VII COBIM
VII CONGRESO BOLIVARIANO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VII CONGRESO BOLIVARIANO DE INGENIERIA MECANICA

Cusco, 23 al 25 de Octubre del 2012

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE VIDA DE HERRAMIENTAS DE HSS EN EL PROCESO DE TORNEADO

Lincoln Cardoso Brandão*, Marcos Sávio de Souza°, Simone Aparecida de Melo•, Sérgio Luiz Moni Ribeiro Filho♣

*Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – São João del Rei, lincoln@ufsj.edu.br
°Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – São João del Rei, msavio@ufsj.edu.br
•Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – São João del Rei, simoneapmelo@hotmail.com
♣Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – São João del Rei, sergiolmrf@gmaill.com

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo definir las constantes de la ecuación de vida útil para las herramientas de corte, especialmente las herramientas de acero de alta velocidad (High Speed Steel), por una metodología práctica utilizando un modelo propuesto por Taylor. Los ensayos de torneado fueron realizados con cinco velocidades de corte y tres avances diferentes en el torneado de acero SAE 1213. El valor de desgaste limite para la definición del fin de la vida útil, fue el desgaste de flanco o superficie de incidencia con un valor de 0,3 mm. Los valores de la ecuación de vida encontrados quedaron dentro de una franja de valores normalmente tabulados en la literatura, mostrando que el método utilizado es viable para ser aplicado y desarrollado en las áreas de producción que utilizan el proceso de torneado, en la fabricación de piezas maquinadas.

PALABRAS CLAVE: vida útil de herramientas, acero SAE 1213, torneado.

ÁREA TEMÁTICA PRINCIPAL: 25 PROCESOS DE FABRICACIÓN

INTRODUCCIÓN

La operación de maquinado representa el mas versátil y común proceso de fabricación y es reconocido como el proceso de fabricación mas popular del mundo, transformando en virutas alrededor del 10% de toda la producción de metales, empleando decenas de miles de personas en todo el mundo (Wright, 2000). Una constante preocupación del sistema productivo industrial, principalmente para aquellos que trabajan con maquinado de metales, es definir el momento exacto del cambio de herramienta de corte.

Para obtener el mayor rendimiento del proceso de producción se utilizan tornos con velocidades fijadas para la máxima producción, donde, en este caso el costo de la maquina no es significativo. La condición de máximo avance y profundidad de corte es otra condición para el aumento de la producción, que es básicamente función de la potencia de la maquina. En la mayoría de las situaciones en maquinado se prefiere la velocidad de corte máxima, pues es ella quien ejerce mayor influencia en el desgaste de la herramienta.

Algunos materiales industriales, como por ejemplo, aceros de bajo carbono son mecanizados con herramientas de acero de alta velocidad, especialmente herramientas con un 10% Co. Esto se debe al hecho de que estos materiales tienen bajo costo y no requieren herramientas del alto costo para un proceso de mecanizado con eficiencia. Sin embargo, la calidad de la producción de estos aceros es alta y en la actualidad estos aceros son producidos por el proceso de metalurgia de polvos (Chiaverini, 2008).

En maquinado tiene aun la particularidad de permitir que se dispongan de modelos teóricos simplificados, donde la dispersión de las resultados experimentales presenta buena aceptación y el numero de replicas de los experimentos puede ser reducido de forma satisfactoria, buscando siempre cuantificar los resultados, evaluando tendencias y comparando los resultados obtenidos para las variables del proceso.

La utilización de modernas maquinas para el maquinado, extremadamente rígidas con altas velocidades de corte en el contexto empresarial permite que, metodologías antes solamente aplicadas en laboratorios puedan ser también aplicadas directamente en las industrias, posibilitando así, un desarrollo directo de las técnicas creadas en los centros de investigación académicos. Así este trabajo se propone desarrollar una metodología simple y eficiente que pueda ser aplicada en las líneas de producción, sin la necesidad de grandes formulaciones matemáticas y la aplicación de tablas. Criba directamente sobre este formato o utilice la opción de copiar y pegar respetando los parámetros establecidos en el mismo.

Desgaste de herramientas de corte - Revisión.

Se puede considerar que durante el maquinado de metales, la acción de corte puede cambiar la geometría de la herramienta y de la viruta. Existe una tendencia en el sentido de que ocurren variaciones en la fuerza de corte y puede haber también una variación del comportamiento metalúrgico debido al calentamiento progresivo. El proceso de desgaste de una determinada herramienta de corte tanto en la superficie de ataque de la herramienta, como en la superficie de salida y puede generar un aumento de la rugosidad superficial, vibraciones en el sistema, etc. Los desgaste en la herramienta durante el proceso de maquinado ocurren por factores diversos, tales como la acción química, abrasión mecánica, oxidación y el fenómeno de difusión. Esos factores pueden ocurrir simultáneamente o no, dependiendo sobretodo de las condiciones de maquinado.

El mecanismo mas común de desgaste de las herramientas de corte es el desgaste por abrasión que ocurre debido a la fricción entre la superficie generada en la pieza y la arista de corte de la herramienta, ocasionada principalmente por la fuerza normal representada por la fuerza pasiva. Da Silva et al. (2006) estudiaron la mejora de la resistencia de acero de alta velocidad mediante la aplicación de enfriamiento criogénico en los procesos de torneado. La investigación ha demostrado que el tratamiento térmico no afectó a la dureza del acero M2 de alta velocidad y el aumento de la resistencia fue del 44% en comparación con el acero sin tratamiento térmico.

La arista postiza o filo recrecido también es un factor influyente para aumentar el surgimiento del desgaste de cráter, donde el material antideslizante en la superficie de salida de la herramienta se convierte en atípica. Con el flujo de material sacado de la pieza, puede haber fragmentos microscópicos se retiró de la herramienta, sobre todo si la arista postiza de corte (El Hakim, 2011).

El desgaste por fatiga ocurre cuando superficies que son repetidamente sometidas a cargas y descargas gradualmente fallan por fatiga, principalmente por la perdida de partículas de la superficie. La difusión ocurre principalmente por la elevación de la temperatura a consecuencia de las altas velocidades de corte y de la adhesión entre los materiales. Como se sabe, es en la superficie de ataque que la viruta se compacta, aumentando su adhesión y la permanencia, lo que permite acelerar el desgaste de cráter por difusión. Este fenómeno no es común en herramientas de cerámica debido a la presencia de elementos como el Al2O3 TiC, TiN, TiCN, y el nitrato de Boro Cubico Policristalino y en herramientas de metal duro que posean recubrimiento con Al2O3 (Shaw, 2004).

La presión de contacto existente entre la superficie de ataque de la herramienta y la parte interior de la viruta en el caso de bajas velocidades provoca el mecanismo de adherencia. En esas condiciones cuando hubiera una capa de viruta o cuando el filo adherido estuviera presente, el desgaste por adherencia ocurrirá debido a los fragmentos microscópicos que son arrancados de la superficie de la herramienta y arrastrados conjuntamente con el flujo de material de la pieza (Ferraresi, 2003).

De esa forma el desgaste por adherencia es primeramente un mecanismo de desgaste en la superficie de ataque de la herramienta y generalmente ocurre con bajas condiciones de corte cuando esta presente el filo recrecido y el contacto con la herramienta se vuelven menos continuos. Para minimizar de este tipo de desgaste pueden ser utilizadas herramientas con recubrimiento de TiN debido a su bajo coeficiente de fricción. El desgate por oxidación ocurre debido al contacto de la herramienta con el aire, sumado al fluido refrigerante y las altas temperaturas; de esa forma se puede considerar el desgaste por oxidación como una probable causa del desgaste de entalla en el extremo de la región de corte, entre la viruta y la sección de la viruta.

El desgaste en la superficie de incidencia o desgaste de flanco es el resultado de la remoción de un importante volumen de material, durante el proceso de maquinado. Su valor se mide en el plano ortogonal y se designa por VB y es causado básicamente por la acción abrasiva en la región de contacto entre el flanco de la herramienta y la superficie que esta siendo generada durante el corte, ocasionando una acción abrasiva originada por reacciones físico-químicas (difusión, oxidación, formación de compuestos) que pueden o no ocurrir simultáneamente (da Silva, 2006). El desgaste de flanco o de la superficie de incidencia es considerado un buen parámetro para definir exactamente el momento del cambio de la herramienta (lo cual en la mayoría de la veces es lo mas indicado), debido a la facilidad que se tiene para registrar sus valores durante el maquinado pues no hay mayores dificultades para desmontar la herramienta o realizar la medición en el mismo lugar donde se encuentra colocada la herramienta.

Todos los factores citados anteriormente tienen como variable la velocidad de corte, relacionándose las variables vida útil de la herramienta con el desgaste de flanco y manteniéndose constante el avance y la profundidad de corte para un mismo par herramienta-pieza. De esa forma, se fija un valor límite para el desgaste de flanco lo cual nos permite obtener la definición correcta del tiempo en alcanzar el desgaste de acuerdo a las variaciones de la velocidad.

Como fue definido por Shaw (2004), Ferraresi (2003) y Carvalho (1991) la vida útil de la herramienta es el tiempo durante el cual una determinada herramienta trabaja efectivamente entre dos afilados sucesivos (no se consideran los tiempos inactivos) hasta perder por completo su capacidad de corte, dentro de un criterio previamente establecido, como puede ser acabado superficial y/o tolerancia dimensional de la pieza, fuerza de corte, potencia de corte y nivel de desgaste de la herramienta. Según Taylor *apud* Kronemberg (1966) y Ferraresi (2003), el tiempo de vida útil para una herramienta puede ser definido de acuerdo a la Ecuación 1, donde:

$$V_C . T^Y = k \qquad (1)$$

Según Taylor *apud* Kronemberg (1966) una metodología práctica, una adaptación del modelo clásico de Taylor, puede ser aplicada utilizándose dos velocidades de corte en ensayos prácticos y fijando las demás variables como constantes en todos los experimentos. Así la Ecuación 1 puede ser desarrollada y escrita de acuerdo a la Ecuación 2

$$Y = \frac{\log\left(\frac{V_{C2}}{V_{C1}}\right)}{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \qquad (2)$$

El progresivo aumento del desgaste de flanco en bastante significativo e importante para la determinación del momento de cambio de la herramienta en una operación de maquinado y de esa forma, puede estimarse con mayor claridad la vida de la misma durante una operación de maquinado.

Varios autores han desarrollado modelos para predecir el final de la vida de las herramientas de corte. El propósito de estos modelos es capaz de predecir con antelación el cambio de herramienta sin afectar el Proceso de producción. Choudhury y Srinivas (2004) desarrollaron un modelo para definir el final de la vida de las herramientas de HSS en la transformación de Proceso. El trabajo demostró ser muy robusto ser capaz de predecir el coeficiente de difusión en el desgaste de las herramientas y la velocidad de corte y velocidad de difusión tiene el mismo efecto significativo.

Otra metodología fue aplicada por Lauro & Brandão (2010) en procesos de taladrado de aceros endurecidos y los resultados fueron satisfactorios, posibilitando así una utilización mas correcta de la ecuación de vida útil, pues el mayor problema encontrado en este modelo es definir los valores de las constantes “Y” y “k” los cuales varían en función del material que se elabora, la herramienta y sus respectivos ángulos en la arista de corte.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados con herramientas de acero de alta velocidad (High Speed Steel) el motivo del empleo de este tipo de herramienta fue la facilidad de alcanzar rapidamente un desgaste de flanco disminuyendo asi el tiempo de cada experimento. El acero empleado fue el SAE 1213 considerado como un material de referncia en maquinabilidad. Las velocidades de corte empleadas fueron 40, 60, 80, 120 e 180 en m/min, los ensayos con las dos ultimas velocidades resultaron destructivos pues la mayoria de las veces ocurre una falla de la herramienta antes de que tenga un desgaste de flanco progresivo. Estos valores de velocidad estan por encima de los valores recomendados para el HSS. El equipamiento utilizado fue en torno INDEX modelo GU 600, con un rango de velocidades entre 50 y 5000 rpm y potencia de 35 kVA.
Los valores de avance fueron 0,10; 0,20 e 0,30 mm/rev y la profundidad de corte utilizada fue de 1 mm. La metodologia para la realizacion de los experimentos fue la siguiente; para las dos velocidades de corte iniciales y mas bajas fueron maquinado tres cuerpos de prueba y a continuacio se midio el desgaste de flanco en un microscopio Carl Zeiss modelo Axiotech con ampliacion de 5 veces, la tercera y cuata velocida el desgaste fue medido en cada cuerpo de prueba maquinado. Fue empleada para los ensayos una barra con 480 mm. de largo y 46 mm. de diametro. Para los ensayos de maquinado se utilizaron 150 mm.del cuerpos de prueba. Y para cada diametro se disponia de tres cuerpos de prueba. Los ensayos concluian cuando el cuerpo de prueba alcanzaba 36 mm. Debido al aumento de la relacion longitud/diametro puede ocacionar vibraciones e interferir en los ensayos. La Figura 1 muestra un esquema de los cuerpos de prueba usados en los experimentos.

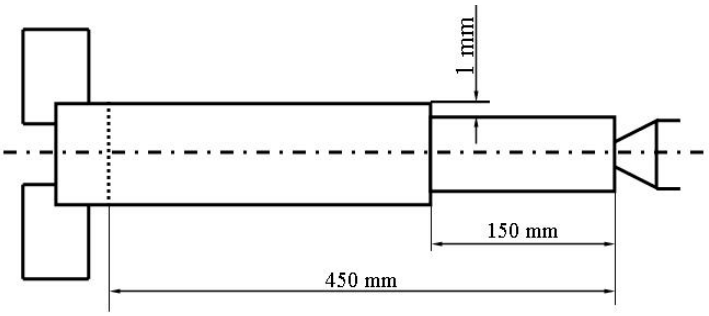
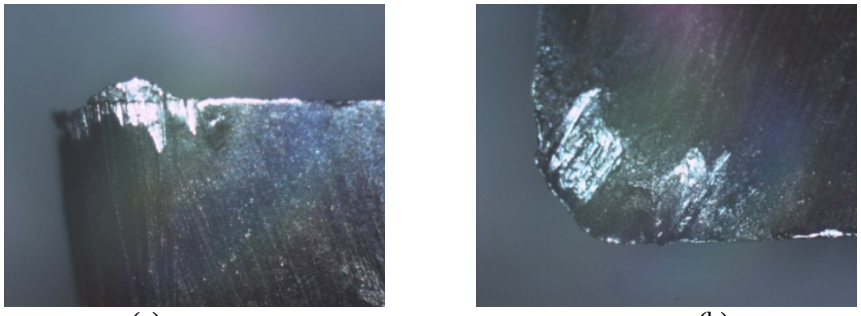


Figura 1. Esquema de fijación de los cuerpos de prueba.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con los ensayos realizados, las Figuras 2 (a) e (b) muestran un desgaste de flanco y de crater tipico de los HSS. Despues del maquinado de todos los cuerpos de prueba para cada velocidad de corte seleccionada, fue calculado la vida util de la herramienta en minutos de acuerdo con las Tablas 1, 2 y 3. Los valores de la Tabla (1) son para las velocidades utilizadas, 60 80, 120 y 180 con avance de 0,10 mm/rev. y las tablas 2 y 3 con las mismas velocidades y avances de 0,20 y 0,30 respectivamente. Para el calculo de las constantes “Y” y “k” de la ecuacion de Kronemberg, fueron empleadas las formulaciones de la Ecuacion 2 y utilizadas las dos velocidades de corte (40 y 60 m/min.) obteniendo asi la constante “Y”. Seguidamente fueron utilizadas las velocidades 60 y 80 m/min. y asi sucesivamente.
Para la definicion de la constante “k” se sustituyeron los valores de la constante “Y” encontrados en la Ecuacion (1). Los valores presentados en las Tablas 1, 2 y 3 se muestran bien coherentes,dentro de una franja proxima y correspondiente con los valores tabulados, demostrando que el metodo se presenta bien consistente. Las variaciones en los valores encontrados pueden ser atribiidos a los valores finales de desgaste de flanco VB que oscilan entre 0,32 y 0,542 mm, una vez que los mismos eran obtenidos despues del terminado el maquinado del cuerpo de prueba.
Se observo que para las tres ultimas velocidades el criterio de fin de la vida util fue la falla de la herramienta, pues debido a la dinamica del proceso de corte no se interumpio el ensayo antes del termino del maquinado completo del cuerpo de prueba. Para la velocidad de corte de 80 m/min, el unico ensayo que fue finalizado sin la destruccion de la arista de corte de la herramienta fue el ensayo realizado con avance de 0,20 mm/rev. Para la velocidad de corte de 60 m/min con avance de 0,20 mm/rev, ocurrio una falla, no pudiendose medir el valor final del desgaste de flanco.
Las dos velocidades de corte uniciales, 40 y 60 m/min, para todos los valores de avance utilizados ocurrio el fenomenode arista postiza, como puede apreciarse en la Figura2 (a) y para todas las velcidades empleadas ocurrio el desgaste de crater en la superficie de salida, como se observa en la Figura 2 (b).



(a) (b)

Figura 2. Desgastes tipicos ocurridos en las herramientas de acero de alta velocidad (a) Superficie de incidencia desgaste de flanco, (b) Superficie de salida desgaste de crater (velocidad de corte de 40 m/min, avance de 0,1 mm/rev)

Tabla 1. Resultados obtenidos para las constantes “Y” y “k” para los ensayos realizados con 1mm. de profundidad de corte, 0,10 mm/rev de avance para las 5 velocidades de corte.

Vc (mm/min)	Avance (mm/rev)	ap (mm)	Vida (min)	Constante “Y”	Constante “k”	VB (mm)
40	0,10	1,0	165,46	0,3238	208,09	0,320
60	0,10	1,0	47,12	0,3033	211,00	0,542
80	0,10	1,0	18,25	0,3563	206,43	falla
120	0,10	1,0	3,12	0,3232	173,96	falla
180	0,10	1,0	0,89		173,28	falla

Tabla 2. Resultados obtenidos para las constantes “Y” y “k” para los ensayos realizados con 1 mm de profundidad de corte, 0,20 mm/rev de avance para las 5 velocidades de corte.

Velocidad de corte (mm/min)	Avance. (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de vida util (min)	Constante “Y”	Constante “k”	Desgaste de flanco VB (mm)
40	0,20	1,0	126,69	0,5322	248,56	0,500
60	0,20	1,0	59,14	0,4708	279,69	falla
80	0,20	1,0	32,10	0,2670	296,13	0,400
120	0,20	1,0	7,03	0,2370	250,45	falla
180	0,20	1,0	1,27		196,98	falla

Tabla 3. Resultados obtenidos para las constantes “Y” y “k” para los ensayos realizados con 1 mm de profundidad de corte. 0,30 mm/rev de avance para las cinco velocidades de corte.

Velocidad de corte ($m.mm^{-1}$)	Avance (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de vida util (min)	Constante “Y”	Constante “k”	Desgaste de flanco VB (mm)
40	0,30	1,0	99,89	0,3755	121,93	0,330
60	0,30	1,0	33,93	0,1798	140,83	0,466
80	0,30	1,0	6,58	0,2126	126,23	falla
120	0,30	1,0	0,68	0,2005	109,30	falla
180	0,30	1,0	0,09		100,48	falla

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos con las herramientas de acero de alta velocidad, se puede concluir:

1. Los valores encontrados para las constantes “Y” y “k” se mostraron consistentes dentro del intervalo de valores de la mayoria de los resultados tabulados en la literatura tecnica, ocurriendo pequeñas variaciones en funcion de los valores finales de desgaste, manteniendose dentro del mismo orden del intensidad.
2. El modelo matematico puede ser aplicado en empresas para la prevision del tiempo final de vida de la herramienta sin la utilizacion de tablas o abacos de maquinado, bastando para ello que sean realizados dos ensayos de maquinado siguiendo la metodologia aplicada en este trabajo.
3. Las variaciones de los valores para “Y” y “k” ocurriran en funcion de los diferentes patrones de fin de vida util en los ensayos, pues patrones de desgaste con buen comportamiento como en el caso del desgaste de flanco son diferentes los mecanismos que llevan a la rotura de la arista de corte.
4. Repetir la metodologia de trabajo con herramientas de metal duro, permitira comprobar la eficacia del metodo, debido al echo de que este tipo de herramientas presentan un patron de desgaste con mejor comportamiento en la superficie de incidencia, contribuyendo asi a una evaluacion mas completa. Sin embargo, la aplicacion en estas herramientas aumentara la duracion de los ensayos.

AGRADECIMENTOS

Los autores desean agradecer a FAPEMIG - Fundación de Investigación de Minas Gerais por el apoyo financiero para la participación en el Congreso.

REFERENCIAS

1. Wright, P.K., Trent, E.M. *Metal Cutting*. Butterworth-Heinemann. 4nd ed. 464 pg., 2000, ISBN 075067069X.
2. Chiaverini, V. Aços e Ferros Fundidos. 7ª ed. 599 pg., 2008, ISBN: 85-8677-8486.
3. Da Silva, F.J., Franco, S.D., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., Performance of cryogenically treated HSS tools. Wear, 2006, vol.261, pp. 674–685, ISSN 0043-1648, doi:10.1016/j.wear.2006.01.017.
4. El Hakim, M.A., Abad, M.D., Abdelhameed, M.M. Shalaby, M.A.Veldhuis, S.C. Wear behavior of some cutting tool materials in hard turning of HSS. Tribology International, 2011, vol.44, pp. 1174–1181, ISSN 0301-679X, doi:10.1016/j.triboint.2011.05.018.
5. Shaw, M.C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press. 2nd ed. 672, pg. 2004. ISBN 0195142063.
6. Ferraresi, D. Fundamentos da Usinagem dos metais. Ed. Edgard Blücher. 11th ed. 751 pag., 2003. ISBN 8521202571.
7. Carvalho, R.R.S. Características de usinagem vistas sob o ponto de vista econômico. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, São Paulo, 1991.
8. Kronenberg, M. Machining Science and applications theory and practice for operation and development of machining process. Pergamon Press. 1st ed., 431 pg., 1966. ISBN 0080116272.
9. Choudhury, S.K. Srinivas, P. Tool wear prediction in turning. Journal of Materials Processing Technology, 2004, vol.153/154, pp. 276–280, ISSN 0924-0136, doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.296.
10. Lauro, C.H. ; Brandao, L.C ; Arai, R. Determinação dos coeficientes de vida da equação de Taylor na furação de aços endurecidos. Máquinas e Metais, 2010, vol. 530, pag. 130 - 135, ISSN 0278-6125.

UNIDADES Y NOMENCLATURA

V_c	velocidad de corte (m/min)
T	tiempo de vida util de la herramienta (min)
Y	constante de Taylor (adm)
K	vida útil de la herramienta para una velocidad de corte de 1 m/min