

USOS Y APLICACIONES DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

2017

Año I Vol. II



Abrasivos



Ministerio de Energía y Minería
Presidencia de la Nación

Dirección de Asistencia al Productor Minero
Dirección Nacional de Promoción Minera
Subsecretaría de Desarrollo Minero
Secretaría de Minería



Autoridades

Ministro de Energía y Minería

Ing. Juan José Aranguren

Secretario de Minería

Lic. Daniel Meilán

Subsecretario de Desarrollo Minero

Ing. Mario Capello

Director Nacional de Promoción Minera

Geol. CP. Daniel Jerez

Director de Asistencia al Productor Minero

Ing. Marcelo Pasin

Coordinadora del Programa de Asistencia a las Pymes Mineras

Lic. Laura Natacha Izquierdo González

Equipo de trabajo

Lic. Melisa Izquierdo González

Lic. Mariana Rogosz



Contenido

INTRODUCCION	4
CONSIDERACIONES GENERALES	4
VALOR ABRASIVO	4
TIPO DE PRODUCTOS ABRASIVOS	6
GRANOS O PARTÍCULAS ABRASIVOS SUELTOS.....	6
ABRASIVOS CEMENTADOS O LIGADOS.....	7
CUBIERTAS ABRASIVAS O RECUBRIMIENTOS ABRASIVOS	8
GRANOS Y POLVOS PARA JABÓN, LIMPIADORES Y PULIDORES	9
CLASIFICACION	10
ABRASIVOS NATURALES.....	11
CORINDÓN Y ESMERIL.....	11
DIAMANTES INDUSTRIALES	11
GRANATE.....	12
ESTAULOLITA	14
SÍLICE.....	14
OTROS ABRASIVOS SUAVES	15
PIEDRAS DE SÍLICE ESPECIALES.....	15
GUIJARROS O PEBBLES PARA MOLIENDA Y REVESTIMIENTOS DE MOLINOS.....	16
ABRASIVOS MANUFACTURADOS (ARTIFICIALES)	16
ABRASIVOS DE HORNO ELÉCTRICO	17
ABRASIVOS SINTERIZADOS.....	19
ABRASIVO SOL-GEL	19
DIAMANTE MANUFACTURADOS O ARTIFICIALES	19
NITRURO DE BORO.....	20
ABRASIVOS METÁLICOS.....	20
PRECIPITADOS QUÍMICOS.....	21
ÓXIDOS DE CALCIO Y MAGNESIO (CAL).....	21
OTROS ABRASIVOS MANUFACTURADOS.....	21
Tabla I. Dureza relativa de materiales abrasivos en la escala de Knoop	5
Gráfico 1: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx.....	22



INTRODUCCION

Los abrasivos son sustancias, tanto naturales como sintéticas, utilizada para amolar, pulir, desgastar, fregar, limpiar u otra forma de remover materiales sólidos, usualmente por frotamiento (como en una piedra de amolar) pero también por impacto (chorro de presión). Los hechos a cerca de su descubrimiento, tempranos usos, adaptación, y desarrollo de los abrasivos antes del siglo 20 son pocos. A partir de información más antigua y dispersa que está disponible, parece que la ciencia de los abrasivos comenzó cuando, para las herramientas de modelar, los humanos seleccionaron ciertas rocas sobre otras debido a sus propiedades útiles. Hay evidencias de que alguna clase de máquina de amolar para aserrar rocas existía en el año 4.000 a.c. en Egipto. La expansión real del uso de los abrasivos coincidió con el comienzo de la metalurgia en el Medio Este cerca del 2.000 a.c. El uso más antiguo confirmado de los abrasivos para amolar metales viene de una daga de acero encontrada con una piedra de modelar que fue datada en el año 1.500 a.c.

Las sustancias abrasivas naturales y manufacturadas juegan un importante papel en el modelado y acabado de numerosos productos con una amplia variedad de aplicaciones. La explotación y preparación de los materiales abrasivos naturales brutos para el mercado y la manufactura de sintéticos y otros materiales abrasivos deben o debería contribuir significativamente a la economía. Así como el aserrado a dimensiones especificadas mejoro el valor de las rocas de los egipcios, y el uso de abrasivos en la fabricación de los productos modernos y el agregado de abrasivos a otros agregan valor al producto final.

CONSIDERACIONES GENERALES

Las propiedades físicas más importantes de los materiales que los califica como abrasivos son la dureza, la tenacidad (o rigidez), forma y tamaño del grano, el tipo de fractura (o clivaje), y la pureza (o uniformidad). Para la fabricación productos abrasivos ligados tales como piedras de amolar, consideraciones adiciones incluyen estabilidad bajo altas temperaturas y característica de la superficie de grano ligada. Los factores económicos de costo y disponibilidad son también importantes.

Ninguna propiedad en particular es suprema para alguno uso. Algunas aplicaciones requieren extrema dureza y tenacidad, como en las brocas adiamantadas. Para otros usos, los factores de mayor importancia son la dureza, la habilidad de quebrarse o desgastarse lentamente y, en el proceso, desarrollar filos frescos de corte cuando el grano se calienta. En los papeles abrasivos o lija de granate, por ejemplo, no son deseables granos de altos clivajes, friables, o extremadamente tenaces. Para otros usos, puede ser objetable la extrema dureza, como en los abrasivos para dentífricos y para jabones de limpieza de vidrios. Para usos eficientes en aplicaciones críticas, diferentes tipos de abrasivos raramente pueden ser completamente intercambiables. Aunque tanto el cuarzo triturado y el granate son utilizadas en papeles abrasivos o lija, los dos abrasivos no son intercambiables en sus aplicaciones.

En el análisis final, la elección de un abrasivo de alta grado depende de la calidad y cantidad de trabajo realizado por el abrasivo por unidad de costo. El costo inicial de un abrasivo artificial puede ser muy más grande que el de un abrasivo natural, pero el mineral artificial puede hacer mejor un trabajo mejor y más rápido, tal que el costo final es menor. Por esta razón los abrasivos artificiales tienen una gran capacidad de reemplazo de los abrasivos naturales.

Valor Abrasivo

La dureza mineralógica, o "raya", como se expresa en la escala de Mohs es una importante propiedad en la evaluación de los minerales abrasivos, pero es una de las varias propiedades esenciales. La dureza de los minerales del cristal puro del granate almandita está cerca de 7,5. La dureza útil puede ser mucho más baja si los planos de las fracturas incipientes cruzan el cristal, o si el cristal contiene inclusiones de otro mineral. Aunque el grano de cuarzo en la arenisca tiene una dureza de 7, el ligante que mantiene los granos unidos puede ser tan débil que la roca es no valiosa como un abrasivo comercial. La dureza, resistencia, y el carácter



del ligante en las muelas o discos o piedras artificialmente ligados son totalmente tan importantes como la dureza del grano abrasivo. Para la dureza de los granos suelto, tanto la dureza por el rayado y la tenacidad ambas deben ser consideradas. En las piedras abrasivas ligadas naturales o artificiales, el carácter del ligante es igual o tal vez más importante.

El problema de la dureza abrasiva es muy complicada para las deficiencias de los métodos para probar la dureza y expresar los valores relativos. La escala de Mohs es inadecuada porque los métodos de ensayos son muy burdos y los intervalos entre los valores de la escala no son uniformes. Hay por lejos diferencias entre una dureza 6 y 7 en la escala que entre 9 y 10. Numerosos intentos han sido realizados para corregir estas deficiencias. Knoop, Peters, and Emerson (1939) idearon un método de indentación de diamante para medir la dureza que dio resultados reproducibles en una amplia variedad de materiales y valores numéricos definidos en un amplio rango, la dureza del diamante, que es aun corrientemente usado. La tabla 2 lista los valores de dureza de Knoop de varios materiales abrasivos. Otros métodos de ensayar la dureza son Vickers y Rockwell. El indentador de Vickers es moldeado como una pirámide de base cuadrada, mientras que el diamante de Knoop es uno de forma de pirámide cuadrada elongada; el ensayo de Rockwell usa un cono de diamante o un indentador de bola de acero endurecido.

Tabla I. Dureza relativa de materiales abrasivos en la escala de Knoop.

Sustancia	Dureza Knoop (K100)
Cuarzo	0820
Granate	1360
Alúmina/25% zirconio	1450
Alúmina/40% zirconio	1600
Oxido de aluminio, marrón	1850
Oxido de aluminio, rosado	1900
Oxido de aluminio, blanco	1950
Al ₂ O ₃ + 3% TiO ₂	1950
Corindón	2050
Oxido de aluminio, Sol-Gel	2100
Corindón (perpendicular al eje C)	2150
Carburo de silicio	2480
Carburo de boro	2760
Nitruro de boro cubico	7800
Diamante	8000

La tenacidad o friabilidad son tal vez más importantes que la verdadera dureza en la determinación del valor abrasivo. Los materiales muy duros no son necesariamente tenaces ni resistentes a la fractura. El diamante es el material más duro conocido, pero se fractura fácilmente por impacto. Varias técnicas para ensayar la friabilidad o tenacidad son ampliamente utilizadas en el control de calidad de los granos abrasivos. El principio común básico de operación para el ensayo de resistencia del grano es impactar una dada muestra del grano abrasivo bajo un conjunto de condiciones estandarizadas y luego medir la cantidad de fracturación. La más alta tasa de supervivencia, más tenaz el grano, los otros factores permanecen constantes.

Un simple y barato equipo para el ensayo de friabilidad o tenacidad es un simple molino a bolas. Por ejemplo, el ensayo ANSI 1987 del Instituto Nacional Americano de Estándares describe el Ensayo Estándar del Molino a Bolas para la Friabilidad o Tenacidad.

La forma del grano es otra propiedad física fundamental que debe ser considerada en la selección del mejor abrasivo para una aplicación particular. Los granos de forma de bloques y casi equidimensionales son identificados como una forma fuerte y son menos friables que los granos planos o escamosos, los cuales son



considerados formas débiles. En los discos de amolar, granos de formas fuertes son preferidos en aplicaciones de servicios extra pesados que involucran alta presión y temperatura, y los granos de formas débiles son seleccionados para abrasiones o desgastes de precisión para más cerradas tolerancias y donde son requeridas superficies altamente pulidas.

Un control cerrado de la forma del abrasivo es necesario en la tecnología moderna de abrasivos. La densidad aparente de un abrasivo es un indicador que depende de las formas, porque la densidad aparente es una función de la forma. Una muestra de granos de forma débil no se compactará eficientemente y tendrá una densidad aparente más baja que los mismos abrasivos con granos de forma fuerte.

Varias técnicas son usadas para medir la densidad aparente (forma) de un grano abrasivo. El ensayo de densidad de granos sueltos compactados está descrita en la norma ANSI B74.4-1992 (R2002), El Procedimiento para la Densidad aparente del Grano abrasivo (ANSI 1992). En la ejecución de este test, se debe tener cuidado de evitar vibraciones. El recipiente debe ser llenado hasta el derrame y luego cuidadosamente nivelado con una regla. El grano que llena el recipiente es pesado y la densidad aparente es calculada usando la fórmula convencional:

$$D = W/V,$$

Dónde: D = densidad aparente de la muestra, en g/cm^3

W = peso del grano, en g

V = volumen del recipiente, en cm^3 .

Otras características además de la forma también influyen en la resistencia de los granos abrasivos. La fabricación y procesamiento de los abrasivos aluminosos permiten el control de algunas de esas características importantes. Por ejemplo, los ensayos de laboratorio y de campo han claramente establecido que un tamaño más fino del cristal de un abrasivo, este será más fuerte. La forma del enfriamiento de la alúmina fundida es el factor dominante que influye en el tamaño del cristal del producto terminado. Generalmente, un enfriamiento rápido resultará en cristales más finos ($400 \mu\text{m}$) y un enfriamiento más lento producirá un cristal más grueso ($3,000 \mu\text{m}$).

Un rápido y barato control de calidad para chequear el tamaño de cristal es la cuenta monocristalina. Cualquier tamaño de grilla puede ser usada, pero una grilla 24 es ideal. Un microscopio petrográfico puede revelar si un grano consiste de un simple cristal (monocristalino) o dos o más cristales (policristalino). Una cuenta se realiza en 100 granos y el porcentaje encontrados de monocristales es la cuenta de monocristales. Mayor es la cuenta, más débil es el grano. Un grano policristalino es menos apto a desintegrarse porque la falla a través de un cristal en el grano es reflejada en otro cristal encontrado no en una continuidad cristalográfica con el primero.

El tratamiento térmico o tostación mejora la resistencia de grano abrasivo de óxido de aluminio fundido. La escoria calentada (impurezas entre los cristales) se ablanda y fluye entre la superficie de los granos, cementando las imperfecciones y sellando las fracturas incipientes.

TIPO DE PRODUCTOS ABRASIVOS

Granos o Partículas Abrasivos Suelos

Los granos abrasivos son producidos desde una amplia variedad de materiales para ser utilizados como grano y ser incorporados en otros productos. Los granos abrasivos son un producto importante y son el punto inicial para la fabricación de abrasivos ligados de diferentes formas, coberturas abrasivas, herramientas abrasivas, pulidoras, limpiadores, pastas abrasivas, y otros compuestos. El granate, pedernal, esquistos, arena silíceas y otros granos de minerales naturales tal como el corindón son usados como abrasivos. Los granos manufacturados como la alúmina fundida, carburo de silicio, y perdigones de acero son



también empleados como abrasivos. Cada uso tiene sus propios requerimientos especiales. Todos los granos excepto los perdigones de acero tienen una dureza Mohs de 7 o más. Además de la dureza, son importantes las propiedades físicas de tenacidad (o rigidez), forma del grano o partícula, tamaño del grano o partícula, uniformidad, y peso específico. Los granos o partículas deben ser tenaces tal que no se desintegran fácilmente por impacto. Para algunos usos, los granos o partículas redondos son considerados deseables. Para otros, se favorecen los granos con filos cortantes. La uniformidad del tamaño de los granos o partículas y otras propiedades físicas son siempre deseables. Mas alto el peso específico, mayor es la fuerza de impacto para granos de igual tamaño.

El chorro de presión es usado para limpiar rocas y concreto, limpiar fundiciones de metal, preparar las superficies para pintura, y gravar vidrio y plásticos. Los granos o partículas de tamaño relativamente grueso son usados para el aserrado de rocas, abrasión gruesa de platos de vidrio, y superficies de rocas. La arena de cuarzo, granate, corindón, esmeril, óxido de aluminio, y carburo de silicio son materiales comúnmente usados. Los abrasivos de escoria dominan el mercado de limpieza por chorro de presión en Europa. Recientemente, el bicarbonato de sodio ha sido usado como una alternativa a la arena de sílice para limpiar, pulido, desgrasado y remoción de coberturas. Es biodegradable, soluble en agua, y seguro para muchas superficies.

Los granos abrasivos pequeños son usados para el lijado de vidrios, pulido grueso de gemas y rocas ornamentales, y labrar y pulir superficies de madera.

Los polvos de grano fino son especificados para pulir y nivelar vidrio, baldosas y piedras artificiales para pisos, gemas, piedras semipreciosas, y superficies de madera. Los abrasivos finos son óxido de estaño, óxido de aluminio, óxido de cromo, óxido de cerio, polvo de diamante, feldespatos, granate, piedra pómez, diatomita, trípoli, sílice molida, arcillas, tiza, y óxido de zirconio. La mayoría de los limpiadores y abrillantadores para automóviles contienen diatomita. Los polvos de limpieza para vidrio y artículos de porcelana de baños y cocinas domésticas contienen feldespatos o piedra pómez. Un método de perforación de pequeños agujeros en vidrio, porcelana, piedras preciosas y materiales similares utiliza un tubo de latón cargado con polvo de diamante, corindón, esmeril, óxido de aluminio, carburo de silicio o carburo de boro en agua, aceite o grasa. Las mechas o brocas con punta de diamante se utilizan para estos propósitos.

El esmeril, la magnetita, el carburo de silicio y el óxido de aluminio se funden en los peldaños de escalones y rampas para aumentar la tracción.

Abrasivos Cementados o Ligados

Los granos o partículas, en clase cerrada de tamaño, son cementados o ligados y presionados o moldeados en una amplia variedad de abrasivos cementados o ligados tales como, discos abrasivos, piedras de afilar, y medios de tamboreo. Los abrasivos en estos productos fueron originalmente corindón o esmeril. El uso de abrasivos naturales ha caído enormemente con la introducción de los abrasivos de hornos eléctricos (óxido de aluminio y carburo de silicio).

Los cinco principales tipos de abrasivos cementados o ligados, dependiendo del tipo de cemento o ligante y el método de manufactura, son como sigue:

1. Discos o ruedas vitrificadas con un cemento de arcilla y feldespatos que es realizado en un horno de cerámica. A causa de su alta rigidez y estabilidad dimensional, los discos cementados vitrificados son preferidos para operaciones de abrasión de precisión. No son afectados por el agua, ácidos, aceites, y variaciones de temperatura normales.
2. Discos o ruedas resinosas con un cemento de resina sintética dura. Estos son discos o ruedas de alta velocidad utilizados en fundiciones y en talleres de soldadura, y para acondicionamiento de molduras. Son también usados en operaciones de corte y rectificado.
3. Discos o ruedas de goma, cementadas o ligadas con goma natural o sintética. Estos son de naturaleza algo elástica. Son usados para rectificado de bolas, las ruedas de alimentación sin centro, y para operaciones



portátiles de pulido donde la terminación es una consideración importante. Los discos de corte cementados por caucho pueden ser fabricadas de espesores muy delgados.

4. Discos o ruedas de goma laca usados para producir grandes terminaciones en elementos tales como árboles de levas y rollos de papel.
5. Cementados o ligados con silicato para aplicaciones donde el calor generado durante la abrasión debe ser mantenido en un mínimo. Los discos o ruedas cementadas o ligadas con silicato son de actuación moderada y son usados en el afilado de herramientas de todo tipo.

Los discos varían en al menos cinco propiedades físicas aparte de la forma y tamaño:

1. Tipo de grano o partícula abrasiva (óxido de aluminio, carburo de silicio, diamante, etc.)
2. Grano (grit) (tamaño del grano abrasivo que va desde 8 a 1500 mallas)
3. Grado (resistencia del cemento o ligante abarcando de grado 18 a 20)
4. Estructura (granos con espaciamiento de 10 a 12)
5. Cemento (vitricado, etc., en cinco tipos de cemento)

Cuando todas estas variables son combinadas con un infinito número de tamaños, formas, y diámetros que son estándares o disponibles por órdenes especiales, la complejidad del negocio de los discos abrasivos se hace realidad.

Además de los discos abrasivos, los abrasivos cementados se fabrican en bloques, ladrillos, y bastones; usados como piedras para dar formas y pulir; y como piedras de afilar. Los boques curvos y segmentos pueden ser combinados en grandes discos tales como las piedras para la industria del papel o usado como abrasivos montados o desmontados para amolar o pulir superficies curvas internas o externas.

Los abrasivos estructurados consisten en abrasivos de granos finos mezclados uniformemente con un aglutinante y formados usando técnicas de micro-replicación para formar pequeñas protuberancias de forma geométrica sobre un soporte flexible. Una altura de mineral de 0,33 mm permite un suministro continuo de minerales abrasivos frescos. La goma de borrar lápiz y tinta contienen granos abrasivos, y las ruedas similares del caucho suave, palillos, y otras formas se hacen para dar un terminado a los metales blandos.

Cubiertas Abrasivas o Recubrimientos Abrasivos

Las cubiertas abrasivas o recubrimientos abrasivos consisten de granos abrasivos de tamaño determinado aglutinado o cementado a un respaldo de papel, tela, film de poliéster, o fibras vulcanizadas.

El papel abrasivo fue originalmente cubierto con arena de sílice, pero hoy se utiliza cuarzo triturado porque sus granos o partículas tienen muchos bordes de cortes. Los principales abrasivos usados para estos propósitos son óxido de aluminio, carburo de silicio, zircón-aluminio, alúmina sol-gel, cuarzo triturado, y granate. Muchas telas de esmeril son cubiertas con carburo de silicio u óxido de aluminio.

Con excepción de los abrasivos sinterizados, todos los granos o partículas abrasivas, son realizados por triturado controlado y clase cerrada de tamaño. El triturado es realizado en un molino de dos rolos para evitar los tamaños finos – por los que hay poca demanda – con una clasificación por zaranda en clases cerradas. El producto pasa por un separador magnético para remover el hierro aportado por abrasión de los rolos y luego es vuelto a clasificar precisamente con clase cerrada de tamaño. Una cuidadosa clasificación es esencial para prevenir contaminaciones de los grados de partículas. Los polvos muy finos son clasificados por aire o flotación en agua y sedimentación.

En las primeras prácticas, el número de grado fue más o menos arbitrariamente asignado al tamaño de grano y las escalas del granate, pedernal, y esmeril era todas diferentes. Los abrasivos artificiales fueron recibiendo números en base a la designación de la malla ahora especificada en ANSI B74.1 (ANSI 1996). Varias grilla estándares de tamaño existen el todo el mundo, en Europa la Federación de Productores Europeos de Abrasivos (FEPA) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO) son reconocidas. En



Japón y Asia, el Estándar Industrial Japonés (JIS) es reconocida. La tabla III muestra la relación entre las escalas.

Tabla III. Grados de tamaño para los abrasivos *

Malla Industrial U.S.	Grado Micrómetro	FEPA o Grado P [†]	Grado JIS
400	30		500
360		P500	400
320		P360	360
280	40		320
240		P280	280
220	60	P240	240
180	80		
150	100		
120			
100	150		
80	300	P80	
60		P60	
50		P40	
40			
36		P36	
30		P30	
24		P24	

*Los espacios en blanco indican que no hay tamaño equivalente en ese Sistema de tamaño en particular.

†La serie P es utilizada solo en microgramos. FEPA tiene una serie F cuyos equivalentes es micrones son diferentes.

Fuente: Industrial Minerals and Rocks 7th Edition

Los aglutinantes o cementos para los recubrimientos abrasivos pueden ser o pegamento o resina sintética. Una cobertura inicial – cobertura base – de resina o pegamento es aplicada al soporte del abrasivo, y el grano es luego electo depositado en la superficie. Este proceso electrostático asegura una distribución y posicionamiento óptimo de los granos o partículas. Una segunda cobertura – cobertura de tamaño – de resina fija las partículas sobre el soporte. El material aglutinado o cementado es curado y procesado en varias formas como cinta, rollos, discos, o ruedas. Los abrasivos de papel y tela de granate y pedernal son los más utilizados para madera, cuero, caucho o goma dura, plásticos, fieltro, y pintura de goma o caucho y terminación de barniz sobre metal. La tela, cubierta con carburo de silicio, es usada principalmente en la industria metal mecánica. Los abrasivos de aluminio - zirconio y sol – gel son usados en cintas de tela para tareas pesadas para propósitos industriales.

Granos y Polvos para Jabón, Limpiadores y Pulidores

Muchos materiales diferentes – principalmente naturales, pero algunos manufacturados – son usados en la fabricación de jabones, limpiadores, y pulidores. El feldespato, la piedra pómez y la pumicita, arena, cuarzo molido, trípoli, diatomita, arcilla, y harina de madera son ingredientes en los jabones de mano y para lavado. El bajo precio es a menudo el principal factor en la selección de los abrasivos. Ocasionalmente, el abrasivo es un factor importante en la formulación y uso de un producto. Los limpiadores domésticos no deberían contener cuarzo ni cualquier mineral de dureza igual o superior a la del vidrio y esmaltes, aproximadamente la dureza Mohs debe ser 6 o menor. De otro modo las superficies vidrio y esmaltadas serian rayadas. Estos limpiadores no deben contener carbonato de calcio, sulfato de calcio, u otro compuesto en base a cal reactiva porque la cal reacción con muchos jabones y forman sustancias insolubles que son difíciles de remover de las superficies de vidrio y esmaltadas.

Un mineral abrasivo ideal para jabones, limpiadores, y pulidores debería ser una roca o mineral con dureza entre 3 y 5, que exista en abundancia en depósitos fácilmente explotables, cercanos a estaciones de carga de



ferrocarril, y con una razonable distancia de transporte a los mercados importantes. El material debe ser uniforme en estructura y propiedades físicas.

El tamaño final del grano del abrasivo de este grupo depende del producto terminado. Un rango de tamaño de extremadamente fino de partículas separadas por aire y flotado en agua con un tamaño expresado en micrones (más fino que malla 325) hasta malla 100 o aún más grueso para jabones de lavado para tareas pesados.

CLASIFICACION

Los abrasivos pueden ser divididos en dos clases generales, naturales y manufacturados. Los abrasivos naturales incluyen todas las rocas y minerales usados para propósitos abrasivos sin cambios químicos o físicos más allá de la trituración, conformado, o cementado en formas útiles. Los abrasivos manufacturados o artificiales por calor o acción química a partir de metales o minerales como materia prima. La tabla 4 lista los abrasivos más importantes, clasificados su tipo inherente y las formas en las cuales son usadas industrialmente.

Tabla IV. Clasificación de los abrasivos

Dureza Superior (>7.0 en Escala de Mohs)	Abrasivos Naturales		Dureza Intermedia (H 5.5 to 7.0)	Dureza Inferior (H < 5.5)	Abrasivos Manufacturados		Tipos de Productos Abrasivos
	Abrasivos de Sílice	Otras Rocas y Minerales					
Diamante 10.0	Piedra de Molino	Caliza arcillosa	Apatita		Carburo de Boro	Negro de humo	Granos y polvo abrasivo suelto
Corindón 9.0	Calcedonia	Basalto	Calcita		Nitruro de Boro	Cal	Granos abrasivos cementados como discos, bloques y formas especiales
Esmeril 7.0 a 9.0	Esquisto	Feldespato	Tiza		Carbonato de calcio precipitado	Magnesia precipitada	Cubiertas abrasivas; granos cementados sobre papel o tela
Granate 6.5 a 7.5	Pedernal	Granito	Arcilla		Fosfato de calcio	Dióxido de manganeso	Granos y polvos abrasivos; en forma de pasta; cargados en aceites o agua
Estaurilita 7.0 a 7.5	Novaculita	Esquistos micáceo	Diatomita		Oxido de cerio	Periclasa (artificial)	Granos y polvos abrasivos; formas de bloques y barra; cementos de grasa, pegamento y cera.
	Cuarzo	Perlita	Dolomita		Oxido de cromo	Carburo de silicio	Rocas naturales conformadas en piedras de afilar para varias aplicaciones.
	Cuarcita	Piedra pómez y pumicita	Óxido de hierro		Arcillas (endurecidas por temperatura)	Carburo de tantalio	Rocas naturales conformadas en piedras de afilar para varias aplicaciones.
	Arenisca	Conglomerado de cuarzo	Caliza		Diamante	Oxido de estaño	Rocas naturales conformadas en piedras para frotar y pulir tales como piedra para fregar y bloques de piedra pómez
	Arena silícea		Trípoli		Alúmina fundida	Carburo de titanio	Rocas naturales conformadas en bloques para revestimiento de molinos de tubo y de cantos rodados o guijarros
			Esquistos silíceos		Vidrio	Carburo de tungsteno	Cantos rodados o guijarros, naturales o manufacturados, para molinos de molienda
			Limo		Óxido de hierro	Oxido de zirconio	
			Talco			Silicato de zirconio	
			Trípoli		Los abrasivos metálicos, incluyendo la lana de acero, perdigones de acero, la granalla angular de acero, la lana de latón y la lana de cobre		
			Tiza		Bloques de porcelana para revestimientos de molinos y piedras de moler		

Los productos manufacturados pueden sustituir a muchos productos naturales, usualmente con un costos iniciales mas altos pero con una gran eficiencia. Esto no siempre es asi, por ejemplo, no hay un granate



manufacturado que sustituta satisfactoriamente para realizar cubiertas abrasivas sobre papel y tela. Para algunos abrasivos tales como las piedras de molinos y otros con uso en declinación, la producción de sustitutos manufacturados no ha sido económicamente atractivo. Para productos de bajo precio tales como los perdigones de acero para abrasión por presión, el óxido de aluminio fundido y el carburo de siliceo puede ser sustituido.

El uso de muchos abrasivos naturales tales como la arena y el cuarzo han tenido una caída muy seria porque las regulaciones gubernamentales de la sílice cristalina libre (un cancerígeno). Los abrasivos silíceos han sido reemplazados con abrasivos manufacturados. La transición no ha sido una pérdida neta para los minerales industriales porque virtualmente todos los abrasivos manufacturados son realizados a partir de materias primas minerales.

Abrasivos Naturales

Corindón y Esmeril

El corindón y el esmeril se han convertido relativamente en no importantes. La mayoría del esmeril es utilizado como un endurecedor para suelos resistente de hormigón y como material antideslizante en los puentes y en los peajes. La competencia proveniente de los abrasivos sintéticos ha eliminado muchos de los mercados para estos materiales; solo quedan nichos de mercados. Hay un limitado uso de este material como medio de tamboreo.

Diamantes Industriales

Los cuatro principales tipos de diamantes industriales naturales son los siguientes:

- Bort (Diamante opaco), el cual incluye diamantes defectuosos, fuera de color y fragmentos de diamantes no útiles como gemas.
- Carbonado o Diamante negro, el cual es un agregado de muy pequeños diamantes muy duros y extremadamente tenaces.
- Ballas, un muy duro, tenaz, masa globular de cristal de diamante que se irradia desde un centro común.
- Cristal de diamante usado para discos abrasivos para rectificado.

Hay una considerable producción de polvo de diamante, desecho del corte de las gemas de diamantes.

El diamante industrial se ha convertido en uno de los materiales más importantes y esenciales en la industria moderna. Las perforaciones con diamantina en un tiempo solo usadas para la localización de depósitos metálicos, es ahora ampliamente usada para explorar estructuras geológicas para petróleo y gas; chequeo de fundaciones de represas, construcciones, y maquinaria pesada; exploración de las condiciones internas en estructuras de concreto pesado tales como represas, en minería, y explosiones de demolición bajo condiciones especiales; y para otros propósitos diversos.

Algunos de los más importantes usos son los siguientes:

- Brocas de diamantes para perforaciones de roca y concreto
- Dientes de diamante para cables
- Herramientas con punta de diamante para rectificar ruedas abrasivas y para torner y perforar caucho duro, fibra, vulcanita, plásticos duros, etc.
- Sierras dentadas de diamante (segmentadas) y sierras de borde (de borde continuo) impregnadas con diamante para aserrar piedra, vidrio, cuarzo y metales, y para cortar juntas de dilatación en autopistas de hormigón, etc.
- Ruedas abrasivas, tanto para trabajos de rectificado como de corte, en las que la cara de trabajo está constituida por granalla de diamante unida a un resinoide metálico o cerámico.



- Herramientas con punta de diamante para cortar y gravar vidrio.
- Polvo de diamante para cortar de gemas.

Los carburos cementados y otras aleaciones excesivamente duras y tenaces pueden ser cortados y conformados eficientemente con herramientas de diamante. Las herramientas de punta de diamante son esenciales para el conformado rápido y preciso, y rectificado de los discos abrasivos.

Con el diamante, como con los abrasivos comunes tales como el óxido de aluminio y el carburo de silicio, las propiedades de tamaño de la partícula, su forma y friabilidad deben ser ajustadamente controladas de modo que los diamantes con las propiedades físicas apropiadas se pueden seleccionar para una aplicación particular.

Las ruedas o discos de diamante cementado o ligado con resina o por vitrificado requieren un grano de diamante abrasivo bastante friable y de forma débil. Las ruedas cementadas o ligadas para metal requieren un grano más duradero, de forma fuerte.

Un dispositivo similar al aparato para determinar la densidad del material suelto (aparente) usado para abrasivos ordinarios se aplica a abrasivos de diamante. La regla principal en cualquier determinación es la reproducibilidad ajustada de las condiciones de una prueba a otra. Otra prueba de forma es una técnica microscópica desarrollada en el Diamond Research Laboratory, Johannesburgo. Es rápido y barato, pero bastante subjetivo. Custers y Raal (1959), que reconocieron cuatro categorías de formas, refinaron aún más este método. La forma N° 1 es un cubo o esfera casi perfecta, mientras que la forma N° 4 es una escama fina o un grano similar a una aguja. Los números de forma N° 2 y 3 son intermedios. Se calcula la media aritmética en 100 granos, y este número se convierte en el "recuento de la forma" para esa muestra en particular. Belling y Dyer (1965) idearon una prueba de friabilidad en el Diamond Research Laboratory.

Granate

El nombre granate se le ha dado a un grupo de minerales que son silicatos de hierro – aluminio que tienen similares propiedades físicas, formas cristalina, y fórmula química general.

En los granates, la fórmula química general es $A_3B_2(SiO_4)_3$, donde A es un elemento divalente como calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro ferroso (Fe^{2+}), o manganeso (Mn). El B es un elemento trivalente como el aluminio (Al), hierro férrico (Fe^{3+}), o cromo (Cr), y muy raramente, titanio (Ti). Además, el titanio también reemplaza al silicio en algunos ejemplos. Hay tres prominentes grupos – aluminio, hierro, y cromo – y varias subdivisiones en cada una de ellas, muchas de las cuales son mezclas de unas con otras. Ver tabla 5.

Tabla 5: Clasificación del granate

Mineral	Formula	Color	Peso Especifico	Dureza Mohs
Almandita, hierro aluminio	$3FeO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Rojo oscuro, rojo pardo a negro	4,1 – 4,3	7,0 – 7,5
Grosularia, calcio aluminio	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Blanco, verde pálido o amarillo	3,4 – 3,6	6,5 – 7,0
Piropo, magnesio aluminio	$3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Rojo oscuro a negro	3,5 – 3,8	6,5 – 7,5
Espesartina, manganeso aluminio	$3MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Marrón a rojo	3,8 – 4,3	7,0 – 7,5
Andradita, calcio hierro	$3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Amarillo – verde, negro, verde	3,7 – 4,1	6,5 – 7,0
Uvarovita, calcio cromo	$3CaO \cdot Cr_2O_3 \cdot 3SiO_2$	Verde esmeralda	3,4 – 3,8	6,5 – 7,0

Los minerales del grupo de los granates tienen peso específicos que varían entre 3,4 a 4,3; tienen un lustre vítreo, resinoso u opaco; y son transparente a opacos. Los granates son del sistema cristalino cúbico que es



rombododecaedro, tetraedro trisoctaedros, o una combinación de ambos. Son de estructura vítrea y usualmente tiene una marcada fractura concoidal. Algunas veces, sin embargo, los minerales tienden a quebrar en finas escamas. En algunos granates la fractura es aguda filosa y desigual. El índice de refracción del grupo de los granates varía entre 1,735 a 1,94. Ocasionalmente se observa un indistinto clivaje dodecaédrico, Algunas especies de almandita posee un pronunciada estructura laminar; las láminas son planos de debilidad a lo largo del cual el mineral se separa. Esta separación no está relacionada con la forma cristalina y no es un verdadero clivaje. Los granates con alto contenido de hierro, tales como la almandita, funden a cerca de 1.200 °C. Los granates blancos que contienen un considerable porcentaje de cromo no son fundibles. Los agregados de granate están compuestos de cristales individuales de varios tamaños, son frágiles y se rompen fácilmente. El granate masivo y los cristales bien formados son notablemente resistentes y se rompen con dificultad.

Casi la totalidad de los granates comercializados están clasificados por tamaño y calidad. Las técnicas de explotación y el uso final gobiernan su tamaño. El tamaño generalmente están ajustados a estándares específicos establecidos en cooperación con instituciones públicas como el IRAM, NIST (instituto nacional de estándares y tecnología de departamento de comercio de los estados unidos) y otras, para proveer una base uniforme para una competencia justa. Los estándares de calidad para las coberturas abrasiva y los tamaños micronizados utilizados para el rectificado de vidrios y láminas metálicas tienen muy bajas tolerancias. Los abrasivos para discos, pulidos y abrasivos por presión (arenado) tienen cada uno diferentes estándares y tolerancias más grandes. Las especificaciones están cada vez más vinculadas con las regulaciones sobre salud ocupacional. Los abrasivos, por ejemplo en los Estados Unidos, deben ser materiales con bajo o libre de contenido de sílice; pasar las pruebas de lixiviación de tóxicos para el contenido total de metales, metales solubles y radiación.

Prácticamente todo los granos o partículas de granate utilizado hoy son tratados térmicamente para mejorar la adhesión más que la abrasividad propia del granate. Este grado de exposición al calor se conoce como tratamiento RT. Las impurezas recogidas durante el procesamiento se adhieren a la superficie de la partícula de granate y destruyen la limpieza y la capilaridad necesarias para proporcionar adhesión para el ligante o cemento. A mediados de la década del 60, la industria de las coberturas abrasivas acepto el estándar de color uniforme por la limpieza de la superficie de grano y presento un estándar de color mas cercano al color rojo natural de granate para abrasivo.

No hay un método exacto para probar la calidad abrasiva del granate y cualquier otro abrasivo suelto excepto por aplicación práctica. Varios ensayos aproximados y exámenes indican sus posibilidades abrasivas. La factura, filos y forma del grano, el carácter de la estructura del grano, y la presencia de inclusiones de otros minerales, los cuales debilitan la estructura del grano, pueden ser estudiadas bajo microscopio. La dureza y la tenacidad de los granos pueden ser determinadas aproximadamente colocando un definido tamaño, tal como un malla 60, entre dos vidrios para microscopio y frotándolos juntos. Los técnicos calificados pueden evaluar la dureza relativa del rayado de los granos y la cantidad de fracturación.

NIST desarrolló un probador abrasivo principalmente para probar la calidad abrasiva del corindón. Puede adaptarse para probar la calidad abrasiva de cualquier grano suelto y abrasivo. Este tipo de grano también se prueba en varias máquinas de producción o de laboratorio que evalúan la eliminación de materia de vidrio en planchas planas. Estos datos pueden correlacionarse con el rendimiento anticipado del material que se desgastará como una evaluación del rendimiento abrasivo real. En todos estos métodos, la remoción de material de desgaste real se determina pesando o midiendo. En la industria de los abrasivos recubiertos, se hacen correas de prueba y se mide la eliminación del material en bloques de prueba. Estas pruebas miden la remoción de material de desgaste solamente y son un indicador valioso cuando otras variables importantes como el cemento, el respaldo, el recubrimiento flexible y el tamaño de grano están estrechamente controlados.

Al juzgar la calidad abrasiva del granate y todos los demás abrasivos, la eliminación de material es importante, pero no es el único factor a considerar. El acabado superficial es, en la mayoría de los casos, un



factor más importante. Un abrasivo usado en algunos materiales puede ser demasiado duro y causar rasguños tan profundos en la subestructura que no pueden eliminarse en operaciones posteriores. Si el abrasivo no tiene la forma adecuada de grano o se vuelve opaco (no se descompone para producir nuevos filos afilados), tenderá a quemar o aplastar el material que se está trabajando.

Los papeles y telas recubiertos de granate se utilizan principalmente para lijar madera, pero también para acabados de cuero, caucho duro, plásticos, vidrio y metales más blandos. Los abrasivos recubiertos se han mejorado en los últimos años, principalmente mediante el uso de ligantes de resina en lugar de ligantes a base de pegamento para ciertas aplicaciones. El recubrimiento electrostático ahora se usa en general. El granate se está reemplazando en muchas de estas aplicaciones por abrasivos sintéticos como el carburo de silicio y la alúmina fundida.

Durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el corindón importado era escaso para pulir lentes ópticas, el granate era el mineral sustituto lógico. Nunca se había procesado para esta aplicación, sin embargo, después del desarrollo, el granate llenó la necesidad crítica, y sus cualidades deseables se hicieron ampliamente conocidas. Su uso disminuyó el rayado de la lente, produjo un acabado superior y, como resultado, mejoró la calidad del producto. El uso de granate reduce los rechazos y reduce el tiempo de pulido, ambos factores importantes en el desarrollo de un rectificado de lentes más económico. Las propiedades que hicieron del granate un abrasivo competitivo para esta aplicación continúan produciendo nuevos mercados en el vidrio, el plástico, la cerámica y las industrias de metales más blandos. Los polvos de granate de alta calidad se utilizan para pulir y acabar las placas frontales de tubos de rayos catódicos (CRT), pantallas de cristal líquido (LCD), semiconductores y cerámicas de pulido.

Un gran uso no técnico del granate en forma suelta es la abrasión y el corte por chorro de agua. El granate tiene la ventaja de no contener sílice libre y, por lo tanto, no puede causar silicosis. Al ser más pesado que el cuarzo, el granate produce golpes más duros que los granos de cuarzo de igual tamaño. El corte por chorro de agua requiere una clasificación uniforme, buena velocidad de corte y durabilidad, todo lo cual proporciona los granos de granate.

El granate, en diferentes tamaños de grano, también se utiliza para la fabricación de muelas abrasivas, como medios para limpieza, para aplicaciones antideslizantes y como medios de filtración. En los tamaños polvo, se convierte en compuestos para pulido.

Estaurolita

La estaurolita, un alumino silicato de hierro complejo, dureza 7 a 7,5 en la escala de Mohs, es igual o ligeramente superior que la del cuarzo. La estaurolita es utilizada principalmente en la abrasión por presión o arenado.

Sílice

El uso de la arena silícea como un abrasivo ha decrecido significativamente a causa del potencial peligro para la salud a partir de la sílice. Existe un límite permitido de exposición que estipula la cantidad de sílice cristalina libre a la que un trabajador puede estar expuesto en un turno de 8 horas. El granate, el olivino, la escoria, y la alúmina fundida son comercializadas como alternativas "seguras".

El cuarzo triturado y clasificado se usa como abrasivo en lija de papel de sílex. Casi cualquier depósito de cuarzo blanco masivo es adecuado. Al ser el más barato de todos los papeles con recubrimiento abrasivo, este producto se sigue vendiendo en cantidades razonables, principalmente en ferreterías y por pequeños empleados. Está hecho solo en forma de papel, no como tela. La verdadera tiza de pedernal se usa ampliamente para este fin en Europa; tiene mejores cualidades de corte y vida más larga que el cuarzo ordinario.



La arena triturada y molida, la arenisca, el cuarzo en polvo y el limo a veces se usan en jabones de manos, compuestos para fregar y pulidores de metales más duros.

Algunos materiales naturales, altamente silíceos que se presentan como un polvo o un abrasivo fino y que se utiliza solo en forma de polvo como un abrasivo suave. Para la mayoría de estos materiales, el uso como abrasivo es de menor importancia en comparación con sus principales aplicaciones. Aquí se revisan los usos abrasivos de la diatomita, la piedra pómez y el trípoli.

Los usos abrasivos de la diatomita incluyen pulidores de metal (plata), polvos y pastas dentales y compuestos para pulido. Los mercados más importantes son los medios de filtración, los rellenos minerales y los absorbentes.

Dentro de la categoría de pómez se incluyen la piedra pómez y la pumicita o polvo volcánico, un polvo natural. La piedra pómez es utilizada por los fabricantes de muebles e instrumentos musicales para revestir superficies de madera y metal, plateado para preparar superficies metálicas, litógrafos para limpiar superficies de piedra, restaurantes para fregar parrillas y utensilios de cocina, limpiadores para el hogar y limpiadores de manos, y por los fabricantes de jeans para el lavado a la piedra. La piedra pómez también se usa para frotar y pulir herramientas e instrumentos finos. La pumicita y la piedra pómez molida se utiliza principalmente como limpiador donde los granos finos, filosos y estriados son particularmente adecuados. Los usos menores para la piedra pómez abrasiva implican aplicaciones en compuestos para pulido; en polvos para pulir hueso, celuloide y goma dura; en el uso dental; en la preparación de circuitos electrónicos; y en la fabricación de algunos borradores de goma.

Los materiales porosos de grano fino -trípoli y rottenstone- son conocidos por el comercio como sílices blandas.

Trípoli está compuesto por granos de cuarzo microcristalinos que no tienen bordes definidos y, por lo tanto, desempeñan una función abrasiva suave en la pasta de dientes, jabones industriales y compuestos de pulido de metales. Se emplea en pequeña medida en la fabricación de algunos polvos de fregado y limpieza y para frotar superficies pintadas tales como cuerpos de automóviles.

Rottenstone, una piedra caliza silíceo-arcillosa de grano fino, grisáceo se utiliza como base para pulimentos de automóviles.

El uso final de trípoli ha cambiado drásticamente debido a la regulación de la sílice cristalina.

Otros Abrasivos Suaves

El feldespatos molido se usa ampliamente en los compuestos de fregado y limpieza y para limpiador de ventanas.

La tiza (carbonato de calcio) es una piedra caliza blanda, compacta, de grano fino y blanco, compuesta de restos calcáreos de conchas marinas microscópicas. Una pequeña cantidad de esta tiza se utiliza como un abrasivo muy suave para pulir a mano objetos, botones y materiales similares de níquel, oro, plata o enchapados.

La arcilla de China (caolín) y algunas arcillas se han utilizado con éxito en polvos de pulido. La arcilla en un tiempo era el pulidor estándar para los botones de la túnica naval y militar.

Piedras de Sílice Especiales

Aunque en general las piedras realizadas de granos abrasivos artificiales cementados han reemplazado largamente a las piedras de afilar naturales, hay aún una pequeña producción y todavía son preferidas por



cirujanos, talladores y grabadores para afilar herramientas de bordes finos. Se afirma que estas piedras dan un borde más suave y duradero.

Las piedras abrasivas naturales están hechas de una amplia variedad de materiales, incluyendo arenisca, novaculita, esquistos micáceos, arcilla silíceas, esquisto, pizarra y piedra pómez. La calidad de corte superior de algunas de estas piedras se debe a las bien diseminadas inclusiones de grano fino de granate u otros minerales de dureza superior.

Guijarros o Pebbles para Molienda y Revestimientos de Molinos

Los molinos tubulares y cónicos son a menudo usados para la molienda fina de menas, minerales, pinturas, químicos, cuerpos cerámicos, vidriados, esmaltes, clinker de cemento portland, y materiales similares. La más eficiente molienda puede ser realizada en molinos con revestimientos de hierro o acero y bolas o barras de hierro o acero. Cuando se debe evitar la contaminación por color o la pureza química del producto por metales u óxidos de metales, la superficie de molienda consiste de bloques o ladrillos para el revestimiento del molino, y guijarros o pebbles naturales o bolas artificialmente preparadas son especificadas como medios de molienda. Estos materiales tener una alta dureza abrasiva; una gran tenacidad y libres de fallas que resultara en rotura y astillas; producir un polvo blanco cuando se desgastan; y no contener impurezas metálicas oscuras tales como hierro o manganeso. Aunque muchos de los revestimientos y guijarros naturales o artificiales tienen un peso específico cercano al del cuarzo (2,6), los guijarros o pebbles de mayor densidad tienen obvias ventajas. Los guijarros o pebbles de más pesados por unidad de tamaño, tienen una mayor fuerza de impacto y abrasión. De esta forma con guijarros mas pesados, menos volumen del molino será necesario para una capacidad dada del molino. Con igual volumen de guijarros o pebbles la molienda puede ser realizada mas rápida. Las bolas pequeñas – al tener mayor superficie por peso que las bolas grandes – muelen mas rápido, pero con guijarros pequeños la unidad de peso es menor a menos que se usen guijarros o pebbles de mas alta densidad.

El material de revestimiento para molino natural preferido para la mayoría de los propósitos es el silex belga, que es una cuarcita más dura, tenaz, más o menos celular. Durante las Guerras Mundiales I y II, cuando se cortaron las importaciones, y en mucho menor medida en otros momentos, se han utilizado sustitutos como cuarcita y granitos. En algunos molinos se usan bloques especiales de porcelana, duros y densos para moler pintura, cerámica y materiales químicos.

Para los medios de molienda, los guijarros de pedernal danés, cuando están disponibles, han sido estándar por mucho tiempo debido a su dureza, tenacidad y uniformidad superiores. Los sustitutos de los medios de molienda son guijarros naturales de pedernal, cuarzo y cuarcita, y guijarros redondeados artificialmente a partir de pequeños bloques de cuarcita, granito, riolita calcedonizada u otros materiales silíceos en cilindros giratorios.

Los guijarros de cerámica están hechos de porcelana, alúmina y silimanita (mullita) muy densas y resistentes. Un guijarro denso y pesado que tiene una gravedad específica de 3,7 está hecho de zircón. Para ciertos fines, los bloques de mineral se utilizan como medios de molienda. Esta práctica se ha seguido hasta cierto punto en la molienda autógena de alguna sienita de nefelina. Los productos cerámicos y los medios de molienda con alto contenido de alúmina tienden a reemplazar los materiales naturales en estos nichos de mercado.

Abrasivos Manufacturados (Artificiales)

Con el descubrimiento del método del horno eléctrico para la fabricación de carburo silicio por Edward G. Acheson en 1891 comenzó la revolución en la industria de los abrasivos de alta grado. Antes de este tiempo,



todos los abrasivos fueron minerales naturales y rocas excepto los materiales menores preparados químicamente tales como rouge y Vienna lime. Hoy, los abrasivos artificiales, con unas muy pocas excepciones notables tales como el diamante y el granate, dominan el campo de los abrasivos de alto grado. Los abrasivos manufacturados son esenciales en la industria moderna porque ellos no solo son superiores a los abrasivos naturales sino que también son uniformes en calidad y sus propiedades pueden ser variadas hasta satisfacer las diferentes necesidades. Los métodos de producción modernos, de alta velocidad y racionalizados requieren herramientas especializadas muy precisas con un grado de uniformidad y confiabilidad que no se puede cumplir con abrasivos naturales.

Los abrasivos manufacturados pueden ser divididos en tres grupos principales: (1) productos de hornos eléctricos, (2) precipitados químicos, y (3) otros varios.

Abrasivos de Horno Eléctrico

Los abrasivos de hornos eléctrico incluyen el carburo de silicio, el óxido fundido de aluminio (alúmina-óxido de titanio; alúmina-óxido de cromo; alúmina-óxido de zirconio; alúmina-óxido de zirconio-óxido de titanio), y carburo de boro.

Carburo de silicio. El carburo de silicio, con la fórmula química SiC, es comúnmente conocido con el nombre comercial de Carborundum y Cristolon. Su fabricación por fusión de una mezcla de arena silíceo de alto grado con carbón en un horno eléctrico. La forma de carbón preferentemente usada es el coque derivado del petróleo, pero la antracita y el coque fabricado a partir de coque de baja ceniza ha sido también utilizado. La presencia de alto contenido de hierro y alúmina en la ceniza son objetables debido a la tendencia de asistir a la formación de grafito elemental y silicio metálico durante la reacción. Los carbones de alto contenido de cenizas producen carburos de silicio impuros.

El carburo de silicio es fabricado cargando un horno eléctrico de resistencia con arena de vidrio puro y coque de petróleo finamente molido. El silicio de la arena se combina con el carbón proveniente del coque para formar carburo de silicio. La temperatura en el corazón del horno está cerca de los 2.200 °C. Si la temperatura es muy alta, el carburo de silicio se descompone: la sílice es volatilizada y el carbón se convierte en grafito. El tiempo de una ronda es de 60 horas (36 horas de calentamiento y 24 horas de enfriamiento). Al final de la ronda, el corazón consiste de un tejido de cristales de carburo de silicio rodeado por materia prima sin reaccionar o parcialmente reaccionada. La calidad del producto depende grandemente de las materias primas usadas y la precisión del control y operación del horno. Varios tipos de productos son fabricados en el cual la tenacidad del grano varía. Un tratamiento especial superficial se le da a los granos para las coberturas abrasivas para incrementar el nivel de adhesión del pegamento.

El material a granel del horno es primero triturado en trituradoras de mandíbulas y luego secuencialmente procesados en molinos de rolos, bola o martillo. Es pasado a través de separadores magnéticos para extraer impurezas magnéticas. Los granos son tamizados mecánicamente en 20 o más tamaños estándares desde 8 a 240 mallas. La fracción más fina de harinas son preparadas por aire o flotación en agua y sedimentación.

Óxido de aluminio fundido. El óxido de aluminio abrasivo son fabricados en hornos eléctricos de arco. La bauxita, la materia prima cruda, debe tener las siguientes propiedades químicas típicas:

Al ₂ O ₃	85.0% to 87.0%
TiO ₂	3.0% to 4.5%
SiO ₂	3.0% to 5.5%
Fe ₂ O ₃	6.0% to 10.3%



Perdida por calcinación + H₂O combinada) 1.0% to 2.0%

El mineral extraído es triturado y luego calcinado para remover el agua libre y combinada. El mineral calcinado (80%) es mezclado con viruta de hierro (15%) y coque molido (5%) y cargado dentro del horno. El coque reduce las impurezas, las cuales se combinan con el hierro y se hunden en el fondo del horno.

Al final del periodo de fundición y reacción, la carga es vertida en moldes fríos y permitr su enfriamiento bajo condiciones controladas para obtener el deseado tamaño de cristal. Al final, la alumina cristalizada consiste típicamente de cerca de 96% Al₂O₃; 2.7% TiO₂; 0.67% SiO₂; 0.11% Fe₂O₃; and 0.40% de otros oxidos. Los oxidos de aluminio fundido se conocen como alumina fundida marron. Para ciertos propósitos, se utiliza el proceso de Bayer para producir alumina en vez de la bauxita calcinada, obteniendo un producto con >99% de Al₂O₃ llamado alumina fundida blanca. La alumina fundida blanca es utilizada totalmente para las ruedas o discos de pulido o desgaste.

La masa enfriada extraída del horno es triturada, tamizada, y lavada en al misma forma que se hace con el carburo de silicio. Varios tipos de grano son fabricados que varían en tenacidad, tipo de fractura, adhesión al pegamento, y otras propiedades. Otra forma de producir alumina por el proceso Bayer es logrado con el agregado de 0,15 a 3,00 % de óxido de cromo. El agregado de óxido de cromo aumenta la dureza de ese abrasivo sin incrementar sustancialmente la tenacidad. Estas propiedades son útiles en la preparación de discos y piedras de desgaste que producen un desgaste frío sin dañar la pieza metálica a desgastar.

Otros abrasivos fundidos para uso pesado se han desarrollado. Uno es un producto de los hornos eléctricos de fusión realizado de una mezcla íntimamente cristalizada de óxido de aluminio y óxido de zirconio. Aunque otras proporciones han sido exitosas, dos mezclas – una que contiene 25 % y otra con 40 % de óxido de zirconio – han encontrado la mas amplias aplicaciones comerciales en nichos de mercado. El producto con 25 % de óxido de zirconio es usado en abrasivos cementados o ligados para el mercado de la fundición y el con 40 % de óxido de zirconio es usado para selectos abrasivos cementados y de coberturas o revestimiento. Otro abrasivo fundido esta compuesto de una mezcla de alumina, óxido de zirconio, y óxido de titanio, la cua es rápidamente enfriada o templada. Una mezcla favorecida contiene 34 % de óxido de zirconio; 3 % de óxido de titanio, y 63 % de alumina. Los abrasivos de alumina – óxido de zirconio fundida tienen una extrema durabilidad y son particularmente muy adecuados para limpieza en fundición y acondicionamiento de aceros.

Los usos de los oxidos de alumina fundida incluyen abrasivos cementados o ligados, coberturas o revestimientos abrasivos, y sistemas cerrados de impacto o chorro donde es importante que el material pueda ser reciclado muchas veces y químicamente puro, tales como en la industria de aviones. Los productos abrasivos ligados o cementados y las coberturas o revestimientos abrasivos dan cuenta de mucho del consumo de oxidos de aluminio fundido. Los oxidos de aluminio fundido en una forma de micro polvo es usado en aplicaciones industriales y electrónicas que requieren superficies de acabado fino.

Carburo de boro. El carburo de boro (B₄C) es un abrasivo artificial introducido en 1934 por la Compañía Norton bajo el nombre de Norbide. Aunque considerablemente mas duro que el carburo de silicio, esta lejos de la dureza del diamante. Es fabricado a partir del B₂O₃ y carbon en forma de coque de petroleo en un horno de resistencia de carbón o arco a cerca de 2.600 °C. El producto final es triturado y molido para hacer un rango de tamaño de granos a polvos. En la forma de grano, es usado para operaciones de esmerilado y pulido que previamente eran solo posibles con polvo de diamante. El carburo de boro pulverizado puede ser moldeado bajo muy altas temperaturas y presiones para fabricar productos extremadamente resistente al desgaste tales como revestimientos de boquillas a presión, guías de rosca, troqueles de extrusión y todo tipo de calibres extremadamente precisos para enchufar, ajustar y arandelas. No es utilizado en la manufactura de discos o piedras cementadas o piedras para conformación.



Abrasivos Sinterizados

Una familia diferente de abrasivos es la de productos sinterizados. Este grupo difiere drásticamente en el método de fabricación del productos fundido más convencional. La materia prima son calentadas en hornos solamente a la temperatura de sinterización (1.200 °C a 1.400 °C) en lugar de ser llevado hasta el punto de fusión. Aunque se han usado otros materiales de partida básicos, la bauxita, con o sin aditivos y aún en estado verde (sin cocer), se forma en gránulos de tamaño y forma predeterminados mediante ciertas técnicas de granulación o mediante extrusión a través de un orificio de forma apropiada. Los gránulos preformados y predimensionados resultantes se sinterizan luego para obtener el grano abrasivo acabado. Los pasos del proceso, como la trituración, la conformación y el tamaño (común a la fabricación de productos fusionados) se eliminan al fabricar un producto sinterizado.

Abrasivo Sol-Gel

Los abrasivos Sol-Gel son preparados por gelificación o cuajado una forma de óxido de aluminio conocida como bohemita, agregando varios precursores para mejorar o promover

Los abrasivos Sol-Gel se preparan mediante la gelificación de una forma de óxido de aluminio conocido como bohemita, añadiendo varios precursores para mejorar las propiedades junto con una semilla o agente de nucleación (se han utilizado varios tipos), evaporando el agua del gel y produciendo un material sólido duro. El producto resultante se tritura y clasificado en tamaños y se trata térmicamente a 1.200 ° a 1.500 ° C. 3M, una compañía de tecnología diversificada, y Saint Gobain, que fueron pioneros en los productos, poseen las patentes.

Aunque la mayoría de las materias primas utilizadas en el proceso Sol-Gel son considerablemente más caras que las que se utilizan en abrasivos de óxido de aluminio normales, el rendimiento de los abrasivos Sol-Gel - particularmente en aplicaciones como revestimiento en papel, tela y muelas o discos abrasivos- parece justificar el costo adicional en una serie de usos.

Diamante manufacturados o artificiales

En febrero de 1955, General Electric Co anuncio que sus laboratorios han producido exitosamente diamante a partir de material carbonoso sujeto a presiones por arriba a 5,5 GPa a muy alta temperatura por periodos prolongado de tiempo. Los cristales de 1,6 mm de largo fueron realizados en 16 horas, pero los más pequeños fueron producidos en más corto tiempo. La presión es capaz de mantener temperaturas por arriba de 2.760 °C a presiones por arriba de 11 GPa. Los costos fueron informados cerca del doble de los costos comparables de diamantes naturales, y sus tamaños fueron pequeños. Hoy, la producción es comercialmente económica. Los diamantes pueden ahora se manufacturados en relativamente pocos minutos, y su performance en aplicaciones específicas iguales que la de los diamantes naturales

Varios tipos de diamantes manufacturados estan ahora en el mercado, y cada uno tienen características distintas. Los diamantes sintéticos industriales son superiores a los diamantes naturales porque sus propiedades pueden ser adaptadas a aplicaciones específicas y pueden ser producidos en grandes cantidades. El recubrimiento metálico del diamante mejora la adherencia del ligante o cemento al abrasivo en las muelas o discos de resina para rectificado. El diamante recubierto con metal (níquel, cobre) representa otro tipo de diamante disponible comercialmente. Las muelas o discos de diamantes ligados con resina para rectificado son usados en la producción de herramientas de carburo cementado. Las muelas o discos de diamante ligadas a metal y galvanizadas son usadas en el cortado y terminado del vidrio. Los diamantes policristalinos estan formados bajo presión y temperatura, resultando en miles de microcristales ligados o cementados. Los diamantes policristalinos tienen propiedades de auto-afilado: la estructura policristalina permite disponer de nuevos bordes afilados liberando una capa externa de microcristalitos opacos. Otras propiedades de los diamantes policristalinos son alta resistencia al desgaste, alta resistencia a



los golpes, buena estabilidad térmica y una estructura homogénea. Los diamantes policristalinos se usan en brocas de perforación, matrices de trefilado y conchas de fresado. Un método recién desarrollado de Apollo Diamond Inc. para el crecimiento de gemas de calidad, así como diamantes de grado industrial es la deposición de vapor químico. Esta técnica transforma el carbono en plasma que luego se precipita sobre un sustrato como diamante. Este método se ha utilizado en el pasado para cubrir superficies grandes con cristales de diamante microscópicos, pero ahora Apolo ha desarrollado un método para crear un solo cristal de diamante. Otra ventaja de la CVD es un control más fino de las impurezas sobre el método PCD. Los diamantes CVD pueden usarse para formar cuchillas quirúrgicas que sean resistentes al mate.

Nitruro de Boro

El nitruro de boro en forma cubica es un abrasivo manufacturado descubierto por los laboratorios de General Electric Co en 1957 y comercializado con la marca Borazon. A diferencia del diamante manufacturado o artificial, no tiene una contraparte conocida en la naturaleza. Es manufacturado a temperaturas y presiones comparables con aquellas requeridas para la manufactura de diamante. La estabilidad térmica de nitruro de boro cubico excede a la del diamante. Es estable a temperaturas mayores a 1.371 °C, mientras que el diamante revierte a grafito a una temperatura superior a 816 °C. La dureza Knoop (K100) es 7800, también por arriba de la dureza de los abrasivos comunes pero inferior a la del diamante.

Borazon (nitruro de boro) es usado en aplicaciones industriales para herramientas de conformado por que puede soportar temperaturas superiores a 2.000 °C. Las herramientas de corte y componentes abrasivos, particularmente para ser usados en metales ferrosos de bajo carbón, han sido desarrolladas utilizando nitruro de boro cubico- En estas aplicaciones las herramientas se comportan de manera similar a las herramientas de diamantes policristalinos pero pueden ser usadas en hierro y aleaciones de bajo carbón sin riesgo de reacción.

Abrasivos Metálicos

Los abrasivos metálicos incluyen acero triturado, perdigones de acero, arena angular de acero, lana de acero, lana de latón, y lana de cobre.

El acero triturado es realizado a partir de chapas de acero de alto carbono especialmente tratado para darle fragilidad. Luego es triturado y clasificado por tamaño entre malla 2 a 200. Después de clasificarlo, es tratado térmicamente y separado en 25 clases de tamaño entre la malla 20 a 200. Los tamaños a partir de la malla 70 hacia arriba son clasificados con paños de seda, y los tamaños más finos en forma de polvo se utilizan en el cemento de acero, varios compuestos químicos, y chispas de fuegos artificiales.

Los perdigones de acero es simplemente hierro fundido refrigerado. Solamente las materias primas del grado más alto, incluyendo chatarra seleccionada y el hierro de carbón se utilizan en su fabricación. Estos se funden en una cúpula. Durante el periodo de colada, el metal fundido se separa en pequeños glóbulos esféricos dirigiendo vapor de alta presión o aire comprimido calentado contra la corriente de metal. Los glóbulos son soplados en agua y enfriados. La inyección, frágil por el enfriamiento rápido, es tratada térmicamente para impartir un temple de dureza y clasificada por medios mecánicos en 15 tamaños que van de 4 a 90 mallas. El material grueso que queda en la malla de 4 mallas se granula mediante un equipo de trituración especialmente diseñado y en esta forma se conoce como arena angular de acero. El material triturado es tratado térmicamente para conferir dureza y durabilidad. Luego se clasifica en 15 tamaños que van desde 7 a 100 mallas. El acero y la arena angular se utilizan para muchos fines abrasivos.

La lana de acero, hecha de acero ordinario y acero inoxidable en diversos grados de finura, se utiliza para acabar la madera y los metales suaves tales como aluminio, y para el fregado y la limpieza. Se fabrica en varios tipos de máquinas mediante afeitado o raspado de alambre de movimiento continuo con una



herramienta de corte dentada fija. Latón y lana de cobre se utilizan principalmente para la limpieza del hogar.

Hoy en día, la mayoría de los abrasivos metálicos (75%) se utilizan como partículas sueltas propulsadas a altas velocidades para la limpieza con chorro o para mejorar las propiedades de las superficies metálicas. Las industrias que utilizan abrasivos metálicos incluyen fundiciones, fabricación de automóviles y aviones, y en plantas metalmecánicas y de acero.

Precipitados Químicos

Los precipitados químicos, principalmente óxidos, todos tienen un tamaño de grano muy fino y son utilizados como un agente final de pulido.

El óxido férrico tiene su principal aplicación en el pulido de vidrio, pero también es ampliamente usado en forma de polvo, pasta, paño recubierto, y barra para el pulido de metales preciosos, piedras preciosas y otros materiales para darle el más alto lustre final. Otro óxido férrico, pero de color rojo púrpura y es utilizado en la terminación de cubiertos de mesa y algunos trabajos de latón.

Otros precipitados como el óxido de cromo es utilizado principalmente para pulir platino y acero inoxidable. El óxido de estaño es usado en proporciones importantes para pulir vidrios y piedras preciosas. Una mezcla de óxido de estaño y ácido oxálico es usada para pulir vidrios y piedras preciosas. El óxido de cerio es un agente de pulido para vidrio y puede ser sustituido por el óxido de estaño en otras aplicaciones. La magnesia (óxido de magnesio) es un precipitado suave que ha sido informado como un polvo de pulido suave. La variedad calcinada más dura, periclasa artificial, ha sido también usada como un abrasivo. El carbonato de calcio precipitado es usado como un abrasivo suave en algunas pastas dentífricas.

Óxidos de Calcio y Magnesio (Cal)

La cal (CaO), manufacturada por la calcinación de caliza, y la cal dolomita ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$), derivada de la calcinación de dolomita, tienen un importante uso como abrasivo. La cal dolomítica es utilizada como componente de los ladrillos de grasa para pulido utilizados para pulir latón, cobre, bronce, acero, perlas, celuloide y materiales similares. Su principal aplicación es para colorear el níquel después de la galvanoplastia o niquelado ya que es la responsable del color azul profundo de la superficie característica del metal. La cal ataca al aluminio y no se utiliza con este metal.

Otros Abrasivos Manufacturados

Porcelana. El uso de los bloques y cantos de porcelana para molinos de molienda ha sido señalado. Esta porcelana puede consistir de una gran parte de óxidos o silicatos de zirconio, o de mulita convertida a partir de andalucita, cianita, o dumortierita.

Vidrio. Vidrio molido y clasificado ha sido utilizado para cobertura abrasiva y fabricar lijas de vidrio.

Negro de humo. El negro de humo, hollín fino recolectado de los humos producto de la combustión incompleta de materiales carbonosos, encontró algún uso para el pulido de celuloide y huesos.

Arcilla. La arcilla, quemada a un estado muy duro y finamente pulverizada, se ha informado que ha sido usada como un abrasivo para el pulido de metales.

Consideraciones Gubernamentales, Ambientales y de Salud

Una de las más importantes cuestiones que han afectado a la industria de los abrasivos ha sido el potencial efecto de la sílice cristalina sobre la salud humana. Las organizaciones de salud han establecido un límite permitido de exposición que estipula la cantidad máxima de sílice cristalina a la cual los trabajadores están



expuesta en un turno de trabajo de 8 horas. Esta legislación ha influido en el uso de la arena silícea, diatomita, trípoli, y rocas silíceas como un abrasivo.

TITULO 1

TITULO 2

TITULO 3

Gráfico 1: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Tabla I: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Normal

Fuente: xxxxxxxxxxxx