

RODILLO DE MOLIENDA COMPUESTO DE UNA PIEZA

MEMORIA DESCRIPTIVA

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un componente de desgaste compuesto, fundido por medio de fundición de una aleación ferrosa. Se refiere, muy particularmente, a un rodillo de molienda de una sola pieza reforzado por una estructura de cerámica perforada e incorporada en el rodillo con un ensamblaje específico de elementos de refuerzo, que se adapta a la tensión de desgaste creando una perforación diferenciada. También se divulga un método para fabricar dicho rodillo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los componentes de desgaste compuestos fundidos son bien conocidos por los expertos en la materia. Se trata principalmente de componentes de hierro fundido, los cuales se refuerzan localmente de forma selectiva con cerámica del tipo alúmina-circonia, o carburos, nitruros, boruros u otros elementos intermetálicos, en las caras más expuestas al desgaste. Estas cerámicas tienen geometrías estudiadas y están situadas de forma adecuada dentro de la matriz metálica.

La disposición particular de las estructuras de refuerzo permite crear compuestos jerárquicos con un refuerzo diferenciado de acuerdo con la disposición o la forma geométrica de los refuerzos de cerámica, los cuales están compuestos generalmente por áridos de granos infiltrables por medio del metal de fundición. De este modo, es posible producir áridos de granulos que miden, en promedio, de 3 a 8 mm con intersticios del orden de 1 a 3 mm que permiten la infiltración del hierro fundido líquido durante la fundición. De este modo, es posible formar «tortas» u «obleas» en forma de estructuras perforadas, por ejemplo, del tipo panal. Estos «insertos» se disponen generalmente de manera estudiada dentro de un molde de arena en la cara más sometida a tensión del componente de desgaste. Estos «insertos» se denominan «rellenos». Cuando estas tortas se han infiltrado individualmente, antes de ser colocadas, una vez enfriadas, en el molde de fundición, se denominan como barras.

La presente invención tiene por objeto mejorar la resistencia al desgaste de los rodillos de molienda para molinos en general y, en particular, para los molinos de eje vertical, en referencia a los molinos que se denominan de esta manera. Los molinos de eje vertical se usan, por ejemplo, para moler carbón, mezcla cruda o clinker de cemento. Consisten en una pista giratoria que soporta rodillos, los cuales son accionados por el

movimiento de rotación de la pista a lo largo del eje vertical (véase la Figura 1). El material a moler se introduce a través de una vía de alimentación central y cae sobre la pista, donde es triturado y molido por los rodillos. Este principio se ilustra detalladamente en la Figura 2. Después, el material molido se descarga por centrifugación hacia la periferia de la pista y se recupera en un soplador con un ciclón que permite reciclar el material que aún no está suficientemente molido. Son posibles diversos tipos de formas de rodillos, donde los más comunes son los rodillos troncocónicos y los rodillos tóricos.

El documento WO98/15373 divulga un componente de desgaste compuesto fundido con un refuerzo de cerámica en forma de panal y una cerámica a base de alúmina-circonia.

El documento WO2005/084809 divulga un rodillo de molienda que comprende múltiples barras periféricas fabricadas con un material de alta resistencia al desgaste y selladas mecánicamente en una matriz de fundición hecha de material dúctil, dicho rodillo comprende zonas sometidas a una alta tensión de desgaste y zonas sometidas a una baja tensión de desgaste, el rodillo tiene barras en su cara periférica que comprenden una parte contigua en la zona más sometida a tensión y una parte no contigua en la zona menos sometida al desgaste, el espacio en la parte no contigua se rellena con el material dúctil de la matriz de fundición, lo que permite el sellado mecánico de las barras.

El documento WO2018/069006 divulga un rodillo de molienda para molinos de eje vertical, fundido por medio de fundición de una matriz metálica, el rodillo comprende en su periferia una pluralidad de insertos de refuerzo, de los cuales ciertas partes de la superficie periférica del mismo inserto están situadas a diferentes distancias de la periferia del rodillo en función de las tensiones de desgaste.

El documento WO 2021/1160381 divulga un rodillo de molienda donde las zonas sometidas a desgaste están reforzadas de manera diferenciada con insertos de cerámica que comprenden orificios ciegos y orificios pasantes, donde el lado ciego de los orificios ciegos está orientado hacia el lado más sometido al desgaste.

OBJETIVOS DE LA INVENCION

La presente invención tiene por objeto proporcionar un rodillo de molienda compuesto de una sola pieza con un refuerzo de cerámica compuesto por una pluralidad de insertos de geometría mejorada, cuya estructura y posicionamiento se adaptan a la tensión de desgaste. En particular, tiene por objeto eliminar las líneas rectas entre los insertos cerámicos contiguos, los cuales constituyen iniciadores de propagación y vías preferentes para el desgaste.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención describe un rodillo de molienda de una sola pieza para molinos de eje vertical, fundido por medio de fundición de una matriz metálica, donde dicho rodillo comprende en su periferia una estructura de refuerzo perforada que consiste en una pluralidad de insertos de cerámica ensamblados de manera contigua y el ensamblaje contiguo de los refuerzos cerámicos se produce a lo largo de líneas onduladas.

Las modalidades preferidas de la invención tienen, al menos, una o cualquier combinación adecuada de las siguientes características:

- la estructura de refuerzo 2 comprende, al menos, una primera zona 21, la cual es la menos perforada y la más expuesta al desgaste y, al menos, una segunda zona 22, la cual es la más perforada y la menos expuesta al desgaste;

- las primeras y segundas zonas 21 y 22 de la pluralidad de insertos de cerámica están formadas por múltiples anillos superpuestos, donde dichos insertos están integrados en un ensamblaje escalonado y contiguo a lo largo de líneas onduladas;

- la perforación de la primera zona 21, la cual es la más expuesta al desgaste, está formada por orificios pasantes 3 de forma troncocónica con un diámetro que disminuye progresivamente hacia la periferia del rodillo o por una combinación de orificios pasantes 4 de cualquier forma con orificios ciegos cuyo lado ciego está localizado en el lado periférico del rodillo;

- la perforación de la segunda zona 22, la cual es la menos expuesta al desgaste, está formada por orificios pasantes 4 de cualquier forma, preferentemente de forma cilíndrica, y se posicionan de manera perpendicular o inclinada con respecto a la superficie en la periferia del rodillo;

- la pluralidad de insertos forman un ensamblaje que forma un rodillo troncocónico o un rodillo tórico;

- la amplitud (a) de las líneas onduladas representa entre el 2 y el 20%, preferentemente entre el 5 y el 15%, con respecto a la longitud «L» del inserto de cerámica;

- la amplitud (A) de las líneas onduladas representa entre el 2 y el 20%, preferentemente entre el 3 y el 15%, con respecto al ancho «ℓ» del inserto de cerámica;

- la composición de la cerámica de la estructura de refuerzo se selecciona entre óxidos, carburos, nitruros y boruros;

- los insertos de cerámica comprenden un agregado de granos compuestos de cerámica y metal, en los cuales partículas cerámicas micrométricas están cementadas en un aglutinante metálico, donde los granos compuestos tienen un tamaño promedio D_{50} de

2 a 8 mm, preferentemente de 3 a 6 mm, determinado por tamizado con una malla cuadrada o por un Retsch Camsizer de acuerdo con la norma 13322-2:2006;

- los granos compuestos de cerámica y metal comprenden carburo de titanio de un tamaño promedio D_{50} de entre 3 y 20 μm , preferentemente entre 5 y 15 μm , cementadas en un aglutinante metálico, donde el tamaño de las partículas se mide por difracción láser por medio del uso de la teoría MIE de acuerdo con las instrucciones proporcionadas en la norma ISO 13320:2020 por medio del uso de, por ejemplo, un Malvern Mastersizer 2000 y donde se establece un índice de refracción de 3 y un índice de absorción de 1. La opacidad debe estar en un rango de entre el 10% y el 15% y el residuo ponderado debe ser inferior al 1%.

- la composición de la cerámica de la estructura de refuerzo de la primera zona 21 es diferente de la composición de la cerámica de la segunda zona 22.

La presente invención también divulga un método para fabricar un rodillo de molienda de acuerdo con la invención, que comprende los siguientes pasos:

- provisión de un molde para la producción de un rodillo de molienda de una sola pieza por medio de la fundición de una aleación ferrosa;

- posicionamiento de una estructura de refuerzo compuesta por una pluralidad de insertos de cerámica, los cuales se ensamblan de manera contigua a lo largo de líneas onduladas, los insertos tienen la forma de áridos perforados de gránulos milimétricos, el agregado es permeable y, por lo tanto, infiltrable;

- infiltración de la aleación ferrosa líquida en el inserto;

- enfriamiento y desmolde del rodillo de molienda.

El método de acuerdo con la invención tiene, preferentemente, al menos una o cualquier combinación adecuada de las siguientes características:

- la aleación ferrosa que comprende acero o hierro fundido;

- la estructura de refuerzo que comprende, al menos, una primera zona 21, la cual es la menos perforada y la más expuesta al desgaste y, al menos, una segunda zona 22, la cual es la más perforada y la menos expuesta al desgaste;

- los áridos infiltrables de gránulos de cerámica milimétricos que se usan para los insertos de los rodillos de molienda se seleccionan entre las siguientes composiciones:

- o alúmina-circonia en proporciones de 90/10 a 10/90, donde la circonia puede estar estabilizada con itria;

- o carbono en polvo y titanio, que pueden contener, opcionalmente, polvo de hierro como moderador y precursores de una reacción de síntesis exotérmica autopropagada (SHS) iniciada por la fundición de la aleación ferrosa;

o compuestos de cerámica-metal de carburo de titanio cementados en un aglutinante metálico.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

En las Figuras que se comentan a continuación, se muestran esquemáticamente los insertos. En realidad, estos insertos de cerámica son estructuras tridimensionales infiltrables formadas por áridos permeables tales como, por ejemplo, aglomerados de granos milimétricos (con un tamaño promedio de 2 a 8 mm, preferentemente de 3 a 6 mm) agregados por un adhesivo con intersticios milimétricos, los cuales son infiltrables por el metal de fundición.

En aras de la simplicidad, las Figuras solo muestran el contorno de estos insertos que se colocan en las partes reforzadas del rodillo de molienda.

La Figura 1 muestra un ejemplo de un molino de eje vertical equipado con rodillos de molienda troncocónicos que presionan y giran sobre una mesa giratoria alimentada con mineral para la molienda.

La Figura 2 muestra el principio de molienda por medio de un rodillo de molienda troncocónico.

La Figura 3 muestra un rodillo de molienda fabricado con barras reforzadas con cerámica de acuerdo con la técnica anterior WO2005/084809. En este caso, se infiltran individualmente una pluralidad de insertos de cerámica en forma de panal para formar barras antes de disponerlas, una vez enfriadas, en un molde, asegurándose de mantener una distancia entre cada elemento de refuerzo individual (ensamblaje no contiguo) para permitir que el metal fundido penetre entre los elementos individuales y garantizar el sellado del ensamblaje en el rodillo fundido.

La Figura 4a muestra una barra que consiste en una matriz metálica que incorpora un inserto de cerámica en forma de panal. La Figura 4b muestra un detalle del ensamblaje de las barras antes de la fundición del rodillo de molienda.

La Figura 5 muestra una imagen de un rodillo de molienda troncocónico muy desgastado en su parte inferior. Se trata de un rodillo de molienda de acuerdo con la técnica anterior y fabricado de acuerdo con las técnicas que se muestran en las Figuras 3, 4a y 4b. En él se aprecia una estructura de cerámica en forma de panal resaltada a través de una matriz metálica muy erosionada. Los espacios que quedan entre las barras individuales (surcos rectos) también están muy erosionados.

La Figura 6 muestra una imagen de un rodillo de molienda tórico que presenta un nivel de desgaste significativo. Se ha fabricado de acuerdo con la técnica anterior

WO2005/084809 disponiendo barras infiltradas y enfriadas en un molde, manteniendo una distancia entre las barras para garantizar el sellado de las barras en el rodillo.

La Figura 7a muestra un rodillo de molienda de una sola pieza de forma tórica de acuerdo con la invención. La Figura 7b solo muestra el ensamblaje de los insertos perforados correspondientes, donde los insertos se ensamblan en un solo anillo de manera contigua y a lo largo de una línea ondulada.

La Figura 8a muestra un rodillo de molienda de una sola pieza de forma tórica de acuerdo con la invención. La Figura 8b solo muestra el ensamblaje de los insertos perforados correspondientes, donde los insertos se montan en dos anillos superpuestos de forma escalonada y contigua a lo largo de una línea ondulada.

La Figura 9a muestra un rodillo de molienda de una sola pieza de forma troncocónica de acuerdo con la invención. La Figura 9b solo muestra el ensamblaje de los insertos perforados correspondientes, donde los insertos se montan en un solo anillo de forma contigua a lo largo de una línea ondulada.

La Figura 10 muestra un rodillo de molienda troncocónico de una sola pieza de acuerdo con la invención, similar al de la Figura 9a, con una pluralidad de insertos de cerámica perforados dispuestos de manera contigua a lo largo de una línea ondulada. Sin embargo, se muestran dos tipos de aberturas (celdas) con una proporción de perforación diferenciada adaptada a la tensión de desgaste para un uso específico. Los insertos perforados muestran dos zonas 21 y 22. La zona 21, la cual es la más expuesta al desgaste, tiene un grado limitado de perforación con orificios cónicos dispuestos en la parte que está sometida a la mayor tensión de desgaste, y una conicidad cuyo diámetro cambia desde el interior del rodillo hacia la superficie exterior del rodillo, disminuyendo. La zona 22, la cual está sometida a la menor tensión de desgaste, tiene una mayor proporción de perforación y comprende orificios cilíndricos perpendiculares a la superficie de molienda. Los orificios también pueden formar un ángulo con la normal a la superficie periférica.

La Figura 11a muestra un rodillo de molienda tórico de una sola pieza de acuerdo con la invención, con una pluralidad de insertos de cerámica perforados dispuestos de manera contigua a lo largo de una línea ondulada. También se observan dos tipos de aberturas con una proporción de perforación diferenciada adaptada en función de una tensión de desgaste específica. En este caso, los insertos perforados también muestran dos zonas 21 y 22. La Figura 11b muestra únicamente la pluralidad de insertos ensamblados antes de la fundición del rodillo de molienda. Cabe señalar que los ensamblajes de los insertos no solo son contiguos, sino que los elementos tienen formas complementarias que permiten que se ensamblen perfectamente con sus vecinos. Se ha seleccionado un ensamblaje de acuerdo con una forma ondulada para evitar las líneas

rectas, las cuales constituyen un iniciador preferente y una vía preferente para el desgaste. Una vez iniciado este desgaste, se continúa propagando muy fácilmente a lo largo de una línea recta, y las líneas onduladas en mayor o menor medida permiten ralentizar o incluso obstaculizar este fenómeno. Las pruebas han demostrado además que un simple ensamblaje contiguo curvado, con baja amplitud y sin ondas, aunque más propenso a la propagación de las vías de desgaste que la línea contigua recta, solo proporcionaba un resultado intermedio entre la línea recta y la línea contigua ondulada.

Las Figuras 12 y 13 muestran otras posibilidades de ensamblaje de los insertos de acuerdo con la presente invención. Los insertos pueden estar dedicados a las zonas 21 y 22 y formar múltiples anillos superpuestos con dimensiones posiblemente diferentes. Cuando los insertos están dedicados a las zonas 21 y 22 con alta y baja tensión de desgaste, respectivamente, se prefiere la disposición escalonada para evitar en la medida de lo posible la propagación del desgaste a lo largo de una línea continua. Esta Figura también muestra en detalle diferencias significativas en la perforación entre las zonas 21 y 22 con orificios troncocónicos 3 y orificios cilíndricos 4 como ejemplo (detalle no mostrado).

Las Figuras 14a y 14b muestran, respectivamente, un rodillo de molienda tórico grande una vez fundido y un ensamblaje de sus insertos correspondientes. En ellos se distinguen de nuevo dos zonas diferenciadas, 21 y 22, adaptadas a diferentes tensiones. Los insertos están dispuestos de acuerdo con dos anillos superpuestos y escalonados. El rodillo de molienda puede estar ligeramente inclinado (ladeado) sobre la mesa giratoria, lo cual hace necesaria esta configuración.

Las Figuras 15a y 15b muestran, respectivamente, un ensamblaje de insertos para un rodillo de molienda tórico y el rodillo de molienda una vez fundido. En este caso se trata de un rodillo muy grande (18 toneladas y 3 m de diámetro). En él se distinguen de nuevo dos zonas diferenciadas, 21 y 22, adaptadas a diferentes tensiones. Los insertos están dispuestos de acuerdo con tres anillos superpuestos y escalonados. Las zonas de alta tensión están dispuestas a ambos lados de una zona con menor tensión. Esta disposición simétrica permite usar rodillos de molienda ligeramente inclinados en la mesa giratoria alternativamente en los dos lados. Una vez que se ha desgastado un lado, el rodillo se puede girar.

La Figura 16 muestra un inserto de refuerzo con su longitud «L» y su ancho «ℓ», así como la amplitud de las ondas «A» a lo largo de su ancho «ℓ» y cómo medirlas.

La Figura 17 muestra un ensamblaje escalonado de diferentes insertos, en el cual se puede observar que la amplitud de la onda no es necesariamente la misma en una misma línea de ensamblaje. La amplitud se mide en términos de valor absoluto entre un

mínimo y un máximo de la onda, «A» o «A'», con respecto al ancho «ℓ» o «a» con respecto a la longitud «L» o «L'» de los insertos del ensamblaje. Las amplitudes «A» y «a» se evalúan respectivamente como porcentaje con respecto al ancho «ℓ» y a la longitud «L».

La Figura 18 muestra un método para medir el perfil de desgaste de un rodillo de molienda tórico por medio del uso de varillas para compararlo con la superficie de un rodillo de molienda nuevo.

La Figura 19 muestra un perfil de desgaste de un rodillo de molienda troncocónico con una flecha más gruesa que indica el lugar donde se posiciona el desgaste máximo, lo cual es un factor determinante para el reemplazo del rodillo.

LISTA DE SÍMBOLOS DE REFERENCIA

- 1: rodillo de molienda de una sola pieza
- 2: insertos de cerámica
- 21: primera zona de los insertos de cerámica, que se colocan en el lado más expuesto al desgaste
- 22: segunda zona de los insertos de cerámica, la cual es la menos expuesta al desgaste
- 3: ejemplo de aberturas troncocónicas en los insertos de cerámica que se posicionan en la cara más sometida a tensión del rodillo de molienda
- 4: ejemplo de aberturas cilíndricas en los insertos de cerámica que se posicionan en la cara menos sometida a tensión del rodillo de molienda

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los componentes de fundición sujetos a desgaste están muy extendidos en las industrias de la explotación minera y del cemento para la trituración de rocas y minerales. Entre ellos se encuentran las mesas de los molinos de compresión verticales y sus rodillos de molienda en general, y los rodillos de molienda troncocónicos y tóricos en particular, los cuales ilustran la presente invención.

Para aumentar la resistencia al desgaste de los rodillos de molienda, se combinan aleaciones ferrosas de hierro fundido o acero con la dureza de un material de cerámica (como, por ejemplo, carburos, nitruros, óxidos de diversos tipos, etc.), que tienen una buena resistencia al desgaste.

Sin embargo, la combinación de estos dos tipos de materiales no es fácil, ya que tienen coeficientes de expansión muy diferentes que pueden generar microfisuras durante

el enfriamiento de los componentes y anular, a través de los posibles defectos de los mismos, este efecto sinérgico en un componente compuesto sujeto a desgaste.

Otra dificultad reside en el problema de la infiltración completa del inserto de cerámica por el hierro fundido líquido, el cual se tiende a enfriar al entrar en contacto con él, contrarrestando de este modo una infiltración satisfactoria.

Los fabricantes han probado numerosas configuraciones de insertos de cerámica. El inserto de cerámica más popular es el de forma de «panal», el cual es relativamente fácil de infiltrar, tal como los citados en la técnica anterior WO98/15373.

Los refuerzos de cerámica se introducen generalmente en forma de barras, es decir, en forma de un inserto en los cuales los intersticios ya han sido infiltrados por un hierro fundido líquido, y se enfrían antes de ser reintroducidos en un molde para fundir la pieza de desgaste como un solo bloque que se desea obtener. Esta tecnología se ilustra en las Figuras 3 a 5 del presente documento y es objeto de la publicación WO2005/084809.

La producción de un inserto de cerámica requiere mucha habilidad, dado que este debe tener una estructura permeable para que pueda ser infiltrado por el hierro fundido líquido, donde el nivel de permeabilidad es un factor determinante, lo que ha dado lugar a una serie de tecnologías para fabricar aglomerados de polvo (áridos) en forma de granos áridos de unos pocos milímetros, los cuales se unen en un ensamblaje de «torta/oblea» en un molde y se compactan por medio de vibración. Una vez que salen del molde, estos insertos siempre tienen intersticios irregulares del orden de 1 a 5 mm.

Existen muchas posibilidades de composiciones para la producción de un inserto de cerámica que se puede usar en un rodillo de molienda reforzado de acuerdo con la invención. En una lista no exhaustiva, se pueden mencionar los hechos de, por ejemplo:

- alúmina-circonio 10/90 a 90/10, con o sin estabilización con itria, en forma de gránulos milimétricos, que conforman un ensamblaje en áridos por medio de un adhesivo inorgánico en una estructura permeable al metal fundido y, por lo tanto, infiltrable por fundición convencional;

- partículas resultantes de compuestos metálicos o de cerámica a partir de mezclas de polvos a base de carburos, nitruros, boruros o elementos intermetálicos, cementados en un aglutinante metálico antes de ser aglomerados en una estructura permeable y, por lo tanto, infiltrable por una aleación ferrosa fundida;

- cerámica formada por síntesis exotérmica autopropagada (SHS), tal como por ejemplo carburo de titanio a partir de polvos de carbono y titanio, posiblemente mezclados con un polvo para moderar la reacción, tal como por ejemplo polvo de hierro, los cuales se pueden presentar en forma de granos milimétricos aglomerados con intersticios

milimétricos. La reacción entre el carbono y el titanio se inicia por medio de la fundición de la aleación ferrosa;

Mantener el inserto en el molde durante la fundición también requiere un cierto nivel de habilidad adquirido por los fabricantes a lo largo de los años.

La configuración y el hecho de que los insertos de cerámica se posicionen dentro de un rodillo de molienda compuesto de una sola pieza han sido objeto de numerosas investigaciones que siempre han concluido que los resultados obtenidos en las pruebas en cuanto a la velocidad de desgaste son relativamente impredecibles, dado que dependen de la aplicación específica, es decir, del tipo de máquina usada y del tipo de rocas que se van a triturar.

La situación se complica aún más por el hecho de que, durante el fenómeno de desgaste, la geometría del rodillo de molienda cambia y las zonas que al principio solo están ligeramente sometidas a tensión pueden llegar a estarlo mucho más a medida que avanza el desgaste. Por lo tanto, a menudo es necesario llegar a un compromiso en la estructura del inserto que permita conciliar el desgaste a corto y largo plazo, dos conceptos que pueden variar considerablemente de un caso específico a otro.

Los inventores del rodillo de molienda de acuerdo con la invención han producido ahora una estructura de refuerzo que comprende una pluralidad de insertos de cerámica que resuelven este compromiso. Esta estructura de refuerzo se adapta a la forma final del rodillo y tiene, por ejemplo, una forma general troncocónica o tórica y comprende en su periferia un ensamblaje de insertos de cerámica que pueden tener diferentes formas, tal como por ejemplo un ensamblaje de insertos dispuestos uno al lado del otro, por lo tanto contiguos, que tienen aproximadamente la misma dimensión que el rodillo de molienda, o una superposición de dos o más «anillos» de insertos de cerámica a lo largo de líneas onduladas. El ensamblaje en uno o más anillos depende en gran medida del tamaño final del rodillo, ya que sigue existiendo un límite de viabilidad para un inserto por razones de manipulación por parte del operador (masa, volumen, friabilidad). De este modo, un rodillo que pesa una tonelada puede requerir solo un anillo con un número limitado de insertos, mientras que un rodillo que pesa más de 15 toneladas requerirá, al menos, 2 o 3 anillos con numerosos insertos superpuestos. (Véase la Figura 15b, por ejemplo).

Dependiendo de las tensiones para usos específicos, es posible prever una perforación diferenciada dependiendo de la posición del inserto en el rodillo. Por ejemplo, es posible prever una proporción diferente de perforación dependiendo de si se trata del lado más sometido a tensión, zona 21, o del lado menos sometido a tensión, zona 22, por el desgaste. En la Figura 11a se muestra un ejemplo de ensamblaje de un anillo de insertos de este tipo para un rodillo de molienda tórico, y en la Figura 14a se muestra un ejemplo

de dos anillos superpuestos. En la Figura 15b se muestran tres anillos de insertos superpuestos.

Para evitar la propagación del desgaste a lo largo de una línea predeterminada, es preferible ensamblar los insertos superpuestos de una manera escalonada.

Las estructuras de cerámica perforadas tienen aberturas de cualquier forma en general. Las aberturas que se proporcionan en la estructura de la inserción tienen un diámetro generalmente de entre 1 y 10 cm, preferentemente de entre 1 y 8 cm y, de manera particularmente preferible, de entre 2 y 4 cm. Cuando la perforación se diferencia dentro de un mismo rodillo de molienda, la zona periférica más expuesta al desgaste 21, los orificios tienen preferentemente una forma troncocónica 3 o se combinan con orificios ciegos. La zona más expuesta también puede comprender una hábil combinación de orificios ciegos y orificios pasantes. Cuando se usan orificios ciegos, el lado ciego se coloca en el lado más sometido al desgaste. Cuando se usan aberturas troncocónicas 3, la abertura se estrecha progresivamente hacia la superficie exterior más expuesta al desgaste. En la zona menos expuesta y más perforada 22, los orificios tienen cualquier forma, pero se prefiere la forma cilíndrica. (Véase la Figura 12).

Los inventores han observado además que las líneas rectas o incluso ligeramente curvas constituirían importantes iniciadores del desgaste de un rodillo de molienda. El desgaste se propaga mucho más rápidamente en línea recta porque, una vez iniciado, no encuentra ningún obstáculo.

Para paliar este fenómeno, los inventores han eliminado los espacios entre los insertos, cuyo cambio tecnológico en su fabricación permite ahora una mejor infiltración. Los ensamblajes de insertos de acuerdo con la invención son, por lo tanto, contiguos y están formados a lo largo de una línea ondulada, lo que permite evitar el inicio y la propagación del desgaste en línea recta. Por supuesto, son concebibles todas las formas de ondas, pero por razones logísticas se da preferencia a los componentes que tienen todos la misma forma, con un lado cóncavo-convexo que permite un ensamblaje complementario perfectamente contiguo.

La amplitud de la onda y la forma de medirla se muestran en las Figuras 16 y 17. En estas figuras, la amplitud de las ondas se ha exagerado a efectos de demostración.

EJEMPLOS

Se realizaron pruebas con diferentes rodillos, de acuerdo con la invención, en un molino rotatorio vertical de dos tipos diferentes adecuados para los rodillos que se iban a probar. Con el fin de neutralizar la variable debida a la influencia de la composición de la cerámica en el desgaste, se usó la misma cerámica para todas las pruebas. Se trata de

granos milimétricos de un compuesto metal-cerámico del tipo carburo de titanio cementado en un aglutinante metálico del tipo acero al manganeso. Estos granos, de una dimensión promedio de unos 5 mm, se compactaron para formar insertos perforados de un espesor de unos 50 mm, los cuales se usaron en todas las pruebas.

Para efectos de la prueba, se realizaron configuraciones de insertos distribuidos en múltiples anillos, mientras que, en un rodillo que pesa una tonelada, por ejemplo, no sería necesario usar múltiples anillos. No obstante, los inventores querían probar el comportamiento de los rodillos de acuerdo con la invención cuando los insertos se habían configurado en múltiples anillos superpuestos con una posición escalonada.

Cada uno de los dos rodillos troncocónicos fue probado en paralelo con un rodillo de referencia durante 500 horas y el desgaste se extrapoló a 1000 horas. Para cada una de las tres pruebas de rodillos tóricos, se dispusieron dos rodillos alternados con dos rodillos de referencia y se hicieron girar durante 1000 horas. Las pruebas se realizaron de forma continua.

Las condiciones de prueba se resumen en la tabla siguiente.

Material triturado	Carbón del tipo lignita	Mineral silico-calcáreo
Tipo de molino	Polysius RM25/12 (tipo 1)	Loesche LM15,2 (tipo 2)
Tipo de rodillo	Tórico	Troncocónico
Número de rodillos en el molino	4	2
Masa del rodillo (T)	1,4	1
Dimensiones externas	130 x 33 cm	120/104 x 33 cm
Caudal (T/h)	27-30	25
Duración de la prueba	1000 horas	500 horas
Posicionamiento de los rodillos	2 rodillos de referencia y 2 rodillos de acuerdo con la invención en alternancia en el mismo molino	1 rodillo de referencia y un rodillo de acuerdo con la invención en el mismo molino

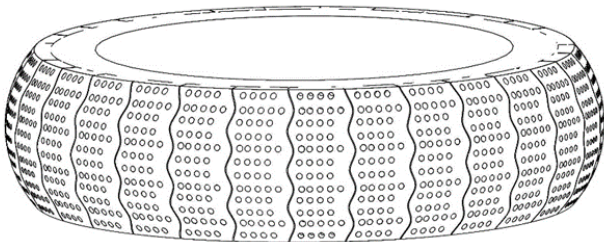
El desgaste del rodillo se puede determinar al principio a partir de mediciones de perfiles, a lo largo de generatrices, por medio de una plantilla que se presiona contra superficies que no están sometidas a desgaste. La distancia entre la superficie del rodillo y la plantilla se anota en varios puntos a lo largo de la plantilla en un número representativo de puntos en el contorno del rodillo. (Véase la Figura 18). Después, estas mediciones se comparan con las distancias anotadas en un rodillo nuevo. Se determina un perfil de

desgaste promedio que proporciona información sobre la geometría del desgaste, la cual podrá ser aprovechada por el fabricante.

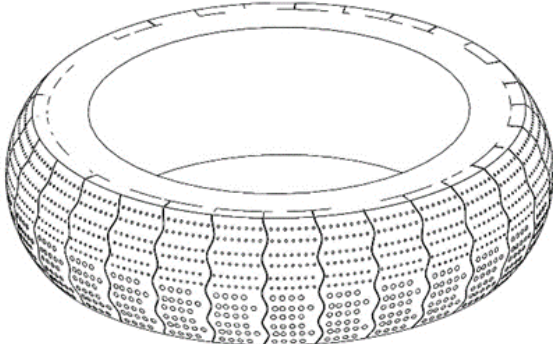
Sin embargo, la medición del desgaste seleccionado para comparar las propiedades de rendimiento de los rodillos es la profundidad máxima de desgaste del rodillo, lo cual es fundamental para su reemplazo. Es este desgaste máximo el que se usará en la tabla siguiente para las mediciones de rendimiento. Los rodillos de molienda fabricados con barras de acuerdo con el documento WO2005/084809 y que se muestran en las Figuras 3, 4 y 5 se usan como rodillos frustocónicos y tóricos comparativos de referencia. Estos rodillos de referencia se combinan cada vez con rodillos de acuerdo con la invención en el mismo molino durante la prueba. En el último caso, el desgaste se mide por encima de las barras y no entre las barras en la matriz dúctil sometida a un desgaste intenso.

Pruebas en el molino de tipo 1 con rodillos tóricos

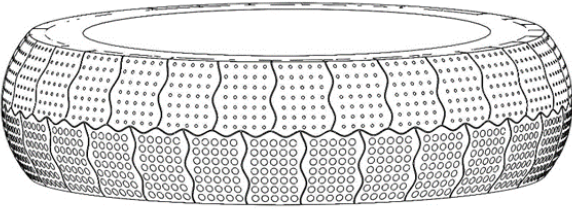
Ejemplo 1

	Rodillo tórico (como se muestra en la Figura 7a) perforado por celdas de 23 mm de la misma manera en todos los insertos, los cuales se ensamblan en un solo anillo con uniones que describen una onda de una amplitud del 14% con respecto al ancho ℓ .
---	--

Ejemplo 2

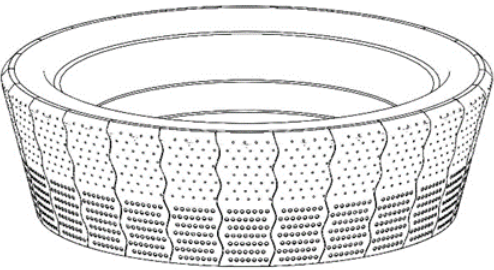
	Rodillo tórico (como se muestra en la Figura 11a) perforado de manera diferenciada por celdas de 13 y 23 mm en los insertos, los cuales se ensamblan en un solo anillo con uniones que describen una onda de una amplitud del 12% con respecto al ancho ℓ .
---	--

Ejemplo 3

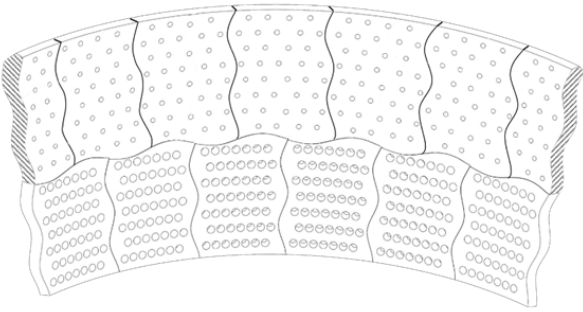
	Rodillo tórico (como se muestra en la Figura 14a) perforado de manera diferenciada por celdas de 13 y 23 mm en los insertos, los cuales se ensamblan en dos anillos escalonados con uniones que describen una onda de una amplitud (A) del 13% con respecto al ancho ℓ y de una amplitud (a) del 12% con respecto a la longitud (L).
---	---

Pruebas en el molino de tipo 2 con rodillos troncocónicos

Ejemplo 4

	Rodillo troncocónico (como se muestra en la Figura 10) perforado de manera diferenciada por celdas de 13 y 23 mm en los insertos, los cuales se ensamblan en un solo anillo con uniones que describen una onda de una amplitud (A) del 4% con respecto al ancho ℓ.
---	---

Ejemplo 5

	Rodillo tórico (como se muestra en la Figura 12) perforado de manera diferenciada por celdas de 13 y 23 mm en los insertos, los cuales se ensamblan en dos anillos escalonados con uniones que divulgan una onda de una amplitud
---	---

	(A) del 9% con respecto al ancho ℓ , y una amplitud del 5% con respecto a la longitud (L).
--	---

Resultados

Ejemplos	Número de anillos	Celdas (mm)	% de A/ ℓ	% de a/L	Desgaste mm/1000 h	Coefficiente de mejora
Referencia	1	23	-	-	11	1,00
1	1	23	14		9,9	1,11
2	1	23 y 13	12		8,8	1,25
3	2*	23 y 13	13	12	9,2	1,19
Referencia		23			37	1,00
4	1	23 y 13	4		29,1	1,27
5	2	23 y 13	9	5	33,6	1,10

(*) El ensamblaje de las insertos está montado de forma escalonada.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Con respecto a los rodillos de molienda tóricos y troncocónicos de referencia fabricados con barras de acuerdo con el documento WO2005/084809, todos los rodillos de molienda de acuerdo con la invención muestran una mejora en el rendimiento frente al desgaste. Esta mejora se sitúa entre el 10 y el 27%, lo cual es significativo.

Los rodillos que tienen una perforación diferenciada en función de la tensión de desgaste con las zonas 21 y 22 (ejemplos 2 y 4 con celdas de 13 y 23 mm) muestran mejores propiedades de rendimiento cuando la inserción de refuerzo consiste en un solo anillo de ensamblaje con un mínimo de líneas de unión.

Los rodillos que comprenden múltiples anillos superpuestos escalonados y una perforación diferenciada presentan un rendimiento reducido debido a la multiplicación del número de insertos y, por lo tanto, de las líneas de unión que serán necesarias para los rodillos de molienda de grandes dimensiones.

La perforación no diferenciada, sin zonas específicas 21 y 22, también permite una mejora del rendimiento del 11% en el rodillo de molienda tórico.