

Materiales para herramientas de corte

En general es característico clasificar a los materiales para herramientas en orden creciente de velocidad de corte a la que pueden trabajar. La misma tendencia creciente se cumple cuando se considera el costo de las herramientas.

Otras características del material de la herramienta que influyen en el comportamiento de la misma son:

- Capacidad para disipar calor
- Agudeza de filo obtenible
- Resistencia al desgaste y a la deformación plástica a la temperatura del corte
- Tenacidad
- Compacidad
- Químicamente inerte con el material a mecanizar
- Resistencia a los choques térmicos
- Estabilidad química para resistir la oxidación y la corrosión

En orden creciente de velocidad de corte y costo, los materiales para herramientas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- 1.- Aceros al carbono. (*)
 - 2.- Aceros rápidos y superrápidos. (*)
 - 3.- Stellitas.
 - 4.- Carburos sinterizados (Metal duro). (*)
 - 5.- Cerámicos.
 - 6.- Cermets.
 - 7.- Nitruro de boro cúbico (CBN).
 - 8.- Diamante policristalino (PCD).
 - 9.- Diamante.
- (*) Pueden llevar recubrimientos duros

Los tres últimos materiales citados son los corrientemente denominados “materiales ultraduros”.

1.- Aceros al carbono

Son aceros con contenidos porcentuales de C entre 0,7 y 1,2. Por medio del temple adquieren elevada dureza, pero su fragilidad y su baja resistencia al trabajo en caliente ha limitado su uso tras la aparición de otros materiales. El templado correcto requiere habilidad y experiencia por lo que su aplicación se torna aún más difícil.

El empleo de los aceros al carbono se limita a:

- Mecanizados en los que se desarrollan temperaturas no muy altas.
- Herramientas para acabado a baja velocidad de corte, en trabajos muy delicados.
- Herramientas que requieren finura en la arista cortante, que es difícil de obtener con los aceros rápidos.
- Herramientas de forma complicada para número limitado de piezas.

La velocidad de corte no debe superar el orden de los 5 m/min mecanizando aceros.

2.- Aceros rápidos

Se denomina así a un tipo de aceros que en su origen permitieron aumentar las velocidades de corte considerablemente respecto a los materiales conocidos hasta ese momento, alrededor del año 1900.

La principal propiedad de estos aceros es la de mantener la dureza y por lo tanto su capacidad de corte a altas temperaturas.

Se provee en forma de barras templadas y rectificadas de sección cuadrada o circular (bits) o rectangular (cuchillas) para herramientas monocortantes de torneado, alesado, cepillado, etc., que se afilan con la geometría deseada manualmente o a máquina. Las barras cuadradas vienen desde 4 a 25mm de lado y de 63 a 200mm de longitud. Las circulares de 3 a 20 mm de diámetro y de 40 a 200mm de longitud. Las rectangulares desde secciones de 3x12 hasta 16x32mm² y de 70 a 200mm de longitud. También se utiliza para fresas, escariadores, machos, terrajas, brochas, sierras de hoja y de cinta, etc., pero su aplicación más corriente es para brocas.

Es de hacer notar que la dureza inicial (en frío) es similar a la de los aceros al C templados, pero estos últimos solo los conservan hasta los 250°C, mientras que los aceros rápidos, la mantienen hasta los 600 °C, como surge de la figura 1, que muestra la disminución de dureza al aumentar la temperatura, que experimentan los principales materiales de herramientas.

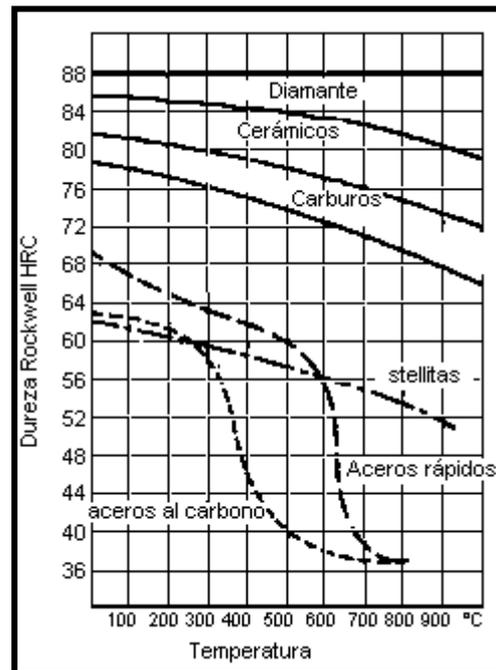


Figura 1

En la composición química de los aceros rápidos pueden intervenir los siguientes elementos químicos: Carbono, Silicio, Azufre y Fósforo, Manganeso, Cromo, Tungsteno, Molibdeno, Vanadio, Cobalto, Níquel, Titanio, Boro. Cada uno aporta una característica particular. A continuación se detalla el efecto de cada elemento en forma individual:

Carbono (C): Confiere al acero dureza luego del temple pero al mismo tiempo aumenta la fragilidad con el riesgo de agrietamiento. El porcentaje de C puede llegar hasta el 2%.

Silicio (Si): En la fabricación del acero este elemento se emplea como desoxidante, que dando como impureza normal. Se admite en los aceros un contenido entre 0,1 y 0,3% para evitar el aumento de fragilidad de la estructura obtenible por temple (martensita).

Azufre (S) y Fósforo (P): Son impurezas provenientes del mineral, y del proceso de fabricación del acero. El contenido de cada uno de ellos no debe superar el 0,03%.

Manganeso (Mn): También es una impureza normal. No obstante aporta templeabilidad y reduce las deformaciones de los perfiles: El contenido varía entre 0,15 y 0,35%. Los elementos citados hasta aquí están siempre presentes en la composición de los aceros. En cambio los que se tratarán a continuación son elementos de adición o aleantes.

Cromo (Cr): Facilita el temple y reduce la oxidación en caliente. Favorece la distribución uniforme de los carburos presentes en la estructura de temple.

Tungsteno o Wolframio (W): Produce los carburos de mayor dureza. Estos carburos confieren a la herramienta la propiedad de mantener la dureza en caliente, sin aumentar en exceso la fragilidad. No obstante origina descarbonación, razón por la cual se tiende a aumentar el %C cuando hay alto tenor de W, provocando fragilidad en estos aceros. El contenido de W puede llegar al 25% en ciertos aceros especiales.

Molibdeno (Mo): Reduce la fragilidad y mejora en conjunto todas las propiedades del material. Con elevados porcentajes de Mo pueden reducirse los de tungsteno.

Vanadio (V): Su gran afinidad con el carbono favorece la formación de carburos muy estables, afina el grano mejorando la capacidad de corte y la resistencia a la abrasión.

Cobalto (Co): Mejora la tenacidad y disminuye la temperatura de temple. Proporciona al acero alta dureza en caliente, resistencia al desgaste a alta temperatura, con leve disminución de la tenacidad.

Níquel (Ni): Mejora la tenacidad (resistencia al impacto) y la penetración del temple. No se emplea para herramientas de corte, pero es utilizado como aleante en aceros para punzones y matrices de estampado.

Titanio (Ti): Mejora la resistencia del acero a alta temperatura y atenúa la oxidación.

Boro (B): Se lo adiciona especialmente en los aceros rápidos al molibdeno. Reduce la descarbonización y aumenta la capacidad de corte de la herramienta.

Tipos de aceros rápidos

La composición química en los aceros rápidos más comúnmente empleados es la siguiente:

C = 0,6 a 1,0% Cr = 3,5 a 7% W $\begin{cases} \rightarrow 10 \text{ a } 15\% & \text{en los corrientes} \\ \rightarrow 17 \text{ a } 25\% & \text{en los especiales} \end{cases}$

Las posibles adiciones son:

Mo = 2 a 5%; V = 0,4 a 3%; Ti = 0,8 a 1,0%

Un acero clásico es: W = 18% Cr = 4% V = 1% conocido como 18-4-1

Pero existe una extensa gama de composiciones que dotan a los aceros rápidos de prestaciones que abarcan un amplio rango de propiedades para cubrir necesidades que se plantean en el mecanizado de aceros, fundiciones, no ferrosos, plásticos, madera, y otros materiales, en operaciones muy diversas. En general los tipos de aceros rápidos más difundidos, son los de base Mo y los de base W. La composición química de la mayoría de ellos está informada en Metals Handbook, Machining, Vol. 16. Para trabajos de mucha exigencia se emplea Cobalto entre 2,5 hasta 18% que le confiere mayor capacidad de corte en caliente.

3.- Stellitas

Son básicamente aleaciones ternarias de Cr, Co y W. La herramienta se obtiene por colada. Solamente son mecanizables mediante abrasivos.

Su dureza en frío está entre 57 y 60 HRC, siendo algo menor que los aceros rápidos. Sin embargo, en caliente conservan valores más altos que aquellos (ver figura 1).

El mayor inconveniente es que son más frágiles que los aceros rápidos, por lo cual su empleo ha ido decreciendo. Deben trabajar a velocidad de corte elevada y con pequeño avance. Son insensibles a los tratamientos térmicos.

Por tener un punto de fusión cercano a los aceros (1280°C) e idéntico coeficiente de dilatación que los mismos, permite realizar el recargue oxiacetilénico sobre barras soporte de acero. Por ser un producto de colada, las barras de este material pueden presentar porosidad.

4.- Carburos sinterizados (Metal duro)

Estos materiales, conocidos vulgarmente como “widia” (del alemán, wie diamant, como el diamante), son compuestos de carburos de W, o de Tantalio (Ta) y W, e incluso de carburos de Ti y Nb (niobio), aglomerados comúnmente con Co. También se los conoce con el nombre de metales duros. Los carburos aportan la dureza necesaria mientras que el Co cumple la función de aglutinante.

Los carburos componentes y el aglutinante se muelen finamente por separado en partículas de tamaño 1 a 10micrones, se mezclan y se prensan obteniéndose formas diversas según su uso. Este proceso de

obtención de piezas conformadas por prensado a partir de polvos se conoce como pulvimetalurgia. Se las sinteriza luego calentándolas a temperaturas próximas al punto de fusión (1400 / 1600°C), se someten a otro prensado post-sinterizado, se rectifican si su tolerancia dimensional lo exige, y en muchos casos se recubren con capas muy finas (pocos micrones) de compuestos de dureza superior.

Los metales duros pueden operar a velocidades de corte muy superiores a los aceros rápidos. Desde el momento de su aparición, promovieron un notable avance tecnológico, que incentivó nuevos desarrollos en la tecnología de las máquinas-herramientas.

Su dureza es de 9,7 en la escala MOHS, en la que el diamante tiene valor 10, como el elemento más duro que se conoce.

En la escala Rockwell C, las diferentes variedades de carburos alcanzan valores entre 78 y 82. Su elevada dureza se debe a que los carburos son fabricados con metales refractarios, es decir, de alto punto de fusión. Los carburos no admiten ningún tratamiento térmico.

La forma de estas herramientas es muy variada, siendo las más comunes las conocidas plaquitas, provistas en dos tipos principales:

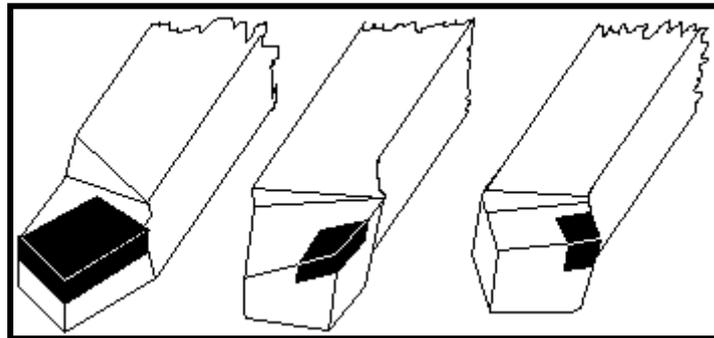


Figura 2

- Aquellas que deben soldarse a un mango o barra soporte y luego se afilan (figura 2).
- Aquellas llamadas insertos, que se montan en portaherramientas de diseños especiales en donde se alojan y van retenidas mediante diferentes tipos de fijación mecánica, figura 3. Estos insertos presentan una variedad de formas, tamaños, ángulos de filos y radio de punta adecuados para trabajos diversos. Presentan un filo activo por cada lado de su forma poligonal, en una sola cara o en ambas. También los hay de forma circular. Una vez agotados todos los filos, el inserto es descartado. Se emplean en torneado, alesado, fresado y taladrado.

La aplicación del metal duro se extiende cada día más a herramientas que fueron siempre de dominio casi exclusivo de los aceros rápidos, como brocas, fresas pequeñas, machos, etc. en las que todo el volumen está constituido por metal duro; son las herramientas de metal duro integral.

La adopción masiva de estos materiales se alcanzó después de haber superado serios escollos, entre otros su fragilidad, y las fallas de soldadura de las plaquitas sobre las barras soporte. La fragilidad disminuyó con el perfeccionamiento de las técnicas de prensado, al igual que la seguridad de las soldaduras. El uso de plaquitas soldadas ha disminuido aunque se emplea aún en herramientas para mecanizado en serie industrial como: brocas cañón, cabezas de taladrar descartables, brocas delta (Sandvik), etc. y herramientas de torno para baja producción, brocas para mampostería, y otras.

El rectificado de las plaquitas descartables nuevas se efectúa con muelas de diamante en máquinas específicas, y el reafilado manual de plaquitas soldadas se realiza en amoladoras corrientes con muela de carburo de silicio verde, que posee un ligante de baja dureza.

Actualmente, las herramientas de carburos sinterizados llevan recubrimientos duros en su mayoría, lo que les da mayor resistencia al desgaste, aumentando varias veces la duración del filo, respecto al metal duro sin recubrir.

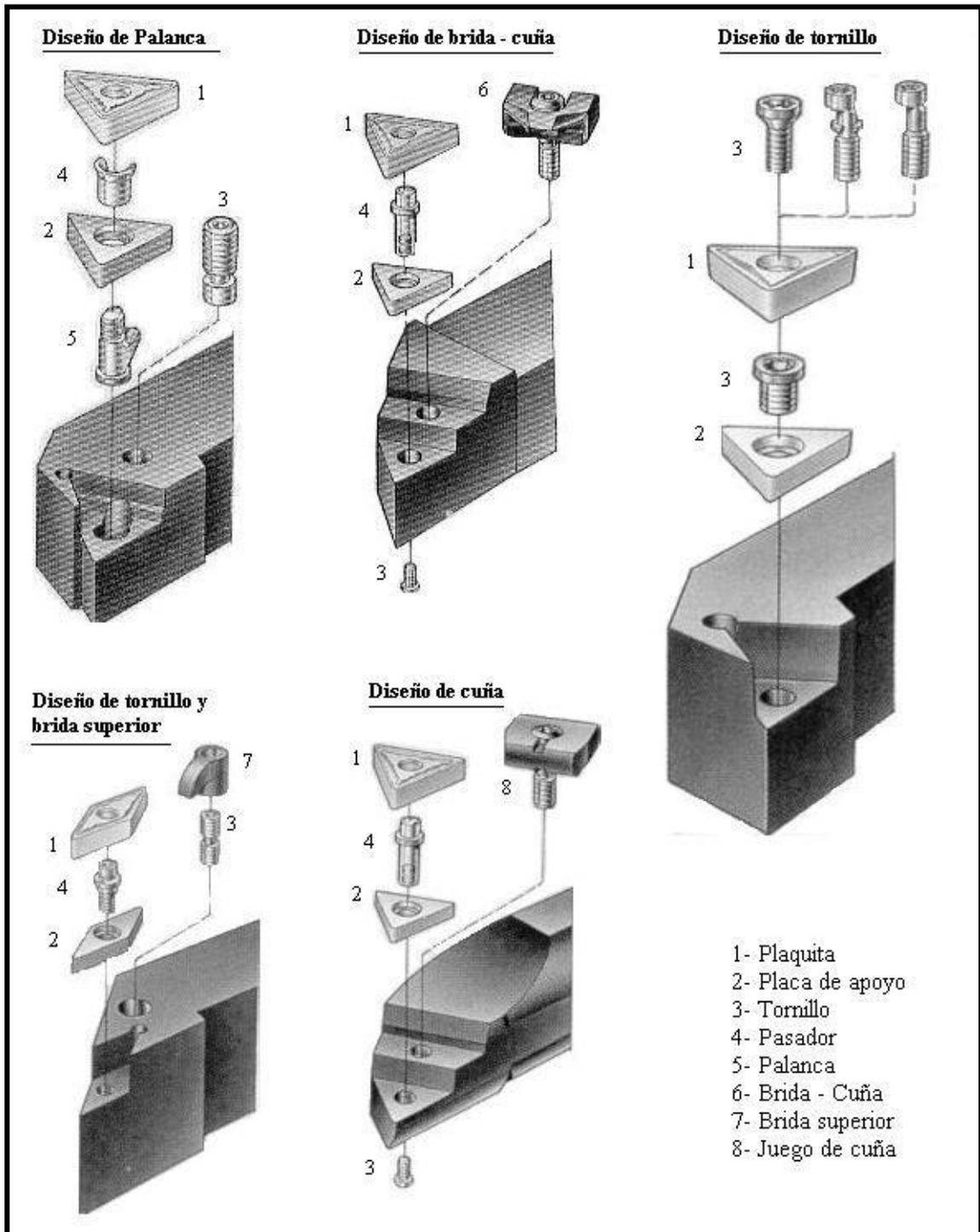


Figura 3

Aunque la tenacidad de los metales duros actuales ha sido muy mejorada, sigue siendo inferior que la de los aceros rápidos, por lo que estas herramientas deben ser protegidas de las cargas de impacto, recurriendo al empleo de geometrías más favorables frente a ese tipo de sollicitación. Un modo de reducir los eventos de rotura de los filos en insertos de metal duro, es reforzar las mismas aumentando su sección resistente, lo que se logra disminuyendo el ángulo de ataque α , con lo que la componente de la fuerza de corte normal a la cara de ataque encuentra en su línea de acción una mayor sección resistente, haciendo decrecer la tensión sobre la plaquita. En particular, con los insertos doble faz, conocidos como negativos, la línea de la componente normal atraviesa todo el espesor encontrando la

reacción sobre el alojamiento. De esa manera la tensión resulta compresiva porque no cruza la cara de incidencia, creando una condición muy favorable para la integridad estructural del inserto. Además, en ciertos casos se emplean insertos de mayor espesor.

Tipos y Calidades de metal duro

Existen tres diferentes tipos de metal duro para operaciones de torneado, que la Norma ISO ha codificado con letras y colores. El tipo P color azul, el M amarillo, el K rojo. La letra va acompañada por un número que es mas alto cuanto mayor es la tenacidad del metal duro y menor su resistencia al desgaste, dos propiedades que son siempre antagónicas.

Cada tipo está indicado para el mecanizado de un determinado grupo de materiales, en función del tipo de viruta, su resistencia, dureza, tenacidad, poder abrasivo.

La búsqueda permanente de mejores materiales para herramientas destinados a optimizar el mecanizado de los materiales conocidos y/o nuevas aleaciones ha hecho que hayan surgido, dentro cada uno de esos tipos, varias calidades denominadas básicas y otras complementarias.

El tipo P (azul) se emplea para: Acero al C no aleado, Acero de baja aleación, Acero alta aleación recocido, Acero aleado templado y revenido, y Acero fundido.

El tipo M (amarillo) se utiliza para: Acero inoxidable austenítico barras/forjadas, Acero inoxidable austenítico/ferrítico barras/forjadas (Dúplex), Acero inoxidable austenítico fundido, Acero inoxidable ferrítico-martensítico fundido, Aleaciones de Ti, Aleaciones termo-resistentes base Ni.

El tipo K (rojo) para: Fundición gris de alta y baja resistencia a la tracción, Fundición nodular ferrítica o perlítica, Aceros extraduros templados, Fundición en coquilla, Fundición maleable, Aleaciones de Al, Cu y aleaciones de Cu.

Las calidades de metal duro pertenecientes a cada tipo puede tener diferente campo de aplicación según la operación de torneado: Torneado en general, Torneado pesado, Roscado, Ranurado y Tronzado.

Para operaciones con herramientas rotativas, como fresado, taladrado o mandrinado (alesado), a los tipos P, M y K citados, se le agregan los tipos S (color ocre), H (gris) y N (verde). Para cubrir las necesidades de mecanizado de los mismos materiales enumerados para piezas torneadas, en el fresado, taladrado y alesado de los mismos se presentan mayor cantidad de operaciones diferentes y formatos de herramientas que requieren una subdivisión mayor de los tipos y calidades de metal duro.

Para interiorizarse acerca de la herramienta y calidad apropiada para cada caso de mecanizado, y decidir su elección, es aconsejable consultar los catálogos que suministran las fábricas de herramientas de corte, que reúnen nutrida información, y se publican y actualizan muy frecuentemente. Entre la información también se extraen datos de corte recomendados, que son de mucha utilidad para el ingeniero.

El metal duro calidad P está compuesto por CW y Co, con adición de CTi y CTa. Estos últimos confieren resistencia al desgaste en caliente, propiedad importante para la duración del filo en el mecanizado de aceros a altas velocidades de corte y grandes avances. La mayor resistencia al desgaste se consigue a expensas de una reducción de tenacidad (aumento de fragilidad).

El metal duro calidad M contiene además de CW y Co, pequeñas cantidades de CTi y CTa, lo cual hace que la resistencia al desgaste resulte algo menor que la de calidad P, cuando se trabaja a altas velocidades de corte y grandes avances. Pero se consigue en contrapartida aumentar la tenacidad.

La calidad K está compuesta solo de CW y Co, siendo su característica principal la alta tenacidad, aunque su resistencia al desgaste se evidencia solo para mecanizados de baja velocidad de corte.

La subdivisión numérica ya señalada, que la norma ISO establece dentro de cada calidad principal (P, M o K), identificada por números de 0 a 50, que a mayor valor numérico representan mayor tenacidad y menor resistencia al desgaste. Por ejemplo: entre una calidad P 01 y otra P 25, esta última trabajará con corte interrumpido en mejores condiciones que la primera. Sin embargo, la P 01 puede trabajar a mayor velocidad de corte y mayor avance que la P 25.

5.- Cerámicos

Son materiales obtenidos por proceso de sinterizado a 1700°C de polvos de óxidos de aluminio o de nitruro de silicio entre 90 y 99%, y adiciones de otros óxidos como el óxido de Circonio, de Cromo, de Magnesio, de Hierro, etc.

En estos materiales, la dureza del compuesto final supera la de sus componentes individuales.

El óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3), también llamado Corindón, usado además en muelas abrasivas, tiene una dureza superior a los CW, pero su fragilidad también es mayor, lo que lo hace sensible a choques y vibraciones, por lo que uso se limita a operaciones de mecanizado continuo y sobre máquinas robustas, estables, potentes y de elevada rigidez estructural.

Con el nitruro de silicio (Si_3N_4) se obtiene un cerámico superior al de Al_2O_3 en cuanto a tenacidad y resistencia a los choques térmicos. La tenacidad es comparable a ciertas calidades de metal duro.

También tiene especial importancia en este caso, el diseño de los portaherramientas, que deben ser lo más rígidos y robustos posibles.

Un cerámico muy nuevo es el cerámico–reforzado–whisker constituido con base de Al_2O_3 al que se le incorporan fibras (whiskers) de carburo de silicio (SiC) de 1µm de diámetro y 20µm de largo aproximados, se mezclan y prensan en caliente, resultando con dureza, tenacidad, y resistencia a los choques térmicos bien equilibradas, que se emplean para mecanizar aleaciones termorresistentes, aceros y fundiciones endurecidas, incluyendo corte interrumpido.

Las leyes del corte que rigen para los otros materiales de herramientas (aceros rápidos, carburos sinterizados, etc.) no son aplicables en el caso de los cerámicos. Dichas leyes hacen referencia a los siguientes conceptos:

- La formación del filo recreado.
- El desgaste de la herramienta en forma de cráter.
- El espesor mínimo de viruta que puede ser arrancado.

En el primer caso, al no ser los cerámicos aleaciones metálicas, no se produce la soldadura de partículas de viruta sobre la cara de ataque de la herramienta, no formando filo recreado, con lo cual se consiguen acabados superficiales de muy buena calidad.

El cráter que se forma por erosión de la viruta que desliza sobre la cara de ataque en los aceros rápidos y metales duros, no tiene lugar en los materiales cerámicos. Solo se presenta desgaste sobre la cara de incidencia en las adyacencias del filo, el conocido desgaste del flanco.

El espesor mínimo de viruta que puede arrancarse con los cerámicos es menor. Esto es posible debido a la fina granulometría y la alta dureza que permite obtener filos de muy buena calidad y duración, que permiten realizar pasadas de 0,01mm de profundidad.

Normalmente los cerámicos deben trabajar con ángulo de ataque negativo para que el esfuerzo sobre la herramienta sea netamente de compresión evitando solicitaciones de flexión que den lugar a componentes de tracción.

Lo mismo que el metal duro, estas herramientas se proveen en forma de insertos que se montan sobre portaherramientas. Pueden operar con velocidades de corte más altas que el metal duro, pudiendo superar los 1000m/min en casos especiales.

Las principales áreas de aplicación de los cerámicos son: Fundición gris, Aleaciones termorresistentes, Aceros endurecidos, Fundición nodular, Fundición en coquilla, y otros aceros en algunos casos.

6.- Cermets

Cermet es el nombre asignado a los metales duros donde las partículas duras están basadas en carburo de titanio (TiC), carburo de nitruro de titanio (TiCN) y/o nitruro de titanio (TiN) en vez de carburo de tungsteno (WC). Su nombre proviene de CERAmic METAl, como partículas de cerámica en un aglomerante metálico. Son productos pulvimetalúrgicos, metales duros basados sobre TiC en lugar de WC, que se prensan y finalmente se sinterizan obteniéndose insertos. Se le adicionan componentes metálicos de alto punto de fusión como Mo, Cr y V, y no metálicos como SiC, BoC, y silicatos.

Entre los cermets de mejores características para el corte se encuentran los compuestos por Al_2O_3 , Mo_2C , y VC. El porcentaje de carburos metálicos pueden variar entre un 5 y un 40%.

Pese a su relativa fragilidad ofrecen una aceptable tenacidad, no siendo solamente materiales para acabado, sino también para fresado y torneado de aceros inoxidables.

Sus características salientes son: alta resistencia al desgaste en incidencia y en cráter, Alta estabilidad química y resistencia al calor, poca tendencia a filo recrecido y al desgaste por oxidación.

7.- Nitruro de Boro cúbico (CBN)

Es segundo en dureza después del diamante, elevada dureza a altas temperaturas (2000°C), excelente resistencia al desgaste y buena estabilidad química durante el mecanizado. Es más tenaz que los cerámicos pese a su mayor dureza, pero menores resistencia térmica y química.

Una aplicación importante es el torneado de piezas duras que antes debían rectificarse.

Otras aplicaciones típicas son: Aceros forjados, aceros y fundiciones endurecidas, metales pulvimetalúrgicos con Co y Fe, rodillos de laminación de fundición perlítica, y aleaciones de alta resistencia al calor.

El CBN se produce a gran presión y temperatura para unir los cristales de boro cúbico con un aglomerante cerámico o metálico. Las partículas orientadas sin un orden forman una estructura muy densa policristalina. El cristal CBN real, es similar al del diamante sintético.

Las propiedades del material de corte CBN pueden variarse alterando el tamaño del cristal, su contenido y tipo de aglomerante con el fin de fabricar una variedad de calidades.

Un bajo contenido de CBN con aglomerante cerámico, tiene más resistencia a la abrasión y estabilidad química, apto para aceros y fundición endurecida.

Mayor contenido de CBN mejora la tenacidad, y es indicado para aceros y fundiciones duras, y también aceros aleados resistentes al calor.

Con CBN sobre un sustrato de metal duro, se alcanza mayor tenacidad que con un aglomerante cerámico, aunque con éste se logra mas resistencia al desgaste y estabilidad química.

El CBN debe utilizarse para mecanizar piezas de materiales muy duros (>48HRC). Piezas demasiado blandas causan mayor desgaste que las piezas de materiales duros.

Las fuerzas de corte tienden a ser grandes, por la geometría negativa que debe emplearse, los requerimientos del material a cortar y la alta fricción. Son elementos cruciales una gran estabilidad y potencia de la máquina, como así también gran rigidez de la herramienta y generoso radio de punta. La preparación del filo con chaflanes o facetas lapeadas dan resistencia y duración al mismo, mayores que el metal duro y los cerámicos.

Son excelentes herramientas para acabado de precisión, para $Ra=0,3$ y tolerancias de $\pm 0,01mm$.

El fluido de corte debe ser muy abundante e ininterrumpido, de lo contrario trabajar en seco para evitar el choque térmico.

Se fabrican como insertos de CBN integral o segmentos de CBN adheridos en puntas de insertos de metal duro, como se observa en el inserto para roscar de la figura 4.

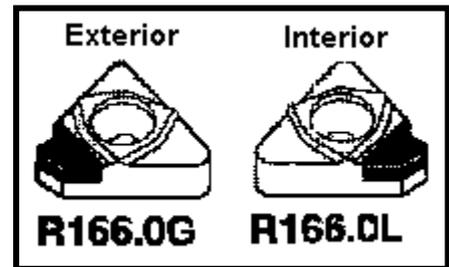


Figura 4

8.- Diamante Policristalino (PCD)

Tiene dureza muy cercana a la del diamante natural monocristalino. Por ello tiene elevada resistencia al desgaste y se lo emplea mucho como abrasivo para muelas de rectificar.

Los finos cristales de diamante son unidos mediante sinterizado, a alta presión y temperatura. Su orientación es desordenada con el fin de eliminar cualquier dirección que favorezca las fracturas, resultando una resistencia al desgaste y dureza uniformes en todas direcciones.

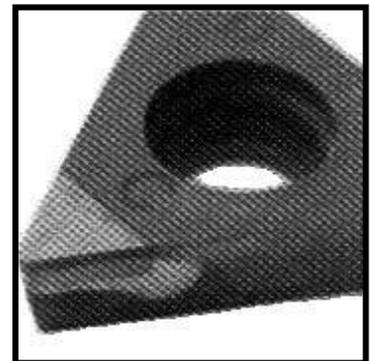


Figura 5

Pequeñas plaquitas de PCD son soldadas sobre una esquina en insertos de metal duro (figura 5) que se fijan sobre portaherramientas. La duración de filo puede ser varias veces mayor que el metal duro, en el orden de cien veces.

Sin embargo este aparentemente material de corte ideal tiene algunos puntos críticos: La temperatura en la zona de corte no debe exceder los $600^{\circ}C$, no se puede utilizar para metales ferrosos debido a su afinidad, tampoco para materiales tenaces de elevada resistencia a la tracción. Esto excluye al PCD de la mayoría de las aplicaciones del mecanizado.

Utilizando para su aplicación correcta resulta excelente: para materiales abrasivos no ferrosos y materiales no metálicos que requieran gran precisión y alta calidad de acabado superficial. Se emplea para torneado y fresado de aleaciones abrasivas de Si y Al. De hecho el metal duro de grano fino sin recubrir y el PCD son los dos materiales principales para mecanizar aluminio. Son esenciales filos bien agudos y ángulo de ataque positivo.

Otros materiales que pueden mecanizarse con PCD son: composites, resinas, plásticos, carbón, cerámicas y metales duros presintetizados, así como Cu, bronce, aleaciones de Mg, aleaciones de Zn, Pb y latón.

Por su gran estabilidad química, el rozamiento con la pieza no afecta al filo. El PCD no deja rebabas y la vida de la herramienta es muchas veces mayor. Por su alta fragilidad se requieren condiciones muy estables, herramientas muy rígidas y máquinas trabajando a grandes velocidades. Puede usarse fluido para refrigerar.

Las operaciones típicas son acabado y semiacabado en torneado y mandrinado: Para el fresado se emplean placas de barrido en asientos especiales. Las profundidades y avances deben ser pequeños y se deben evitar cortes interrumpidos.

9.- Diamante

Su dureza es la mayor obtenible en herramientas de corte, lo que le da a una prolongada duración del filo. Tiene como principal desventaja la fragilidad, lo que lo hace inepto para resistir vibraciones.

Su uso se limita a mecanizado con pasada continua y baja profundidad, condiciones que le permiten responder a tolerancias del orden de $\pm 0,002\text{mm}$, con acabado superficial superior al rectificado.

Se emplean para mecanizar materiales plásticos, algunos bronce, aleaciones de Al, Cu, Latón, Caucho, Amianto, ebonita, cartón, etc.

Como fluido de corte pueden emplearse aceites solubles y aceites de petróleo.

Para disminuir los riesgos de fractura por fragilidad, la punta de la herramienta se redondea con una curva de radio grande, ya sea de forma continua o siguiendo una poligonal compuesta de múltiples facetas, como se muestra en la figura 6.

Pueden utilizarse en forma de pastillas que se montan en portaherramientas de acero de diseño especial, pero actualmente se las incorpora por soldadura en una esquina de un inserto de metal duro de forma triangular o romboidal. También han aparecido plaquitas de metal duro con depósito superficial de diamante.

Se emplean exclusivamente para operaciones de terminación. La velocidad de corte está solamente limitada a la aparición de las primeras vibraciones en la máquina-herramienta o en la pieza. Se trabaja con avance pequeño, entre 0,03 y 0,05mm/vta., y profundidad de pasada de 0,1 a 0,5 mm.



Figura 6

Bibliografía

- Metals Handbook, "Machining", ASM International, Ninth Edition.
- Micheletti, "Mecanizado por arranque de viruta".
- Sandvik, "El Mecanizado Moderno", Manual Práctico.
- E.M.Trent, "Metal cutting", Ed. Butterworths.
- E.Blanpain, "Teoría y práctica de las herramientas de corte", Ed. G. Gilli.