

MATERIALES PARA HERRAMIENTAS

Las características de trabajo que deben cumplir las herraminetas de corte son las siguientes:

- Arrancar la mayor cantidad de material en el menor tiempo posible.
- Dejar las superficies perfectamente acabadas, con la mayor precisión de medidas
- Mecanizar cualquier clase de material por duro que sea.
- Terminar el trabajo con el menor número de afilados posibles.
- Realizar las operaciones al menor costo.

Las consecución de estos objetivos, dependerá en gran partes del material de que se construyan las herramientas o cuhillas de la máquina. La elección debe basarse en:

- El tipo de herramienta y máquina que se ha de emplear.
- La clase de trabajo a realizar.
- El material a mecanizar.

Requisitos de los materiales para herramientas.

La elección del material para fabricar una herramienta constituye uno de los problemas más delicado en la determinación de un proceso de mecanizado. Existen muchísimas variedades de materiales para herramientas, cuyas características no siempre resultan bien precisas y cuyos resultados pueden ser muy distintos, si las condiciones de trabajo o de empleo no son las apropiadas.

Naturalmente, los factores que intervienen en la elección del material a utilizar son de índole económica y técnica.

Como el tipo de material está estrechamente ligado a la velocidad de corte a adoptar, siendo esta a su vez determinante de la temperatura a que se someterá la herramienta, ello determina una correspondencia entre material y tiempos de mecanizado.

Por otra parte, los materiales para herramientas que permiten velocidades mayores, y por tanto, tiempos menores, tienen un coste superior. Este parámetro debe entrar por ello, en el cálculo de la conveniencia económica de utilización de uno u otro tipo de herramienta, como asimismo, deben considerarse las características de la máquina utilizada.

Se consideran, seguidamente, los requisitos de los materiales para herramientas.

El primero entre ellos es la *dureza a elevada temperatura*: en efecto, un material, para cortar a otro debe ser más duro que éste; además, como que durante el corte, tanto la acción de

deformación ejercida por la herramienta sobre la viruta, como la fricción entre viruta y cara de desprendimiento de la herramienta desarrollan una notable cantidad de calor (que provoca un aumento de temperatura de la herramienta) es muy importante considerar el valor de la dureza a temperatura elevadas. dureza y fragilidad son propiedades concordantes en los materiales: el aumento de una comporta el aumento también de la otra, y ello complica el problema de la elección de materiales para herramientas.

Por otra parte, en los metales y aleaciones se reducen mucho la dureza y la resistencia al elevarse la temperatura; este fenómeno provoca una considerable limitación en las prestaciones de los materiales para herramientas.

Por todo ello, los estudios metalúrgicos se han orientado en el sentido de buscar materiales cada vez más resistentes a altas temperaturas, y capaces de mantener casi intacta su dureza entre amplios intervalos de temperatura.

Un segundo parámetro a considerar es la *resistencia al desgaste*: parámetro importante en cuanto que la duración de la herramienta está ligada a la marcha del desgaste, que modifica de hecho la geometría de la herramienta y las prestaciones, hasta el punto de provocar su rotura. La velocidad de desgaste está ligada tanto a las temperaturas que alcanza la herramienta (desgaste por adhesión y difusión) como a las características estructurales del material a mecanizar y a sus eventuales inclusiones.

Un tercer requisito de los materiales para herramientas es la *resiliencia*, correspondiente a una cierta combinación de resistencia y ductilidad; aquella debe alcanzar valores tales que impidan la rotura del filo por fragilidad; lo cual puede suceder especialmente en el corte interrumpido.

También un reducido *coeficiente de rozamiento* entre viruta y herramienta es un requisito importante en un material de herramienta.

Son finalmente destacables las *propiedades térmicas*, como la *conductibilidad* (que tiene importancia para establecer rápidamente el equilibrio térmico entre los puntos de mayor calentamiento y las restantes partes de la herramienta), el *calor específico* y el *coeficiente de dilatación*.

Por último, merece recordarse el coste de la herramienta y de sus afilados: datos que intervienen en los cálculos económicos, para determinar tanto la elección de la herramienta como las condiciones de corte.

Desde el principio de nuestro siglo hasta hoy día, las investigaciones en este sector han llevado a brillantes soluciones y se ha podido pasar primeramente de los aceros al carbono a los aceros rápidos, descubiertos y experimentados por Taylor y White, seguidamente a las aleaciones duras no ferrosas, después a carburos metálicos (metal duro) y a materiales cerámicos (óxidos metálicos), y actualmente a los carburos metálicos recubiertos, al nitruro de boro cúbico y a los diamantes sinterizados policristalinos, que permiten velocidades de corte más elevadas y prestaciones particularmente interesantes.

Tipos de materiales para herramientas.

Los *materiales* actualmente utilizados son los siguientes:

- 1) Aceros al carbono y especiales
- 2) Aceros rápidos
- 3) Aleaciones duras no ferrosas (estelitas)
- 4) Carburos metálicos (metal duro)
- 5) Carburos metálicos especiales (grano micrométrico y "fundidos")
- 6) Carburos metálicos recubiertos
- 7) Materiales cerámicos
- 8) Nitruro de boro cúbico
- 9) Diamantes naturales
- 10) Diamantes sinterizados policristalinos

Aceros al carbono y especiales.

Este grupo de materiales comprende los aceros al carbono propiamente dichos, con 0,7 a 1,5 % de C; 0,1 a 0,4 % de Si; 0,1 a 0,4 de Mn. El porcentaje de carbono influye directamente sobre la dureza y sobre la resistencia al desgaste.

La utilización de estos aceros es bastante limitada por su escasa capacidad de mantener, a temperaturas superiores a los 200 ... 250 °C, el mismo valor de dureza que poseen a temperatura ambiente (63...66 HRC) y por la dificultad de los tratamientos a los cuales deben ser sometidos.

Los *aceros especiales* se obtienen por la adición, a la aleación de hierro carbono, de otros elementos que tienden a producir variaciones en las características del acero, principalmente en la dureza, resistencia al desgaste y tenacidad. Tales elementos son esencialmente el cromo (mejora la resistencia al desgaste), tungsteno, cobalto, molibdeno, manganeso (para mejorar la dureza en caliente), níquel, vanadio (mejora la tenacidad) y silicio (para mejorar la resistencia a la abrasión).

Aceros rápidos

Las investigaciones dirigidas a encontrar herramientas de cualidades y prestaciones superiores, alcanzaron brillantes resultados cuando se descubrieron los aceros al tungsteno y al cromo.

Las velocidades de corte pudieron ser dobladas, ya que los nuevos materiales resistían y mantenían una dureza elevada incluso con temperaturas de hasta 500 °C. Los mecanizados resultaron con ellos muy rápidos, de ahí el nombre dado a estos aceros (high speed steels).

Sucesivamente se añadieron a la aleación porcentajes de vanadio y molibdeno, que mejoraron las prestaciones.

Las máquinas herramientas debieron modificarse para satisfacer las exigencias de alta velocidad; también fue necesaria una mayor rigidez para reducir vibraciones, y aumentar la potencia.

Característica principal de los aceros rápidos es mantener su dureza (en frío comprendida entre 63 y 68 HRC) a más altas temperaturas (por ejemplo, a 500...550 °C resulta ser de 55...59 HRC).

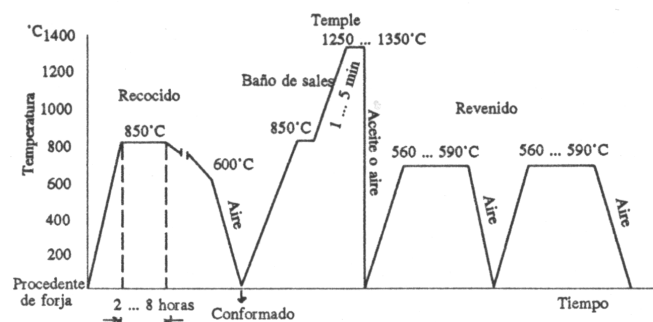
La composición de los aceros puede comprender los siguientes elementos:

- *Carbono* (0,70 ... 0,90 %): aumenta la dureza para los aceros al carbono.
- *Tungsteno* (12 ... 21 %): es el aleante básico de los aceros rápidos. Posee gran dureza en caliente.
- *Cromo* (3 ... 4,5 %): en conjunto aumenta la dureza del material.
- *Vanadio* (0,8 ... 2,5 %): da carburos muy estables y afina el grano, mejorando la capacidad de corte y la resistencia a la abrasión.
- *Molibdeno* (0,5 ... 1,10 %): reduce la fragilidad y mejora todas las características del material.
- *Silicio* (0,1 ... 0,3 %): tiene una acción desoxidante.
- *Manganeso* (0,15 ... 0,35 %): dificulta los tratamientos del temple.

- *Azufre y fósforo* (0,003 %): son impurezas siempre presentes en el acero.
- *Cobalto* (2,5 ... 17%): muy útil en las herramientas de corte, aumenta la velocidad crítica de temple y la solución de los carburos en la austenita que así se estabiliza.
- *Titanio*: sirve para eliminar la oxidación producida por el oxígeno, y a mejorar la resistencia del acero a altas temperaturas.
- *Niquel*: se utiliza en materiales para estampas ya que aumenta la tenacidad y la penetración del temple.
- *Boro*: se añade al molibdeno en los aceros rápidos para mejorar las características de corte.

En el mercado existen numerosos tipos de aceros rápidos, que pueden ser calificados en función del porcentaje de tungsteno en semirrápidos, rápidos ordinarios, rápidos y extrarrápidos o aceros rápidos superiores.

La preparación de las herramientas de acero rápido, análoga a la de los aceros al carbono o aleados, se efectúa en las siguientes fase:



- forjado: se lleva la barra a t^a de 900... 1100 EC, con un calentamiento lento hasta cerca de los 850 EC, y un calentamiento rápido una vez superado los mismos, en hornos de mufla o resistencia eléctrica. El valor de la t^a se elige en función del porcentaje de carbono presente; en efecto, si es alto se pueden dar oxidaciones (acero quemado) a t^a superiores a los 950 ... 1000 EC; por el contrario si la t^a es demasiado baja (850 EC), pueden producirse roturas durante la deformación plástica, obtenida por el martillo que conforma la herramienta.

Después de la forja, la herramienta se enfría lentamente, bajo arena y ceniza, para evitar un prolongado contacto con el aire que ejerce una acción oxidante.

- *recocido*: después de la forja para eliminar tensiones internas creadas y residuales, y para dar al acero la máxima tenacidad o las características para sucesivas mecanizaciones.
- *mecanización*: se mecaniza la herramienta con mayor precisión que en la forja. Se le dan la forma y los ángulos de corte característicos.

- *temple en agua*: a fin de aumentar la dureza superficial del material. Con los tratamientos de temple se asegura al material tratado una notable dureza superficial, manteniendo el interior de la pieza más dúctil y adaptado para resistir golpes y sollicitaciones.
- *revenido*: después del temple para eliminar tensiones internas provocadas por el temple.

Los aceros rápidos se aconsejan hoy día para herramientas de tipo broca helicoidal, fresas, mandriles, machos de roscar, y en general herramientas de forma.

Aleaciones duras no ferrosas

Cerca de 25 años después de la introducción de los aceros rápidos, aparecieron las aleaciones de materiales no ferrosos, obtenidos por fusión de cobalto, cromo y tungsteno. La fabricación de estas aleaciones no fue fácil, por la lata tª a que funden materiales como el tungsteno, y por el riesgo de oxidación tan graves a estas temperaturas. Estos materiales resultaron pronto superiores a los aceros rápidos en la mecanización de las fundiciones más duras y de los metales que ejercen fuerte desgaste sobre la herramienta.

El más conocido es la *estelita*, a la cual se añaden actualmente otros muchos productos afines, que contienen también pequeños porcentajes de molibdeno (hasta un 18%), Carbono (0,5..2%) y de hierro (hasta un 13%). Cobalto y cromo quedan, pero como elementos básicos; el tungsteno puede variar entre el 9 y el 15%.

Esta aleaciones, así como los carburos metálicos, las cerámicas de corte, el nitruro de boro cúbico se presentan en forma de plaquitas (insertadas o soldadas) que pueden ser mecanizadas solamente por abrasión con muelas especiales y utilizadas sin posterior tratamiento térmico. Las plaquitas se fijan al mango de la herramienta. tal solución se ha adoptado tanto por razones económicas, como por la notable fragilidad del material, poco apto para formar la herramienta completa. El mango suele contruirse en acero al carbono o en acero al silicio-manganeso con cargas de rotura de 80 daN/mm² y elevado límite elástico.

Las plaquitas, fijadas anteriormente por soldadura de cobre electrolítico, se montan actualmente sobre el cuerpo de la herramienta por medio de una fijación mecánica, que presenta la ventaja de fácil sustitución, mediante apriete por un tornillo.

Se han popularizado, y difundido ampliamente en pocos años, plaquitas aptas para una sola utilización, de cada filo cortante; la plaquita es utilizada sucesivamente en cada uno de sus filos y gastada sin someterla a ningún afilado.



Las formas de las plaquitas son muy variadas, según su aplicación y utilización, cuadradas, rectangulares, romboides con o sin taladro central y rompevirutas.

La herramienta provista de plaquita en su extremidad, presenta una elevada dureza a alta

tª cerca del filo cortante, que es la parte más expuesta a la acción del calentamiento y al desgaste, mientras que en el resto es suficientemente tenaz para resistir los choques y proporcionar un buen apoyo a la plaquita, la cual se encuentra casi siempre solicitada a la compresión y no a la flexión o torsión.

Tales aleaciones mantienen un valor aceptable de la dureza hasta tª de cerca de los 850 EC. se observa, también, que las antedichas aleaciones presentan buenas posibilidades de utilización a temperaturas comprendidas entre los 500 y 800 EC. Su utilización a tª inferiores a los 500 EC no es aconsejable, porque el material es más frágil y aumenta el riesgo de rotura.

La refrigeración de la herramienta debe ser adecuada a esta condición, es decir, mantener la tª de corte en el intervalo antedicho.

Las estelitas permiten mecanizar a velocidades de corte muy elevadas, cerca del triple con respecto a la de los aceros rápidos, que normalmente vienen acompañadas de pequeños avances.

La dureza de las estelitas está comprendida entre 60 y 65 HRC.

Carburos metálicos

Un progreso importante en las investigaciones sobre materiales para herramientas fue logrado en los establecimientos Krupp, cuando Fry descubrió el carburo de tungsteno, que denominó *Widia* (wie diamant = como el diamante) para destacar la característica de extrema dureza que lo hacían casi igual que el diamante.

Actualmente, los carburos son utilizados sobre todo para herramientas de corte por arranque, pero también para estampas, hileras y en general, aplicaciones en donde se requiera una notable resistencia a la abrasión.

La aplicación de los carburos se ha extendido a materiales metálicos tanto ferrosos, a mecanizados de corte continuo como interrumpidos.

Las características principales de estos materiales son:

- elevadísima dureza, que se mantiene hasta tª de 900 EC.
- alta resistencia a la compresión.
- excelente resistencia al desgaste y a la corrosión.
- escasa resistencia al choque.
- conductibilidad térmica igual, y tal vez superior, a la de los aceros.

Estos materiales pueden estar compuesto por una matriz ligante de cobalto o níquel, que une los granulos de carburos de tungsteno o de tántalo-tungsteno, o incluso de titanio y molibdeno.

Los carburos metálicos se producen por un procedimiento de sinterizado, a partir de sus componentes pulverizados. Esto evita la operación de fusión, la cual presenta las dificultades, comunes a los materiales refractarios, que funden a muy alta temperatura.

Los procedimientos de producción son varios; las materias primas utilizadas son trióxido de tungsteno, obtenido del mineral después de una serie de tratamientos químicos, el negro de humo, el óxido de titanio y de cobalto.

Los carburos metálicos presentan diversas composiciones y características. (**TABLA 8.2**)

Los carburos de tungsteno comprenden normalmente 75..90% de W con 6...12% de Co, usado como ligante.

El carburo de titanio (TiC) presenta una óptima resistencia a la craterización y a la abrasión, por su fina estructura. Esta característica es importante, porque los cráteres se forman fácilmente en los carburos, cuando actúan sobre materiales muy duros. Las características que distinguen al carburo de titanio son esencialmente:

- dureza mayor que cualquier otro tipo de carburo.
- dureza en caliente superior al carburo de tungsteno.
- menor conductibilidad térmica y coeficiente de rozamiento que el carburo de tungsteno.

El empleo del TiC está indicado para aceros y fundición nodular; no es en cambio recomendable para materiales fuertemente abrasivos, como ciertos tipos de fundición, grafito y aleaciones resistentes a altas t^a , ni tampoco para aleaciones no ferrosas. Los TiC se utilizan también para el acabado de los aceros.

El carburo doble de tungsteno y titanio presenta notable resistencia a la abrasión y a la craterización en la cara de desprendimiento. Composición: 78% W, 16% Ti. El titanio le proporciona además una notable resistencia al choque.

El carburo de tántalo contiene 75% de Ta bajo forma de carburo y 13% de W; el resto está compuesto por el ligante.

La elección del tipo de carburo más idóneo para los diversos mecanizados es un problema importante, que puede resolverse considerando las propiedades de los diversos carburos. Existen carburos adaptados al mecanizado de materiales muy duros como fundiciones y metales no férricos, y otros tipos conteniendo titanio para aceros, resistentes a la abrasión originada por la viruta. Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones: si el material tiene notable resistencia al desgaste, puede soportar pequeños avances y altas velocidades de corte. Normalmente esta característica viene acompañada por una baja resistencia a la flexión, de forma que necesitan máquinas y condiciones de corte regulares.

Si el material posee una notable resistencia a la flexión, se pueden dar fuertes avances y se puede trabajar en condiciones de corte poco regulares (corte interrumpido, con vibraciones, etc.). Pero como la resistencia al desgaste es menor, se debe limitar la velocidad de corte, y evitar las pasadas de acabado con pequeños avances.

La determinación de los ángulos de corte tiene, por otra parte, gran importancia y debe ser considerada con atención en el afilado.

Para aclarar la posibilidad de utilización de los varios tipos de carburos, vease la tabla 8.2 que incluye las siglas y denominaciones de los metales duros para herramientas más comunmente difundidos.

Denominación ISO	Material a Mecanizar	Condiciones de mecanizado
P 01	Acero , acero fundido	Torneado y taladrado de acabado; velocidad de corte elevada, pequeña sección de viruta, precisión geométrica, ausencia de vibraciones, sin refrigeración
P 10	Acero , acero fundido	Torneado, torneado de copiado, fileteado, fresado; velocidad de corte media, mediana sección de viruta; planeado con pequeña sección de viruta
P 20	Acero, acero moldeado, fundición maleable de viruta larga	Torneado, torneado de copiado, fresado; velocidad de corte media, mediana sección de viruta; planeado con pequeña sección de viruta
P 30	Acero, acero moldeado, fundición maleable de viruta larga	Torneado, fresado, planeado; velocidad de corte media-baja, sección de viruta media-alta, condiciones de corto poco favorables
P 40	Acero, acero moldeado (con inclusiones de arena y sopladuras)	Torneado, planeado, desbaste limpiado; velocidad de corte baja, gran sección de viruta; posibilidad de valores elevados en los ángulos de corte; condiciones poco favorables; roscados en ciertos casos
P 50	Acero, acero fundido, de resistencia media o pequeña (con inclusiones de arena y sopladuras)	Carburo con elevada tenacidad: torneado, planeado, desbaste limpiado; velocidad de corte baja, gran sección de viruta; valores elevados en los ángulos de corte; condiciones poco favorables; roscados
M 10	Acero, acero moldeado, acero al Mn, fundición gris, fundición aleada	Torneado; velocidad de corte media-elevada, sección viruta media
M 20	Acero, acero moldeado, aceros austeníticos, aceros duros al Mn, fundición gris	Torneado, fresado; velocidad de corte media, sección de viruta media
M 30	Acero, acero moldeado, aceros austeníticos, fundición gris, aleaciones refractarias	Torneado, fresado, planeado; velocidad de corte media, sección de viruta media-grande
M 40	Aceros para tornillería, aceros de baja resistencia	Torneado, torneado de copiado, tronzado; apto para filetear
K 01	Fundición gris de elevada dureza, fundición en coquilla, aleaciones de Al con alto contenido de Si, acero templado, materiales muy abrasivos, papel prensado, cerámica	Torneado y taladrado de acabado, fresado de acabado, rasqueteado
K 10	Fundición gris ($HB > 220 \text{ daN/mm}^2$), fundición maleable de viruta corta, acero templado, aleaciones Al-Si, aleaciones de Cu, resinas sintéticas, vidrio, ebonita, papel comprimido, porcelana, piedra	Torneado, fresado, taladrado, cepillado, alisado, rasqueteado, brochado
K 20	Fundición gris ($HB > 220 \text{ daN/mm}^2$), aleaciones no ferrosas a base de Cu y Al, madera comprimida de gran resistencia, plásticos	Torneado, fresado, planeado, cepillado, rasqueteado, alisado, mortajado y brochado requiriendo una elevada tenacidad del carburo
K 30	Fundición gris de baja dureza, acero de baja resistencia, madera comprimida	Torneado, fresado, planeado, cepillado, mortajado, condiciones de corte poco favorables; posibilidad de elevados valores de los ángulos de corte
K 40	Madera natural blanda o dura, materiales sintéticos, metales no ferrosos	Torneado, fresado, cepillado, mortajado, condiciones de corte desfavorables; posibilidad de grandes secciones de viruta

Tabla 8.2

Carburos metálicos especiales

Un tipo nuevo de carburo es el de *grano micrométrico*, a menudo conocido como carburo mejorado, con una dispersión de partículas de dimensiones inferiores a la micra.

Posee una notable resistencia transversal, superior (casi el doble) a los carburos normales, mientras que la dureza es ligeramente inferior. Se aconseja en los casos en que los aceros rápidos se desgastan demasiado rápidamente o cuando se tienen velocidades de corte demasiado bajas para utilizar carburos normales.

Se utilizan a veces ventajosamente en el refrentado por la menor velocidad de la zona central, en el mecanizado de aleaciones base níquel, para aceros inoxidables, para aleaciones refractarias, en el fileteado. Por su buena resistencia transversal se pueden usar elevados ángulos de desprendimiento y de incidencia.

Otro carburo metálico especial es el carburo "fundido" que consiste en una dispersión de aleación dura en carburo en una matriz ligante refractaria de elevada resistencia.

Este material presenta una elevada resistencia y dureza en caliente, y está particularmente adaptado para desbastes de aleaciones o de aceros inoxidables a elevada velocidad de corte. Es el resultado de investigaciones tendentes a encontrar aleaciones refractarias, que puedan sustituir a los aglomerantes ferrosos de bajo punto de fusión, normalmente presentes en los carburos sinterizados. El objetivo no era solamente resolver los problemas ligados a la deformación térmica de los materiales ordinarios para herramientas, sino también mejorar la resistencia al desgaste reduciendo la interacción por difusión entre herramienta y pieza.

La composición de estos materiales es 20% de titanio, 58% de tungsteno y 22% de carbono.

Los carburos "fundidos" no son muy indicados para mecanizar fundición, titanio y superaleaciones, por cuanto se desgastan rápidamente, como los correspondientes carburos convencionales.

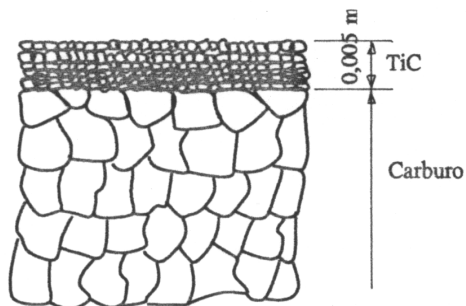
Carburos metálicos recubiertos

Estos carburos despertaron un enorme interés al aparecer por primera vez en 1969. El proceso productivo consiste en la precipitación del carburo, óxido o nitruro de titanio mediante reacciones químicas en estado gaseoso. La capa de revestimiento, que aumenta la resistencia al desgaste, dando a la plaquita una mayor dureza superficial, tiene un espesor del orden de 0,005 mm. Es posible, variando la temperatura de deposición cambiar la microestructura y con ella las propiedades mecánicas de la capa depositada. La ligazón entre dicha capa y el material de base es muy resistente.

Es particularmente apreciado el revestimiento de carburo de titanio porque éste (unido a las propiedades del carburo de W) reduce dos causas de deterioro de la herramienta, el calor

producido por rozamiento entre viruta y herramienta y entre herramienta y pieza.

La capa de recubrimiento reduce las causas de desgaste por difusión y adhesión.



Con recubrimientos de TiC, se obtienen también reducciones en las fuerzas de corte y temperaturas. La duración de una herramienta de carburo recubierto en 2-3 veces a la de otra de carburo normal en el mecanizado del acero.

El recubrimiento con nitruro de Ti (TiN) ofrece una mayor dureza con respecto al carburo convencional, la resistencia al desgaste es similar a la del recubrimiento con TiC y permite velocidades

superiores en un 50% a las de los carburos convencionales.

Es también aconsejable el recubrimiento con óxido de aluminio (Al_2O_3); su espesor es ligeramente mayor; los resultados mecanizando fundiciones ferrosas son interesantes, y las velocidades son superiores a las que se adoptan con recubrimientos de TiC.

Una segunda generación de herramientas de carburo recubierto está disponible actualmente: estos nuevos productos han resuelto el problema de la gran diferencia de elasticidad y dilataciones térmicas entre el carburo de base y la capa de TiC. El carburo tiene un tratamiento para crear una zona de difusión bajo la capa depositada, y así permitir una más gradual variación de propiedades entre la base interna y la capa externa.

Recientemente han aparecido también carburos recubiertos con una doble capa: al exterior Al_2O_3 sobre una capa soporte de TiC directamente depositada sobre el carburo de base, y recubrimientos de oxocarburos de titanio (TiC_xO_y) formados por una solución de TiO y TiC obtenida por difusión.

Los resultados, por lo que se refiere al desgaste, parecen satisfactorios incluso con respecto al recubrimiento de TiC.

Materiales Cerámicos (Cerámicas de corte)

Alrededor de 1954 aparecieron los primeros resultados referentes a la adopción de materiales cerámicos para la herramienta (aparecidos ya en 1938 en Alemania en forma de plaquitas), a las que fueron atribuidas características de óptima calidad, especialmente por la elevada velocidad de corte permitida.

Bajo la denominación genérica de "materiales cerámicos" o "cerámicas de corte" se pueden enumerar:

1) los *Cermets*: materiales sinterizados, constituidos por un componente no metálico (óxidos, silicatos, carburo de silicio, carburo de boro) y por componentes metálicos de alto punto de fusión (Mo, Cr, V); a la tenacidad propia de los metales unen un alto grado de refractariedad

(propia de los productos cerámicos). Los cermets, que tienen mejores características de aplicación a las herramientas, se obtienen por la sinterización del óxido de aluminio junto con carburo de molibdeno y carburo de vanadio. El porcentaje de carburos metálicos puede oscilar entre un 5 y un 40%.

2) *Oxidos sinterizados*: el más apropiado para la fabricación de herramientas es el óxido de aluminio: alúmina sinterizada casi pura (95,5% Al_2O_3) o también un óxido a base de alúmina (90%) al que se añade sustancias distintas (como óxido de cromo, de hierro o de titanio). En el primer caso la alúmina sinterizada, con pequeñas cantidades de otros elementos presenta una mejor uniformidad de estructura; en el segundo caso, las sustancias adicionales mejoran las características de dureza.

Las plaquitas producidas con los citados materiales se obtienen con alúmina en polvo finísimo (granulometría = $1\mu m$), al cual se añaden eventualmente las demás sustancias, con sucesivas compresiones en frío y sinterizado a t^a entre 1600...1700 EC (a veces las operaciones de compresión y sinterización se realizan simultáneamente en caliente).

Entre las características de los óxidos sinterizados, debe destacarse la conductibilidad térmica, que tiene valores muy bajos, parecidos en orden de magnitud a los aislantes térmicos, de tal forma que se realiza un calentamiento uniforme del filo y una transferencia de la mayor parte del calor generado a la viruta. El coeficiente de rozamiento es menor que el de los carburos sinterizados: como consecuencia no existe el filo recrecido o aportado; por otra parte, las elevadas velocidades de corte y las consiguientes elevadas temperaturas alcanzadas por la viruta, proporcionan un óptimo acabado superficial.

Herramientas provistas de estos materiales se han utilizado para mecanizar metales, que aunque no son muy resistentes, ejercen una intensa acción de desgaste (abrasión) sobre la herramienta (por ejemplo, materias plásticas, grafito, metales y aleaciones no ferrosas). También en el mecanizado de los aceros se han conseguido buenos resultados, como se verá luego. De todas formas, una dificultad que se encuentra en el uso de las plaquitas cerámicas es debida al montaje sobre el mango de acero; se han experimentado diversas formas de sujeción mecánica y soldadura, incluso soldaduras con pegamentos para cristal y otros adhesivos (resina epoxi).

En los mecanizados con herramientas cerámicas el mango de soporte es condicionante; su forma y dimensionado deben ser tales que permiten explotar las ventajas de las composiciones cerámicas, que en algunos aspectos son superiores a las de otras herramientas (dureza, resistencia en caliente y al desgaste), y en otros en cambio, requieren particulares limitaciones en las aplicaciones. Las plaquitas cerámicas presentan en fin, baja resistencia a la dilatación, escasa ductilidad y poquísima resistencia a la fatiga térmica (bruscas variaciones de la t^a). El mango, por todo ello, debe tener gran sección, para permitir un buen apoyo de la plaquita, y un voladizo mínimo, a fin de que no se presenten deformaciones por flexión. Las fuerzas que actúan sobre la plaquita y la comprimen contra el soporte deben distribuirse de forma uniforme, para evitar tensiones localizadas.

además es necesario un rompevirutas postizo, en general de carburo de tungsteno, y

regulable para facilitar la salida de la viruta. (fig 8.7)

A fin de reducir el peligro de rotura de la herramienta, hay que elegir cuidadosamente los ángulos de desprendimiento cercanos a los 0° , y de aproximadamente 10° para el ángulo de incidencia.

También en esta determinación hay que tener en cuenta que el material de la herramienta posea las características mejores, para resistir las fuerzas de corte y que los valores de las velocidades de corte son muy elevados con respecto a las demás herramientas usuales.

Nitruro de boro cúbico

Un nuevo material para herramientas ha sido introducido industrialmente en 1972: el nitruro bórico (borazón), producido bajo la acción de elevadas t^a y presiones en presencia de un catalizador. La plaquita está constituida por un soporte de carburo con una fina capa de nitruro de boro cúbico.

La dureza de este material es superado sólo por el diamante; es frágil, pero poco reactivo con la pieza; su elevada estabilidad térmica permite trabajar durante largos periodos a t^a de $1000...1100^\circ\text{C}$: temperaturas tan elevadas que son capaces de producir un calentamiento de la pieza, capaz de variar sensiblemente su resistencia. Con este material se pueden mecanizar ventajosamente las aleaciones de níquel a gran velocidad.

Se aconseja utilizar emulsiones para alejar la viruta de la zona de corte; la viruta no se presenta continua, sino troceada en pequeños fragmentos.

Diamantes natural

Como el diamante es el material más dura que se conoce, se ha pensado en su utilización como herramienta.

Se clasifican en dos tipos de diamante: negros y blancos.

Los *diamantes negros* están formados por una masa compacta sin planos de exfoliación, que se utilizan para el rectificado reavivado de las muelas.

Los *diamantes blancos*, de origen volcánico, son aglomerados de pequeños cristales de color blanquecino, sin planos de exfoliación. Se utilizan tanto para rectificado de muelas como para trabajos de torneado, como para acabados de gran precisión sobre metales blandos como aleaciones ligeras, extraligeras, cobre, etc. Dada su dureza el diamante blanco mantiene su filo afilado durante largo tiempo y permite el arranque de sobremetal de espesor mínimo (hasta $0,005\text{ mm}$) con tolerancias del orden de pocas milésimas de mm ($0,001$ a $0,002\text{ mm}$).

Las aplicaciones del diamante como herramienta son las siguientes:

1) herramientas de diamante para operaciones de torneado y mandrilado de precisión en particular sobre aleaciones de aluminio, bronce, metal antifricción y materias plásticas.

2) diamantes para reavivar muelas simples y múltiples, es decir, para devolver a la muela

su poder de corte y en todo caso su superficie o perfil rectificado.

3) muelas diamantadas: muelas con abrasivo constituido por polvo de diamante, particularmente aptas para el afilado de herramientas muy duras.

4) hileras para la producción de alambres metálicos.

Además el polvo de diamante sirve para trabajos de bruñido y lapeado. En todo caso, los diamantes deben ser montados sobre soportes muy rígidos y sin vibraciones. La fijación del diamante al cuerpo de la herramienta se efectúa por soldadura de latón o bronce, o a veces con una sujeción mecánica con interposición de una lámina de metal blando.

Diamantes sinterizados policristalinos

Los formados por polvo de diamante se obtienen por compresión y sinterización (con presiones del orden 700...800 daN/mm² y temperaturas de 2000 EC). Los cristales se disponen casualmente: por esto no se encuentran variaciones de dureza según las varias direcciones.

Los diamantes sinterizados policristalinos sirven para el mecanizado de materiales abrasivos y no féreos, aleaciones de aluminio (con elevado porcentaje de Si), cobre, plásticos, grafito, carburos, materiales cerámicos, caucho, etc.

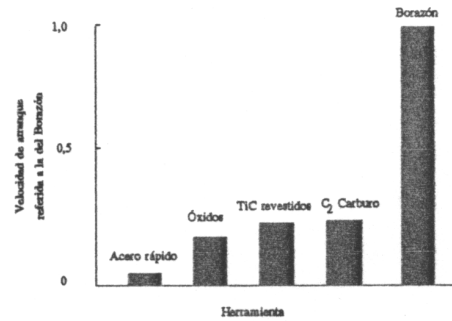
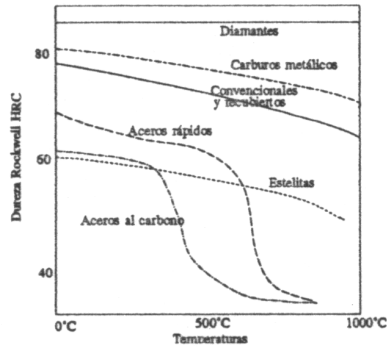
La ventaja de usar esta herramienta para los citados materiales consiste en que la velocidad de corte puede ser aumentada de 2,5 a 3,5 veces con respecto a la de los metales duros. Las herramientas en diamantes sinterizados no son en cambio, aptos para mecanizar materiales ferrosos, aleaciones de titanio o de níquel.

Conclusiones sobre la elección de los materiales para herramientas

Debe observarse que, no pudiéndose indicar ningún material que en todas las aplicaciones detente una neta superioridad con respecto a los demás, en la elección del material para herramientas hay que considerar las condiciones de trabajo específicas.

Entre estas, son preferentes la velocidad económica de corte, la profundidad de pasada, el avance, el material a mecanizar, el tipo de mecanizado (continuo, intermitente con choques cada vez que la herramienta ataca a la pieza), la forma de la herramienta (uno o más cortes); también la máquina herramienta tiene importancia en la elección: es en efecto inútil utilizar materiales que permitan altas velocidades de corte si la máquina, por escasa potencia o por insuficiente rigidez, no permite alcanzarlas.

Las figuras siguientes ilustran la variación de la dureza de los distintos materiales para herramienta en función de la tª; así como una comparación entre velocidades de arranque para los varios tipos de herramientas; la tabla resume las características principales de varios materiales para herramientas.



La tabla siguiente resume las características principales de varios materiales para herramientas.

		Acero al carbono	Acero rápido	Estelitas	Carburos para fundición	Carburos para aceros	Óxidos de aluminio	Diamante
Dureza Brinell	a temperatura ambiente	63...66 HRC	63...66 HRC	60...65 HRC	90 HRA	90 HRA	95...98 HRA	7000 Knoop
	a 500°C	-	50...58 HRC	48...58 HRC	80...87 HRA	80...87 HRA	90 HRA	7000 Knoop
Resistencia a la compresión (daN/mm ²)		400	380	210	500	500	100...500	-
Resistencia a la flexión (daN/mm ²)		360	370	45	150...160	125...150	30...50	-
Módulo de Young (daN/mm ²)		21100	22850	24600	60000	55000	42000	90000
Coeficiente de dilatación térmica lineal (10 ⁻⁴ grd ⁻¹)		14,6	12,5	14,3	5,4	6,2	7...8	1,0
Conductividad térmica (cal/cm s grd ⁻¹)		0,15	0,06	-	0,18	0,10	0,05 a 20°C 0,01 a 900°C	0,35
Calor específico (cal/g grd)		0,11	-	-	0,05	0,06	0,18	0,10
Módulo de elasticidad tangencial (daN/mm ²)		8000	8800	-	27000	25000	-	-
Densidad (g/cm ³)		7,8	8,6	8,4	12...15,2	-	3,85...3,99	-

