

LOS ENSAYOS DE MAQUINABILIDAD

.....

G. MURRY

Adaptación para el Informador Técnico

INTRODUCCION

Antes de hablar sobre la maquinabilidad de los metales, es necesario decidir el sentido que se da a esta palabra. Para ello se puede partir de la definición que ha propuesto Knowlton (1): "El acero de maquinabilidad óptima es el que permite arrancar más rápidamente la mayor cantidad de virutas con un acabado satisfactorio de la superficie y sin tener que afilar la herramienta". Esta definición alude a algunos conceptos que conviene explicar por separado.

● "Arranque de virutas": En efecto, conviene reservar el término de mecanización para las operaciones de arranque de metal con una herramienta cortante.

● "Más rápidamente la mayor cantidad": Esta expresión plantea el problema de las condiciones de corte; ¿deben arrancarse rápidamente virutas de sección pequeña o más lentamente virutas de gran sección? En el primer caso, el embotamiento de la herramienta se deberá principalmente al desgaste, mientras que en el segundo, dependerá del calentamiento y eventualmente de los esfuerzos aplicados. Conviene hacer notar que esta expresión apunta ya el carácter comparativo de los datos.

● "Con un acabado satisfactorio de la superficie": Aquí debe considerarse no sólo la microgeometría de la pieza, es decir, su rugosidad, sino también su macrogeometría, esto es, sus dimensiones. Estas últimas responderán a las condiciones requeridas si la herramienta observa sus cotas iniciales, esto es, si no se ha deteriorado, lo que nos lleva al siguiente término de la definición de Knowlton.

● "Sin afilar la herramienta": Operación que, por otra parte, retrasa el trabajo y repercute sobre el precio de costo.

Estas consideraciones muestran que un criterio de maquinabilidad define una "relación de fuerzas" entre la herramienta y el metal mecanizado, relación que depende de la maquinabilidad del material, y también de las características (en el sentido amplio de la palabra) de la herramienta y de las condiciones del conflicto, es decir, de las condiciones de corte. Se llega así a una primera conclusión: el resultado del ensayo de maquinabilidad no podrá tener un valor

absoluto, ni siquiera cuando, a costa de grandes esfuerzos, se mantengan constantes los factores experimentales. En efecto, se plantea la cuestión de si los resultados obtenidos en un determinado ensayo de maquinabilidad serán válidos cuando se realice otro tipo de mecanización. Actualmente no hay unanimidad encunanto a la respuesta, y es necesario realizar ensayos de carácter tecnológico cuyos resultados sólo son utilizables cuando se trabaja en las condiciones experimentales. Esto puede obligar a la realización de numerosos ensayos para reproducir las diversas condiciones de trabajo.

Antes de describir los ensayos más frecuentes, examinaremos rápidamente algunos factores que pueden tenerse en cuenta para apreciar la maquinabilidad de un material durante un ensayo de maquinabilidad.

1. FACTORES QUE SE TIENEN EN CUENTA DURANTE UN ENSAYO DE MAQUINABILIDAD

La realización de un ensayo de maquinabilidad supone que la herramienta, por una parte, y las condiciones de corte, por otra, están perfectamente definidas. Estas condiciones son difíciles de cumplir, sobre todo en lo que concierne a la herramienta. En efecto, la capacidad de corte de una herramienta es una característica sujeta a muy complejas variaciones; depende no solamente de la composición del acero, sino también de su tratamiento térmico, cuya calidad no puede apreciarse convenientemente mediante medidas de dureza. Además, el afilado de esta herramienta debe asegurar una forma geométrica exacta sin afectar a su calidad; esta operación exigirá, pues, grandes precauciones.

Las condiciones de corte deben respetarse y mantenerse constantes a lo largo del ensayo, lo cual obliga sobre todo a estabilizar la velocidad de corte con gran precisión. La importancia de este último factor hace de este punto una regla indispensable, que, de no observarse, puede hacer que los resultados sean totalmente nulos.

Pero, una vez satisfechas todas estas condiciones, ¿cómo podremos apreciar la maquinabilidad del material ensayado? Los criterios utilizables se desprenden del examen de una operación de

mecanizado. En el curso de ella se observan los siguientes fenómenos:

- La herramienta se calienta tanto más cuanto más difícil es la mecanización. La temperatura de la herramienta y la cantidad de calor desprendido puede ser objeto de apreciación.
- La herramienta se desgasta y "muere". La medida del desgaste de la herramienta permite comprobar la importancia de su deterioro, fenómeno que varía inversamente con la facilidad con que se mecaniza un acero, y conduce, pues, a una evaluación de su maquinabilidad.
- La herramienta está sometida a esfuerzos cuya cuantía depende, sobre todo, de las condiciones de corte, pero también, en algunos casos, de la maquinabilidad del material.
- La pieza mecanizada adquiere una forma geométrica caracterizada, por una parte, por las dimensiones, cuya estabilidad depende del desgaste de la herramienta y, por otra parte, por un estado superficial que es función asimismo de la maquinabilidad del material, de las condiciones de corte, y de la forma geométrica de la herramienta.

Se realizará un ensayo de maquinabilidad apreciando la evolución de uno o varios de estos fenómenos en el desarrollo de un ensayo. Se pueden realizar varios ensayos a diferentes velocidades de corte, lo cual permite tener en cuenta la importancia de este factor primordial y apreciar el comportamiento del material en condiciones más próximas a las de la práctica. En efecto, en el taller, la herramienta debe tener una vida lo suficientemente larga para que resulte costoso realizar ensayos en las condiciones normales de trabajo. Se suele entonces aumentar la velocidad de corte, acelerando así el embotamiento de la herramienta y transformando después los resultados obtenidos de acuerdo con la ley de Taylor. Esta ley establece la relación que existe entre la velocidad de corte y la vida útil de una herramienta hasta la aparición de un determinado desgaste, manteniendo constantes todos los demás factores.

Se trata de la expresión:

$$V t^n = \text{constante.}$$

$$V = \text{velocidad de corte.}$$

$$t = \text{vida útil de la herramienta.}$$

Vamos a examinar ahora con detalle algunos ensayos de maquinabilidad. En cada caso, indicaremos el principio del método, las referencias de los principales trabajos consagrados al mismo y, finalmente, las críticas de que puede ser objeto.

2. DIFERENTES TIPOS DE ENSAYOS DE MAQUINABILIDAD

2.1. Ensayos que tienen en cuenta los fenómenos térmicos

Se pueden mencionar dos tipos de ensayos según se mida:

- La temperatura de la herramienta o
- La cantidad de calor desprendido durante el mecanizado.

2.1.1. Medida de la temperatura de la herramienta

Esta medida puede realizarse directamente, como lo ha hecho Weisz (2) al medir la radiación emitida por una superficie determinada de la herramienta lo más próxima posible a la superficie activa. Se puede también determinar midiendo la fuerza electromotriz del par herramienta-pieza. Este método, debido a Gottwein (3), consiste en utilizar la zona de contacto entre la herramienta y la viruta como soldadura caliente de un termopar en que los dos conductores son la pieza mecanizada y la herramienta (Fig. 1.). La realización de las uniones es muy delicada, sobre todo en lo que concierne a la elección de los conductores y a la situación del punto frío. El calibrado de termopar no es muy preciso (2).

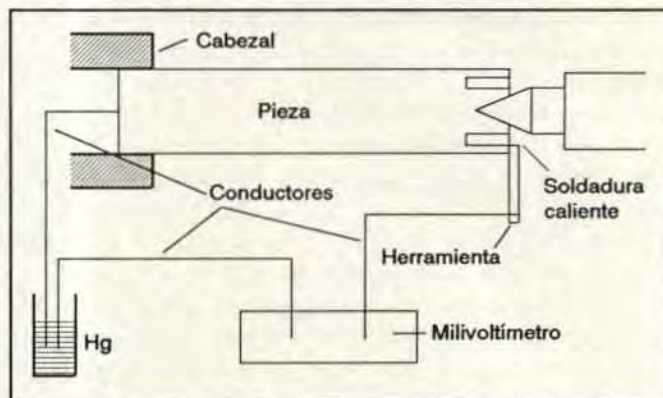


FIG. 1. Esquema de la disposición del par herramienta- pieza

Conviene indicar que la medida de la temperatura de la herramienta no ha proporcionado nunca resultados muy significativos en cuanto a la maquinabilidad de los aceros; prueba de ello son las reservas formuladas a este respecto por la Subcomisión para los Problemas de Mecanizado de la Comisión de Materiales de la Asociación de Siderúrgicos Alemanes. Este organismo ha comprobado (4) que no hay una clara correlación entre las características de desgaste de la herramienta

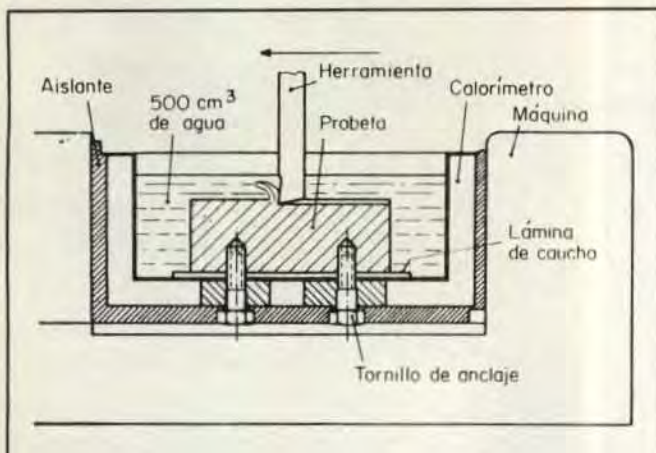


FIG. 2 Disposición de un calorímetro sobre un cepillo [Molkot (5)]

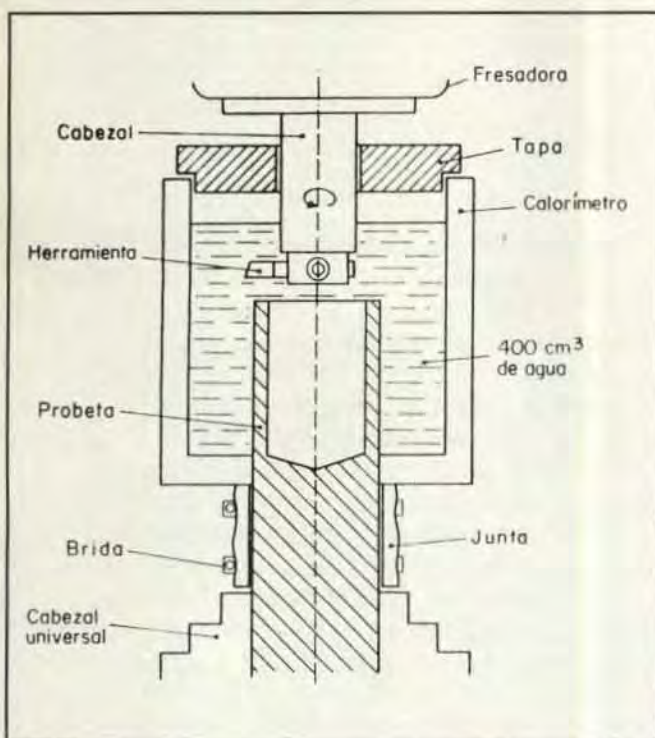


FIG. 3 Disposición de un calorímetro sobre una fresadora [Molkot (5)]

y los resultados de las medidas de temperatura, de forma que estos últimos no permiten sacar conclusiones sobre la maquinabilidad de los aceros considerados.

2.1.2. Medida de la cantidad de calor desprendida durante el mecanizado

Al realizar tales ensayos calorimétricos, se admite que la mayor parte de la energía consumida durante la mecanización se transforma en calor. En estas

condiciones, Van Molkot (5) instaló un calorímetro sobre un cepillo (Fig. 2) y sobre una fresadora (Fig.3). Este calorímetro consta de una cuba de doble pared solidaria de la máquina y en la que se sujeta la pieza a mecanizar. Una vez colocada la pieza y tras una primera pasada destinada a repasar la cara superior de la probeta, la cuba se llena con una determinada cantidad de agua. La variación posterior de la temperatura de este líquido durante una operación de mecanizado permite calcular la cantidad de calor desprendido. Molkot define un índice de maquinabilidad igual a la relación, en tanto por ciento, entre la diferencia de temperatura medida con el material de referencia y la desviación de temperatura medida con el material ensayado.

Los resultados presentados por el autor parecen muy interesantes, pero no se comparan con los criterios de desgaste habituales, por lo que no se puede juzgar este método.

2.2. Ensayos que tienen en cuenta los fenómenos de desgaste

Al realizar tales ensayos se admite que el desgaste de la herramienta es tanto menor cuanto más fácil de mecanizar es el material ensayado. Para definir el desgaste de la herramienta, se puede hacer referencia a numerosos criterios y a diferentes grados de embotamiento de la herramienta. Examinaremos este concepto antes de interesarnos por los procedimientos de ensayo propiamente dichos.

2.2.1. Medida del desgaste de una herramienta

En todos los fenómenos de corte, la parte activa de la herramienta es siempre una arista cortante definida por la intersección de la llamada superficie de desprendimiento sobre la que desliza la viruta y de la llamada cara de despulla. El desgaste de la herramienta se mide a partir de su forma geométrica inicial teniendo en cuenta la alteración de sus elementos activos. A título de ejemplo, vamos a describir los criterios utilizables para apreciar el desgaste de una herramienta de torno, sabiendo que estos datos se pueden extrapolar fácilmente a otro tipo de herramienta.

(Estas referencias están de acuerdo con los principios adoptados actualmente por diversos organismos internacionales.) La figura 4 representa las diferentes posibilidades de desgaste de una herramienta de este tipo e indica los distintos elementos que pueden ser objeto de una medida significativa del desgaste. Se pueden clasificar estos últimos en dos grupos:

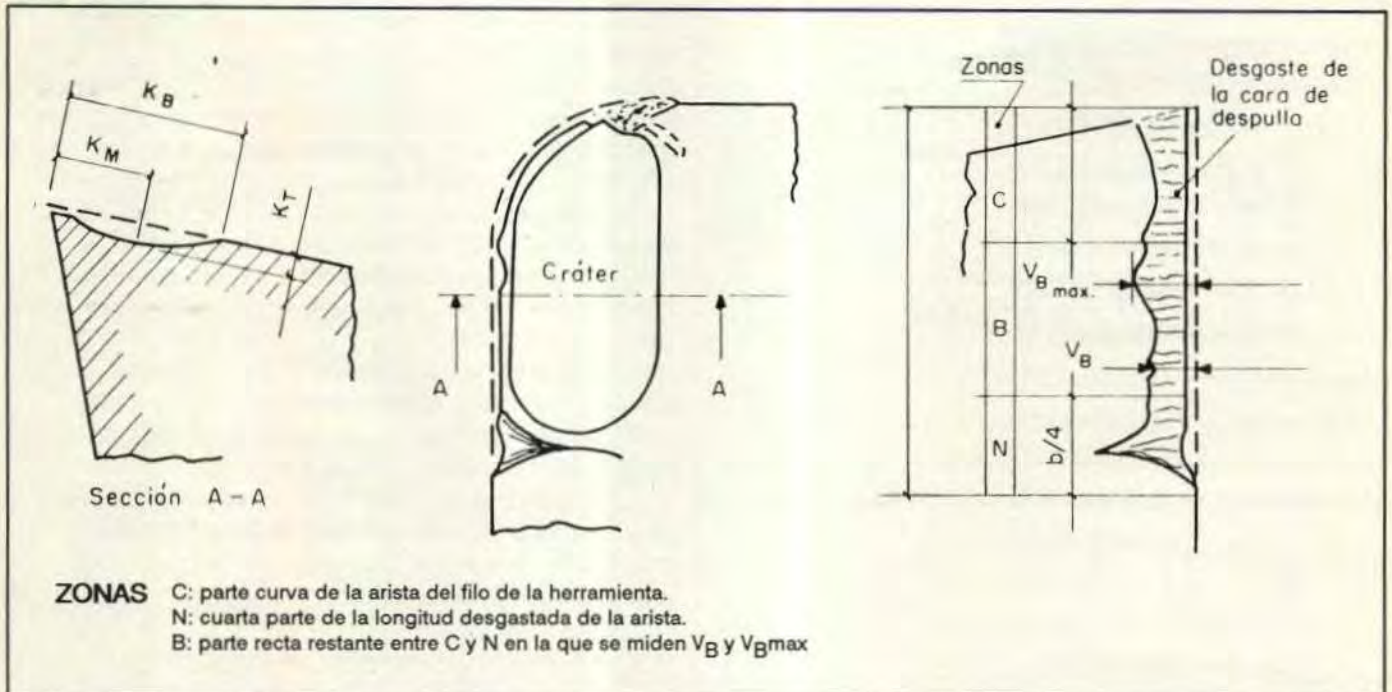


FIG. 4 Posibles desgastes de una herramienta

- Elementos que caracterizan el desgaste frontal (en la cara de despulla) -

V_B : altura media de la zona desgastada.

V_{Bmax} : altura máxima de la zona desgastada.

Estos elementos se miden partiendo de la arista inicial.

- Elementos que caracterizan el desgaste en cráter (en la cara de desprendimiento).

K_T : profundidad máxima del cráter.

K_B : distancia entre la arista inicial y el borde posterior del cráter.

K_M : distancia entre la arista inicial y el centro del cráter (punto de mayor profundidad).

$K = \frac{K_T}{K_M}$: coeficiente de craterización.

Los elementos que caracterizan el desgaste frontal se miden con un microscopio de ocular micrométrico, mientras que los que caracterizan el desgaste en cráter es preferible determinarlos registrando el perfil de la herramienta con un rugosímetro. Es habitual practicar una huella de dureza sobre cada cara de herramienta; esta huella sirve de origen para la medida del desgaste frontal y de elemento de referencia para definir el plano perpendicular a la arista en la que se registra el perfil de la herramienta.

También pueden utilizarse procedimientos indirectos para medir el desgaste de la herramienta. En efecto, la modificación de la forma geométrica de la herramienta no permite respetar las cotas previstas para la pieza mecanizada. Por tanto, el control a posteriori de estas últimas, permite apreciar el embotamiento de la herramienta.

Por último, otro criterio de determinación del desgaste de la herramienta puede ser la destrucción completa de la arista de corte. La "muerte" de la herramienta, fenómeno brutal, puede determinarse bastante fácilmente; tiene el inconveniente, sin embargo, de implicar un embotamiento considerable de la misma, lo cual obliga a arrancar un gran volumen de material.

2.2.2. Métodos de ensayo

Todos los procedimientos de ensayo consisten en determinar, en función del tiempo, la evolución del desgaste en cada caso de mecanización, es decir, para cada acero y para cada herramienta, manteniendo constantes las condiciones de corte.

Se ve inmediatamente que un ensayo de ese tipo puede realizarse en las mismas condiciones de mecanización con que se trabaja en la producción de grandes series, apreciando el desgaste tras la mecanización de un determinado número de piezas. Mlle. Blanc (6) proporciona un ejemplo de aplicación de tales ensayos, al efectuar ensayos de tallado en

taller y ensayos de torneado y fresado en laboratorio.

Tales ensayos pueden también realizarse con distintas velocidades, manteniendo constantes las demás condiciones de corte. De esta forma se obtienen resultados que habitualmente se presentan en gráficos cuyas coordenadas son:

- Abscisas: logaritmo de la duración del corte en continuo que da lugar al desgaste límite admitido.
- Ordenadas: logaritmo de la velocidad de corte.

Generalmente, los puntos correspondientes a un determinado desgaste producido durante la mecanización de un metal se ajustan a una recta que satisface la ley de Taylor. La comparación de los parámetros de las rectas correspondientes a distintos materiales mecanizados con una misma herramienta permite apreciar la maquinabilidad de cada uno de ellos.

En todo caso, es indispensable mantener constantes todos los parámetros del ensayo (condiciones de corte, afilado de la herramienta...) y controlar y estabilizar la velocidad de corte a lo largo de cada ensayo. Esta última exigencia debe cumplirse con gran exactitud.

Los ensayos que se acaban de mencionar se suelen considerar como los más significativos, y sus resultados se utilizan como referencias, pero son largos y costosos. Algunos investigadores han intentado poner a punto procedimientos de ensayo más rápidos y menos gravosos. Describiremos aquí los dos más utilizados. Ambos consisten en realizar un ensayo de torneado a velocidad de corte creciente. Se calcula entonces una velocidad característica en función de las condiciones de corte en el momento en que se produce la destrucción de la herramienta. Se trata de:

- a) El ensayo de torneado a velocidad de corte creciente por etapas de Bodart (7). Se van realizando sucesivas pasadas sobre la superficie de la probeta cilíndrica de manera que la longitud mecanizada en cada una de ellas sea la misma. Cada pasada se realiza a una velocidad superior a la que le precede. En general, se hacen crecer las velocidades en progresión geométrica. Al final del ensayo, una vez destruida la herramienta, se calcula una velocidad característica según la fórmula:

$$V_{comp} = V_{z1} + (V_z - V_{z1}) \frac{l_z}{l_0}$$

donde: Z = número de niveles de velocidad utilizados.

V_{z1} = velocidad de corte

correspondiente al penúltimo nivel.

donde: V_z = velocidad de corte correspondiente al último nivel durante el que se destruye la herramienta.

l_0 = longitud mecanizada prevista para cada nivel.

l_z = longitud mecanizada durante el último nivel antes de la destrucción de la herramienta.

Se puede demostrar (8) que debe existir una relación entre V_{comp} y los resultados de los ensayos de desgaste de larga duración.

Unos investigadores alemanes (4) han comprobado por su parte que se puede obtener una correlación bastante buena entre los resultados así obtenidos y los de los ensayos de larga duración cuando la herramienta es de acero rápido. No ocurre igual cuando se trata de una herramienta de pastilla de carburos.

- b) El ensayo del disco, o ensayo de desgaste de Brandsma (9). En este ensayo la probeta es un disco taladrado en su centro. Se monta sobre el cabezal de un torno y la herramienta va mecanizando la cara del disco desplazándose paralelamente a ella desde el centro hacia la periferia. La velocidad de corte crece durante el ensayo al aumentar el radio de la zona mecanizada hasta alcanzar un valor tal que se provoque la destrucción de la herramienta. Es te último valor constituye el criterio de maquinabilidad del material en las condiciones consideradas.

Según Mathon (10), es difícil llevar acabo un ensayo de este tipo con un disco de un diámetro inferior a los 200 mm. Ante la imposibilidad de disponer de un producto de estas dimensiones en la mayoría de los casos, este autor ha propuesto un ensayo del mismo tipo denominado ensayo de desgaste acelerado que se distingue por las características siguientes:

- El disco utilizado tiene un diámetro comprendido entre 12 y 40 mm.
- La herramienta, que debe tener una capacidad de corte limitada, se construye de acero 100 C 6 (HRC = 60).
- Se considera que la herramienta se ha desgastado cuando la cota mecanizada aumenta 0,2 milímetros.

La característica que indica la maquinabilidad

del material es el diámetro de torneado para el que aparece esta variación de 0,2 mm. de la superficie mecanizada, habiéndose mantenido constantes los siguientes parámetros:

- Velocidad de giro del disco: 1.577 r.p.m.
- Carga por pasada: 1 mm.
- Avance: 0,0345 mm.
- Diámetro de partida: 6 mm.

Hay que señalar, sin embargo, que el ensayo acelerado de este tipo puede realizarse también:

- Con una probeta cónica.
- Acelerando de forma controlada el movimiento de giro de la probeta cilíndrica durante un ensayo de torneado clásico.

Es necesario señalar que parece posible (8) utilizar los métodos de velocidad de corte continuamente creciente para la determinación, no de un criterio arbitrario de maquinabilidad, sino de los parámetros de la ley de Taylor, que son los que se obtienen en los ensayos de larga duración.

En efecto, durante un ensayo de velocidad de corte creciente, y durante el intervalo de tiempo elemental dt de corte con velocidad V , la herramienta sufre un desgaste relativo igual a:

$$\frac{d_t}{t_v}$$

siendo t_v la duración de la herramienta antes del desgaste total a una velocidad constante V . Pero al aumentar la velocidad continuamente, este desgaste total se presentará cuando:

$$\int_{V_0}^{V_m} \frac{d_t}{t_v} = 1$$

siendo V_0 la velocidad inicial del ensayo y V_m la correspondiente al momento de la destrucción de la herramienta.

La ley de Taylor expresa que:

$$Vt^n = \text{constante} = K$$

de forma que:

$$t_v = \left(\frac{K}{V} \right)^{1/n}$$

de donde:

$$\int_{V_0}^{V_m} \frac{d_t}{t_v} = 1 = \int_{V_0}^{V_m} \left(\frac{V}{K} \right)^{1/n} dt = \left(\frac{1}{K} \right)^{1/n} \int_{V_0}^{V_m} V^{1/n} dt$$

Si los ensayos se realizan con aceleración uniforme, se tendrá:

$$V = at + V_0 = a(t + t_0)$$

$$\text{con: } V_0 = a t_0$$

y:

$$1 = \left(\frac{a}{K} \right)^{1/n} \int_{t_0}^{t_m} (t + t_0)^{1/n} dt = \left(\frac{a}{K} \right)^{1/n} \left(\frac{(t + t_0)^{1/n+1}}{\frac{1}{n} + 1} \right)_{t_0}^{t_m}$$

de donde:

$$\lg(t_m + t_0) = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\lg K}{n} - \lg \frac{n}{n+1} \right) \frac{1}{n+1} \lg a$$

resultado que se puede simplificar de la forma siguiente:

$$\lg(t_m + t_0) = A - B \lg a \text{ donde } t_0 = \frac{V_0}{a}$$

Lo que sugiere inmediatamente la realización de varios ensayos de velocidad creciente, modificando la aceleración de un ensayo a otro. Así, se podrá trazar la recta que representa las variaciones de $\lg(t_m + t_0)$, logaritmo de la duración del ensayo hasta la destrucción de la herramienta, en función de la aceleración a . El cálculo de los parámetros A y B de la recta lleva entonces a:

$$n = \frac{1}{B} - 1$$

y

$$\lg K = \frac{A}{B} + \left(\frac{1}{B} - 1 \right) \lg(1 - B)$$

Se determinan así, en las condiciones consideradas, los dos coeficientes n y K de la ecuación de Taylor $Vt^n = K$. En cualquier caso, es necesario, teniendo en cuenta la forma de esta última ecuación, no comenzar los ensayos con una velocidad V_0 demasiado alta, para evitar que el desgaste provocado por el corte entre $V = 0$ y $V = V_0$ resulte despreciable.

2.3. Ensayos que tienen en cuenta los esfuerzos desarrollados

Se han propuesto a punto numerosos sistemas dinamométricos para la determinación de los esfuerzos que se desarrollan en las distintas operaciones de mecanización. Blanpain (12) y Pankine (13) los describen de forma bastante exhaustiva. Estos dispositivos han permitido a numerosos investigadores determinar las correlaciones que pueden existir entre los resultados obtenidos y la maquinabilidad de los materiales ensayados. En general, las medidas se han realizado en unas condiciones en las que se puede distinguir:

- La componente tangencial a la pieza dirigida en el sentido del corte, que es el esfuerzo de corte principal.
- La componente tangencial a la pieza dirigida en el sentido de avance, que es el esfuerzo de avance.

La gran mayoría de los resultados muestra que, como han indicado los investigadores alemanes (4), "no es posible pronunciarse, teniendo en cuenta sólo el esfuerzo principal de corte, sobre la clasificación de los coeficientes $V_{60\%}$ ", esto es, apreciar la maquinabilidad de los materiales. Sin embargo, parece que se pueden sacar conclusiones del examen de los valores del esfuerzo de avance. En efecto, aunque se han publicado pocos de estos resultados, hay que destacar los ensayos de corte realizados con esfuerzo de avance constante por:

- Boulger, Shaw y Johnson (14) en torneado.
- Molkot (5) en taladrado.

Estos ensayos, realizados después de modificar las máquinas, consisten en llevar a cabo un mecanizado sometiendo la herramienta a un esfuerzo constante de avance. La medida del avance constituye un criterio de apreciación de la maquinabilidad del material. Parece que hay procedimientos interesantes, como el de la figura 5, tomada de un trabajo del Battelle Memorial Institute (15), pero tienen el inconveniente de requerir una modificación delicada de la máquina herramienta utilizada.

Por esto, es preferible realizar ensayos de taladrado con avance controlado y medir el esfuerzo de avance durante el ensayo. Se ha elegido el

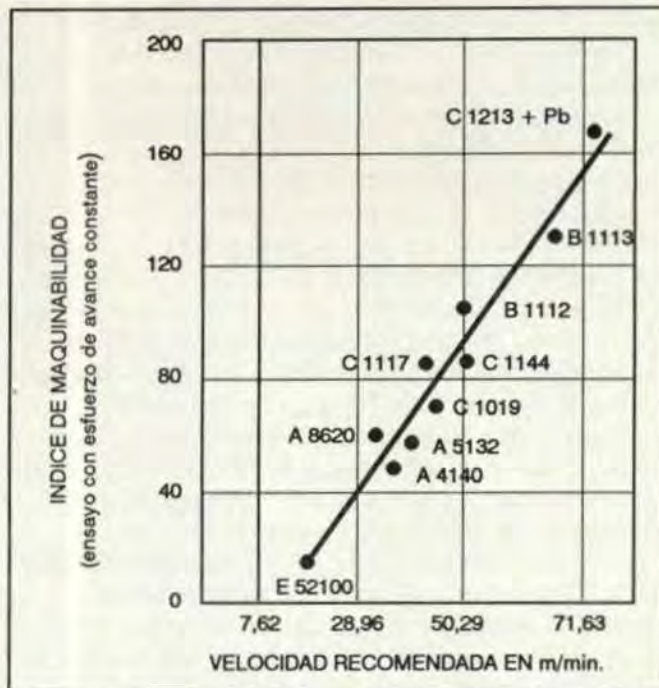


FIG. 5 Comparación entre las velocidades de corte comerciales y los resultados de los ensayos de corte con esfuerzo de avance constante [Battelle Memorial Institute (15)].

taladrado para poder utilizar probetas pequeñas, pero es posible reproducir las condiciones de corte de una herramienta de torno realizando el ensayo después de un taladrado previo: esta precaución permite eliminar los esfuerzos debidos a las particulares condiciones de trabajo de la punta del taladro. Los ensayos han indicado que parece existir una correlación entre los resultados así obtenidos y los deducidos de los ensayos de desgaste de larga duración. Este procedimiento tiene la ventaja de que permite utilizar pequeñas probetas, con poco material, y apreciar así, entre otras, la influencia de los distintos tratamientos térmicos.

2.4. Ensayos Globales

Para terminar esta descripción de los ensayos de maquinabilidad debemos señalar que siempre se puede recurrir al taller de fabricación como procedimiento de ensayo. Así, por ejemplo, la Bethlehem Steel (16) ha podido determinar la maquinabilidad de los aceros de fácil mecanización midiendo, durante la fabricación, el estado superficial de las piezas y la duración de las herramientas. A partir de estos resultados se puede calcular un índice de maquinabilidad para determinadas condiciones de corte; esto permite estudiar la influencia de la composición de los aceros sobre su maquinabilidad. Murphy (16) terminó este estudio señalando que, a su

juicio, los llamados ensayos de maquinabilidad no podían tener gran significación, por que no permiten tener en cuenta todos los factores; sólo el análisis de los resultados obtenidos en fabricación permite sacar conclusiones válidas.

Para lograr unas condiciones semejantes, los investigadores han intentado apreciar la maquinabilidad de los aceros que utilizan sometiendo a verdaderos ensayos de fabricación. De esta forma, Bonhomme (17) ha realizado ensayos con torno automático, aproximándose en lo posible a las condiciones industriales. Estos ensayos tenían por objeto la determinación de la gama óptima de fabricación que permitiera la obtención del máximo rendimiento en un intervalo de tiempo de 6 h, teniendo en cuenta que durante todo este tiempo debían respetarse las tolerancias dimensionales y de rugosidad. Asimismo, Odin (18) ha realizado ensayos con un torno para estimar la maquinabilidad de diferentes aceros y estudiar las condiciones óptimas de corte, correspondientes a un ritmo de producción de la pieza tipo que permita afilar las herramientas sólo una vez por cada hora efectiva de corte, condicionando la parada a la forma y estado superficial de la pieza.

3. EXPRESION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MAQUINABILIDAD

Un criterio de maquinabilidad, que define una relación de esfuerzos entre el metal mecanizado y una herramienta, depende no sólo de la maquinabilidad del material, sino también de las características de la herramienta y de las condiciones de mecanización. Un criterio de este tipo, para tener un valor absoluto, debería determinarse durante un ensayo en el que se fijaran y se controlaran rigurosamente todos los parámetros muy difíciles de medir, como la capacidad de corte de la herramienta o las vibraciones de las máquinas. Parece preferible proceder a la realización de ensayos comparativos entre el material sometido a estudio y un material de referencia; los ensayos deben realizarse en las mismas condiciones, pero el resultado se expresará como una relación que indique el valor buscado en función de una unidad de referencia, que es el valor absoluto del metal de referencia. Se acepta y se espera que las variaciones de los factores difíciles de ajustar van a tener una influencia despreciable. Por otra parte el exacto conocimiento del comportamiento del metal de referencia en las distintas condiciones de corte que correspondan a un mismo tipo de mecanización, permitirá prever inmediatamente el comportamiento, en las mismas condiciones, del metal ensayado.

Así pues, se realizarán ensayos idénticos, con las mismas herramientas, del acero cuya maquinabilidad se pretende estimar y de un acero de referencia. El resultado final se expresará como relación entre el valor buscado y la unidad de comparación, que es el valor absoluto correspondiente al metal de referencia. Este último deberá describirse exactamente, tanto en lo que concierne a su composición (comprendidos los elementos residuales) como en lo tocante a su estructura (corrosión y tratamiento térmico).

4. CONCLUSION

Tras señalar los criterios utilizables para caracterizar la maquinabilidad de los aceros, hemos descrito varios ensayos de maquinabilidad eligiendo los más utilizados y sin pretender olvidar ninguno. Hemos intentado simultáneamente apreciar el interés de cada uno de ellos.

Hemos tenido que resaltar el carácter relativo de los resultados obtenidos e insistir en el interés que presentan los ensayos comparativos que hacen intervenir un acero de referencia bien definido cuya maquinabilidad se considera como unidad de comparación.

Para terminar, querríamos insistir en la importancia que reviste el establecimiento a priori y el control de todos los parámetros de un ensayo de maquinabilidad. Sólo su completo y preciso conocimiento permitirá aprovechar los resultados obtenidos y confrontarlos con datos experimentales.

BIBLIOGRAFIA

- (1) KNOWLTON, A. S. M. (1938), pág. 35.
- (2) WEISZ, M.: Publicación IRSID, serie A (1957), n° 142.
- (3) GOTTWEIN, K.: Maschinenbau. (1925).
- (4) STAHL y EISEN. 26 septiembre 1963, 83, n° 20. pág. 1209.
- (5) MALKOT, M.: Van, Microtecnic (1956). vol. X, n° 2, pág. 76.
- (6) BLANC, Mlle.: Contrato DGRST 63 FR 173.
- (7) BODART, E.: Annales del C. I. R. P., X, 4 pág. 261.
- (8) METALIS, G.; MURRY, G.: Revue de Métallurgie. diciembre 1975. 72, n° 12.
- (9) BRANDSMA, W. F.: Metal Bewerking, febrero 1936, 2, n° 26, p. 541.
- (10) MATHON, P.: Journées d'information sur la coupe des métaux. C. E. M. (5-6 noviembre 1970).
- (11) MERCHANT, M. E. y KRABACHER, E. J.: Journal of Applied Physics 22, (1951), 12.
- (12) BLANPAIN, E.: Théorie et pratique des outils de coupe, (1955), Eyrolles.
- (13) PANKINE, A. V.: Usinage des métaux par la coupe (1965), "Ecole Supérieure", Moscú.
- (14) BOULGER, F. W.; SHAW, H. L. y JOHNSON, H. E.: Transactions of A. S. M. E., julio 1949, vol. 71, n° 5, pág. 431.
- (15) An Evaluation of the Present Understanding of Metal Cutting. Battelle Memorial Institute, 30 agosto 1958.
- (16) MURPHY, D. W.: Metal Progress. julio 1964, 86, n° 1, p. 85.
- (17) BONHOMME, M.: Journées D'Etude CPT-SPAS, diciembre 1973.
- (18) ODIN, G.; BERNE, H., y SAMOUILLE, E.: Revue de Métallurgie. diciembre 1971, 68, n° 12.