

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 898**

51 Int. Cl.:

B24D 3/00

(2006.01)

B24D 18/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06802429 .8**

96 Fecha de presentación: **28.08.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1948398**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.07.2008**

54 Título: **Herramientas abrasivas que tienen estructura permeable**

30 Prioridad:
30.09.2005 US 240809

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.10.2012

73 Titular/es:
**SAINT-GOBAIN ABRASIVES, INC.
1 NEW BOND STREET
WORCESTER, MA 01615, US**

72 Inventor/es:
**ORLHAC, Xavier;
JEEVANANTHAM, Muthu;
KRAUSE, Russell y
WU, Mianxue**

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

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).

ES 2 387 898 T3

DESCRIPCIÓN

Herramientas abrasivas que tienen estructura permeable.

En muchas operaciones de rectificación, la porosidad de la herramienta de rectificación, particularmente porosidad de naturaleza permeable o interconectada, mejora la eficiencia de la operación de rectificación y la calidad de la pieza de trabajo que se rectifica. Particularmente, se ha encontrado que el porcentaje en volumen de porosidad interconectada o permeabilidad a los fluidos es un determinante importante de la eficiencia de rectificación de las herramientas abrasivas. La porosidad interconectada permite la eliminación de los desechos de rectificación (fangos de rectificación) y el paso de fluido de refrigeración en el interior de la muela durante la rectificación. Asimismo, la porosidad interconectada proporciona acceso a los fluidos de rectificación tales como lubricantes entre los granos abrasivos móviles y la superficie de la pieza de trabajo. Estas características son particularmente importantes en el corte profundo y los procesos de precisión modernos (v.g., rectificación con avance gradual ("creepfeed")) para rectificación de alta eficiencia en la que una gran cantidad de material se elimina en un paso de rectificación profundo sin sacrificio la exactitud de la dimensión de la pieza de trabajo.

Ejemplos de tales herramientas abrasivas que tienen una estructura muy abierta y permeable incluyen herramientas abrasivas que utilizan granos abrasivos alargados o semejantes a fibras. Las Patentes U.S. Núms. 5.738.696 y 5.738.697 describen métodos para fabricar abrasivos consolidados que utilizan granos abrasivos alargados o semejantes a fibras que tienen una ratio de dimensiones de al menos aproximadamente 5:1. Un ejemplo de tales herramientas abrasivas que emplean granos abrasivos filamentosos está disponible actualmente en el comercio bajo la marca comercial ALTOS™ de Saint-Gobain Abrasives de Worcester, MA.

Las herramientas abrasivas ALTOS™ emplean granos cerámicos sinterizados de sol-gel de alúmina (Saint-Gobain Abrasives de Worcester, MA) una ratio media de dimensiones de aproximadamente 7,5:1, tales como Norton® TG2 o TGX Abrasivos (en lo sucesivo "TG2"), como un grano abrasivo filamentosos. Las herramientas abrasivas ALTOS™ son herramientas de rectificación sumamente porosas y permeables que han demostrado exhibir tasas elevadas de eliminación de metal, retención mejorada de la forma y larga vida de la muela, junto con un riesgo muy reducido de deterioro metalúrgico (véase, por ejemplo Norton Company Technical Service Bulletin, junio 2002, "Altos High Performance Ceramic Aluminum Oxide Grinding Muelas"). Las herramientas abrasivas ALTOS™ utilizan granos abrasivos que incluyen únicamente el grano abrasivo filamentosos, v.g., grano TG2, para alcanzar un grado de apertura estructural máxima de acuerdo con las teorías de empaquetamiento fibra-fibra (véase, por ejemplo, las Patentes U.S. Núms. 5.738.696 y 5.738.697). Se cree generalmente que la mezcladura de granos TG2 con una cantidad significativa de otros granos no filamentosos, tales como los granos de tipo esférico, podría poner en riesgo la apertura estructural o poner en riesgo el acabado superficial de una pieza de trabajo metálica. Sin embargo, los granos TG2, aunque muy duraderos, no son suficientemente friables para ciertas aplicaciones y el grano TG2 es más costoso de fabricar que la mayoría de los granos compactos o de forma esférica.

Por esta razón, hay necesidad desarrollar una herramienta abrasiva más friable y más eficaz en costes que tenga características de eficiencia similares a la eficiencia de las herramientas abrasivas que emplean granos abrasivos filamentosos, tales como las herramientas abrasivas ALTOS™.

WO 03/086703 se refiere a herramientas abrasivas consolidadas que tienen estructuras porosas e incluyen aglomerados de grano abrasivo que tienen cualquier tamaño o forma, aglomerados que pueden incluir menos de 10% en volumen de granos abrasivos alargados sinterizados de sol-gel de alúmina.

US 2003/0194947 se refiere a herramientas abrasivas consolidadas que tienen estructuras porosas e incluyen aglomerados de grano abrasivo sin mencionar formas específicas de los granos abrasivos, tales como una forma alargada.

SUMARIO DE LA INVENCION

Se ha descubierto ahora que las herramientas abrasivas consolidadas construidas a partir de una mezcla de un aglomerado que incluye granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina y granos abrasivos no filamentosos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados pueden tener una eficiencia mejorada con relación a las construidas con 100% de grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina o gránulos de grano abrasivo aglomerados. Por ejemplo, los Solicitantes han encontrado que las herramientas abrasivas consolidadas que incorporan un aglomerado de TG2, y gránulos de grano abrasivo aglomerado de alúmina tienen una estructura sumamente porosa y permeable, y exhiben eficiencia excelente en diversas aplicaciones de rectificación sin poner en riesgo la calidad del acabado superficial. Basándose en este descubrimiento, se describen en esta memoria una herramienta abrasiva que comprende una mezcla de un aglomerado que incluye grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina y granos abrasivos no filamentosos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados, y un método de producción de una herramienta abrasiva de este tipo.

La materia que constituye el objeto de la presente invención es una herramienta abrasiva consolidada como se define en la reivindicación 1 y un método de fabricación de una herramienta abrasiva consolidada como se define en la reivindicación 15. Las reivindicaciones subordinadas se refieren a realizaciones preferidas de los mismos.

La herramienta abrasiva consolidada comprende una mezcla de granos abrasivos, un componente ligante y 35 a 80% en volumen de porosidad. La mezcla de granos abrasivos incluye aglomerados que incluyen granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina y granos abrasivos no filamentosos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados. El grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina tiene una ratio de dimensiones de longitud a anchura de sección transversal de al menos 2:1, y los granos abrasivos en los gránulos de grano abrasivo aglomerado tienen una ratio de dimensiones de longitud a anchura de sección transversal de aproximadamente 1. La cantidad de grano abrasivo filamentosos en el aglomerado está comprendida dentro de un intervalo de 15-95% en peso con respecto al peso total del aglomerado. Los gránulos de grano abrasivo aglomerado incluyen una pluralidad de granos abrasivos mantenidos en una forma tridimensional por un material aglutinante.

En el método, se forma una mezcla de granos abrasivos, en donde la mezcla incluye aglomerados que incluyen grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina y granos abrasivos no filamentosos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados, como se ha descrito arriba. La mezcla de granos abrasivos se combina luego con un componente ligante. La mezcla combinada de granos abrasivos y componente ligante se moldea en un material compuesto conformado que incluye 35 a 80% en volumen de porosidad. El material compuesto conformado de la mezcla de granos abrasivos y componente ligante se calienta para formar la herramienta abrasiva consolidada.

La invención puede conseguir la eficiencia deseada sin poner en compromiso la calidad de acabado superficial o la apertura estructural del producto resultante. Las herramientas abrasivas que emplean aglomerados que incluyen grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina y granos abrasivos no filamentosos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados, pueden formar un retículo fibra-fibra y formar al mismo tiempo un retículo no fibroso, tal como un retículo de pseudo-esfera-esfera, en la misma estructura. Las herramientas abrasivas de la invención, tales como una muela abrasiva, tienen una estructura porosa que es sumamente permeable al flujo de fluidos, y tienen una eficiencia de rectificación excelente con tasas elevadas de eliminación de metal. La eficiencia de las herramientas abrasivas de la invención puede adaptarse a aplicaciones de rectificación por ajuste de los contenidos de la mezcla de granos para maximizar la friabilidad o la tenacidad o equilibrar ambas propiedades. Una permeabilidad alta de las herramientas abrasivas de la invención es particularmente ventajosa en combinación con tasas elevadas de eliminación de metal, minimización de la generación de calor en la zona de rectificación, y consecución así de una vida más larga de la muela reduciendo al mismo tiempo el riesgo de deterioro metalúrgico.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura es una imagen tomada al microscopio electrónico de barrido (SEM) del aglomerado de 75% de granos abrasivos Norton® TG2 y 25% de Norton® 38A para una herramienta abrasiva consolidada de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Lo que antecede y otros objetos, características y ventajas de la invención resultaran evidentes a partir de la descripción más particular que sigue de realizaciones preferidas de la invención, como se ilustran en los dibujos que se adjuntan.

Una herramienta abrasiva consolidada de la presente invención tiene una estructura permeable muy abierta que tiene porosidad interconectada. La herramienta abrasiva consolidada tiene 35% a 80% de porosidad en volumen de la herramienta. En una realización preferida, al menos 30% en volumen de la porosidad total es porosidad interconectada. Por consiguiente, las herramientas abrasivas consolidadas de la invención tienen alta porosidad interconectada, y son particularmente adecuadas para corte profundo y procesos modernos de precisión, tales como la rectificación con avance gradual. En este caso, el término "porosidad interconectada" se refiere a la porosidad de la herramienta abrasiva constituida por los intersticios entre partículas de grano abrasivo consolidado que están abiertas al flujo de un fluido. La existencia de porosidad interconectada se confirma típicamente por medida de la permeabilidad de la herramienta abrasiva al flujo de aire o agua en condiciones controladas, tal como en los métodos de test descritos en las Patentes U.S. Núms. 5.738.696 y 5.738.697.

En esta memoria, el término grano abrasivo "filamentosos" se utiliza para hacer referencia a grano abrasivo cerámico filamentosos que tiene una sección transversal generalmente uniforme en toda su longitud, donde la longitud es mayor que la dimensión máxima de la sección transversal. La dimensión máxima de la sección transversal puede ser tan alta como aproximadamente 2 mm, preferiblemente inferior a aproximadamente 1 mm, y más preferiblemente inferior a aproximadamente 0,5 mm. El grano abrasivo filamentosos puede ser recto, acodado, curvado o retorcido, por lo que la longitud se mide a lo largo del cuerpo, y no necesariamente en línea recta. Preferiblemente, el grano abrasivo filamentosos para la presente invención está curvado o retorcido.

El grano abrasivo filamentosos para la presente invención tiene una ratio de dimensiones de al menos 2:1, y de modo muy preferible al menos aproximadamente 4:1, por ejemplo, al menos aproximadamente 7:1 y comprendido en un intervalo que va desde aproximadamente 5:1 a aproximadamente 25:1. En esta memoria, la "ratio de dimensiones" o la "ratio de dimensiones longitud-a-anchura-de-sección transversal" se refiere a la ratio entre la longitud a lo largo de la dimensión principal o mayor y la extensión máxima del grano a lo largo de cualquier dimensión perpendicular la dimensión principal. En los casos en que la sección transversal es distinta de redonda, v.g., poligonal, la medida más larga perpendicular a la dirección longitudinal se utiliza en la determinación de la ratio de dimensiones.

En esta memoria, el término "gránulos de grano abrasivo aglomerados" o "grano aglomerado" hace referencia a los gránulos tridimensionales que comprenden grano abrasivo y un material aglutinante, teniendo los gránulos al menos 35% de porosidad en volumen. A no ser que los granos filamentosos se describan como constitutivos de la totalidad o parte del grano en los gránulos, los gránulos de grano abrasivo aglomerados están constituidos por grano abrasivo compacto o de forma esférica que tiene una ratio de dimensiones de aproximadamente 1,0. Los gránulos de grano abrasivo aglomerados se ilustran por los aglomerados descritos en US 6.679.758 B2. Las herramientas abrasivas consolidadas de la invención están hechas con mezclas de granos que comprenden granos abrasivos filamentosos en forma aglomerada, junto con gránulos de grano abrasivo aglomerado que comprenden granos abrasivos compactos o de forma esférica que tienen una ratio de dimensiones de aproximadamente 1,0. Cada una de estas herramientas puede incluir opcionalmente en la mezcla de granos uno o más granos abrasivos secundarios en forma suelta.

La mezcla comprende un aglomerado del grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina y los gránulos de grano abrasivo aglomerados. El aglomerado del grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina comprende una pluralidad de granos del grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina y un segundo material aglutinante. Los granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina son retenidos en una forma tridimensional por el segundo material aglutinante.

El aglomerado del grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina comprende adicionalmente un grano abrasivo secundario. El grano abrasivo secundario y el grano abrasivo filamentosos son retenidos en una forma tridimensional por el segundo material aglutinante. El grano abrasivo secundario puede incluir uno o más de los granos abrasivos conocidos en la técnica para uso en herramientas abrasivas, tales como los granos de alúmina, con inclusión de alúmina fundida, sol-gel de alúmina sinterizado no filamentosos, bauxita sinterizada, y análogos, carburo de silicio, alúmina-circonia, oxinitruro de aluminio, dióxido de cerio, subóxido de boro, granate, sílex, diamante, con inclusión de diamante natural y sintético, nitrato de boro cúbico (CBN), y combinaciones de los mismos. El grano abrasivo secundario es un grano abrasivo no filamentosos.

Las cantidades de grano abrasivo filamentosos en el aglomerado del grano abrasivo filamentosos están comprendidas en un intervalo de 15-95%, con preferencia aproximadamente 35-80%, de modo más preferible aproximadamente 45-75%, en peso con respecto al peso total del aglomerado.

La cantidad de los granos abrasivos secundarios en el aglomerado del grano abrasivo filamentosos está comprendida típicamente en un intervalo de aproximadamente 5-85%, con preferencia aproximadamente 5-65%, de modo más preferible aproximadamente 10-55%, en peso con respecto al peso total del aglomerado. Puede añadirse grano secundario opcional al grano filamentosos aglomerado y los gránulos de grano abrasivo aglomerado para formar la mezcla total de granos utilizada en las herramientas abrasivas de la invención. Un máximo de aproximadamente 50%, con preferencia aproximadamente 25%, en peso, del grano abrasivo secundario opcional puede mezclarse con el aglomerado de grano filamentosos y los gránulos de grano abrasivo aglomerados para formar la mezcla total de granos utilizada en las herramientas abrasivas de la invención.

El grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina incluye policristales de sol-gel de alúmina sinterizados. Puede incluirse sol-gel de alúmina con siembra o sin siembra en el grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina. Preferiblemente, se utiliza un grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina con siembra para la mezcla de granos abrasivos. En una realización preferida, el grano abrasivo sinterizado de sol-gel de alúmina incluye predominantemente cristales de alfa-alúmina que tienen un tamaño menor que aproximadamente 2 micrómetros, de modo más preferible no mayores que aproximadamente 1-2 micrómetros, y de modo aún más preferible menores que aproximadamente 0,4 micrómetros.

Los granos abrasivos de sol-gel de alúmina pueden fabricarse por los métodos conocidos en la técnica (véanse, por ejemplo, las Patentes U.S. Núms. 4.623.364; 4.314.827; 4.744.802; 4.898.597; 4.543.107; 4.770.671; 4.881.951; 5.011.508; 5.213.591; 5.383.945; 5.395.407; y 6.083.622. Por ejemplo, típicamente, aquéllos se fabrican por regla general mediante formación de un gel de alúmina hidratado que puede contener también cantidades variables de uno o más modificadores de tipo óxido (v.g., MgO, ZrO₂ u óxidos de metales de las tierras raras), o materiales de siembra/nucleación (v.g. α -Al₂O₃, β -Al₂O₃, γ -Al₂O₃, α -Fe₂O₃ u óxidos de cromo), seguido por secado y sinterización del gel (véase, por ejemplo, la Patente U.S. Núm. 4.623.364).

Típicamente, el grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina puede obtenerse por una diversidad de métodos tales como extrusión o centrifugación de un sol o gel de alúmina hidratada en granos filamentosos continuos, secado de los granos filamentosos así obtenidos, corte o rotura de los granos filamentosos a las longitudes deseadas y combustión posterior de los granos filamentosos a una temperatura preferiblemente no superior a aproximadamente 1500°C. Métodos preferidos para fabricar el grano se describen en US 5.244.477, US 5.194.072 y US 5.372.620. La extrusión es sumamente útil para sol o gel de alúmina hidratada entre aproximadamente 0,254 mm y aproximadamente 1,0 mm de diámetro que, después de secado y combustión, son aproximadamente equivalentes en diámetro al de las aberturas de tamiz utilizadas para los abrasivos de malla 100 o a malla 24, respectivamente. La centrifugación es sumamente útil para los granos filamentosos de tamaño inferior a aproximadamente 100 micrómetros de diámetro después de la combustión.

Los geles más adecuados para extrusión tienen por regla general un contenido de sólidos de aproximadamente 30-68%. El contenido óptimo de sólidos varía con el diámetro del filamento que se extrude. Por ejemplo, se prefiere un contenido de sólidos de aproximadamente 60% para granos abrasivos filamentosos que tengan un diámetro, después de combustión, aproximadamente equivalente a la abertura de tamiz para un grano abrasivo triturado de malla 50. Si los granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina se forman por centrifugación, es deseable añadir aproximadamente 1% a 5% de un adyuvante de centrifugación no formador de vidrio, tal como poli(óxido de etileno), al sol a partir del cual se forma el gel a fin de impartir viscosidad y propiedades elásticas deseables al gel para la formación de los granos abrasivos filamentosos. El adyuvante de centrifugación se elimina por quemado de los granos abrasivos filamentosos durante la calcinación o combustión.

Cuando se utiliza un grano abrasivo filamentoso de sol-gel de alúmina con siembra para la mezcla de granos abrasivos, durante el proceso de extrusión o centrifugación de un sol o gel de alúmina hidratada en granos filamentosos continuos, se añade preferiblemente una cantidad eficaz de un material de siembra cristalino submicrométrico que promueve una conversión rápida de la alúmina hidratada contenida en el gel en cristales muy finos de α -alúmina. Ejemplos del material de siembra son como se ha descrito arriba.

Pueden generarse diversas formas deseadas para los granos de gel extrudidos por extrusión del gel a través de matrices que tengan la forma deseada para la sección transversal de los granos. Éstos pueden ser, por ejemplo, de forma cuadrada, adiamantada, oval, tubular, o en estrella. En general, sin embargo, la sección transversal es redonda. Los granos filamentosos continuos formados inicialmente se rompen o cortan preferentemente en longitudes de la dimensión máxima deseada para la aplicación de rectificación propuesta. Después que los granos filamentosos de gel se han conformado, cortado o triturado como se desea, y secado en caso necesario, se convierten los mismos en una forma final de granos abrasivos por combustión controlada. Generalmente, la temperatura para el paso de combustión está comprendida en un intervalo que varía entre aproximadamente 1200°C y aproximadamente 1350°C. Típicamente, el tiempo de combustión está dentro de un intervalo entre aproximadamente 5 minutos y 1 hora. Sin embargo, pueden utilizarse también otras temperaturas y tiempos. Para granos más gruesos que aproximadamente 0,25 mm, se prefiere realizar una precombustión del material secado a aproximadamente 400-600°C durante aproximadamente varias horas a aproximadamente 10 minutos a fin de eliminar las materias volátiles remanentes y el agua combinada que podrían causar agrietamiento de los granos durante la combustión. Particularmente para granos formados a partir de geles con siembra, una combustión excesivamente rápida hace que los granos mayores absorban a su alrededor la mayor parte de los granos más pequeños, disminuyendo con ello la uniformidad del producto en una escala micro-estructural.

Los gránulos de grano abrasivo aglomerados para la mezcla de granos abrasivos en la presente invención son gránulos tridimensionales que incluyen una pluralidad de granos abrasivos y un material aglutinante. Los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen una dimensión media que es aproximadamente 2 a 20 veces mayor que el tamaño medio de malla de los granos abrasivos. Preferiblemente, los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen un diámetro medio que está dentro de un intervalo entre aproximadamente 200 y aproximadamente 3000 micrómetros. Típicamente, los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen una densidad de empaquetamiento suelto (LPD) de, v.g., aproximadamente 1,6 g/cc para tamaño de malla 120 (106 micrómetros) y aproximadamente 1,2 g/cc para grano de tamaño de malla 60 (250 micrómetros), y una porosidad de aproximadamente 30 a 88% en volumen. Los gránulos de grano abrasivo filamentoso aglomerados fabricados con grano TG2 tienen una densidad de empaquetamiento suelto de aproximadamente 1,0 g/cc. Para la mayoría de los granos, la densidad de empaquetamiento suelto del grano abrasivo aglomerado es aproximadamente 0,4 veces la densidad de empaquetamiento suelto del mismo grano medida como grano suelto sin aglomerar. Los gránulos de grano abrasivo aglomerado tienen preferiblemente un valor mínimo de resistencia al aplastamiento de aproximadamente 0,2 MPa.

Los gránulos de grano abrasivo aglomerados pueden incluir uno o más de los granos abrasivos conocidos como adecuados para uso en herramientas abrasivas, tales como los granos de alúmina, con inclusión de alúmina fundida, alúmina sinterizada no filamentosa sol-gel, bauxita sintetizada, y análogos; carburo de silicio; alúmina-circonia, con inclusión de alúmina-circonia co-fundida y alúmina-circonia sinterizada; oxinitruro de aluminio, subóxido de boro, granate, sílex, diamante, con inclusión de diamante natural y sintético, nitrato de boro cúbico (CBN); y combinaciones de los mismos. Ejemplos adicionales de granos abrasivos adecuados incluyen granos abrasivos de sol-gel de alúmina sinterizados y sin siembra que incluyen alfa-alúmina microcristalina y al menos un modificador de tipo óxido, tales como óxidos de metales de las tierras raras (v.g., CeO_2 , Dy_2O_3 , Er_2O_3 , Eu_2O_3 , La_2O_3 , Nd_2O_3 , Pr_2O_3 , Sm_2O_3 , Yb_2O_3 y Gd_2O_3), óxidos de metales alcalinos (v.g., Li_2O , Na_2O y K_2O), óxidos de metales alcalinotérreos (v.g., MgO , CaO , SrO y BaO) y óxidos de metales de transición (v.g., HfO_2 , Fe_2O_3 , MnO , NiO , TiO_2 , Y_2O_3 , ZnO y ZrO_2) (véanse, por ejemplo, las Patentes U.S. Núms. 5.779.743, 4.314.827, 4.770.671, 4.881.951, 5.429.647 y 5.551.963). Ejemplos específicos de los granos abrasivos de sol-gel de alúmina sinterizados y sin siembra incluyen aluminatos de tierras raras representados por la fórmula $\text{of LnMAI}_{11}\text{O}_{19}$, en la cual Ln es un ion metálico trivalente tal como La, Nd, Ce, Pr, Sm, Gd, o Eu, y M es un catión metálico divalente tal como Mg, Mn, Ni, Zn, Fe, o Co (véase, por ejemplo, la Patente U.S. Núm. 5.779.743). Tales aluminatos de tierras raras tienen generalmente una estructura cristalina hexagonal, a la que se hace referencia a veces como estructura de cristales de magnetoplumbito. Una diversidad de ejemplos de gránulos de grano abrasivo aglomerados pueden encontrarse en la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2 y la Publicación de Solicitud de Patente U.S. Núm. 2003/0194954.

Puede utilizarse cualquier tamaño de grano abrasivo. Preferiblemente, el tamaño de los gránulos de grano abrasivo aglomerados para la mezcla de granos abrasivos se selecciona de modo que minimice la pérdida de porosidad y permeabilidad de la muela. Los tamaños de grano adecuados para uso en los gránulos de grano abrasivo aglomerados varían desde granos abrasivos de tamaño de malla regular (v.g., mayores que aproximadamente 60 y hasta aproximadamente 7000 micrómetros) hasta tamaños de malla microabrasivos (v.g., aproximadamente 0,5 a aproximadamente 60 micrómetros), y mixturas de estos tamaños. Para una operación de rectificación abrasiva dada, puede ser deseable aglomerar granos abrasivos con un tamaño de malla menor que un tamaño de malla de grano abrasivo (no aglomerado) seleccionado normalmente para esta operación de rectificación abrasiva. Por ejemplo, puede emplearse un abrasivo de tamaño de malla aglomerada 80 (180 micrómetros) en sustitución de un abrasivo de malla 54 (300 micrómetros), un aglomerado de malla 100 (125 micrómetros) en sustitución de un abrasivo de malla 60 (250 micrómetros) y un aglomerado de malla 120 (106 micrómetros) en sustitución de un abrasivo de malla 80 (180 micrómetros).

Un tamaño de aglomerado preferido para granos abrasivos típicos está comprendido entre 200 y 3000, de modo más preferible aproximadamente 350 a aproximadamente 2000, y de modo muy preferible aproximadamente 425 a aproximadamente 1000 micrómetros de diámetro medio. Para un grano micro-abrasivo, un tamaño de aglomerado preferido varía desde aproximadamente 5 a aproximadamente 180, de modo más preferible aproximadamente 20 a aproximadamente 150, y de modo muy preferible aproximadamente 70 a aproximadamente 120 micrómetros de diámetro medio.

En los gránulos de grano abrasivo aglomerados de la invención, los granos abrasivos están presentes típicamente en una proporción de aproximadamente 10 a aproximadamente 95% en volumen del aglomerado. Preferiblemente, los granos abrasivos están presentes en aproximadamente 35 a aproximadamente 95% en volumen, de modo más preferible aproximadamente 48 a aproximadamente 85% en volumen, del aglomerado. El resto del aglomerado comprende material aglutinante y poros.

Como en el caso de los gránulos de grano abrasivo aglomerados, un aglomerado de los granos abrasivos filamentosos de sol-gel para uso en la presente invención son granos tridimensionales que incluyen una pluralidad de granos abrasivos filamentosos de sol-gel y un segundo material aglutinante. El aglomerado de los granos abrasivos filamentosos de sol-gel incluye adicionalmente un grano abrasivo secundario como se ha descrito arriba. El grano abrasivo secundario es de forma no filamentosa. El aglomerado del grano abrasivo filamentoso de sol-gel que incluye una pluralidad de granos del grano abrasivo filamentoso de sol-gel y el grano abrasivo secundario se utiliza para la mezcla de granos abrasivos en combinación con los gránulos de grano abrasivo aglomerados. Las características típicas de los aglomerados de granos abrasivos filamentosos de sol-gel son como se ha expuesto anteriormente para los gránulos de grano abrasivo aglomerados.

Por selección de tamaños de malla diferentes para mezclas del grano filamentoso y el grano no filamentoso, es posible ajustar la eficiencia de rectificación de las herramientas abrasivas que contienen los granos aglomerados. Por ejemplo, una herramienta utilizada en una operación de rectificación que opera con una tasa de eliminación de material (MRR) relativamente alta puede fabricarse con un aglomerado de granos que comprende un grano cuadrado o compacto de alúmina de malla 46 (355 micrómetros) y un grano TG2 de malla 80 (180 micrómetros). En otro ejemplo, una herramienta utilizada en una operación de rectificación que requiera un acabado controlado de superficie fina, sin arañazos en la superficie de la pieza de trabajo, puede fabricarse con un aglomerado de granos que comprende un grano cuadrado o compacto de alúmina de malla 120 (106 micrómetros) y un grano TG2 de malla 80 (180 micrómetros).

Cualquier material ligante (aglutinante) utilizado típicamente para en la técnica herramientas abrasivas consolidadas puede utilizarse para el material aglutinante de los gránulos de grano abrasivo aglomerados (en lo sucesivo "el primer material aglutinante") y el segundo material aglutinante de los granos abrasivos aglomerados o filamentosos de sol-gel. Preferiblemente, los materiales aglutinantes primero y segundo incluyen cada uno independientemente un material inorgánico, tales como materiales cerámicos, materiales vitrificados, composiciones ligantes vitrificadas y combinaciones de los mismos, más preferiblemente materiales cerámicos y vitrificados de la clase utilizada como sistemas ligantes para herramientas abrasivas vitrificadas consolidadas. Estos materiales ligantes vitrificados pueden ser un vidrio pre-calcinado molido hasta convertirse en un polvo (una frita), o una mixtura de diversas materias primas tales como arcilla, feldespato, cal, bórax y sosa, o una combinación de materiales de frita y crudos. Dichos materiales se funden y forman una fase vítrea líquida a temperaturas que van desde aproximadamente 500 a aproximadamente 1400°C y mojan la superficie del grano abrasivo para crear puntos de ligación después del enfriamiento, manteniendo así el grano abrasivo dentro de una estructura compuesta. Ejemplos de materiales aglutinantes adecuados para uso en los aglomerados pueden encontrarse, por ejemplo, en la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2 y la Publicación de Solicitud de Patente U.S. Núm. 2003/0194.954. Los materiales aglutinantes preferidos se caracterizan por una viscosidad de aproximadamente 345 a 55.300 poise a aproximadamente 1180°C, y por una temperatura de fusión de aproximadamente 800 a aproximadamente 1300°C.

En una realización preferida, los materiales aglutinantes primero y segundo son cada uno independientemente una composición ligante vitrificada que comprende una composición de óxidos calcinados de SiO₂, B₂O₃, Al₂O₃, óxidos alcalinotérreos y óxidos alcalinos. Un ejemplo de la composición de óxidos calcinados incluye 71% en peso de SiO₂

y B_2O_3 , 14% en peso de Al_2O_3 , menos de 0,5% en peso de óxidos alcalinotérreos y 13% en peso de óxidos alcalinos.

Los materiales aglutinantes primero y segundo pueden ser también un material cerámico, con inclusión de sílice, silicatos alcalinos, alcalinotérreos, alcalinos y alcalinotérreos mixtos, silicatos de aluminio, silicatos de circonio, silicatos hidratados, aluminatos, óxidos, nitruros, oxinitruros, carburos, oxcarburos y combinaciones y derivados de los mismos. En general, los materiales cerámicos difieren de los materiales vítreos o vitrificados en que los materiales cerámicos comprenden estructuras cristalinas. Algunas fases vítreas pueden estar presentes en combinación con las estructuras cristalinas, particularmente en los materiales cerámicos en estado no refinados. En esta invención pueden utilizarse materiales cerámicos en estado crudo, tales como arcillas, cementos y minerales. Ejemplos de materiales cerámicos específicos adecuados para uso en esta invención incluyen sílice, silicatos de sodio, mullita y otros aluminosilicatos, circonia-mullita, aluminato de magnesio, silicato de magnesio, silicatos de circonio, feldespato y otros aluminosilicatos alcalinos, espinelas, aluminato de calcio, aluminato de magnesio y otros aluminatos alcalinos, circonia, circonia estabilizada con óxido de itrio, magnesia, óxido de calcio, óxido de cerio, dióxido de titanio, u otros aditivos de tierras raras, talco, óxido de hierro, óxido de aluminio, bohemia, óxido de boro, óxido de cerio, oxinitruro de alúmina, nitruro de boro, nitruro de silicio, grafito y combinaciones de estos materiales cerámicos.

En general, los materiales aglutinantes primero y segundo se utilizan cada uno independientemente en forma de polvo y se añaden opcionalmente a un vehículo líquido para asegurar una mixtura uniforme y homogénea de material aglutinante con grano abrasivo durante la fabricación de los aglomerados.

Preferiblemente se añade una dispersión de aglutinantes orgánicos a los componentes del material aglutinante en polvo como adyuvantes de moldeo o de procesamiento. Estos aglutinantes pueden incluir dextrinas, almidón, cola de proteínas animales, y otros tipos de cola; un componente líquido, tal como agua, disolvente, modificadores de la viscosidad o del pH, y adyuvantes de mezclado. El uso de aglutinantes orgánicos mejora la uniformidad del aglomerado, particularmente la uniformidad de la dispersión del material aglutinante en el grano, y la calidad estructural de los aglomerados precalcinados o crudos, así como la de la herramienta abrasiva calcinada que contiene los aglomerados. Debido a que los aglutinantes orgánicos se eliminan por combustión durante la calcinación de los aglomerados, los mismos no llegan a formar parte del aglomerado acabado ni de la herramienta abrasiva acabada. Puede añadirse a la mixtura un promotor de adhesión inorgánico para mejorar la adhesión de los materiales aglutinantes al grano abrasivo en caso necesario, a fin de mejorar la calidad de la mezcla. El promotor de adhesión inorgánico puede utilizarse con o sin un aglutinante orgánico en la preparación de los aglomerados.

Aunque en los aglomerados de la invención se prefieren materiales aglutinantes que funden a temperatura elevada, el material aglutinante puede comprender también otros aglutinantes inorgánicos, aglutinantes orgánicos, materiales ligantes orgánicos, materiales ligantes metálicos y combinaciones de los mismos. Se prefieren los materiales aglutinantes utilizados en la industria de las herramientas abrasivas como ligantes para abrasivos orgánicos consolidados, abrasivos con recubrimiento, abrasivos con ligantes metálicos y análogos.

El material aglutinante está presente en aproximadamente 0,5 a aproximadamente 15% en volumen, de modo más preferible aproximadamente 1 a aproximadamente 10% en volumen, y de modo muy preferible aproximadamente 2 a aproximadamente 8% en volumen del aglomerado.

La porosidad en % en volumen preferida en el interior del aglomerado es lo más alta técnicamente posible dentro de las limitaciones de resistencia mecánica del aglomerado necesarias para fabricar una herramienta abrasiva y realizar operaciones de rectificación con ella. La porosidad puede variar desde aproximadamente 30 a aproximadamente 88% en volumen, con preferencia aproximadamente 40 a aproximadamente 80% en volumen y de modo muy preferible aproximadamente 50 a aproximadamente 75% en volumen. Una porción (v.g. hasta aproximadamente 75% en volumen) de la porosidad interior de los aglomerados está presente preferiblemente como porosidad interconectada, o porosidad permeable al flujo de los fluidos, con inclusión de líquidos (v.g., refrigerante y fangos de rectificación) y aire.

La densidad de los aglomerados puede expresarse de diversas maneras. La densidad aparente de los aglomerados puede expresarse como la LPD. La densidad relativa de los aglomerados puede expresarse como un porcentaje de la densidad relativa inicial, o como una ratio de la densidad relativa de los aglomerados a los componentes utilizados para fabricar los aglomerados, teniendo en cuenta el volumen de porosidad interconectada en los aglomerados.

La densidad relativa media inicial, expresada como porcentaje, puede calcularse dividiendo la LPD por una densidad teórica de los aglomerados suponiendo porosidad cero. La densidad teórica puede calcularse de acuerdo con el método volumétrico de la regla de las mezclas a partir de porcentaje en peso y la densidad relativa del material aglutinante y del grano abrasivo contenido en los aglomerados. Para los aglomerados útiles en la invención, un porcentaje máximo de densidad relativa es aproximadamente 50% en volumen, siendo más preferido un porcentaje máximo de densidad relativa de aproximadamente 30% en volumen.

La densidad relativa puede medirse por una técnica volumétrica de desplazamiento de fluido a fin de incluir la porosidad interconectada y excluir la porosidad de celdas cerradas. La densidad relativa es la ratio del volumen de los aglomerados medido por desplazamiento de fluido al volumen de los materiales utilizados para fabricar los aglome-

5 rados. El volumen de los materiales utilizados para fabricar los aglomerados es una medida del volumen aparente basado en las cantidades y densidades de empaquetamiento suelto del grano abrasivo y el material aglutinante utilizado para fabricar los aglomerados. En una realización preferida, una densidad relativa máxima de los aglomerados es con preferencia aproximadamente 0,7, siendo más preferida una densidad relativa máxima de aproximadamente 0,5.

10 Los aglomerados de granos abrasivos pueden conformarse por una diversidad de técnicas en numerosos tamaños y formas. Estas técnicas pueden realizarse antes, durante o después de la combustión de la mixtura de la etapa inicial ("cruda") del grano y el material aglutinante. El paso de calentamiento de la mixtura para hacer que el material aglutinante se funda y fluya, adhiriéndose así el material aglutinante al grano y fijando el grano en una forma aglomerada, se conoce como combustión, calcinación o sinterización. Cualquier método conocido en la técnica para aglomeración de mixturas de partículas puede utilizarse para preparar los aglomerados abrasivos. Por ejemplo, pueden utilizarse los métodos descritos en la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2 y la Publicación de Solicitud de Patente U.S. Núm. 2003/0194954.

15 En una realización preferida, los aglomerados de granos abrasivos, tales como gránulos de granos abrasivos aglomerados sinterizados, se preparan por los pasos de: i) alimentación de los granos abrasivos y el material aglutinante a un horno rotativo de calcinación a un régimen de alimentación controlado; ii) rotación del horno a una velocidad controlada; iii) calentamiento de la mixtura a una régimen de calentamiento determinada por el régimen de alimentación y la velocidad del horno a una temperatura comprendida en un intervalo que va desde aproximadamente 80°C a aproximadamente 1300°C; iv) volteo del grano y el material aglutinante en el horno hasta que el material aglutinante se adhiere a los granos y se adhieren unos a otros una pluralidad de granos para crear los gránulos aglomerados sinterizados; y v) recuperación del horno de los gránulos aglomerados sinterizados. Preferiblemente, los gránulos aglomerados sinterizados tienen una densidad de empaquetamiento suelto igual a o menor que aproximadamente 1,6 g/cc.

25 En un ejemplo del proceso utilizado en esta memoria para fabricar los aglomerados, la mixtura inicial de grano y material aglutinante se aglomera antes de calcinar la mixtura a fin de crear una estructura mecánica relativamente débil a la que se hace referencia como "aglomerado crudo" o "aglomerado precalcinado". En este ejemplo, el grano abrasivo y los materiales aglutinantes pueden aglomerarse en el estado crudo por varias técnicas diferentes, v.g., en un peletizador de bandeja, y alimentarse luego a un aparato rotativo de calcinación para sinterización. Los aglomerados crudos pueden disponerse sobre una bandeja o rejilla y calcinarse en el horno, sin volteo, en un proceso continuo o por lotes.

30 El grano abrasivo puede transportarse a un lecho fluidizado, mojarse luego con un líquido que contiene el material aglutinante para adherir el material aglutinante al grano, tamizarse al tamaño de los aglomerados, y calcinarse por último en un horno o aparato de calcinación.

35 La peletización en bandeja puede realizarse por adición de grano a un bol mezclador, y dosificación de un componente líquido que contiene el material aglutinante (v.g., agua, o aglutinante orgánico y agua) sobre el grano, con mezcladura, para aglomerarlos juntos. Una dispersión líquida del material aglutinante, opcionalmente con un aglutinante orgánico, puede pulverizarse sobre el grano, después de lo cual el grano recubierto puede mezclarse para formar aglomerados.

40 Puede utilizarse un aparato de extrusión a baja presión para extrudir una pasta de grano y material aglutinante en tamaños y formas que se secan para formar aglomerados. Puede fabricarse una pasta de los materiales aglutinantes y grano con una solución de aglutinante orgánico, y extrudirse en una forma deseada, v.g., partículas filamentosas, con el aparato y método descritos en U.S. Pat. Núm. 4.393.021.

45 En un proceso de granulación en seco, una hoja o bloque hecho de grano abrasivo incluido en una dispersión o pasta del material aglutinante puede secarse, y puede utilizarse luego un compactador de rodillos para romper el material compuesto de grano y material aglutinante.

En otro método de fabricación de aglomerados crudos o precursores, la mixtura del material aglutinante y el grano puede añadirse a un dispositivo de moldeo y puede moldearse la mixtura para conformar formas y tamaños precisos, por ejemplo, de la manera descrita en la Patente U.S. Núm. 6.217.413 B1.

50 En un segundo ejemplo el proceso útil en esta invención para fabricar los aglomerados, una mixtura simple, preferiblemente una mixtura sustancialmente homogénea, del grano y material aglutinante (opcionalmente con un aglutinante orgánico) se alimenta a un aparato rotativo de calcinación (véase, por ejemplo, U.S. 6.679.758). La mixtura se voltea en tambor a un número de revoluciones predeterminado y conforme a una inclinación predeterminada, con aplicación de calor. Se forman aglomerados a medida que la mixtura del material aglutinante se calienta, funde, fluye y se adhiere al grano. Los pasos de combustión y aglomeración se llevan a cabo simultáneamente a tasas y volúmenes de alimentación y aplicación de calor controlados. La tasa de alimentación se ajusta generalmente para producir un flujo que ocupa aproximadamente 8-12%, en volumen, del tubo (es decir, la porción del horno) del aparato de calcinación rotativo. La exposición a la temperatura máxima dentro del aparato se selecciona para mantener la viscosidad de los materiales aglutinantes en estado líquido con una viscosidad de al menos aproximadamente 1000

poise. Esto evita un flujo excesivo del material aglutinante sobre la superficie del tubo y la pérdida de material aglutinante de la superficie del grano abrasivo. El proceso de aglomeración para aglomerar y calcinar los aglomerados puede llevarse a cabo en un solo paso de proceso o en dos pasos separados, preferiblemente en un solo paso de proceso.

- 5 Máquinas de calcinación rotativas adecuadas pueden obtenerse de Harper International, Buffalo, N.Y., o de Alstom Power, Inc., Applied Test Systems, Inc., y otros fabricantes de equipo. El aparato puede proveerse opcionalmente de dispositivos electrónicos, de control y detección durante la fabricación, un sistema de refrigeración, diversos diseños de aparatos de alimentación y otros dispositivos opcionales.

10 En el caso de la aglomeración de granos abrasivos con materiales aglutinantes de temperatura de curado comparativamente baja (v.g., del orden de aproximadamente 80 a aproximadamente 500°C), puede utilizarse un aparato de horno rotativo equipado con un secador rotativo. El secador rotativo suministra aire caliente al extremo de descarga del tubo para calentar la mixtura de grano abrasivo, curando de este modo el material aglutinante y ligándolo al grano, y aglomerar con ello el grano abrasivo a medida que se recoge del aparato. Como se utiliza en esta memoria, el término "horno de calcinación rotativo" se ilustra por tales dispositivos de secador rotativo.

15 En un tercer ejemplo del proceso útil en esta invención para fabricar aglomerados, una mixtura del grano abrasivo, materiales aglutinantes y un sistema aglutinante orgánico se alimenta a un horno, sin pre-aglomeración, y se calienta. La mixtura se calienta a una temperatura suficientemente alta para causar que el material aglutinante funda, fluya y se adhiera al grano, después de lo cual se enfría para fabricar un material compuesto. El material compuesto se tritura y tamiza para producir los aglomerados sinterizados.

20 En un cuarto ejemplo, los aglomerados no se sinterizan antes de la fabricación de la herramienta abrasiva, sino que más bien los aglomerados "crudos" se moldean con material ligante, para formar un cuerpo de la herramienta y el cuerpo se calcina para formar la herramienta abrasiva. En un método preferido de realización de este proceso, se utiliza un material aglutinante vitrificado de alta viscosidad (cuando se funde para formar un líquido) a fin de aglomerar el grano en el estado crudo. Los aglomerados crudos se secan en un horno y se mezclan con una segunda composición ligante vitrificada, preferiblemente de viscosidad comparativamente baja, y se moldean en la forma de una herramienta abrasiva cruda. Esta herramienta cruda se calcina a una temperatura que es eficaz para fundir, pero evitando el flujo del material aglutinante vitrificado de alta viscosidad. La temperatura de calcinación se selecciona de modo que sea suficientemente alta para fundir la composición de material aglutinante en un vidrio; aglomerar de este modo el grano, y hacer que la composición ligante fluya, ligue los aglomerados y forme la herramienta. Para realizar este proceso no es esencial seleccionar materiales de viscosidad diferente y materiales con temperaturas de fusión diferentes. Otras combinaciones de materiales aglutinantes y materiales ligantes conocidas en la técnica pueden utilizarse en este método para fabricar las herramientas abrasivas a partir de aglomerados en estado crudo.

35 Las herramientas abrasivas consolidadas de la invención incluyen generalmente cualquier tipo de producto abrasivo convencional. Ejemplos de tales productos abrasivos convencionales incluyen muelas, ruedas de recortar y piedras de afilar, que están constituidas por un componente ligante y una mezcla de granos abrasivos, o un aglomerado de granos abrasivos filamentosos de sol-gel, como se ha descrito arriba. Métodos adecuados para fabricar herramientas abrasivas consolidadas se describen en las Patentes U.S. Núms. 5.129.919, 5.738.696 y 5.738.697

40 Cualquier ligante utilizado normalmente en artículos abrasivos puede emplearse en la presente invención. Las cantidades de ligante y abrasivo varían por regla general desde aproximadamente 3% a aproximadamente 25% de ligante y aproximadamente 10% a aproximadamente 70% de grano abrasivo, en volumen, referido a la herramienta. Preferiblemente, la mezcla de granos abrasivos está presente en la herramienta abrasiva consolidada en una cantidad de aproximadamente 10-60%, de modo más preferible aproximadamente 20-52%, en volumen de la herramienta. Una cantidad preferida de ligante puede variar dependiendo del tipo de ligante utilizado para la herramienta abrasiva.

45 En una realización, las herramientas abrasivas de la invención pueden consolidarse con un ligante de resina. Ligan-
tes de resina adecuados incluyen resinas fenólicas, resinas urea-formaldehído, resinas melamina-formaldehído, resinas de uretano, resinas de acrilato, resinas poliéster, resinas aminoplásticas, resinas epoxi, y combinaciones de las mismas. Ejemplos de ligantes de resina adecuados y técnicas para fabricación de dichos ligantes pueden encontrarse, por ejemplo, en las Patentes U.S. Núms. 6.251.149; 6.015.338; 5.976.204; 5.827.337; y 3.323.885. Típicamente, los ligantes de resina están contenidos en las composiciones de las herramientas abrasivas en una cantidad de aproximadamente 3%-48% en volumen. Opcionalmente, pueden añadirse además aditivos a los ligantes de resina, tales como fibras, adyuvantes de rectificación, lubricantes, agentes humectantes, agentes tensioactivos, pigmentos, colorantes, agentes antiestáticos (v.g., negro de carbono, óxido de vanadio, grafito, etc.), agentes de acoplamiento (v.g., silanos, titanatos, circoaluminatos, etc.), plastificantes, agentes de suspensión y análogos. Una cantidad típica de los aditivos es aproximadamente 0-70% referida a volumen de la herramienta.

En otra realización, el componente ligante de la herramienta comprende un material inorgánico seleccionado del grupo constituido por materiales cerámicos, materiales vitrificados, composiciones ligantes vitrificadas y combinacio-

nes de los mismos. Ejemplos de ligantes adecuados pueden encontrarse en las Patentes U.S. Núms. 4.543.107; 4.898.597; 5.203.886; 5.025.723; 5.401.284; 5.095.665; 5.711.774; 5.863.308; y 5.094.672.

Por ejemplo, ligantes vítreos adecuados para la invención incluyen ligantes vítreos convencionales utilizados para granos abrasivos de alúmina fundida o de sol-gel de alúmina. Tales ligantes se describen en las Patentes Núms. 5.203.886, 5.401.284 y 5.536.283. Estos ligantes vítreos pueden calcinarse a temperaturas relativamente bajas, v.g., aproximadamente 850-1200°C. Otros ligantes vítreos adecuados para uso en la invención pueden calcinarse a temperaturas inferiores a aproximadamente 875°C. Ejemplos de estos ligantes se describen en la Patente U.S. Núm. 5.863.308. Preferiblemente, se emplean en la invención ligantes vítreos que pueden calcinarse a una temperatura comprendida en un intervalo que va desde aproximadamente 850°C a aproximadamente 1200°C. En un ejemplo específico, el ligante vítreo es un boro-alumino-silicato alcalino (véanse, por ejemplo, las Patentes U.S. Núms. 5.203.886, 5.025.723 y 5.711.774).

Los ligantes vítreos están contenidos en las composiciones de las herramientas abrasivas típicamente en una cantidad menor que aproximadamente 28% en volumen, tal como entre aproximadamente 3 y aproximadamente 25% en volumen; entre aproximadamente 4 y aproximadamente 20% en volumen; y entre aproximadamente 5 y aproximadamente 18,5% en volumen.

Opcionalmente, el componente ligante de la herramienta abrasiva y los materiales aglutinantes, con inclusión de los materiales aglutinantes primero y segundo, pueden incluir el mismo tipo de composiciones ligantes, tal como una composición ligante vitrificada que comprende una composición de óxidos calcinados de SiO_2 , B_2O_3 , Al_2O_3 , óxidos alcalinotérreos y óxidos alcalinos.

El aglomerado de grano abrasivo filamentosos de sol-gel en combinación con los gránulos de grano abrasivo aglomerados, permite la producción de herramientas abrasivas consolidadas con una estructura altamente porosa y permeable. Sin embargo, opcionalmente pueden incorporarse en las presentes muelas medios convencionales inductores de poros tales como perlas de vidrio huecas, perlas de vidrio compactas, perlas de resina huecas, perlas de resina compactas, partículas alveolares de vidrio, burbujas de alúmina, y análogos, proporcionando con ello aún más amplitud con respecto a variaciones de calidad y número de estructuras.

Las herramientas abrasivas consolidadas de la invención contienen desde aproximadamente 35% a aproximadamente 80%, y contienen con preferencia desde aproximadamente 40% a aproximadamente 68% en volumen, referido a la herramienta.

Cuando se emplea un ligante de resina, la mezcla combinada de granos abrasivos y componente ligante de resina se cura a una temperatura, comprendida por ejemplo en un intervalo que va desde aproximadamente 60°C a aproximadamente 300°C para fabricar una herramienta abrasiva resinoide. Cuando se emplea un ligante vítreo, la mezcla combinada de granos abrasivos y componente ligante vítreo se calcina a una temperatura, comprendida por ejemplo en un intervalo que va desde aproximadamente 600°C a aproximadamente 1350°C para fabricar una herramienta abrasiva vitrificada.

Cuando se emplea un ligante vítreo, las herramientas abrasivas vitrificadas se calcinan típicamente por métodos conocidos por los expertos en la técnica. Las condiciones de calcinación están determinadas fundamentalmente por el ligante y los abrasivos utilizados realmente. La calcinación puede realizarse en una atmósfera inerte o en el seno de aire. En algunas realizaciones, los componentes combinados se calcinan en una atmósfera de aire ambiente. Como se utiliza en esta memoria, la frase "atmósfera de aire ambiente" hace referencia al aire extraído del ambiente sin tratamiento.

Los procesos de moldeo y prensado para formar las herramientas abrasivas, tales como muelas, piedras abrasivas, piedras de afilar y análogos, pueden realizarse por métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, en la Patente U.S. Núm. 6.609.963, se expone un método adecuado de este tipo.

Típicamente, los componentes se combinan por mezcladura mecánica. Pueden incluirse ingredientes adicionales, tales como, por ejemplo, aglutinante orgánico, como se conoce en la técnica. Los componentes pueden combinarse secuencialmente o en un solo paso. Opcionalmente, la mixtura resultante puede tamizarse para eliminar aglomerados que pueden haberse formado durante la mezcladura.

La mixtura se dispone en un molde apropiado para prensado. Usualmente se emplean pistones conformados para tapar la mixtura. En un ejemplo, los componentes combinados se moldean y prensan en una forma adecuada para una llanta de muela abrasiva. El prensado puede realizarse por cualquier medio adecuado, tal como prensado en frío o prensado en caliente, como se describe en la Patente Núm. 6.609.963. Se prefieren métodos de moldeo y prensado que eviten el aplastamiento de los cuerpos huecos.

Se prefiere el prensado en frío, e incluye generalmente aplicación, a la temperatura ambiente, de una presión inicial suficiente para mantener el ensamblaje del molde unido como un todo.

Cuando se emplea prensado en caliente, la presión se aplica antes de la calcinación, o durante la misma. Alternativamente, la presión puede aplicarse al ensamblaje del molde después de retirar un artículo del horno, a lo que se hace referencia como "acuñado en caliente".

- 5 En algunas realizaciones en las que se emplean los cuerpos huecos, preferiblemente al menos 90% en peso de los cuerpos huecos permanecen intactos después del moldeo y prensado.

El artículo abrasivo se retira del molde y se enfría al aire. En un último paso, la herramienta calcinada puede rebordearse y acabarse de acuerdo con la práctica estándar, y someterse después a ensayos acelerados antes de utilizarla.

- 10 Las herramientas abrasivas de la invención son adecuadas para rectificar todo tipo de metales, tales como diversos aceros que incluyen acero inoxidable, acero colado y acero cementado para herramientas; hierro colado, por ejemplo hierro dúctil, hierro maleable, hierro esferoidal al grafito, fundición de coquilla y hierro modular; y metales como cromo, titanio y aluminio. En particular, las herramientas abrasivas de la invención son eficientes en aplicaciones de rectificación en las que existe una gran área de contacto con la pieza de trabajo, tales como la alimentación con avance gradual, rectificación de engranajes y superficies y especialmente donde se utilizan materiales difíciles de rectificar y termosensibles, tales como aleaciones basadas en níquel.

La invención se describe adicionalmente por los ejemplos que siguen, que no deben considerarse como limitantes.

EJEMPLOS

Ejemplo 1. Preparación de muelas abrasivas con una mezcla de dos alimentaciones de aglomerado

- 20 Se prepararon diversas combinaciones de un aglomerado de gránulos abrasivos filamentosos de sol-gel y granos abrasivos aglomerados para muelas abrasivas experimentales, como se describe en la Tabla 1. En esta, "TG2" representa un ejemplo de un grano abrasivo filamentososo de sol-gel de alúmina con siembra obtenido de Saint-Gobain Abrasivos de Worcester, MA. Se utilizaron granos abrasivos de alúmina fundidos Norton® 38A que están disponibles de la misma compañía para los gránulos de grano abrasivo aglomerados (en lo sucesivo "38A").

- 25 Se formularon una serie de muelas experimentales con diferentes ratios de grano TG2 a aglomerado de grano 38A. A dichas muelas que tienen una mezcla de un grano abrasivo filamentososo de sol-gel de alúmina, o un aglomerado de los mismos, y gránulos de grano abrasivo aglomerados se hace referencia en esta memoria como muelas de tipo "grano-TG2 aglomerado". Se construyeron cuatro muelas de grano TG2 aglomerado (20)-(23) con cantidades globales de 10, 30, 50 y 75% en peso de TG2, y respectivamente granos de 90, 70, 50 y 25% de granos 38A. Las muelas se fabricaron a partir de dos alimentaciones de aglomerado:

- 30 a) aglomerado con 75% en peso de TG2 (ratio de dimensiones (8:1) y 25% en peso de 38A que tenía un tamaño de malla 120 (38A-120)) en 3% en peso del Material Aglutinante C descrito en la Tabla 2 de la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2 (la composición calcinada comprende 71% en peso de formadores de vidrio ($\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$); 14% en peso de Al_2O_3 , < 0,5% en peso de RO alcalinotérreo (CaO , MgO); 13% en peso de R_2O alcalino (Na_2O , K_2O , Li_2O); la densidad relativa es 2,42 g/cc y la viscosidad (Poise) a 1180°C es 345); y
- 35 b) aglomerado de 38A que tiene un tamaño de malla 60 (38A-60) en 3% en peso del Material Aglutinante C.

- La alimentación a) contiene un aglomerado de 75% en peso de granos TG2 que tienen un tamaño de malla 80 y 25% en peso de granos de alúmina fundida 38A que tienen un tamaño de malla 120 (38A-120). La alimentación b) contiene un aglomerado de granos de alúmina fundida 38A que tienen tamaños de malla 60 (38A-60). Para cada alimentación, se utilizó 3% en peso de Material Aglutinante C como el material aglutinante. Se prepararon los aglomerados a) y b) en un horno rotativo por el método descrito en el Ejemplo 5 de la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2, excepto que el horno se hizo funcionar a 1150°C. La figura muestra una imagen tomada con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del aglomerado a) de una mezcla de 75% en peso de TG2 y 25% en peso de 38A-120, aglomerada con 3% en peso de Material Aglutinante C. Como se muestra en la Figura, las mallas finas de 38A-120 dieron como resultado un recubrimiento de grano satisfactorio de los granos filamentosos TG2.

- 45 Por ello se obtuvieron tres mezclas diferentes de granos abrasivos de la invención cambiando la ratio de mezcla de aglomerados a) y b), como se resume en la Tabla 1. La muestra 20 representa una muela de referencia de aglomerados que incluye granos abrasivos filamentosos y no filamentosos, sin gránulos de grano abrasivo aglomerados (no de acuerdo con la invención).

Tabla 1. Mezclas de Granos Abrasivos Para Herramientas Abrasivas (20)-(23)

Muestra Núm.	TG2/(TG2 +38A), % p.	(75 % p. TG2 + 25 38A-120) + 3 % p. Material Aglutinante C	38A-60 + 3 % p. Material Aglutinante C
(23)	10	13	87

Muestra Núm.	TG2/(TG2 +38A), % p.	(75 % p. TG2 + 25 38A-120) + 3 % p. Material Aglutinante C	38A-60 + 3 % p. Material Aglutinante C
(22)	30	40	60
(21)	50	67	33
(20)	75	100	0

Se construyeron luego muelas abrasivas que tenían un tamaño acabado de 20" x 1" x 8 pulgadas (50,8 cm x 2,5 cm x 20,3 cm) por mezcladura del grano abrasivo y los aglomerados con Material Aglutinante C, moldeo de la mixtura en una muela y calcinación de las muelas moldeadas a 950°C. Se utilizó el corte de aglomerado -12/+ bandeja (tamiz de Malla Estándar US; aglomerados menores que la malla 12 retenidos).

Como control, se preparó una muela que empleaba 100% de un aglomerado convencional de 38A-120 (muestra **(24)**) como abrasivo por el método descrito en el Ejemplo 7 de la Patente U.S. Núm. 6.679.758 B2.

Otras muelas estándar (**(27)** y **(28)**) empleaban abrasivos que incluían 100% de material no aglomerado de 38A-120 y 100% de material no aglomerado de 38A-60, respectivamente, y las muelas estándar (**(25)** y **(26)**) empleaban abrasivos que incluían 100% de material no aglomerado de TG2-80 y material no aglomerado de TG2-120, respectivamente. Estas muelas estándar eran productos comerciales obtenidos de Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, y se marcaron con las designaciones de muela comerciales indicadas para cada una en la Tabla 2. En lo sucesivo, se hace referencia a las muelas que empleaban aglomerados convencionales, tales como un aglomerado de 38A, como "muelas de control de grano aglomerado". Análogamente, se hace referencia en lo sucesivo a las muelas que empleaban granos abrasivos convencionales filamentosos de sol-gel, tales como granos TG2, como "muelas TG2".

Ejemplo 2. Propiedades Mecánicas de las Muelas Abrasivas del Ejemplo 1

A. Módulo Elástico (Emod)

Todos los datos concernientes a Emod se midieron en una máquina Grindosonic, por el método descrito en J. Peters, "Sonic Testing of Grinding Muelas," *Advances in Machine Tool Design and Research*, Pergamon Press, 1968.

Las propiedades físicas de las muelas de grano aglomerado-TG2 (**(20)**-(**(23)**) se presentan a continuación en la Tabla 2 y se comparan contra muelas de grano aglomerado estándar (**(24)**); muelas TG2 estándar (**(25)** y **(26)**); y muelas estándar convencionales (**(27)** y **(28)**). Como se muestra en la Tabla 2, los módulos elásticos de las muelas TG2 estándar (**(25)** y **(26)**) eran similares al de la muela estándar 38A-60 (**(28)**). El módulo elástico de las muelas TG2 estándar (**(26)**) era el valor máximo entre los de las muelas testadas. De modo totalmente inesperado, la muela de grano aglomerado (**(24)**), exhibía hasta aproximadamente 40% de reducción del módulo elástico en comparación con las muelas TG2 (**(25)** y **(26)**). Es interesante que los módulos elásticos de las muelas TG2 de grano aglomerado (**(20)**-(**(23)**) eran de 37 a 42% menores que los de las muelas TG2 (**(25)** y **(26)**). Es notable que los módulos elásticos de las muelas TG2 de grano aglomerado (**(20)**-(**(23)**) no cambiaban significativamente con la ratio TG2/38A, manteniéndose muy próximos al módulo elástico de la muela de grano aglomerado (**(24)**).

Tabla 2. Características de las Muelas Abrasivas del Ejemplo 1

Muelas (% p. de mezcla abrasiva en las muelas)	% en Volumen de Composición de las Muelas				Densidad Calcinada g/cc	Módulo de Elasticidad (GPa)	Módulo de Rotura (MPa)	Dureza (choreado con arena) ^c
	Agglom.	Abras.	Ligante ^b	Porosidad				
Muela comparativa ((25)) TG2-80 E13 VCF3 ^a	N/A	38	6,4	55,6	1,67	23,5	23	1,61
Muela comparativa ((26)) TG2 120-E13 VCF3 ^a	N/A	36,2	8,2	55,6	1,66	24,2	21,0	1,46
((20)) 75%TG2	38	36,2	82	55,6	1,63	14,5	14,6	2,81
((21)) 50% TG2	38	36,2	8,2	55,6	1,64	13,8	16,5	2,32
((22)) 30% TG2	38	36,2	8,2	55,6	1,64	14,3	17,9	2,32
((23)) 10%TG2	38	36,2	8,2	55,6	1,64	15,2	21,2	2,81
Muela comparativa ((27)) 38A120-E13	N/A	36,2	8,2	55,6	1,67	15,9	28	2,90

Muelas (% p. de mezcla abrasiva en las muelas)	% en Volumen de Composición de las Muelas				Densidad Calcinada g/cc	Módulo de Elasticidad (GPa)	Módulo de Rotura (MPa)	Dureza (choreado con arena) ^c
	Aglom.	Abras.	Ligante ^b	Porosidad				
VCF2 ^a								
Muela comparativa (24) 100% 38A120	38	36,2	8,2	55,6	1,64	14,9	24,6	2,84
Muela comparativa (28) 38A60-K75 LCNN ^a	N/A	38,4	7,7	53,9	1,75	23,5	N/A	1,35

^a Las muelas comparativas son productos comerciales obtenidos de Saint-Gobain Abrasives, Inc. (Norton Company) y están marcadas con las designaciones de muela alfanuméricas indicadas para cada una.

^b Los valores para % en volumen de ligante de las muelas que empleaban aglomerados incluyen el % en volumen de material aglutinante vítreo utilizando sobre los granos para fabricar los aglomerados más el ligante de la muela.

^c Los valores de choreado con arena demuestran que las muelas experimentales eran más blandas que las muelas comparativas de grano no aglomerado **25**, **26**, y **28**.

B. Módulo de Rotura (MOR)

Se determinó el módulo de rotura sobre barras para las muestras **(20)-(27)** del Ejemplo 1 utilizando una máquina de testado mecánico Instron® Modelo MTS 1125, con una plantilla de curvar de 4 puntos con un tramo de soporte de 3" (7,5 cm), un tramo de carga de 1" (2,5 cm), y a un régimen de carga de 0,050 pulgadas por minuto (1,27 mm/min) de velocidad de la cruceta. Las medidas se realizaron por aplicación de fuerza a la muestra hasta que la misma se rompe y registro de la fuerza en el momento de la rotura. Los resultados se resumen en la Tabla 2 anterior. Como puede verse en la Tabla 2, la muela de grano aglomerado **(24)** presentaba por regla general un módulo de rotura muy similar a los productos estándar **(25)**, **(26)** y **(27)**. En general, se observaban módulos de rotura menores que el de estos productos en los productos de grano aglomerado TG2 **(20)-(23)** (véase la Tabla 2). Si bien los datos MOR de las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)-(22)**, excepto la muela de grano aglomerado-TG2 **(23)**, eran relativamente menores que los de las muelas estándar **(25)**, **(26)** y **(27)**, los mismos eran relativamente mayores en comparación con el MOR de 13-16 MPa que se midió sobre las muelas convencionales de grano aglomerado que empleaban los aglomerados 38A-60 (véase Tabla 6-2 de WO 03/086703). Así pues, los datos MOR de las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)-(23)** bastan todavía para proporcionar suficiente resistencia mecánica para la operación de rectificación, como se ilustra en el Ejemplo 3 más adelante.

La disminución del módulo de rotura observada en las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)-(23)** puede deberse al hecho de que estas muelas de grano aglomerado-TG2 eran más blandas que lo esperado dada su composición. La disminución en la densidad después de combustión que se muestra en la Tabla 2 se cree es debida a la ausencia de contracción. Esta disminución de densidad indica también que las muelas de grano aglomerado-TG2 resistían la contracción durante el procesamiento térmico con relación a las muelas comparativas que tenían una composición porcentual en volumen idéntica pero fabricadas sin grano aglomerado (es decir, porcentaje en volumen de grano, ligante y poros, hasta el total de 100%). Esta característica de las muelas de grano aglomerado-TG2 indica posibles beneficios importantes en las operaciones de fabricación y acabado de muelas abrasivas.

La rigidez relativamente baja (módulo e) de las muelas de grano aglomerado-TG2 de la invención que se ha alcanzado sin sacrificio de la resistencia mecánica (módulo de rotura) era totalmente singular e inesperada.

C. Test de Velocidad/Velocidad de Rotura por Esfuerzo Brusco

Las propiedades de resistencia mecánica determinan generalmente si un material compuesto puede utilizarse como herramienta abrasiva consolidada en una operación de rectificación. Para las muelas vitrificadas, se emplea una relación que liga la resistencia mecánica (módulo de rotura) de una barra de test de material compuesto con la resistencia a la tracción por rotación que genera el fallo de dicho material compuesto. Como consecuencia, el módulo de rotura medido sobre una barra de test puede proporcionar una estimación rápida y exacta de la velocidad de rotura por esfuerzo brusco de una muela abrasiva construida por el mismo proceso utilizando la misma formulación que la barra de test.

El test de la velocidad de rotura por esfuerzo brusco de las muelas abrasivas puede medirse directamente en el test estandarizado descrito en el Estándar ANSI B7.1-1988 (1995).

Las operaciones de rectificación convencionales con avance gradual operan tradicionalmente con muelas abrasivas a 6500 sfpm (33 m/s) con una velocidad máxima de operación de aproximadamente 8500 sfpm (43,2 m/s). Los valores del test de velocidad de rotura por esfuerzo brusco de todas las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)-(23)** eran plenamente aceptables para uso en operaciones de rectificación con avance gradual.

Ejemplo 3. Eficiencia de Rectificación de las Muelas Abrasivas del Ejemplo 1

Las muelas de grano aglomerado-TG2 (20)-(23) del Ejemplo 1 se testaron en operaciones de rectificación con avance gradual contra las muelas comparativas comerciales, (25), (26) y (27), recomendadas para uso en el proceso de rectificación con avance gradual. Se testaron también como muelas de control una muela de grano aglomerado (24) (muestra de laboratorio) y una muela de grano aglomerado (29) comercial obtenida de Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA.

La rectificación con avance gradual es una aplicación de rectificación con fuerza baja (gran superficie de contacto) utilizada comúnmente para alta eliminación de material y para materiales sensibles al quemado. Tres características principales del producto hacen mejor una rectificación con muela de avance gradual: i) baja potencia de rectificación; ii) baja sensibilidad al quemado; y iii) baja compensación de desbaste. La reducción de la potencia de rectificación puede permitir la realización de operaciones de rectificación con una tasa eliminación mayor. La reducción de la sensibilidad al quemado puede permitir también la rectificación con tasa de eliminación mayor. La reducción de la compensación de desbaste mientras se mantienen una tasa de eliminación alta y exenta de quemado puede permitir aumentar la vida de la muela.

La totalidad de las muelas utilizadas para los tests de rectificación con avance gradual tenían las mismas dimensiones de tamaño de 20 x 1 x 8 pulgadas (50 x 2,5 x 20 cm), y se testaron utilizando el Hauni-Blohm Profimat 410. Se realizó un test de rectificación de cuña, en el que la pieza de trabajo estaba inclinada en un pequeño ángulo (0,05°) con relación a la platina de la máquina sobre la cual estaba montada. Esta geometría dio como resultado un aumento en la profundidad de corte, aumento de la tasa de eliminación de material y aumento del grosor de la viruta a medida que progresaba la rectificación desde el comienzo al final. En estas operaciones de rectificación, el aumento continuo de la profundidad de corte proporcionaba un aumento continuo en la tasa de eliminación de material (MRR) para toda la longitud del bloque ((20,3 cm)). Por ello, los datos de rectificación se acumularon a lo largo de un intervalo de condiciones en una sola operación. La evaluación de la eficiencia de la muela en el test de cuña se vio ayudada adicionalmente por medida y registro electrónicos de la potencia del husillo y las fuerzas de rectificación. La determinación precisa de las condiciones (tasa de eliminación de metal (MRR), grosor de la viruta, etc.) que producían resultados inaceptables, tales como quemado durante la rectificación o rotura de la muela, facilitaba la caracterización del comportamiento de la muela y la clasificación de la eficiencia relativa del producto.

Condiciones Estándar de Rectificación Para los Tests de Rectificación con Avance Gradual de Cuña:

- i) Máquina: Hauni-Blohm Profimat 410
- ii) Modo: Rectificación con avance gradual de cuña
- iii) Velocidad de la muela: 5500 pies de superficie por minuto (28 m/s)
- iv) Velocidad de la mesa: variable desde 5 a 17,3 pulgadas/minuto (12,7-44,4 cm/min)
- v) Refrigerante: Master Chemical Trim E210 200, a 10% de concentración con agua desionizada de pozo, 72 gal/min (272 l/min)
- vi) Material de la pieza de trabajo: Inconel 718 (42 HRc)
- vii) Modo de desbaste: diamante rotativo, continuo
- viii) Compensación de desbaste: 10, 20 ó 60 micro-pulgadas/revolución (0,25, 0,5 ó 1,5 micrómetros/revolución)
- ix) Ratio de velocidades: +0,8.

Condiciones Estándar de Rectificación Para los Tests de Rectificación con Avance Gradual de Rendija:

- i) Máquina: Hauni-Blohm Profimat 410
- ii) Modo: Rectificación con avance gradual de rendija
- iii) Velocidad de la muela: 5500 pies de superficie por minuto (28 m/s)
- iv) Velocidad de la mesa: variable desde 5 a 17,3 pulgadas/minuto (12,7-44,4 cm/min)
- v) Refrigerante: Master Chemical Trim E210 200, a 10% de concentración con agua desionizada de pozo, 72 gal/min (272 l/min)
- vi) Material de la pieza de trabajo: Inconel 718 (42 HRc)
- vii) Modo de desbaste: diamante rotativo, continuo
- viii) Compensación de desbaste: 15 micro-pulgadas/revolución
- ix) Ratio de velocidades: +0,8.

Se observó un fallo por quemado de la pieza de trabajo, el acabado rugoso de la superficie o por pérdida de forma en las esquinas. No se registró el desgaste de la muela dado que se trataba de un test de rectificación con desbaste continuo. Se anotó la tasa de eliminación de material para la cual se producía un fallo (MRR máxima).

A) Rectificación de cuña de muelas de grano aglomerado-TG2 a 20 micropulgadas/rev (0,5 µm/rev) de tasa de desbaste

Las tasas de rectificación máximas (MRR) y las energías de rectificación específicas de las muelas testadas (20)-(27) a 20 micropulgadas/rev (0,5 µm/rev) de tasa de desbaste y 0,01 pulgada (0,25 mm) de profundidad inicial de la

cuña de corte se resumen en la Tabla 3. Antes que se produjera un fallo, la muela estándar de grano aglomerado (24) exhibía 53% menor de tasa de eliminación de material que el valor de la muela TG2 (25) (Fig. 4). Las muelas de grano aglomerado-TG2 (22) y (23) que empleaban 10 y 30% en peso de TG2 exhibían MRR's similares a la de la muela estándar de grano aglomerado (24). La muela de grano aglomerado-TG2 (21) que empleaba 50% en peso de TG2 exhibía una tasa máxima de eliminación muy similar a los valores de las muelas TG2 (25) y (26) (aproximadamente 12% y aproximadamente 6% menores que las de las muelas TG2 (25) y (26), respectivamente). De modo sumamente sorprendente, la muela de grano aglomerado-TG2 (20) que empleaba 75% en peso de TG2 exhibía el valor MRR máximo entre las muelas testadas, que era 27% mayor que el valor de la muela TG2 (25). Así pues, los datos MRR de las muelas de grano aglomerado-TG2 demostraban beneficios importantes de la combinación de las tecnologías de grano aglomerado y TG2.

Estos resultados sugieren que ciertas combinaciones de las tecnologías de grano aglomerado y TG2 pueden hacer posible una eficiencia de rectificación superior a la de la tecnología TG2. Esta excelente eficiencia inesperada de las muelas de grano aglomerado-TG2 de la invención con respecto a las muelas TG2 hace que la presente invención, es decir, la combinación de las tecnologías de grano aglomerado y TG2, sea un avance importante en la tecnología.

Tabla 3. Resultados de los Tests de Rectificación con 20 micropulgadas/revolución ($\mu\text{in}/\text{rev}$) ($0,5 \mu\text{m}/\text{rev}$) de Tasa de Desbaste y 0,01 pulgada (0,25 mm) de Profundidad inicial de la Cuña de Corte

	% en Volumen de Composición de las Muelas				Max, MRR ^a mm ³ /s/mm	Energía de Rectificación Específica (J/mm)	Mejora de la MRR frente a TG2 (%)	Modo de fallo
	Aglom.	Abras.	Ligante ^b	Porosidad				
Muela de control (25)* TG2-80 E13 VCF3	N/A	38	6,4	55,6	12,2	299	N/A	Quemado
Muela de control (26)* TG2-120 E13 VGF3	N/A	36,2	8,2	55,6	10,1	33,15	N/A	Quemado
(20) 75% TG2	38	36,2	8,2	55,6	15,45	26,1	27	Quemado
(21) 50% TG2	38	36,2	8,2	55,6	10,7	29,4	-12	Quemado
(22) 30% TG2	38	36,2	8,2	55,6	6,5	38,1	-47	Quemado
(23) 10% TG2	38	36,2	8,2	55,6	5,83	-	-48	Quemado
Muela de control (27)* 38A120-E13 VCF2	N/A	36,2	8 2	55,6	5,8	48,1	-53	Quemado
Muela de control (24)* 100% 38A120	38	36,2	8,2	55,6	5,8	46,95	-53	Quemado

* Las muelas comparativas de control son productos comerciales obtenidos de Saint-Gobain Abrasives Inc. (Norton Company).

^a Tasa de desbaste = 20 $\mu\text{in}/\text{rev}$ ($0,5 \mu\text{m}/\text{rev}$); velocidad de la muela = 5500 sfpm (28 m/s); d.o.c. inicial de la cuña = 0,01 pulgada (0,25 mm)

^b Los valores para porcentaje en volumen de ligante de las muelas que empleaban aglomerados incluyen el porcentaje en volumen de material aglutinante vítreo utilizado en los granos para producir los aglomerados más el ligante de la muela.

B. Comparación de las Muelas de Grano Aglomerado-TG2 con Muelas TG2 Convencionales

Los datos MRR de las muelas grano aglomerado-TG2 para una profundidad inicial de la cuña de corte distinta de la correspondiente a la sección A del Ejemplo 3 se compararon con los datos MRR de la muela estándar TG2 (25) (véase la Tabla 4). Los datos MRR de la Tabla 4 se obtuvieron para 0,05 pulgadas (1,27 mm) de profundidad inicial de la cuña de corte. Como se muestra en la Tabla 4, incluso para esta condición diferente, la muela de grano aglomerado-TG2 (20) exhibía el valor máximo de MRR entre las muelas testadas, lo que representaba una mejora de 43,8% con respecto al de la muela TG2 (25).

Tabla 4. Resultados de los Tests de Rectificación con 20 micro-pulgadas/revolución ($\mu\text{in}/\text{rev}$) ($0,5 \mu\text{m}/\text{rev}$) de Tasa de Desbaste y 0,05 pulgadas (1,27 mm) de Profundidad Inicial de la Cuña de Corte

Muela	% en Volumen de Composición de la Muela				Max. MRR ^a mm ³ /s/mm	Energía de Rectificación Específica (J/mm)	Mejora de la MRR frente a TG2 (%)	Modo de fallo
	Aglom.	Abras.	Ligante ^b	Porosidad				
Muela de control (25)* TG2-80 E13 VCF3	N/A	38	6,4	55,6	12,8	56,3	N/A	Quemado
(20) 75% TG2	38	36,2	8,2	55,6	18,4	42,3	+43,8	Quemado
(21) 50% TG2	38	36,2	8,2	55,6	10,6	52,2	-18	Quemado
Muela de control (28)* 38A60-K75 LCNN	N/A	38,4	7,7	53,9	8,1	55,1	-37	Quemado
Muela de control (29)* 100% 38A-60	38	36,4	10,7	52,9	10,2	46,5	-20	Quemado

* Las muelas comparativas de control son productos comerciales obtenidos de Saint-Gobain Abrasives Inc. (Norton Company).

^a Tasa de desbaste = 20 µin/rev (0,5 µm/rev); velocidad de la muela = 5500 sfpm (28 m/s); d.o.c. inicial de la cuña = 0,05 pulgadas (1,27 mm)

^b Los valores para porcentaje en volumen de ligante de las muelas que empleaban aglomerados incluyen el porcentaje en volumen de material aglutinante vítreo utilizado en los granos para producir los aglomerados más el ligante de la muela.

C. Efecto de la Tasa de Desbaste sobre la Tasa de Eliminación de Material

El efecto de la tasa de Desbaste sobre la Tasa de eliminación de material se examinó también en los productos TG2, grano aglomerado-TG2 y 38A estándar. Los datos del test de rectificación que se muestran en la Tabla 5 se obtuvieron para tres tasas de compensación de desbaste, 10, 20 y 60 micro-pulgadas/revolución (µin/rev) (0,25, 0,50 y 1,5 µm/rev).

La tasa máxima de eliminación de la muela 38A estándar **(27)** presentaba una variación logarítmica en función de la tasa de desbaste. En contraste, la muela TG2 **(25)** permitía un aumento constante en la tasa de eliminación de material, permitiendo que la muela se utilizara para aplicaciones de alta productividad. Los datos de la Tabla 5 muestran que las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)**-**(23)** exhibían una variación de MRR que oscilaba desde la de la muela 38A estándar **(27)** a la de la muela TG2 **(25)** de acuerdo con los contenidos de TG2. En particular, las muelas de grano aglomerado-TG2 **(20)** y **(21)** presentaban un aumento lineal de MRR con respecto a la tasa de desbaste, lo que indica que estas muelas se comportaban análogamente a la muela TG2 **(25)**. Debe indicarse que la muela de grano aglomerado-TG2 **(20)** exhibía valores MRR 58% mayores con relación al de la muela TG2 **(25)** para una tasa de desbaste muy baja, de 10 µin/rev (0,25 µm/rev). Asimismo, se observa que la muela de grano aglomerado-TG2 **(21)** exhibía datos MRR muy similares al de la muela TG2 **(25)** para diversas tasas de desbaste, en particular a 10 µin/rev (0,25 µm/rev) y 20 µin/rev (0,50 µm/rev). Estos resultados indican que la eficiencia de rectificación de las muelas de grano aglomerado-TG2 de la invención puede ser mayor en comparación con las muelas TG2 convencionales cuando se reducen las tasas de compensación, por ejemplo, entre 5 y 10 µin/rev (0,125 y 0,25 µm/rev).

Tabla 5. Resultados de los Tests de Rectificación-Tasas de Desbaste

Muela	% en Volumen de Composición de la Muela				Max, MRR ^a 10 μin/rev mm3/s/mm	Mejora % frente a TG2	Max, MRR ^a 20 μin/rev mm3/s/mm	Mejora % frente a TG2	Max,MRR ^a 60 μin/rev mm3/s/mm,	Mejora % frente a TG2
	Aglom.	Abras.	Ligante							
Muela de control (25)* TG2-80 E13	N/A	38	6,4	55,6	6,2	N/A	12,2	N/A	15,4	N/A
(20) 75% TG2	38	36,2	8,2	55,6	9,8	58	15,5	27	25,1	ex. des- gaste
(21) 50% TG2	38	36,2	8,2	55,6	5,8	-6	10,7	-12	31	desgaste en las esquinas
(22) 30% TG2	38	36,2	8,2	55,6	4,5	-27	6,5	-47	N/A	N/A
(23)10% TG2	38	36,2	82	55 6	N/A	N/A	5,8	-52	N/A	N/A
Muela de control (27)* 38A120-E13 VCF2	N/A	36,2	8,2	55,6	3,9	-37	5,8	-53	7,7	-50

* Las muelas comparativas de control son productos comerciales obtenidos de Saint-Gobain Abrasives Inc. (Norton Company).

5 ^a Velocidad de la muela = 5500 sfpm (28 m/s); profundidad de corte inicial de la cuña = 0,05 pulgadas (1,27 mm)

^b Los valores para porcentaje en volumen de ligante de las muelas que empleaban aglomerados incluyen el porcentaje en volumen de material aglutinante vítreo utilizado en los granos para producir los aglomerados más el ligante de la muela.

EQUIVALENTES

10 Si bien la presente invención se ha presentado y descrito particularmente con referencias a realizaciones preferidas de la misma, se comprenderá por los expertos en la técnica que pueden hacerse diversos cambios en forma y detalles en la misma dentro del alcance de la invención abarcado por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Una herramienta abrasiva consolidada que comprende una mezcla de granos abrasivos, un ligante y porosidad, caracterizada porque:
la mezcla de granos abrasivos comprende:
 - 5 i) aglomerados que incluyen granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina que tienen una ratio de dimensiones longitud-a-anchura de sección transversal de al menos 2:1, y granos abrasivos no filamentosos; en donde la cantidad de grano abrasivo filamentosos en el aglomerado está dentro de un intervalo de 15-95% en peso con respecto al peso total del aglomerado; y
 - 10 ii) gránulos de grano abrasivo aglomerado que incluyen una pluralidad de granos abrasivos mantenidos en una forma tridimensional por un primer material aglutinante, en donde los granos abrasivos en los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen una ratio de dimensiones longitud-a-anchura de sección transversal de aproximadamente 1; en donde la porosidad es 35 a 80 por ciento en volumen.
- 2.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 1, en donde la herramienta abrasiva consolidada tiene una estructura permeable al flujo de fluido.
- 3.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 2, en donde la mezcla incluye aproximadamente 5-90 por ciento del grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina en peso con respecto al peso total de la mezcla.
- 4.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 3, en donde el grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina tiene una ratio de dimensiones de al menos 4:1 y comprende predominantemente cristales de alfa-alúmina que tiene un tamaño menor que aproximadamente 2 micrómetros.
- 20 5.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 3, que comprende 40-68 por ciento en volumen de porosidad total.
- 6.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 5, en donde al menos 30 por ciento en volumen de la porosidad total es porosidad interconectada.
- 25 7.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 1, en donde los gránulos de grano abrasivo aglomerados comprenden al menos un tipo de grano abrasivo seleccionado del grupo constituido por alúmina fundida, sol-gel de alúmina no filamentosos sinterizada, bauxita sinterizada, alúmina-circonia cofundida, alúmina-circonia sinterizada, carburo de silicio, nitrato de boro cúbico, diamante, sílex, granate, subóxido de boro, oxinitruro de aluminio, y combinaciones de los mismos.
- 30 8.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 1, en donde el componente ligante y el material aglutinante comprenden cada uno independientemente un material inorgánico seleccionado del grupo constituido por materiales cerámicos, materiales vitrificados, composiciones ligantes vitrificadas y combinaciones de los mismos.
- 9.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 8, en donde el material aglutinante es una composición ligante vitrificada que comprende una composición de óxidos calcinados de SiO_2 , B_2O_3 , Al_2O_3 , óxidos alcalinotérreos y óxidos alcalinos.
- 35 10.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 1, en donde los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen una dimensión de tamaño dentro de un intervalo comprendido entre aproximadamente 2 y 20 veces mayor que el tamaño medio de malla de los granos abrasivos.
- 40 11.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 10, en donde los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen un diámetro comprendido en un intervalo que va desde 200 a 3000 micrómetros.
- 12.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 1, en donde los aglomerados que incluyen grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina incluyen un segundo material aglutinante.
- 45 13.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 12, en donde el grano abrasivo no filamentosos y el grano abrasivo filamentosos de sol-gel de alúmina se mantienen en una forma tridimensional por el segundo material aglutinante.
- 14.- La herramienta abrasiva consolidada de la reivindicación 12 ó 13, en donde el primer material aglutinante, el segundo material aglutinante y/o el componente ligante incluyen el mismo tipo de composición ligante.
- 50 15.- Un método de fabricación de una herramienta abrasiva consolidada, que comprende:
 - a) formar una mezcla de abrasivos;
 - b) combinar la mezcla de abrasivos y un componente ligante;
 - c) moldear la mezcla combinada de abrasivos y componente ligante en un material compuesto conformado que comprende porosidad; y

d) calentar el material compuesto conformado para formar la herramienta abrasiva consolidada; caracterizado porque la mezcla de abrasivos comprende:

5 i) aglomerados que incluyen granos abrasivos filamentosos de sol-gel de alúmina que tienen una ratio de dimensiones longitud-a-anchura de sección transversal de al menos 2:1, y granos abrasivos no filamentosos; en donde la cantidad de grano abrasivo filamentoso en el aglomerado está comprendida dentro de un intervalo de 15-95% en peso con respecto al peso total del aglomerado;

10 y
ii) gránulos de grano abrasivo aglomerados que incluyen una pluralidad de granos abrasivos mantenidos en una forma tridimensional por un primer material aglutinante, en donde los granos abrasivos en los gránulos de grano abrasivo aglomerados tienen una ratio de dimensiones de longitud-a-anchura de sección transversal, de aproximadamente 1; y
en donde la porosidad es 35 a 80% en volumen.

16.- El método de la reivindicación 15, en donde la herramienta abrasiva consolidada comprende 40-68% en volumen de porosidad total.

15 17.- El método de la reivindicación 16, en donde al menos 30 por ciento en volumen de la porosidad total es porosidad interconectada.

18.- El método de la reivindicación 15, en donde los gránulos de grano abrasivo aglomerados son gránulos aglomerados sinterizados.

