

Aceros al desgaste

Algunos criterios para la elección del material de las herramientas utilizadas en operaciones de molienda y trituración

Resumen: Según sean las condiciones de dureza del material a trabajar y los esfuerzos a que esté sometida la herramienta se deberá elegir el material mas adecuado para ésta. Las características de los constituyentes permiten formular criterios de comportamiento de las herramientas en las diversas condiciones de trabajo.

Las operaciones con materiales áridos ya sea de trituración, molienda, movimiento de tierra, etc.. se producen en condiciones de alto desgaste tanto para las herramientas que directamente realizan la acción, como de los revestimientos, grillas, etc.. que también forman parte de ella. La adecuada elección de los materiales utilizados en estos tiene una importante influencia, tanto en la operación misma, como en el costo resultante. Generalmente se utilizan materiales ferrosos por ser éstos los que reúnen mejores condiciones de uso a un precio aceptable. La incidencia de estas herramientas y repuestos en el costo de la operación es importante y eso justifica la búsqueda de los materiales más convenientes para cada proceso en particular y según sean las condiciones de uso.

Consideraremos en esta oportunidad los factores más relevantes cuando estas operaciones se realizan en medio seco. Por parte de los materiales que son procesados, importan la dureza del mismo y la tenacidad o resistencia a la fractura. En cuanto al material con que se fabrican las herramientas, y demás piezas en contacto con aquellos, también importará la dureza superficial y la resistencia a la rotura. Ambos son en gran medida antagónicos. A mayor dureza, mayor fragilidad, y a mayor tenacidad la dureza será menor. La dureza es determinante al estar sometida la superficie de la herramienta a los esfuerzos de abrasión del árido. Fácilmente se concluye que cuanto mayor sea ésta obtendremos una resistencia mayor y un menor desgaste superficial, es decir, mayor

duración de las herramientas. Sin embargo, además de los esfuerzos superficiales concurren otros que afectan a toda la masa: esfuerzos de flexión, de impacto, etc..

Analizaremos en esta oportunidad diversas situaciones donde estos dos factores varían entre límites apreciables. Según sea uno u otro el factor preponderante nos determinará a elegir las propiedades del material más adecuado en cada caso.

Si bien la dureza del material lleva consigo un mayor o menor desgaste con el trabajo, la resistencia a la rotura será determinante porque esto añade un factor nuevo de costo, que en ocasiones es mínimo y en otras resulta impredecible por las circunstancias en que se pueda producir: parada de máquina, tiempo perdido, destrozos en otras partes de la máquina, etc..

Las herramientas se desgastan por un fenómeno que fundamentalmente se debe a la abrasión. El árido actúa sobre la herramienta penetrando sobre su superficie y «arañando», a semejanza de los granos de una lija o disco abrasivo. La dureza por tanto juega un papel fundamental a semejanza de cómo se establece la Escala de Mohs: un material será de dureza mayor si puede rayar a los anteriores, y así desde el talco hasta el diamante se obtiene la escala de durezas. En este sentido se puede simplificar

considerando que cuanto más dureza tengan las herramientas, más adecuadas serán para el trabajo.

Pero la mayor dureza conlleva una mayor fragilidad. Cuando las condiciones de trabajo tengan una fuerte componente de esfuerzos de compresión, de flexión y cortantes puede ocurrir la rotura de la herramienta sin que se haya llegado al desgaste previsible. Siempre será preferible que la herramienta se desgaste a que se rompa, debiendo buscarse el punto óptimo que en definitiva será el que resulte en un mejor rendimiento en el trabajo.

Por parte de la herramienta, las aleaciones ferrosas permiten una gran variedad de materiales y estados de tratamiento tales que se adecuen mejor a las condiciones de uso. Muchos de ellos se pueden considerar como si fueran materiales compuestos, por cuanto su estructura puede tener una matriz de características determinadas, y a su vez contener una fase dispersa que reúne otras distintas. De la misma forma en herramientas de materiales sometidos a desgaste abrasivo podemos recurrir a un material de dureza alta en todos sus puntos, es decir, homogéneo y duro, o bien buscar una aleación de constitución heterogénea donde la matriz tenga una dureza moderada con buena tenacidad y los elementos dispersos tengan una altísima

Constituyente	Dureza Vickers HV		Mohs	
Perlita de alto Carbono	240 a 425			
Austenita de alto Cromo	350 - 400	500 - 600	6	Ortosa
Martensita de alto Carbono	770 - 800	800 - 1000	7	Cuarzo
Carburos cementíticos K_c	1060 - 1240			
Carburos K_2	1500 - 1800	1300	8	Topacio
Carburos de Wolframio	2400	2000	9	Corindón
Carburo de Silicio	2500			
		8000	10	Diamante

Cuadro I.- Cuadro comparativo de durezas de minerales y constituyentes de las aleaciones ferrosas

dureza para así hacer frente a la agresión de los áridos que se trabajen.

En el cuadro adjunto se indican en forma aproximada las durezas de algunos constituyentes que están presentes en las aleaciones ferrosas y su equivalencia con la escala de Mohs y las durezas de algunas piedras.

Abrasión con fuerte impacto.- Cuando las condiciones de trabajo son a la vez de abrasión y de fuerte impacto, caso típico de las mandíbulas o conos para trituradora de piedra, se utiliza el clásico Acero al Manganeso tipo Hadfield —aleación de 12 - 14% de Mn y 1 - 1,2% de C—. Este material ha tenido una extensa aplicación cuando el trabajo se da en estas circunstancias. Tiene alta tenacidad y una aceptable resistencia a la abrasión. Estructuralmente es homogéneo con una sola fase de tipo austenítico que le confiere esa buena tenacidad y dureza baja. La estructura austenítica se obtiene mediante el temple en agua después de someterlo a un calentamiento de 1000° a 1050°C. Se le denomina templado por cuanto se somete a un brusco enfriamiento en agua desde esa temperatura. El material no sufre la transformación martensítica propia de los aceros sino que queda en el mismo estado que tenía a la temperatura de tratamiento, y por tanto en una situación que podemos llamar de inequilibrio dado que el Mn queda disuelto en la austenita. Al ser sometido a fuertes impactos durante el trabajo, se transforma en Martensita, y con ello tiene lugar un endurecimiento superficial en todas las zonas afectadas por la

energía del impacto. Esto le añade las propiedades antidesgaste que lo hace aconsejable en las condiciones referidas. Tenemos entonces un material duro en la superficie y tenaz en el interior. Es un fenómeno semejante al que se da en las operaciones de temple superficial, aunque este es más penetrante, en cambio en el acero Hadfield es de escasa profundidad, pero se da precisamente en la zona donde la piedra actuó con su esfuerzo de compresión y donde al mismo tiempo actúa tratando de «rasgar» el acero. El acero va adecuando su superficie a las condiciones de abrasión a medida que se desgasta, mientras que toda la masa permanece con alta tenacidad a los fuertes impactos que está sometido. Esta coincidencia de fenómenos es lo que ha motivado la extensión en el tiempo y la amplitud de utilización de estos aceros.

El acero Hadfield al manganeso será por tanto muy adecuado en condiciones de fuerte impacto. Si éste faltara, el acero siempre quedaría con la dureza baja original, y nunca llegaría a transformarse superficialmente. En el cuadro I puede observarse que en la zona superficial endurecida se puede alcanzar la que se indica para la Martensita, que aún así tiene una dureza menor que muchas piedras. Por ello la durabilidad de las herramientas al Manganeso dependerá mucho del árido que se trabaje y de la resistencia que tenga a los esfuerzos de corte.

Las condiciones de trituración en cuanto a la relación de tamaño de la piedra a la

ASTM A 128.- Composición de los Aceros al Manganeso					
Grado	Carbón	Manganeso	Cromo	Molibdeno	Níquel
A	1.05 - 1.35	11.0 min	.....	.....	.....
B*	0.9 - 1.35	11.5 - 14.0	.....	.....	.....
C	1.05 - 1.35	11.5 - 14.0	1.5 - 2.5	.....	.....
D	0.7 - 1.3	11.5 - 14.0	.....	.....	3.0 - 4.0
E*	0.7 - 1.45	11.5 - 14.0	.....	0.9 - 2.1	.....
F	1.05 - 1.35	6.0 - 8.0	.....	0.9 - 1.2	.....

* aceptan varios subgrados

entrada, y de salida de la trituradora, juegan también un papel importante en el desgaste por m³ procesado. Cuanto mayor sea esta relación habrá una mayor contacto de la piedra con la superficie de la herramienta y por tanto mayor desgaste con relación a la cantidad de piedra procesada. La mandíbula se endurece en la superficie a medida que sufre los fuertes impactos y presiones de la piedra que se trata de romper y esa transformación superficial permite que la acción abrasiva de la piedra encuentre una superficie dura y, por tanto, resistente al desgaste. Es por ello que la combinación de propiedades de tenacidad en toda la masa y dureza zonal en la superficie da un equilibrio adecuado para estos usos.

Dentro de esta familia de aceros, la norma ASTM A 532 abre algunas posibilidades de variación en composición para adecuarla a condiciones más específicas, siendo las mencionadas aplicables a todas las aleaciones en ella reseñadas. Se debe concluir que si en el trabajo se producen altos esfuerzos sobre el material los aceros al Manganeso serán adecuados como materiales resistentes al desgaste. Caso contrario, si no tienen lugar esos esfuerzos, el material permanecerá en su estado original, la dureza permanecerá baja y por consiguiente también será baja la resistencia al desgaste.

Abrasión con impacto moderado.- Cuando las condiciones de trabajo son de impactos medios o bajos, incluso cuando hay esfuerzos de flexión en las herramientas — caso típico de uñas o dientes de excavadora— el material deberá reunir las características propias de dureza y a su vez tenacidad. Los impactos no son lo suficientemente fuertes como para provocar la transformación superficial indicada en el caso de los Aceros Hadfield y por tanto no tendremos la posibilidad de obtener un endurecimiento en el trabajo, haciendo este material inadecuado para estos usos. El

material debe reunir en sí mismo ambas condiciones: alta dureza y buena tenacidad. Éstas suponen un compromiso puesto que a medida que sube la dureza la tenacidad suele ser menor. La optimización de ambos parámetros se da en los aceros aleados de temple y revenido. Las condiciones específicas de trabajo determinarán si conviene inclinarse hacia una u otra característica: tenacidad o dureza.

Estos aceros suelen ser de medio carbono y aleados. Las condiciones de tratamiento térmico son las que permiten muchas veces dar al acero las propiedades adecuadas al uso que vaya a tener. Estos aceros son homogéneos en toda su masa, es decir, con el mismo grado de dureza en la superficie y en el interior. Así, a medida que se desgastan, el material que aparece tiene las mismas características. Cuando las condiciones sean tales que los áridos con los que se trabaja son duros y de grano fino interesará una mayor dureza para tener mayor resistencia al desgaste abrasivo, sacrificando en esta forma la tenacidad. Cuando por el contrario sean herramientas que trabajan en movimiento de áridos de mayor tamaño y, aún más, si realizan fenómenos de arranque y transporte, la tenacidad pasa a tener una importancia mayor y puede trabajarse con aceros de revenido alto sacrificando en este caso la dureza que resultará menor. No obstante, al ser materiales de mayor tamaño las acciones erosivas sobre el acero serán menores por cantidad de material trabajado.

Abrasión con bajo o nulo impacto.- En estas condiciones el factor más importante pasa a ser la dureza lograda en el material. Observando el cuadro I se ve que para materiales duros los constituyentes de los aceros - sea perlita fina o martensita, incluso la cementita - alcanzan durezas inferiores. Por ello se recurre a las fundiciones blancas aleadas donde se pueden obtener carburos metálicos que alcanzan durezas muy superiores. La

misma fundición blanca no aleada tiene aplicación en muchas de las condiciones de trabajo por abrasión. La cementita o carburo de hierro (Fe₃C) es el constituyente duro fundamental en estas aleaciones. Por ejemplo, en una fundición de 3% de C hay un alto porcentaje de cementita (34%), llegando casi al 45% con la que está contenida en la perlita. Estos carburos, si bien son duros como vemos en el cuadro I, no lo son suficientemente en algunos casos, y además la estructura así formada es extremadamente frágil. En estos casos las aleaciones del tipo Fe-C-Cr abren nuevas posibilidades de fabricación de piezas y herramientas sometidas a condiciones de trabajo de fuerte abrasión y mínimo impacto. La Norma ASTM A 532 enumera tres tipos de aleaciones: las de tipo Ni - Hard, y las

fundiciones blancas al Cromo y al Cromo Molibdeno.

Nuevamente estamos ante un material de carácter heterogéneo. Podremos obtener un constituyente matriz de alta dureza gracias a la templabilidad que le confieren los elementos de aleación y a su vez tendremos constituyente disperso en forma de carburos metálicos. Las distintas aleaciones que se pueden obtener abren la posibilidad de conseguir carburos de tipo cementítico K_c y de tipo K₂ (M₇C₃) que alcanzan los 1500 a 1800 HV (cuadro I). Y en el constituyente matriz mediante un tratamiento de temple se pueden alcanzar durezas de 68 HR_c que le añaden un buen comportamiento a la abrasión.

ASTM A 532.- Composición de las Fundiciones aleadas resistentes al desgaste							
Clase	Tipo	Designación	Carbón	Silicio	Cromo	Molibdeno	Níquel
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8 - 3.6	0.8 max	1.4 - 4.0	1.0 max	3.3 -5.0
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4 - 3.0	0.8 max	1.4 - 4.0	1.0 max	3.3 -5.0
I	C	Ni-Cr-GB	2.5 -3.7	0.8 max	1.0 - 2.5	1.0 max	4.0 max
I	D	Ni-HiCr	2.5 - 3.6	2.0 max	7.0 - 11.0	1.0 max	3.0 - 4.0
II	A	12% Cr	2.0 -3.3	1.5 max	11.0 - 14.0	3.0 max	2.5 max
II	B	15%Cr-Mo	2.0 -3.3	1.5 max	14.0 - 18.0	3.0 max	2.5 max
II	C	20%Cr-Mo	2.0 -3.3	1.0 -2.2	18.0 - 23.0	3.0 max	2.5 max
III	A	25%Cr	2.0 -3.3	1.5 max	23.0 - 30.0	3.0 max	2.5 max

Las fundiciones blancas altamente aleadas con Cromo o con Cromo y Molibdeno tienen mejor tenacidad que las simplemente al Carbono. Su maquinabilidad es muy difícil por la presencia de carburos y por que son autotemplantes.

Las aleaciones del tipo Ni-Hard que aparecen en el cuadro son también de alta dureza y buena templabilidad por el alto contenido de Níquel. Los carburos que se forman son del tipo cementítico K_c. Estas aleaciones se usan normalmente sin tratamiento posterior. En cambio en las

aleaciones de base Cromo se pueden obtener carburos del tipo K₂ que son más duros según se puede observar en el cuadro I. Además, para algunos usos especiales, donde se requiera cierto mecanizado, se puede ablandar la aleación por un recocido de tipo isotérmico para conferir maquinabilidad, y aunque permanece una dureza elevada, se puede trabajar bien con herramientas especiales. La pieza una vez mecanizada puede ser sometida a un tratamiento de temple y así llevar la matriz a los altos niveles de dureza mencionados anteriormente.