura 7 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca sometida a agitación en tambor por vibración donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto y el 0,6% en peso de cromo (calidad A de Cr).

- 50 La Figura 8 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto y el 0,6% en peso de cromo (calidad A de Cr).

La Figura 9 muestra un mapa de HV3 ampliado de una parte de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 6% en peso de cobalto y el 0,6% en peso de cromo (calidad A de Cr).

5 La Figura 10 muestra curvas de perfil de HV3 para piezas de inserción para perforación de roca tratadas mediante colisión por oscilación de alta energía de la referencia A y calidad A de Cr.

La Figura 11 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca sin tratar donde el carburo cementado contiene el 11% en peso de cobalto y el 1,1% en peso de cromo (calidad C de Cr).

10 La Figura 12 muestra un mapa de HV3 de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 11% en peso de cobalto y el 1,1% en peso de cromo (calidad C de Cr).

La Figura 13 muestra un mapa de HV3 ampliado de una parte de una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía donde el carburo cementado contiene el 11% en peso de cobalto y el 1,1% en peso de cromo (calidad C de Cr).

15 La Figura 14 muestra una curva de perfil de HV3 para una pieza de inserción de perforadora de roca tratada mediante colisión por oscilación de alta energía de calidad C de Cr.

La Figura 15 muestra un dibujo esquemático de una configuración de ensayo con martillo de péndulo (véase el ejemplo 6).

La Figura 16 muestra un diagrama en el que se representa gráficamente el cambio de la relación de la coercitividad magnética con respecto al contenido de cobalto frente a la energía absorbida en la fractura en el ensayo con martillo de péndulo.

20 Ejemplos

Ejemplo 1, referencia, carburo cementado sin Cr

25 Se obtuvo un material con el 6,0% en peso de Co y el resto WC según procedimientos establecidos para carburo cementado. Se molieron polvos de WC, Co y W en un molino de bolas de 600 l junto con cuerpos de molienda de carburo cementado durante 13 horas en total. La molienda se llevó a cabo en condiciones en húmedo, usando etanol al 92%, con una adición del 2% en peso de polietilenglicol (PEG 8000) como aglutinante orgánico. Después de la molienda, se secó por pulverización la suspensión en atmósfera de N₂. Se produjeron cuerpos verdes mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando el proceso Sinter-HIP a una presión de argón de 55 bar a 1410°C durante 1 hora.

Este material se indica como referencia A.

30 En la tabla 1 se muestran detalles sobre el material sinterizado.

Ejemplo 2, carburo cementado con Cr

35 Se obtuvo un material con 6,0% en peso de Co, 0,6% en peso de Cr y el resto WC según procedimientos establecidos para carburo cementado. Se molieron polvos de 32,8 kg de WC, 2,2 kg de Co, 250 g de Cr₃C₂ y 719 g de W en un molino de bolas durante 13,5 horas en total. Antes de la molienda, el tamaño de grano del polvo de WC medido como FSSS era de 6,40 µm. Durante la molienda, se añadieron 55,8 g de C para alcanzar el contenido de carbono deseado. Se llevó a cabo la molienda en condiciones en húmedo, usando etanol, con una adición del 2% en peso de polietilenglicol (PEG 8000) como aglutinante orgánico (agente de prensado) y 120 kg de cilindros Cylpebs de WC-Co en un molino de 30 litros. Después de la molienda, se secó por pulverización la suspensión en atmósfera de N₂. Se produjeron cuerpos verdes mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando el proceso Sinter-HIP a una presión de Ar de 55 bar a 1410°C durante 1 hora.

40 Este material se indica como calidad A de Cr.

La composición después del sinterizado se proporciona en la tabla 1.

45 Usando SEM mediante un detector de electrones retrodispersados, se hallaron pequeñas cantidades de precipitaciones de M₇C₃ de tamaño nanométrico, normalmente en puntos triples entre límites de grano de WC y la fase de aglutinante y en tamaños de desde 100-700 nm.

Ejemplo 3, carburo cementado con Cr

50 Se obtuvo un material con 11,0% en peso de Co, 1,1% en peso de Cr y el resto WC según procedimientos establecidos para carburo cementado. Se molieron polvos de 37,7 kg de WC, 3,15 kg de Co, 358 g de Cr₃C₂ y 863 g de W en un molino de bolas durante 9 horas en total. Antes de la molienda, el tamaño de grano de WC medido como FSSS era de 15,0 µm. Durante la molienda, se añadieron 19,6 g de C para alcanzar el contenido de carbono deseado. Se llevó

a cabo la molienda en condiciones en húmedo, usando etanol, con una adición del 2% en peso de polietilenglicol (PEG 4000) como aglutinante orgánico y 120 kg de cilindros Cylpebs de WC-Co en un molino de 30 litros. Después de la molienda, se secó por pulverización la suspensión en atmósfera de N₂. Se produjeron cuerpos verdes mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando el proceso Sinter-HIP a una presión de Ar de 55 bar a 1410°C durante 1 hora.

Este material se indica como calidad C de Cr.

En la tabla 1 se proporcionan detalles sobre el material sinterizado.

Tabla 1. Detalles sobre materiales producidos según los ejemplos 1-3.

	Referencia	Calidades de Cr	
	Ref. A	A	C
Co (% en peso)	6,09	6,07	10,98
Cr (% en peso)	-	0,60	1,08
C (% en peso)	5,75	5,78	5,41
W (% en peso)	88,2	87,5	82,3
Hc (kA/m)	11,47	10,38	6,9
Magnetismo de saturación específico del peso (10 ⁻⁷ T*m ³ /kg)	110	97	152
Densidad (g/cm ³)	15,02	14,83	14,27
Porosidad	A00B00C00	A00B00C00	A00B00C00
HV3*	1462	1419	1157
K _{IC} **	11,0	11,1	nm

*Indentaciones Vickers usando una carga de 3 kg

** Tenacidad a la fractura de Palmqvist según la norma ISO/DIS 28079

Tamaños de grano de WC de muestras sinterizadas de los ejemplos 1-3

Se determinó el tamaño de grano medio de WC de los materiales sinterizados referencia A, calidad A de Cr y calidad C de Cr (ejemplos 1-3) a partir de micrografías de SEM que muestran secciones transversales representativas de los materiales. Se llevó a cabo la etapa final de la preparación de muestras mediante pulido con pasta de diamante de 1 µm sobre un paño suave, seguido por ataque químico con disolución de Murakami. Se obtuvieron micrografías de SEM usando el detector de electrones retrodispersados (BSE), a una tensión de aceleración de 15 kV y una distancia de trabajo de 10 mm. Los aumentos usados fueron 3000 x para los materiales referencia A y calidad A de Cr, y 2000 x para la calidad C de Cr.

Se evaluó el tamaño de grano medio de WC usando el método de Jeffries descrito a continuación, a partir de al menos dos micrografías diferentes para cada material. Entonces se calculó un valor promedio a partir de los valores de tamaño de grano medio obtenidos a partir de las micrografías individuales (para cada material, respectivamente). El procedimiento para la evaluación del tamaño de grano medio usando un método de Jeffries modificado fue el siguiente:

Se seleccionó un bastidor rectangular de tamaño adecuado dentro de la micrografía de SEM de modo que contuviese un mínimo de 300 granos de WC. Se cuentan manualmente los granos en el interior del bastidor y los que corta el bastidor, y se obtiene el tamaño de grano medio a partir de las ecuaciones (1-3):

$$M = \frac{L_{\text{escala mm}} \times 10^{-3}}{L_{\text{escala micro}} \times 10^{-6}} \quad (1)$$

% en vol. de WC =

$$100 \times \left(-1,308823529 \times \frac{\left(\frac{\% \text{ en peso de Co}}{100} - 1 \right)}{\left(\frac{\% \text{ en peso de Co}}{100} + 1,308823529 \right)} \right) \quad (2)$$

$$d = \frac{1500}{M} \times \sqrt{\frac{L_1 \times L_2 \times \% \text{ en vol. de WC}}{(n_1 + \frac{n_2}{2}) \times 100}} \quad (3)$$

donde:

d = tamaño de grano medio de WC (mm)

L_1, L_2 = longitud de los lados del bastidor (mm)

M = aumento

$L_{escala\ mm}$ = longitud medida de la barra de escala en la micrografía en mm

$L_{escala\ micro}$ = longitud real de la barra de escala con respecto al aumento ($\square m$)

n_1 = n.º de granos totalmente dentro del bastidor

5 n_2 = n.º de granos cortados por los límites del bastidor

% en peso de Co = contenido conocido de cobalto en % en peso.

Se usa la ecuación (2) para estimar la fracción de WC basándose en el contenido conocido de Co en el material. La ecuación (3) produce entonces el tamaño de grano medio de WC a partir de la relación del área de WC total en el bastidor con respecto al número de granos contenidos en el mismo. La ecuación (3) también contiene un factor de corrección que compensa el hecho de que en una sección 2D aleatoria, no todos los granos se seccionarán a través de su diámetro máximo.

10

La tabla 2 muestra los valores de tamaño de grano medio de WC obtenidos para los materiales según los ejemplos 1-3 con el procedimiento descrito anteriormente.

Tabla 2.

Material de muestra	Tamaño de grano medio de WC (μm) (método de Jeffries modificado)
Calidad A de referencia (según el ejemplo 1)	1,9
Calidad A de Cr (según el ejemplo 2)	2,4
Calidad C de Cr (según el ejemplo 3)	3,3

15

Ejemplo 4, tratamientos de piezas de inserción para perforación

Se prensaron piezas de inserción para barrena de perforadora y se sinterizaron según la descripción en los ejemplos 1 y 2, respectivamente. Las piezas de inserción tenían un tamaño de 10,0 mm de diámetro exterior (OD) y 16,6 mm de altura con un peso de aproximadamente 16,6 g cada una y que tenían una cúpula esférica ("borde de corte"). Se sometieron a rectificación las piezas de inserción en la parte negativa pero dejando la cúpula y la parte inferior en una condición sinterizada. Entonces se dividió el lote y se trataron algunas de las piezas de inserción usando una agitación en tambor por vibración convencional (indicado como "VT" en las figuras y las tablas) para eliminar bordes afilados creados después de la rectificación. El método de agitación en tambor por vibración también induce una baja cantidad de esfuerzos de compresión en la zona superficial. Esta agitación en tambor por vibración se llevó a cabo durante 1,5 o 3 h en un molino de vibración junto con un gran exceso (30 kg) de medios de agitación en tambor de metal duro de calidad de Sandvik 10HF con una dureza de alrededor de 1600 HV30 y 1 litro de agua.

20

25

Se trataron algunas de las piezas de inserción usando un método que puede describirse de la mejor manera como método de *colisión por oscilación de alta energía*, denominado más adelante en el presente documento el método E. El equipo usado es un agitador de pintura disponible comercialmente de marca comercial Corob™ Simple Shake 90 con una carga máxima de 40 kg y una frecuencia de agitación máxima de 65 Hz. El método E se basa en un movimiento de oscilación rápido de un recipiente cerrado lleno de piezas de inserción o una combinación de piezas de inserción y medios de agitación en tambor, en el que el recipiente se somete repetidamente a picos de aceleración normalmente de hasta 8,8 g a la frecuencia de agitación de 45 Hz, donde $g = 9,81\ m/s^2$. El movimiento de oscilación se produce principalmente a lo largo del eje z, es decir el eje vertical, con una amplitud de varios cm, y el movimiento simultáneo de menor intensidad a lo largo del eje y en el plano horizontal. Las piezas de inserción se ponen en movimiento por medio de impactos con las paredes del recipiente en movimiento y posteriores impactos con otras piezas de inserción y medios de agitación en tambor. La alta frecuencia de la inversa del vector de velocidad (es decir, cambios abruptos frecuentes en la dirección de movimiento) da como resultado un gran número de colisiones de piezas de inserción de alta energía por unidad de tiempo. Esta propiedad característica del método E hace que sea posible obtener el efecto deseado en las piezas de inserción tratadas ya después de tiempos de tratamiento muy cortos.

30

35

40

El programa usado para los tratamientos de piezas de inserción según el método E correspondía a una frecuencia de agitación de 45 Hz. Se colocaron 5 - 20 piezas de inserción para perforación de roca en un recipiente de plástico duro y termoestable con tapas dobles y dimensiones de 133 mm de altura y 122 mm de diámetro, junto con 3,0 kg de medios (gránulos de metal duro con una parte superior y una inferior esféricas y una parte negativa entremedias; altura total = 6,95 mm, siendo la altura de la parte negativa de 3,22 mm y el diámetro de la parte negativa = 6,67 mm, de calidad de Sandvik H10F y con un peso de cada gránulo de aproximadamente 3 g) y 1-2 dl de agua fría para enfriamiento. La altura de llenado en los recipientes era de aproximadamente 1/3 y no debe superar 1/2. Se sujetaron

45

automáticamente de uno a cuatro recipientes y se inició la agitación. La frecuencia usada era de 45 Hz y los tiempos de agitación fueron de 9, 17, 29 y 60 min, respectivamente. Para impedir la fusión y el calentamiento excesivo de los recipientes, tenía que realizarse un enfriamiento de los recipientes durante los tratamientos con los tiempos de agitación más largos (29 y 60 min).

5 *Mediciones de coercitividad magnética (Hc) (con la ref. A y la calidad A de Cr)*

Puede caracterizarse el efecto después del tratamiento de impacto usando diferentes métodos. El primer método aplicado es la medición no destructiva del cambio (aumento) en la coercitividad magnética (Hc) antes y después del tratamiento de impacto usando el equipo disponible comercialmente Koerzimat CS 1.096 de Foerster siguiendo la norma DIN IEC 50-221 (kA/m).

- 10 Se sometió una parte de las piezas de inserción a agitación en tambor por vibración (VT) durante 1,5 h antes del tratamiento E según las descripciones anteriores y algunas se sometieron al tratamiento E directamente siguiendo la etapa de rectificación de OD. Se sometieron a tratamiento E y VT tanto piezas de inserción de referencia (referencia A) y como piezas de inserción de Cr (calidad A de Cr) exactamente del mismo modo. Se facilitan los ajustes y parámetros usados en las mediciones de coercitividad en la tabla 3. Los resultados de las mediciones de coercitividad magnética (Hc) se incluyen en tablas 4 y 5.

Tabla 3. Parámetros y ajustes usados en las mediciones de coercitividad (Hc)

Parámetros y ajustes	
Factor K	20460 1/m
Tiempo de medición	3 s
Amplitud de magnetización	200 kA/m
Tiempo de magnetización	3 s
Amplitud de desmagnetización	100%
Pulso de magnetización	No
Polaridad	Positiva
Ambas posiciones	Sí
Sonda	exterior
Valor nominal	10 kA/m
Factor de forma	1
Límite de temperatura	5°C
Límite de intervención	2%
Límite de rechazo	5%
Valor nominal (Hr)	1 A/m
Límite de intervención (Hr)	0,05%
Límite de rechazo (Hr)	0,1%

Tabla 4. Referencia A

Tratamiento	Hc (kA/m)	ΔHc (%)	N.º de muestras
Sin tratar (OD rectificado)	11,45	0	54
VT 1,5 h	11,61	1,38	12
VT 3 h	11,61	1,38	10
VT+ 9 min de E	11,86	3,57	6
VT + 17 min de E	11,97	4,55	6
VT + 29 min de E	12,03	5,33	3
17 min de E	12,00	4,81	7
29 min de E	12,13	5,91	10
60 min de E	12,22	6,72	10

Tabla 5. Calidad A de Cr

Tratamiento	Hc (kA/m)	ΔHc (%)	N.º de muestras
Sin tratar (OD rectificado)	10,33	0	54
VT 1,5 h	10,47	1,4	12
VT 3 h	10,71	1,4	10
VT+ 9 min de E	10,76	3,8	6
VT + 17 min de E	10,75	4,1	7
VT + 29 min de E	10,89	5,5	3
17 min de E	10,75	4,1	7
29 min de E	10,87	5,3	10
60 min de E	10,97	6,2	10

En las tablas 4 y 5: se calcula ΔHc en porcentaje como:

$$\Delta Hc = ((Hc \text{ promedio (tratado)} - Hc \text{ promedio (OD rectificado)}) / Hc \text{ promedio (OD rectificado)}) * 100.$$

- 5 Para procesos de agitación en tambor convencionales, el aumento de Hc para una calidad con el 6% de Co es normalmente de entre el 0,5 – 1,5% en ΔHc e incluso con un tiempo de proceso más prologado no puede lograrse un aumento adicional tal como se observa en las tablas 3 y 4, donde el aumento de Hc es el mismo después de 1,5 h y después de 3 h de agitación en tambor por vibración. Para lograr esfuerzos inducidos incluso mayores, es necesaria más energía y los procesos de agitación en tambor de alta energía proporcionan un aumento de Hc de aproximadamente el 4% pero es difícil aumentar adicionalmente la energía sin dañar las piezas de inserción; sin embargo, con el método E, se han alcanzado valores de ΔHc de > 5% e incluso > 6% para una calidad con el 6% de Co sin dañar las piezas de inserción y con tiempos de proceso relativamente cortos.

Mediciones de dureza (en la ref. A y la calidad A de Cr)

- 15 Alternativamente, el endurecimiento inducido mediante el tratamiento de superficie de alta energía puede caracterizarse realizando mapeo de dureza Vickers. Se seccionan las piezas de inserción a lo largo del eje longitudinal y se pulen usando procedimientos convencionales. Entonces se distribuyen sistemáticamente indentaciones de Vickers a una carga de 3 kg por la sección pulida. Para una descripción más detallada del método aplicado, véase a continuación:

- 20 Se realizaron las mediciones de dureza usando un durómetro programable, KB30S de KB Prüftechnik GmbH calibrado frente a bloques de ensayo de HV3 emitidos por Euro Products Calibration Laboratory, R.U. Se mide la dureza según la norma ISO EN6507. HV3 significa una carga de 3 kg, HV5 significa una carga de 5 kg, etc...

Se realizaron las mediciones de HV3 del siguiente modo:

- Barrido del borde de la muestra.
- Programación del durómetro para producir indentaciones a distancias definidas hasta el borde.
- 25 • Programación de las distancias entre las indentaciones a 0,3 mm o más.
- Indentación con una carga de 3 kg en todas las coordenadas programadas.
- El ordenador mueve la platina hasta cada coordenada con indentación y hace funcionar una luz de ajuste automático, enfoque automático y luego medición automática del tamaño de cada indentación.
- 30 • El usuario inspecciona todas las fotografías de las indentaciones para el enfoque y otros asuntos que perturban el resultado.

Puede hallarse la distancia real en las figuras midiendo la distancia entre los símbolos “ $\diamond$ ” que marcan la ubicación real de la indentación de HV3 en la figura y luego correlacionándola con la escala en mm facilitada en los ejes X e Y.

Las figuras 2-9 muestran mapas de dureza (mapas de HV3) de los resultados de las indentaciones producidas para la referencia A y la calidad A de Cr.

- 35 Las tablas 6-7 muestran los diez valores mínimos medidos de dureza y los diez valores máximos medidos de dureza de aproximadamente 390 valores de dureza medidos en cada muestra examinada. Se midieron algunas muestras con aproximadamente 600 indentaciones.

Esto muestra que hay presentes algunas zonas superficiales muy duras.

Tabla 6

Referencia A 29 min de E		Calidad A de Cr 29 min de E	
HV3min ¹	HV3max ²	HV3min ¹	HV3max ²
1412	1513	1384	1501
1415	1516	1384	1501
1415	1516	1384	1501
1421	1523	1387	1501
1421	1523	1387	1501
1423	1523	1390	1504
1423	1526	1390	1504
1423	1529	1393	1510
1423	1532	1393	1513
1423	1555	1393	1516

¹ Medido en el volumen (a 4,8 mm por debajo de la superficie)

² Medido a 0,3 mm por debajo de la superficie

5 Tabla 7

Referencia A 60 de E		Calidad A de Cr 60 min de E	
HV3min ¹	HV3max ²	HV3min ¹	HV3max ²
1426	1535	1379	1507
1426	1539	1390	1510
1429	1539	1393	1513
1432	1539	1395	1513
1432	1542	1395	1513
1432	1545	1398	1516
1435	1551	1398	1519
1435	1551	1398	1519
1435	1555	1398	1523
1435	1565	1401	1542

¹ Medido en el volumen (a 4,8 mm por debajo de la superficie)

² Medido a 0,3 mm por debajo de la superficie

También se calculó la dureza promedio por contorno para la referencia A y la calidad A de Cr después de tratamiento con el método E durante 29 minutos y luego se representó gráficamente en función de la profundidad por debajo de la ubicación de cada contorno, véanse la tabla 8 y figura 10.

10

Tabla 8. La dureza promedio por contorno (todos los valores de HV a una distancia dada por debajo de superficie).

Profundidad por debajo de la superficie	HV3 (0,3 mm) -HV3 (4,8 mm)	HV3 (0,3 mm) -HV3 (1,2 mm)	Promedio de HV3		
			0,3 mm	1,2 mm	4,8 mm (volumen)
Referencia A 29 min	51	27	1494	1467	1443
Referencia A 60 min	60	40	1516	1476	1456
Calidad A de Cr 29 min	65	42	1473	1431	1408
Calidad A de Cr 60 min	66	45	1479	1434	1413

Se observa que el método de colisión por oscilación de alta energía usado en el presente documento requiere tiempos muy cortos de desde < 10 min hasta 60 min para crear altos esfuerzos de compresión y endurecimiento del aglutinante en la zona superficial. Un tratamiento de este tipo aumenta significativamente la resistencia al fallo temprano debido a altas fuerzas de impacto pero puesto que se ubica y distribuye de manera homogénea por la superficie, también se impedirán otros tipos de fallos durante el manejo. El método también proporciona un aumento significativo de la dureza (HV3) por la totalidad de la superficie y unos pocos mm hacia dentro de la pieza de inserción en comparación con la dureza del volumen (=dureza sinterizada inicial) y el aumento de dureza y resistencia al fallo ante impactos son mayores para la calidad de Cr que para la calidad de WC-Co de referencia convencional.

También se observa que el aumento de dureza de la zona superficial ya es significativo después de un tratamiento de 17 min pero el aumento de endurecimiento superficial para una calidad que contiene Cr es significativamente mayor cuando se continúa con el tratamiento incluso más tiempo.

Ejemplo 5, tratamientos de piezas de inserción para perforación (calidad C de Cr)

Se prensaron piezas de inserción para barrena de perforación y se sinterizaron según la descripción en el ejemplo 3. Las piezas de inserción tenían un tamaño de 10,0 mm de diámetro exterior (OD) y 16,6 mm de altura con un peso de aproximadamente 16,6 g cada una y que tenían una cúpula esférica ("borde de corte"). Se sometieron a rectificación las piezas de inserción en la parte negativa pero dejando la cúpula (borde de corte) y la parte inferior en una condición sinterizada. Entonces se dividió el lote y se trataron algunas de las piezas de inserción usando una agitación en tambor por vibración convencional (indicado como "VT" en las figuras y las tablas) para eliminar bordes afilados creados después del rectificación. El método de agitación en tambor por vibración también induce una baja cantidad de esfuerzos de compresión en la zona superficial. Esta agitación en tambor por vibración se llevó a cabo durante 1,5 o 3 h en un molino de vibración junto con un gran exceso (30 kg) de medios de agitación en tambor de metal duro de calidad de Sandvik 10HF con una dureza de alrededor de 1600 HV30 y 1 litro de agua.

Para la calidad C de Cr, se midió la coercitividad magnética (Hc) en 25 piezas de inserción, luego se sometieron 20 de las mismas al método de tratamiento E según la descripción en el ejemplo 5. El tiempo de tratamiento E fue de 29 min.

Resultados de Hc para la calidad C de Cr

Se midió la coercitividad magnética en cada pieza de inserción y se calculó el promedio de Hc así como el aumento de Hc en % frente a las piezas de inserción sin tratar. Se muestran los resultados en la tabla 9.

Tabla 9. Calidad C de Cr

Tratamiento	Hc (kA/m)	ΔHc (%)	N.º de muestras
Sin tratar (OD rectificado)	6,92	0	25
VT 1,5 h	7,05	1,97	5
29 min de E	7,65	10,7	10

Los resultados muestran que para la calidad C de Cr (el 11% en peso de Co y el 1,1% en peso de Cr) el aumento de coercitividad magnética (Hc) es muy alto alrededor de 11% ya después de 29 min de tratamiento E.

Mediciones de dureza en la calidad C de Cr

También se midió la dureza tanto en una muestra de calidad C de Cr no tratada como en una tratada realizando indentaciones de Vickers tal como se describe en el ejemplo 4.

Además de la medición de Hc, se llevó a cabo mapeo de dureza en una pieza de inserción seccionada tras 29 minutos de tratamiento E, usando el mismo procedimiento descrito en el ejemplo 4. Se muestran los mapas de dureza obtenidos en las figuras 11-13. Las figuras muestran dureza superficial aumentada en HV3 de 70 en comparación con la dureza del volumen. Los resultados concuerdan con el aumento medido particularmente alto de Hc.

La tabla 10 muestra los diez valores mínimos medidos de dureza y los diez valores máximos medidos de dureza de aproximadamente 390 valores de dureza medidos en cada muestra examinada. Esto muestra que hay presentes algunas zonas superficiales muy duras.

Tabla 10. Calidad C de Cr,

Calidad C de Cr, 29 min de E	
HV3min ¹	HV3max ²
1122	1238
1122	1238
1124	1238
1126	1241
1126	1243
1126	1248
1126	1250
1128	1252
1128	1252
1130	1259

¹ Medido en el volumen (a 4,8 mm por debajo de la superficie)

² Medido a 0,3 mm por debajo de la superficie

5 La tabla 11 muestra la dureza promedio calculada en el volumen, a 4,8 mm por debajo de la superficie) y a 0,3 mm por debajo de la superficie, respectivamente.

Tabla 11. Calidad C de Cr, dureza promedio por contorno (todos los valores de HV a una distancia dada por debajo de superficie)

	HV3 (0,3 mm) -HV3 (4,8 mm)	HV3 (0,3 mm) -HV3 (1,2 mm)	Promedio de HV3		
Profundidad por debajo de la superficie			0,3 mm	1,2 mm	4,8 mm (vo-lumen)
Calidad C de Cr 29 min	70	53	1216	1163	1146

10 Luego se representó gráficamente la dureza promedio por contorno en función de la profundidad a la que estaba ubicado cada contorno, véase la figura 14.

Ejemplo 6, tenacidad al impacto del material con el 6% en peso de cobalto, la referencia A y la calidad A de Cr

15 Se sometió a ensayo la tenacidad al impacto de la referencia A y la calidad A de Cr en un estado sinterizado, tras agitación en tambor por vibración, y tras tratamiento E usando un ensayo de impacto con martillo de péndulo. Se muestra un dibujo esquemático de la configuración del ensayo con martillo de péndulo en la figura 15. El procedimiento de ensayo usado es el siguiente:

20 Se monta de manera firme una pieza de inserción para minería con una punta en forma de cúpula de un radio de 5,0 mm y un diámetro de 10,0 mm, en un soporte (A) sobresaliendo sólo la sección de cúpula. En el péndulo (B), se monta una superficie contraria dura, representada en la figura 15 como un área de color gris claro en el cabezal de martillo de péndulo. La superficie contraria usada fue una placa de SNGN pulida (h = 5,00 mm, l = 19,40 mm, w = 19,40 mm) de una calidad de metal duro de grano fino duro que tenía una dureza Vickers (HV30) de aproximadamente 1900.

Cuando se libera el péndulo, la superficie contraria choca con la punta de la muestra. Si la muestra falla, se calcula la energía de impacto absorbida por la muestra AE (en julios), para un ángulo de péndulo inicial dado, usando la ecuación 5.

$$AE = (m_{\text{tot}} \times g \times L \times (1 - \cos(\alpha))) \quad (5)$$

25 donde m es la masa total del martillo de péndulo de 4,22 kg, g es la constante gravitatoria 9,81 m/s², L es la longitud del martillo de péndulo de 0,231 m y α es el ángulo en radianes.

30 Para determinar la energía necesaria para fracturar la muestra, en primer lugar se somete a impacto por el péndulo liberado a un bajo ángulo adecuado. El ángulo se aumenta entonces escalonadamente con un escalón de 5 grados hasta que falla la muestra. La muestra se somete a impacto una vez en cada nivel de energía de impacto (ángulo). Una grieta o un desconchado visible se considera fallo de la muestra. El primer ensayo que parte del nivel de energía de impacto bajo no se cuenta como válido en la evaluación. En los siguientes ensayos, usados en la evaluación, se

- 5 disminuye el ángulo en 5 grados a partir del ángulo al que se observó fallo por primera vez, y posteriormente se aumenta de nuevo con un escalón más pequeño de 3 grados hasta que se alcance de nuevo el fallo. El resultado objetivo es tal que cada la pieza de inserción falle en el segundo ángulo (impacto), sin embargo, algunas de las piezas de inserción fallaron únicamente en el tercer impacto. Estas también se contaron como resultados válidos. Las piezas de inserción que fallaron en el primer impacto no se incluyeron en la evaluación. En estos ensayos, se cambió la superficie contraria cada 5-10 impactos. Se presentan los resultados obtenidos para la referencia A y la calidad A de Cr en función de diferentes tratamientos de superficie en las tablas 12 y 13.

Tabla 12. Referencia A

Tratamiento	Energía absorbida en el fallo (J)	ΔAE (%)	N.º de muestras/ ensayos válidos
sin tratar (OD rectificado)	3,42	0	4
VT 3 h	6,30	84	4
VT + 9 min de E	9,23	170	3
VT + 17 min de E	11,1	226	4
17 min de E	10,9	219	3
29 min de E	14,9	336	3
60 min de E	15,0	339	3

10 Tabla 13. Calidad A de Cr

Tratamiento	Energía absorbida en el fallo (J)	ΔAE (%)	N.º de muestras/ensayos válidos
sin tratar (OD rectificado)	3,42	0	4
VT 3 h	6,77	98	4
VT + 9 min de E	9,60	181	3
VT + 17 min de E	11,1	226	4
17 min de E	10,3	201	4
29 min de E	13,6	298	2
60 min de E	15,8	363	3

En las tablas 12 y 13: se calcula ΔAE en porcentaje como:

$$\Delta AE = ((AE \text{ promedio (tratado)} - AE \text{ promedio (OD rectificado)}) / AE \text{ promedio (OD rectificado)}) * 100$$

donde AE es la energía absorbida en la fractura.

- 15 A pesar de que la calidad A de Cr contenía precipitaciones de M_7C_3 en la microestructura, la tenacidad al impacto estaba en el mismo intervalo que la de la calidad de WC-Co convencional (calidad A de referencia). Se muestra la respuesta de la agitación en tambor por vibración y el tratamiento E respecto al aumento de energía absorbida en la fractura, en la tabla 13. El tratamiento E proporcionó una mejora significativa en comparación con las piezas de inserción sinterizadas y de OD rectificado así como en comparación con las convencionales piezas de inserción
- 20 agitadas en tambor por vibración. La respuesta para el tratamiento E pareció haber alcanzado un máximo para la calidad de WC-Co (ref. A) después de 60 min mientras que AE aumentó todavía para la calidad A de Cr, que después de 60 min de tratamiento E mostró un aumento de AE del 363% en comparación con un aumento de AE del 339% para la ref. A.

Ejemplo 7, tenacidad de materiales con el 11% en peso de cobalto – calidad B de Cr y referencia B

- 25 Se caracterizó la tenacidad de los materiales calidad B de Cr y referencia B, que contienen ambos el 11% en peso de cobalto, usando el ensayo de compresión de piezas de inserción, que es una alternativa al ensayo con martillo de péndulo usado en el ejemplo 6.

Se produjeron los materiales de la siguiente manera:

- 30 Se obtuvo el material indicado como calidad B de Cr, que contiene el 11,0% en peso de Co, el 1,1% en peso de Cr y siendo el resto WC, de acuerdo con procedimientos establecidos para carburo cementado. Se molieron polvos de 37,9 kg de WC, 5,0 kg de Co, 0,56 kg de Cr_3C_2 y 663 g de W en un molino de bolas durante un total de 13,25 horas. Antes de la molienda, el tamaño de grano del polvo de WC medido como FSSS era de 17 μm . Durante la molienda, se añadieron 15,4 g de C para alcanzar el contenido de carbono deseado. Se llevó a cabo la molienda en condiciones

en húmedo, usando etanol, con una adición del 2% en peso de polietilenglicol (PEG 8000) como aglutinante orgánico (agente de prensado), y 120 kg de cilindros Cylpebs de WC-Co la molienda media en un molino de 30 litros. Después de la molienda, se secó por pulverización la suspensión en atmósfera de N₂. Se produjeron cuerpos verdes mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando el proceso Sinter-HIP a una presión de Ar de 55 bar a 1410°C durante 1 hora.

- 5 Se obtuvo el material de referencia libre de cromo indicado como referencia B, que contiene el 11,0% en peso de Co y siendo el resto WC, de acuerdo con procedimientos establecidos para carburo cementado. Se molieron polvos de WC, Co y W en un molino de bolas de 600 l junto con cuerpos de molienda de carburo cementado durante un total de 11 horas. Antes de la molienda, el tamaño de grano de WC medido como FSSS era de 11 μ m. Se llevó a cabo la molienda en condiciones en húmedo, usando etanol al 92%, con una adición del 2% en peso de polietilenglicol (PEG 8000) como aglutinante orgánico. Después de la molienda, se secó por pulverización la suspensión en atmósfera de N₂. Se produjeron cuerpos verdes mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando el proceso Sinter-HIP a una presión de argón de 55 bar a 1410°C durante 1 hora.

- 10 Se resumen las propiedades de los dos materiales en la tabla 14 a continuación. Se evaluó el tamaño de grano medio de WC usando el método de Jeffries modificado descrito con detalle en el ejemplo 3, con aumentos de 1000 x y 2000 x para la calidad B de Cr y la referencia B, respectivamente.

Tabla 14. Propiedades seleccionadas de los materiales referencia B y calidad B de Cr.

Material	Referencia B	Calidad B de Cr
Co nominal (% en peso)	11	11
Cr nominal (% en peso)	-	1,1
Tamaño de grano medio de WC (μ m)	3,5	4,9
Porosidad	A00B00C00	A00B00C00
H _c (kA/m)	5,97	5,49
Saturación magnética específica del peso ($10^{-7} \cdot T \cdot m^3/kg$)	210	167
Densidad (g/cm ³)	14,44	14,27
HV3*	1110	1095

*Dureza Vickers con una carga de 3 kg

- 20 Se prensaron piezas de inserción para barrena de perforación con un diámetro exterior nominal de 10 mm y una sección superior hemisférica y se sinterizaron a partir de la referencia B y la calidad B de Cr tal como se describió anteriormente. Para cada uno de los dos materiales, se sometió a ensayo una parte de las piezas de inserción del mismo lote en la condición sinterizada, mientras que se sometió a ensayo otra parte de las piezas de inserción tras 5 minutos de tratamiento usando el método E descrito en el ejemplo 4. El procedimiento y los parámetros operativos del tratamiento E fueron idénticos a los descritos en el ejemplo 4, como lo fue la geometría de las piezas de inserción, con la excepción de la ausencia de la etapa de rectificación de OD, y el tiempo de tratamiento más corto de 5 minutos.

- 25 El método de ensayo de compresión de piezas de inserción (IC) implica someter a compresión una pieza de inserción para barrena de perforación entre dos superficies contrarias duras de planos paralelos a una tasa de desplazamiento constante, hasta el fallo de la pieza de inserción. Se usó un dispositivo de ensayo basado en la norma ISO 4506:2017 (E) "Metal duro. Ensayo de compresión", con yunques de carburo cementado de dureza que supera 2000 HV, mientras que se adaptó el propio método de ensayo a ensayos de tenacidad de las piezas de inserción para perforación de roca. Se ajustó el dispositivo sobre un bastidor de ensayo 5989 de Instron. El eje de carga era idéntico al eje de simetría de rotación de las piezas de inserción. Las superficies contrarias del dispositivo satisfacían el grado de paralelismo requerido en la norma ISO 4506:2017 (E), es decir una desviación máxima de 0,5 μ m/mm. Esto es de suma importancia para la alineación del ensayo y la repetibilidad de los resultados. Se cargaron las piezas de inserción sometidas a ensayo a una velocidad constante de desplazamiento de cruceta igual a 0,6 mm/min hasta el fallo, mientras se registraba la curva carga-desplazamiento. Se restó la conformidad del equipo de ensayo y el dispositivo de ensayo de la curva carga-desplazamiento medida antes de la evaluación del ensayo. Se sometieron a ensayo 3 piezas de inserción por material y tratamiento. Se inspeccionaron las superficies contrarias para detectar daños antes de cada ensayo. Se definió que tenía lugar el fallo de una pieza de inserción cuando la carga medida disminuyó repentinamente en al menos 1000 N. La posterior inspección de las piezas de inserción sometidas a ensayo confirmó que esto coincidió, en todos los casos, con la aparición de una grieta visible macroscópicamente.

- 45 Se caracterizó la tenacidad del material por medio de la energía de deformación absorbida total hasta la fractura, indicada como AE_{IC}. Se calculó la AE_{IC} para cada ensayo como el área total bajo la curva carga-desplazamiento medida hasta la fractura. La tabla 15 muestra los valores promedio de AE_{IC} obtenidos para los materiales referencia B y calidad B de Cr en el estado sinterizado y después de 5 minutos de tratamiento E, respectivamente. Δ AE_{IC}, el aumento porcentual promedio de la energía absorbida tras el tratamiento, también se incluye en la tabla. Se calculó el aumento a partir del promedio de los valores de energía absorbida como:

$$\Delta AE_{IC} = ((AE_{IC} \text{ tratado} - AE_{IC} \text{ sinterizado}) / AE_{IC} \text{ sinterizado}) * 100$$

Tabla 15. Energía absorbida en el ensayo de compresión de piezas de inserción.

Material	Referencia B	Calidad B de Cr
AE _{IC} (sinterizado) (J)	2,19	1,55
AE _{IC} (tratado durante 5 min con el método E) (J)	11,16	9,61
ΔAE _{IC} (%)	410	520

Puede observarse a partir de los resultados de ensayo que incluso el corto tiempo tratamiento con el método E de 5 minutos dio como resultado un aumento espectacular de la energía absorbida. El efecto del tratamiento fue claramente más pronunciado para la calidad B de Cr que contiene cromo, con ΔAE_{IC} del 520% en comparación con el 410% obtenido con la referencia B libre de cromo, a pesar del igual contenido de cobalto de los dos materiales.

Ejemplo 8, ensayos de desgaste por abrasión

Se sometieron a ensayo piezas de inserción para barrena de perforación de roca (Ø10 mm de OD, frente esférico) según los ejemplos 1, 2 y 3 en un ensayo de desgaste por abrasión, en el que se desgastan las puntas de las muestras contra una superficie contraria de bloque de granito rotatorio en una operación de giro. Los parámetros del ensayo usados fueron los siguientes: 200 N de carga aplicada a cada pieza de inserción, rpm del bloque de granito = 230, circunferencia del bloque que oscila entre 44 y 45 cm, y una velocidad de alimentación horizontal de 0,339 mm/rev. La distancia de deslizamiento en cada ensayo fue constante de 150 m y se enfrió la muestra mediante un flujo continuo de agua. Se pesó con cuidado cada muestra antes y después del ensayo. Se evaluó la pérdida de masa de una a dos muestras por material después de una distancia de deslizamiento de 150 m. La pérdida volumétrica de muestra para cada uno de los materiales sometidos a ensayo y diferentes tratamientos de superficie, calculada a partir de la densidad de muestra y la pérdida de masa medidas, se presenta en la tabla 16.

Los resultados del ensayo de desgaste por abrasión muestran claramente una resistencia al desgaste aumentada significativamente para el material según la calidad A de Cr de la invención, en comparación con el material de referencia, la referencia A, a pesar del hecho de que la referencia A tenía una mayor dureza volumétrica, así como un menor tamaño de grano de WC sinterizado. Se observó una mejora adicional en la resistencia al desgaste para las piezas de inserción que se habían sometido al tratamiento de superficie con el método E durante 29 min.

Tabla 16. Resultados como desgaste de muestra medido en el ensayo de desgaste por abrasión.

Material de muestra	Tratamiento	Desgaste volumétrico de cada probeta (mm ³)	Desgaste volumétrico promedio (mm ³)
Calidad A de referencia (según el ejemplo 1)	Cúpula sinterizada	0,180 0,193	0,186
Calidad A de referencia	VT 3 h	0,140 0,153	0,146
Calidad A de referencia	VT + 29 min de E	0,133 0,126	0,130
Calidad A de Cr (según el ejemplo 3)	VT 3 h	0,101 0,101	0,101
Calidad A de Cr	VT + 29 min de E	0,094 0,087	0,091

Ejemplo 9, resultados de un ensayo de aplicación de martillo en cabeza de manera subterránea y en húmedo

Se fabricaron piezas de inserción de ref. A y CrA con un diámetro de 11 y 13 mm y con geometrías de cúpula de forma esférica según la descripción en los ejemplos 1 y 2. Se rectificó el diámetro exterior de todas las piezas de inserción y luego se dividió cada lote de la calidad en dos partes. Se sometió la mitad de las piezas de inserción a tratamiento posterior de baja energía (LE) según procedimientos convencionales para lograr un aumento de Hc de aproximadamente el 1% y se sometió la otra mitad de las piezas de inserción a tratamiento posterior de alta energía (HE) para lograr un aumento de Hc del 3-4%. El tratamiento de HE es un tratamiento más intenso que la agitación en tambor por vibración pero no tan intenso como el método E usado en algunos ejemplos anteriores. La limitación en este ejemplo fue la frecuencia de impacto máxima y el intervalo de energía posible en el equipo de agitación centrífuga en tambor comercial "ERBA Turbo 120" usado. Por tanto, el tratamiento de HE usado en este ejemplo es diferente del

método E descrito en el ejemplo 4 pero es un método de tratamiento de alta energía alternativo. Se realizaron los tratamientos de LE y HE exactamente del mismo modo para la ref. A y CrA. Se realizó el tratamiento de LE mediante agitación centrífuga en tambor a 160 rpm durante 30 minutos en una máquina de 120 litros que tenía un disco de rotación de 650 mm de diámetro junto con 150 kg de medios de agitación en tambor y agua como medio de enfriamiento. Se realizó el tratamiento de HE mediante agitación centrífuga en tambor a 240 rpm durante tiempo de mantenimiento de 80 minutos más 10 minutos durante el aumento en rampa a 190 y 220 rpm respectivamente, en una máquina de 120 litros que tenía un disco de rotación de 650 mm de diámetro junto con 150 kg de medios de agitación en tambor y agua como medio de enfriamiento. Los medios de agitación en tambor tanto en LE como en HE consisten en cuerpos de carburo cementado de calidad de Sandvik H10F con una forma próxima a bolas esféricas de 7 mm de diámetro.

Se midió la coercitividad, H_c , en de 8 a 10 piezas de inserción aleatorias antes y después de los tratamientos posteriores y se calcularon los valores promedio. Se encuentran estos valores promedios para piezas de inserción de 13 mm que se usaron en las posiciones periféricas (calibre) de las barrenas en la tabla 17.

Se seccionó de manera transversal una pieza de inserción de cada variante, se pulió y se mapeó para HV3 tal como se describe en el ejemplo 4 y se muestran los resultados en la tabla 18.

Tabla 17.

	H_c (rectificado) (kA/m)	H_c (sometido a tratamiento posterior) (kA/m)	ΔH_c (%)	$\Delta H_c/Co$ (%/% en peso)
Ref. A + LE	11,64	11,75	1,0	0,2
Ref. A + HE	11,64	12,02	3,2	0,5
CrA + LE	10,39	10,50	1,0	0,2
CrA + HE	10,39	10,74	3,4	0,6

Tabla 18. Dureza promedio por contorno (todos los valores de HV a una distancia dada por debajo de superficie)

	HV3 (0,3 mm, superficie)	HV3 (1,2 mm)	HV3 (6,2 mm, volumen)	$\Delta HV3$ (0,3-1,2 mm)	$\Delta HV3$ (0,3-6,2 mm)
Ref. A + LE	1462	1450	1439	12	23
Ref. A + HE	1493	1464	1443	29	47
CrA + LE	1420	1409	1403	17	11
CrA + HE	1448	1419	1405	29	43

Las piezas de inserción producidas con las diferentes calidades de carburo cementado y tratamientos se montaron en barrenas de perforación de 76 mm. Se produjeron cinco barrenas/variante y se sometieron a ensayo en una mina subterránea en la parte central de Suecia en una aplicación de martillo en cabeza. Las condiciones de la roca se clasificaron principalmente como muy dura y muy abrasiva. Antes de iniciarse la perforación, se midió con cuidado el diámetro máximo de cada barrena y se anotó y el diámetro inicial de las barrenas fue de alrededor de 78 mm. Se inició la perforación y se usó cada barrena hasta que las piezas de inserción fueron demasiado romas y disminuyó la velocidad de penetración. Entonces se midió el diámetro máximo de la barrena, se anotó y después de que se rectificaron de nuevo/se afilaron de nuevo las piezas de inserción en las barrenas, se midió otra vez el diámetro máximo y se continuó con la perforación hasta que disminuyó la velocidad de penetración. Se repitió el mismo procedimiento hasta que el diámetro máximo de la barrena fue igual a o inferior a 72 mm. Se evaluaron los resultados del ensayo como metros de perforación total/variante, desgaste promedio debido a la perforación, número de barrenas con la(s) rotura(s) de la pieza de inserción y número de barrenas desgastadas o extraídas debido a fallos de la pieza de inserción tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados del ensayo de campo

	Número de barrenas	Metros perforados en total (DM) (m) para las 5 barrenas	Metros de perforación DM/ mm de desgaste de diámetro	Desgaste de diámetro promedio debido a la perforación (mm/m)	Número de barrenas con roturas de pieza de inserción	Número de barrenas desgastadas ¹ o extraídas ²
Ref. A + LE	5	346	13,23	0,076	1	4
Ref. A + HE	5	359	13,88	0,072	0	4
CrA + LE	5	344	16,74	0,060	1	3
CrA + HE	5	411	20,12	0,050	0	1

¹ Diámetro de barrena <72 mm² Fallo de pieza de inserción

- 5 Los resultados muestran claramente que CrA+HE, incluso con un tratamiento de HE relativamente suave, tiene la mejor resistencia al desgaste, la duración de barrena más prolongada y que no se observaron fallos prematuros debido a roturas de pieza de inserción. Mediante la combinación de una calidad que contiene Cr con un tratamiento de HE, puede utilizarse todo el potencial del material y el tratamiento de HE también aumenta adicionalmente la resistencia al desgaste.

Ejemplo 10, resultados de un ensayo de aplicación de martillo en cabeza en minería de superficie en seco

- 10 Se fabricaron piezas de inserción de ref. A y CrA con un diámetro de 12 y 13 mm y con geometrías de cúpula de forma esférica según la descripción en los ejemplos 1 y 2. Entonces se dividió cada lote de la calidad en dos partes y se sometió la mitad de las piezas de inserción a tratamiento posterior de baja energía (LE) según procedimientos convencionales para lograr un aumento de Hc de aproximadamente el 1%, mientras que se sometió la otra mitad de las piezas de inserción a tratamiento posterior de alta energía (HE) para lograr un aumento de Hc del 3-4%. El
- 15 tratamiento de HE es un tratamiento más intenso que la agitación en tambor por vibración pero no tan intenso como el método E usado en algunos ejemplos anteriores. La limitación en este ejemplo era la frecuencia de impacto máxima y el intervalo de energía posible en el equipo de agitación centrífuga en tambor comercial "ERBA Turbo 120" usado. Por tanto, el tratamiento de HE usado en este ejemplo es diferente del método E descrito en el ejemplo 4, pero es un método de tratamiento de alta energía alternativo. Se realizaron los tratamientos de LE y HE exactamente del mismo
- 20 modo que para la ref. A y CrA. Se realizó el tratamiento de LE mediante agitación centrífuga en tambor a 160 rpm durante 30 minutos en una máquina de 120 litros que tenía un disco de rotación de 650 mm de diámetro junto con 150 kg de medios de agitación en tambor y agua como medio de enfriamiento. Se realizó el tratamiento de HE mediante agitación centrífuga en tambor a 260 rpm durante 80 minutos en una máquina de 120 litros que tenía un disco de rotación de 650 mm de diámetro junto con 150 kg de medios de agitación en tambor y agua como medio de enfriamiento. Los medios de agitación en tambor tanto en LE como en HE consisten en cuerpos de carburo cementado de calidad de Sandvik H10F con una forma próxima a bolas esféricas de 7 mm de diámetro. El proceso de HE también incluyó una etapa de aumento en rampa de 2 minutos a 160 rpm, 5 minutos a 190 rpm, 10 minutos a 210 rpm y 10 minutos a 240 rpm para obtener una agitación estable en el proceso en tambor antes de alcanzarse las rpm máximas.
- 25
- 30 Se midió la coercitividad, Hc, en de 8 a 10 piezas de inserción aleatorias antes y después de los tratamientos posteriores y se calcularon los valores promedio. Se encuentran estos valores promedios para piezas de inserción de 13 mm que se usaron en las posiciones periféricas (calibre) de las barrenas de 89 mm en la tabla 20.

Se seccionó de manera transversal una pieza de inserción de cada variante, se pulió y se mapeó para tal como se describe en el ejemplo 4 y se muestran los resultados en la tabla 21.

- 35 Tabla 20.

	Hc (rectificado) (kA/m)	Hc (sometido a tratamiento posterior) (kA/m)	ΔHc (%)	$\Delta Hc/Co$ (%/ en peso)
Ref. A + LE	11,60	11,71	0,9	0,2
Ref. A + HE	11,60	11,99	3,3	0,6
CrA* + LE	9,53	9,67	1,5	0,2
CrA* + HE	9,53	9,92	4,1	0,7

* Debido a ligeras diferencias entre los hornos de sinterización y los lotes de sinterización, la Hc de CrA fue menor que en el ejemplo 2 y el ejemplo 9, pero esto está dentro de la variación normal de una calidad.

Tabla 21. Dureza promedio por contorno (todos los valores de HV a una distancia dada por debajo de superficie)

	HV3 (0,3 mm, superficie)	HV3 (1,2 mm)	HV3 (6,2 mm, volumen)	Δ HV3 (0,3-1,2 mm)	Δ HV3 (0,3-6,2 mm)
Ref. A + LE	1453	1441	1436	12	17
Ref. A + HE	1482	1455	1445	27	37
CrA + LE	1389	1379	1370	10	19
CrA + HE	1435	1397	1388	38	47

Las piezas de inserción producidas con las diferentes calidades de carburo cementado y tratamientos se montaron en barrenas de perforación. Se produjeron 5 barrenas/variante y se sometieron a ensayo en una mina a cielo abierto en el norte de Suecia en una aplicación de martillo en cabeza. Las condiciones de la roca se clasificaron principalmente como dura y abrasiva en grado medio. Antes de iniciarse la perforación, se midió con cuidado el diámetro máximo de cada barrena (~92 mm) y se anotó. Se inició la perforación y se usó cada barrena hasta que las piezas de inserción fueron demasiado romas y disminuyó la velocidad de penetración. Entonces se midió el diámetro máximo de la barrena y después de que se rectificaron de nuevo, se midió otra vez el diámetro máximo y se repitió el mismo procedimiento hasta que el diámetro de la barrena fue igual o inferior a 85 mm. Se evaluaron los resultados del ensayo, presentados en la tabla 22, como metros de perforación total, desgaste promedio debido a la perforación, número de barrenas con fallo(s) de pieza de inserción y número total de barrenas hechas funcionar hasta el fin de su duración (desgastadas hasta el diámetro mínimo o debido a fallos de pieza de inserción).

Tabla 22. Resultados del ensayo de campo

	Número de barrenas	Metros perforados en total (DM) (m) para las 5 barrenas	Desgaste de diámetro promedio debido a la perforación (mm/m)	Número de barrenas con fallos de pieza de inserción	Número de barrenas desgastadas ¹ o extraídas ²
Ref. A + LE	5	665	0,0084	2	2
Ref. A + HE	5	749	0,0104	0	1
CrA + LE	5	678	0,0067	2	3
CrA + HE	5	744	0,0066	0	1

¹ Diámetro de barrena < 85 mm

² Fallo de pieza de inserción

En este ensayo, se muestra claramente el beneficio de combinar calidades que contienen Cr con un tratamiento de HE, puesto que el número de fallos de barrena debidos a roturas de pieza de inserción para CrA+LE es de dos de cada cinco, mientras que para CrA+HE, el número de fallos relacionados con roturas de pieza de inserción es cero. El fallo prematuro de piezas de inserción cuando no se usa el tratamiento posterior de alta energía reduce la posibilidad de beneficiarse totalmente de la resistencia al desgaste aumentada del material de CrA.

REIVINDICACIONES

1. Una pieza de inserción de perforadora de roca hecha de carburo cementado que comprende constituyentes duros de carburo de wolframio (WC) en una fase de aglutinante que comprende Co, en donde el carburo cementado comprende
- 5 4-18% en masa de Co, y
siendo el resto WC e impurezas inevitables,
dicho carburo cementado también comprende Cr en una cantidad tal que la relación en masa Cr/Co es de 0,04-0,19, la diferencia entre la dureza en cualquier punto de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza del volumen es de al menos 40 HV3 y la diferencia entre la dureza en cualquier punto 0,3 mm por debajo de
- 10 la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 20 HV3, en donde la dureza se mide de acuerdo con la norma ISO EN6507,
caracterizada por que
el valor del tamaño medio de grano de WC del carburo cementado, medido usando un método Jeffries como se define
- 15 en la descripción es por encima de 1,5 µm pero menor que 18 µm.
2. Una pieza de inserción de perforadora de roca según la reivindicación 1, caracterizada por que la diferencia entre la dureza en cualquier punto de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza del volumen es de al menos 60 HV3.
3. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, caracterizada por
- 20 que la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza promedio a 1 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 30 HV3.
4. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizada por
- 25 que la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie de la pieza de inserción de perforadora de roca y la dureza promedio en el volumen de la pieza de inserción de perforadora de roca es de al menos 50 HV3.
5. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizada por que el valor medio de tamaño de grano de WC del carburo cementado, medido según un método de Jeffries como se define en la descripción es menor que 10 µm.
6. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizada por
- 30 que el carburo cementado comprende el 5-12% en masa de Co.
7. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, caracterizada por que la relación en masa Cr/Co en el carburo cementado es de 0,075-0,15.
8. Una pieza de inserción de perforadora de roca según la reivindicación 7, caracterizada por que la relación en masa Cr/Co en el carburo cementado es de 0,085-0,12.
9. Una pieza de inserción de perforadora de roca según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizada por
- 35 que dicho carburo cementado tiene una dureza no mayor que 1700 HV3.
10. Un cuerpo de barrena de perforadora de roca que comprende una o más piezas de inserción de roca montadas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9.

Fig. 1

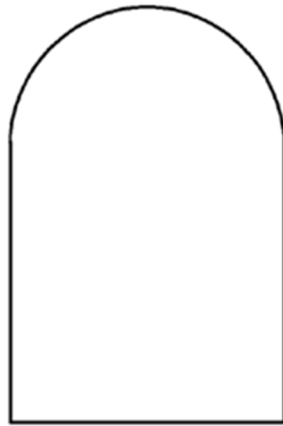


Fig. 2

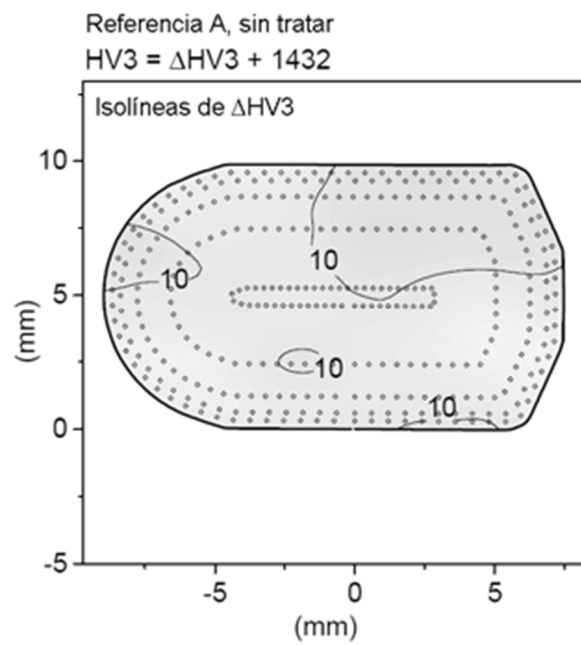


Fig. 3

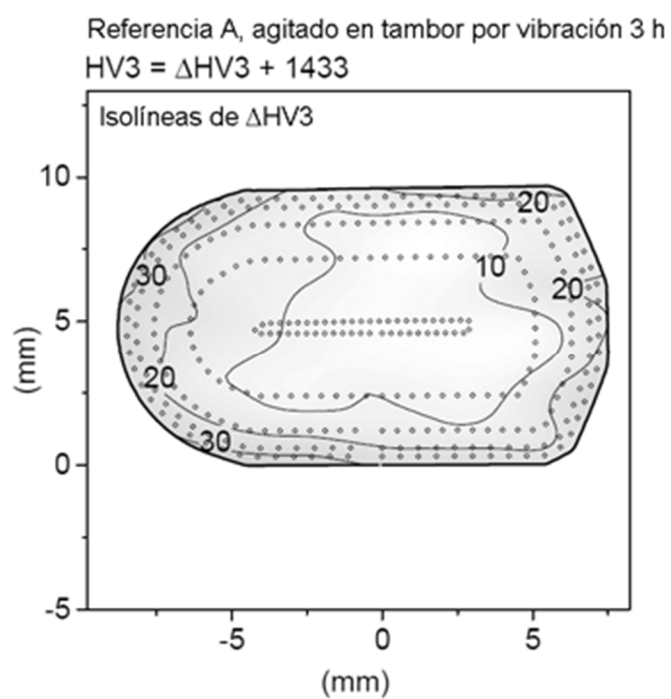


Fig. 4

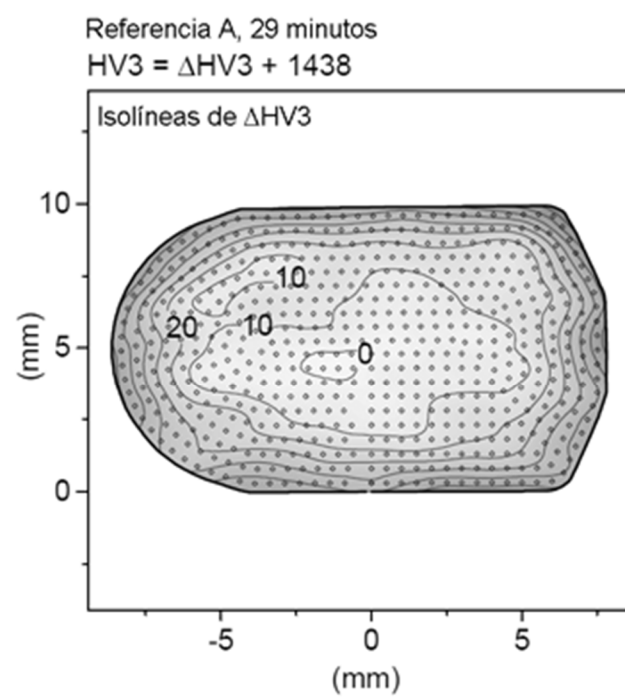


Fig. 5

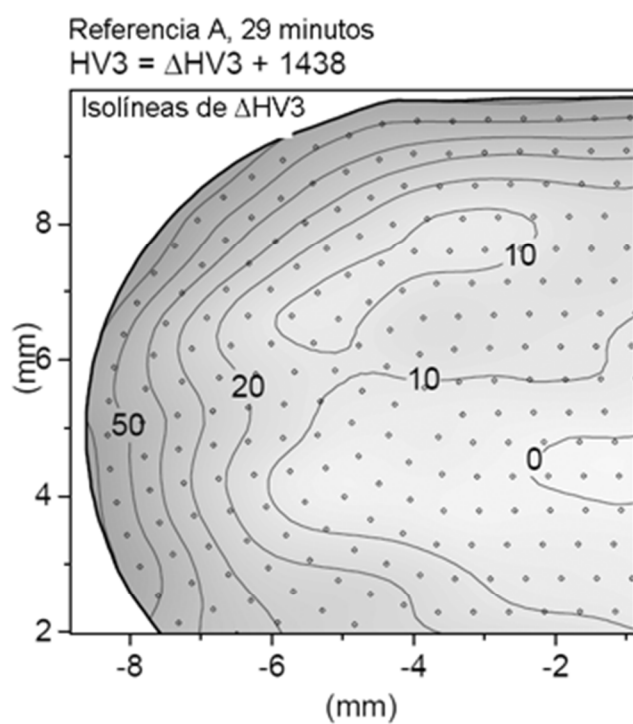


Fig. 6

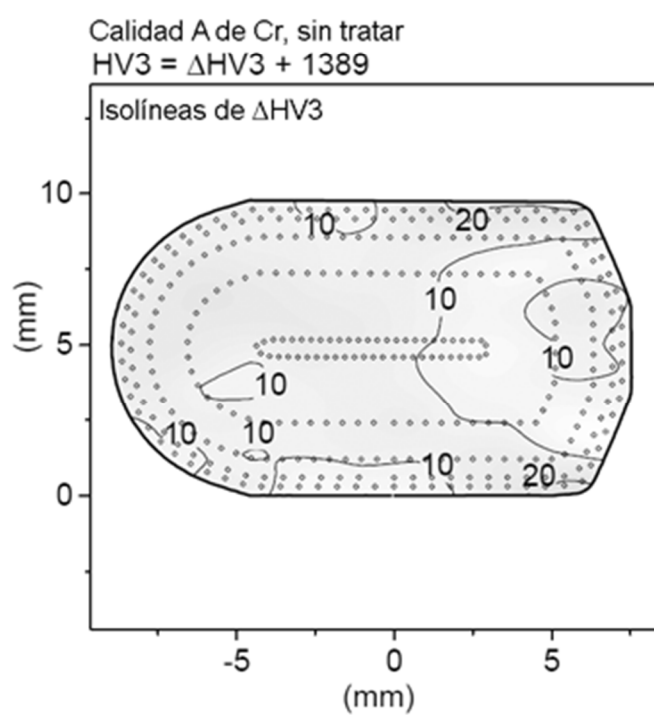


Fig. 7

Calidad A de Cr, agitado en tambor por vibración 3 h

$$HV3 = \Delta HV3 + 1395$$

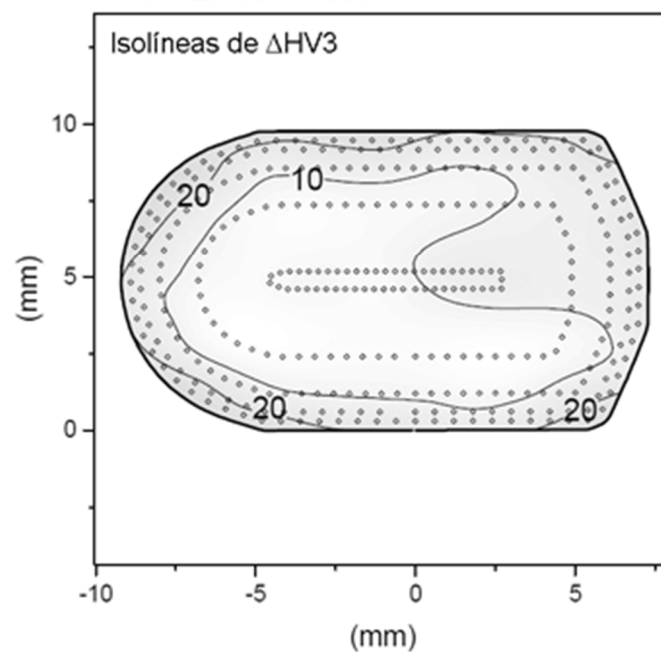


Fig. 8

Calidad A de Cr, 29 minutos

$$HV3 = \Delta HV3 + 1406$$

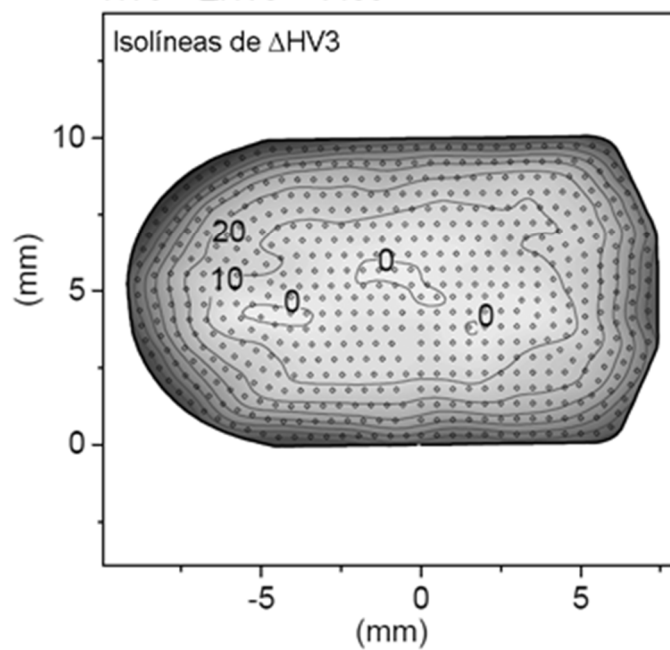


Fig. 9

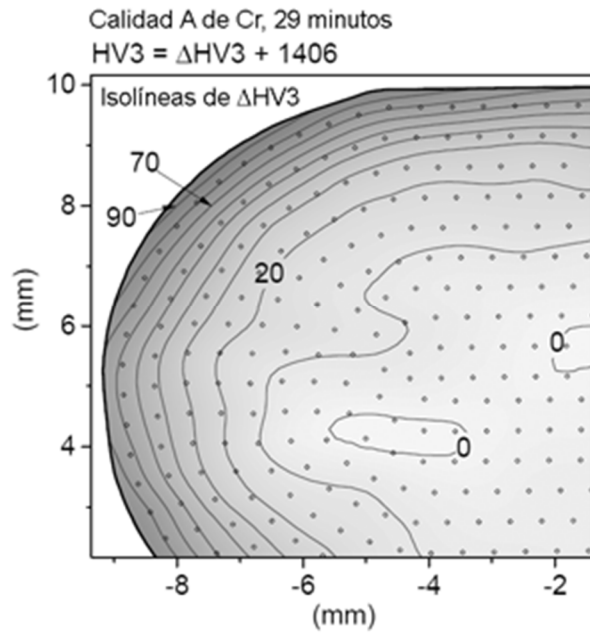


Fig. 10

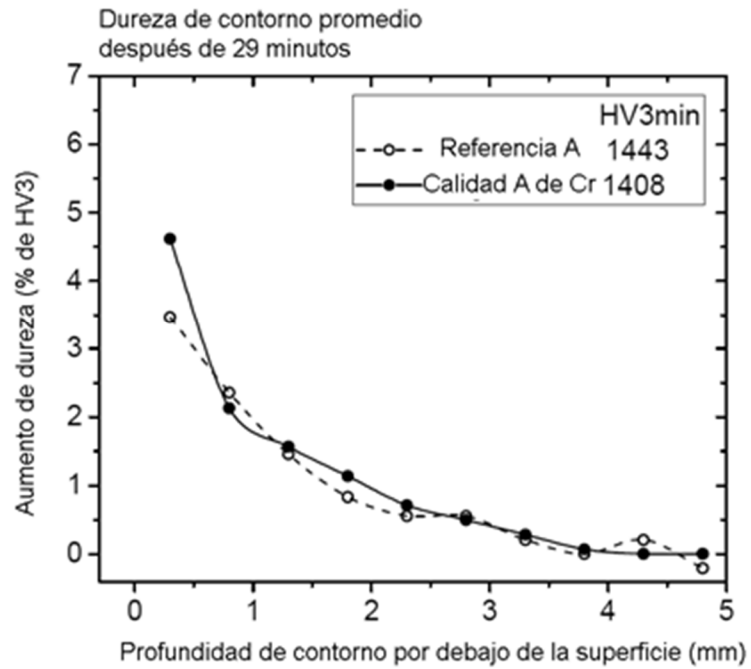


Fig. 11

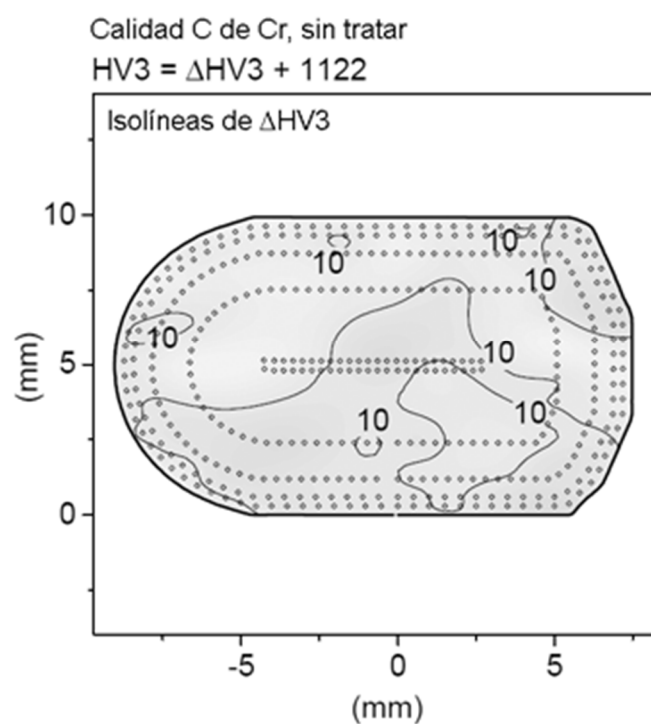


Fig. 12

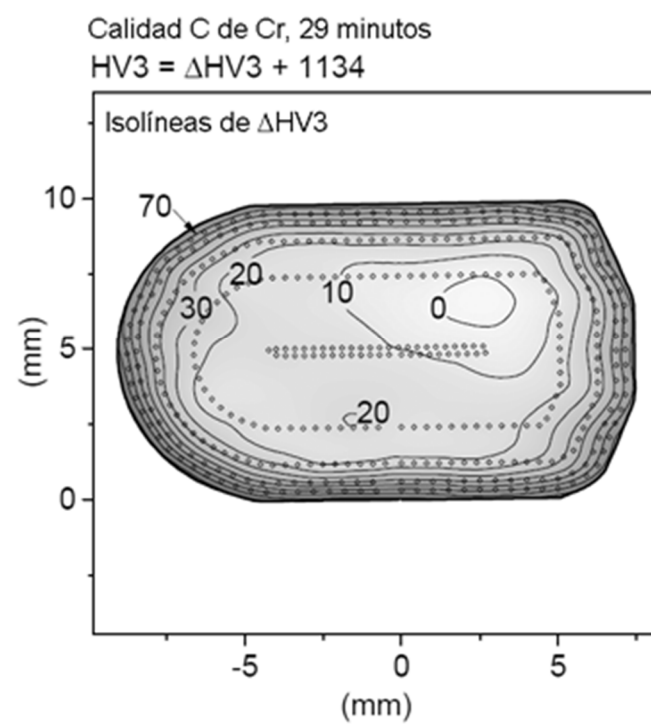


Fig. 13

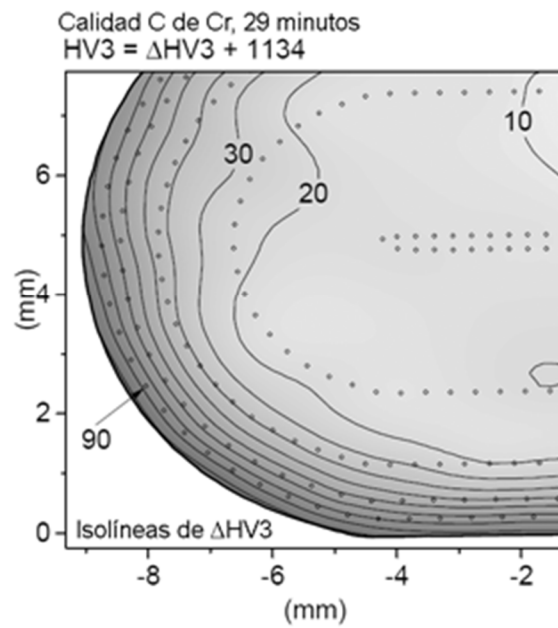


Fig. 14

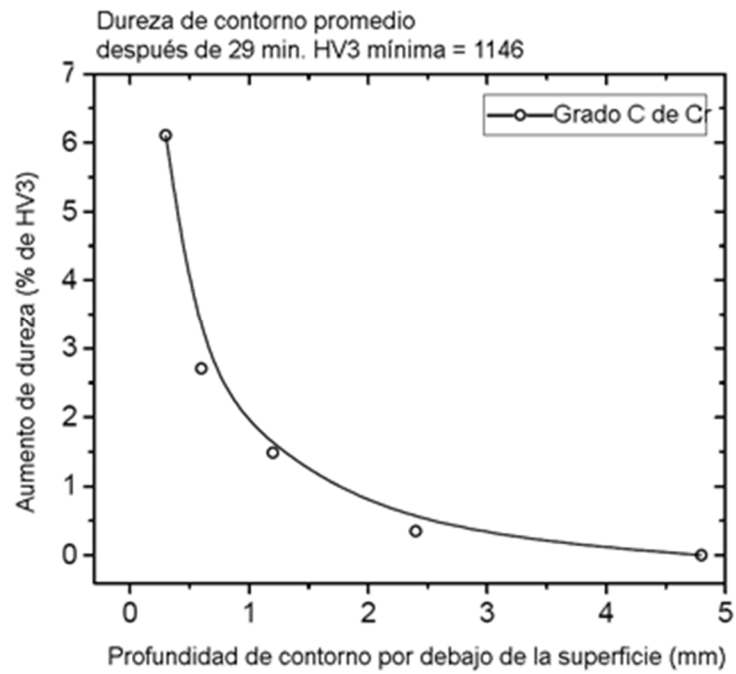


Fig. 15

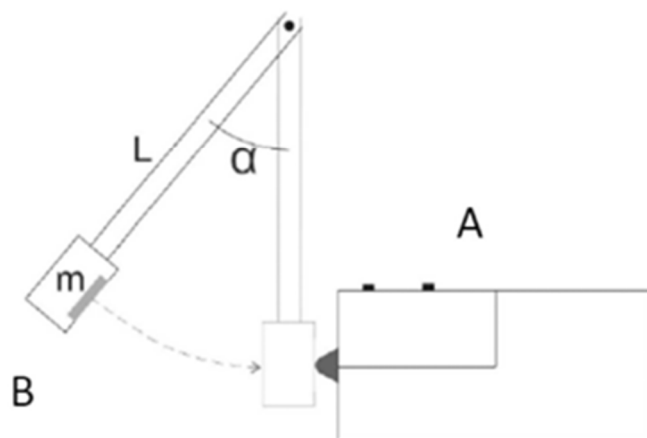


Fig. 16

