

Velocidad de corte: influencia en la vida útil y en la rugosidad superficial obtenido en el torneado de hierro fundido gris con el inserto K20

Alberto Quesada Santana

alberto.quesada@reduc.edu.cu

Ricardo del Risco Alfonso

ricardo.delrisco@reduc.edu.cu

José Castelló González

jose.castello@reduc.edu.cu

Universidad de Camagüey (Cuba)

Resumen: Se investigaron los efectos para los distintos valores de velocidad de corte, con avance y profundidad de corte constantes, en la evolución del desgaste de flanco respecto al tiempo. Además, en el acabado superficial que se obtiene al utilizar insertos K20 de producción nacional durante el maquinado en seco del hierro fundido C4 18, empleando el criterio de fin de vida planteado en la norma ISO 3685. Se utilizan, entre otros, los métodos de observación científica, experimental, medición y estadísticos para determinar, mediante análisis de varianza factorial y de regresión lineal, los modelos que relacionan el tiempo de vida útil y rugosidad superficial con los parámetros de corte.

Palabras clave: desgaste de flanco; rugosidad superficial; vida útil.

Cutting speed: influence on the lifetime and surface roughness obtained in turning gray cast iron with K20 insert

Abstract: The effects for different values of cutting speed were studied with constant advance and depth cut, in the evolution of flank wear with respect to time and in the surface finish that is obtained when using K20 inserts of national production during dry cast machining of iron C4 18, using the end-of-lifetime criteria set out in ISO 3685. Models relating lifetime and surface roughness to the cutting parameters were determined by factorial variance analysis and linear regression. To fulfill this purpose scientific, experimental, measurement and statistical observation methods were used among others.

Keywords: flank wear; roughness; surface; lifetime.

Introducción

El maquinado abarca un conjunto de procesos de fabricación mediante los cuales se obtienen piezas terminadas a partir de una pieza en bruto, que proviene de procesos de fundición, de forja, o bloques de metal pre-elaborados con formas y tamaños normalizados. Muchos de los productos fabricados tienen componentes que requieren maquinado, frecuentemente con gran precisión. Por tanto, este grupo de procesos es uno de los más importantes dentro de los procesos básicos de fabricación a causa del valor añadido al producto final. De igual modo, los procesos de maquinado son usualmente los más costosos.

Prácticamente desde sus orígenes, el estudio científico del maquinado se ha centrado en lograr procesos de arranque de virutas cada vez más eficientes, que requieran menores tiempos de elaboración y cuyos costos sean tan bajos como se pueda, así como el desarrollo de nuevas herramientas de corte para garantizar el máximo provecho de estos procesos. La capacidad de predecir la vida útil de la herramienta de corte es necesaria para el diseño y la estrategia de cambio de las mismas, así como para la determinación de las condiciones de elaboración más adecuadas.

Materiales y Métodos

Material de las probetas

Como material de ensayo se seleccionó un hierro fundido gris C4 18 según la norma Gost 1412-54. El semiproducto es una barra fundida de diámetro 60 mm y longitud 300 mm, de manera que cumpliera con lo recomendado por la norma ISO 3685-93 respecto a que la longitud/diámetro se mantuviera menor que 10. La composición química se puede observar en la Tabla 1, para ello se utilizó un espectrómetro de emisión de chispa Spectro Max X.

Los hierros fundidos son básicamente hierro y carbono, y contienen entre 2,14 % a 6,67 % de carbono. La presencia del alto contenido de carbono tiende a hacer que el hierro fundido sea frágil y poco dúctil, por lo tanto, no se pueden laminar enrollar, estirar o trabajar fácilmente a temperatura ambiente. Son más fáciles de obtener y son mucho más baratos. Tienen buena resistencia al desgaste y alta absorción de vibraciones (Prasanna, Kiran y Deeleepkumar, 2014).

Tabla 1. Composición química del hierro fundido C4 18

Elemento	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Fe
Composición	3,45	2,63	0,890	0,053	0,035	92,3

Herramientas de corte y máquina herramienta

La herramienta de corte utilizada fue un inserto de carburo cementado sin recubrimiento, clase K20 según Norma ISO 513, soldado por el método de inducción de alta frecuencia a un soporte de 25 x 25 mm acodado 90°. La herramienta presenta la siguiente geometría: ángulo de filo de 75°, ángulo de incidencia de 15°, ángulo de ataque de 0° y un radio de punta de 0,2 mm. La composición química del inserto K20 y sus propiedades mecánicas se muestran en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2. Composición química del inserto K₂₀

Co (%)	TiC (%)	TaC+NbC (%)	WC (%)
6,5	-	0,5	93

Tabla 3. Propiedades mecánicas del inserto K₂₀

Densidad (g/cm ³)	Dureza (HRA)	Tensión de ruptura transversal (N/mm ²)
14,89 – 14,9	91,7 – 92,2	2 200

Se realizó la inspección previa de cada filo de corte en la superficie de incidencia principal, utilizando un microscopio óptico Leica EZ4HD con una amplificación de 20x para detectar defectos visuales como fragmentos o grietas (Figura 1); en general, se observó el buen estado del filo de corte.



Figura 1. Inspección previa del filo de corte en la superficie de incidencia, con ampliación 20x.

Se usó un torno 16 Б16 П, con una potencia en el motor de 10 kW, con un rango de rotación del husillo que oscila entre 12,5 r/min a 2 000 r/min y un rango de avance longitudinal de 0,05 r/min a 2,8 r/min.

Montaje experimental y diseño factorial de la investigación

La investigación consistió en obtener la relación existente entre la velocidad de corte, la vida útil del inserto K20 de producción nacional y el acabado superficial obtenido, en un proceso de torneado de hierro fundido C4 18.

Para la realización del experimento se tomó como recomendación la norma ISO 3685:1993, la cual ofrece como criterio de fin de vida un desgaste de flanco de 300 μm . El torneado se realizó en seco, teniendo en cuenta las investigaciones precedentes (Morales *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2011). Fueron tomados en consideración también aquellos resultados (Zamora *et al.*, 2015; Caballero-Hidalgo, 2017) que son coincidentes con la tendencia mundial hacia la reducción del uso de fluidos de corte por la afectación que provocan al medio ambiente y a la salud de los operarios. En la Tabla 4 aparecen las variables presentes en el proceso.

El experimento fue llevado a cabo empleando tres niveles de velocidad de corte y cinco niveles de tiempo de maquinado. Los valores de velocidad de corte fueron tomados según las recomendaciones de fabricantes de herramientas como la Sandvik Coromant (2012). Se realizaron tres réplicas para cada una de las velocidades de corte, por lo que fueron un total de 45 mediciones tomadas en función del tiempo. Se ejecutaron ensayos pilotos para comprobar todas las condiciones de experimentación, equipos de medición, máquina herramienta y herramientas de corte.

Para la medición del desgaste de flanco se utilizó un microscopio Leica EZ4HD con aumentos de 8x; 12,5x; 16x; 20x; 25x y 32x y software Leica Application Suite 2.1.0 para el procesamiento de imágenes.

Para obtener la rugosidad se empleó un rugosímetro marca Mitutoyo, modelo SJ-210. La pieza se dividió en tres zonas a lo largo del eje y en cada zona se hicieron nueve mediciones sobre el diámetro del mismo; la rugosidad se tomó como la media de las mediciones en cada una.

Tabla 4. Variables presentes en el proceso

Variable	Tipo de variable	Valores
Velocidad de corte (Vc)	Independiente	95, 115 y 140 (m/min)
Avance (f)	Constante	0,2 r/min
Profundidad de corte (d)	Constante	2 mm
Desgaste (VB)	Dependiente	VB = 0,3 mm como valor límite
Rugosidad (Ra)	Dependiente	μm
Tiempo de maquinado (Tm)	Independiente	5 niveles para cada velocidad de corte

Luego fue desarrollado un análisis de regresión múltiple para construir los modelos estadísticos que describen el impacto de los dos factores estudiados, la velocidad de corte y el tiempo de mecanizado en el desgaste del flanco y en el acabado superficial obtenido.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran las imágenes con la progresión del desgaste, que se midió para 95 m/min, 115 m/min y 140 m/min de velocidades de corte, y para 12 min, 10 min y 4 min de tiempo de maquinado, respectivamente.

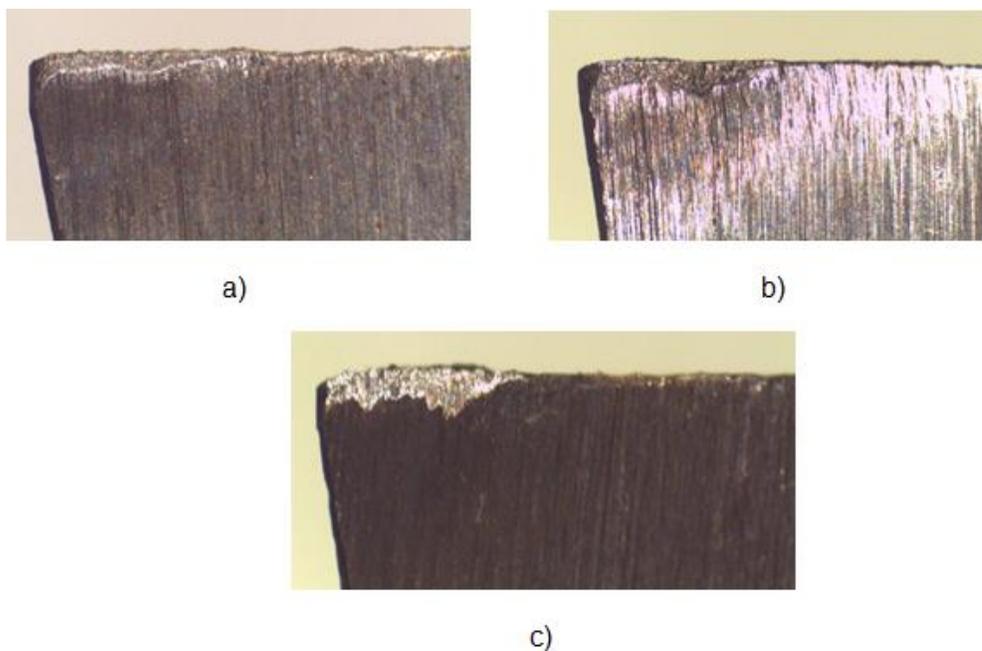


Figura 1. Desgaste del flanco para a) $V_c = 95$ m/min y $T_m = 12$ min, b) $V_c = 115$ m/min y $T_m = 10$ min y c) $V_c = 140$ m/min y $T_m = 4$ min. 20x.

En la Figura 2 se muestra la curva para el tiempo de vida útil de la herramienta de corte para cada una de las velocidades, debido a la cual se llega a la conclusión de que con el aumento de la velocidad de corte se reduce drásticamente el tiempo de maquinado de la herramienta de corte.

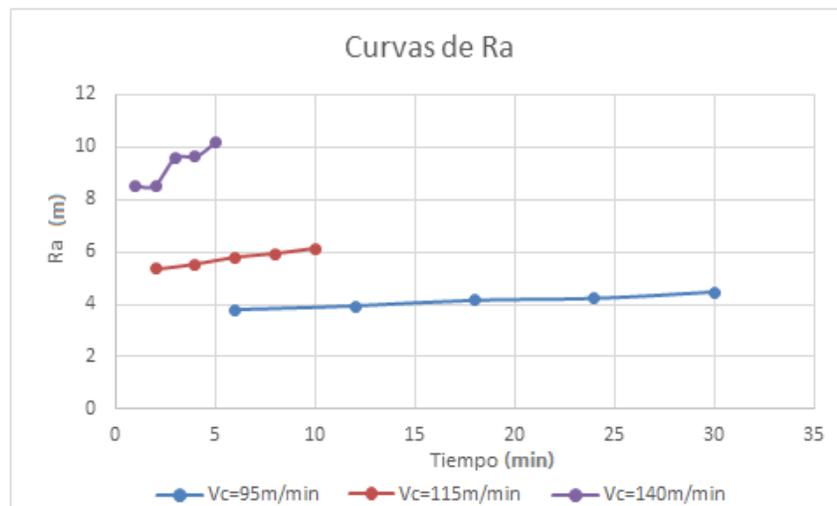


Figura 2. Curva de tiempo de maquinado contra desgaste de la herramienta.

En general, se observa la tendencia de que al aumentar la velocidad de corte de 95 m/min a 115 m/min y 140 m/min, respectivamente, con avance y profundidad de corte constantes, el tiempo de vida útil de la herramienta de corte disminuye de forma drástica, demostrándose que la velocidad de corte tiene una gran influencia sobre la vida de la herramienta. Esto se debe al aumento exponencial que sufre la temperatura con el aumento de la velocidad de corte (Kulkarni *et al.*, 2014; Survase, Darade y Lamdhade, 2015; Albertelli, Mussi y Monno, 2014).

Se observa un buen desempeño de la herramienta para las velocidades de corte estudiadas, donde para la $V_c=95$ m/min se obtuvo un tiempo de vida útil de 28,8 min; para la $V_c=115$ m/min de 9,1 min y para la $V_c=140$ m/min de 4,9 min hasta llegar al criterio de desgaste de flanco de 0,3 mm.

Para cada uno de los 45 ensayos, es decir, en todas las probetas, se realizaron tres medidas de rugosidad superficial. Dichos valores fueron procesados estadísticamente.

Para ver la influencia de la velocidad de corte sobre la rugosidad superficial se han representado gráficamente los valores de Ra obtenidos, para cada velocidad de corte en las que se trabajó y su progresión en el tiempo, como se muestra en la Figura 3.

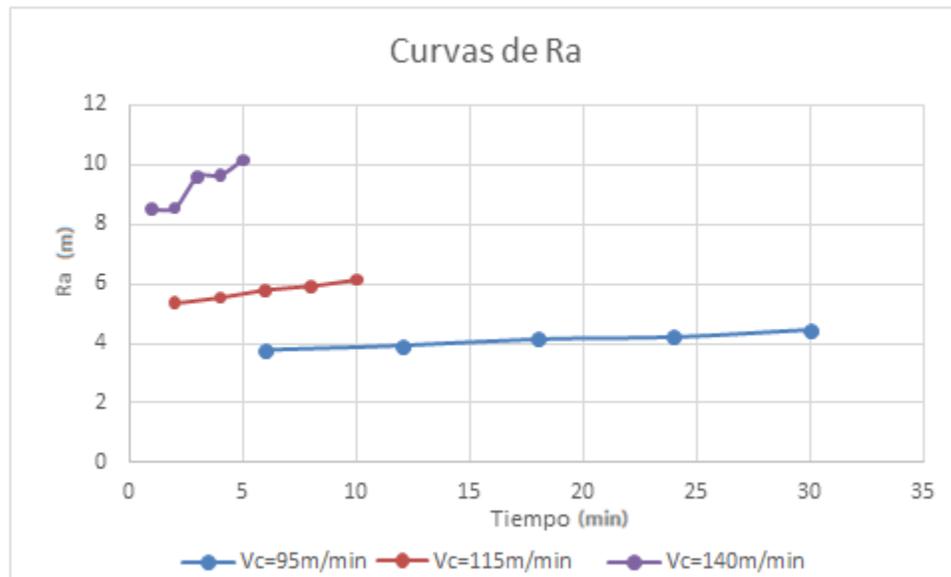


Figura 3. Valores de Ra para cada velocidad de corte.

Los valores obtenidos de rugosidad superficial demuestran que con el aumento de la velocidad de corte, la rugosidad superficial tiene una variación en aumento, manteniendo constante el avance y la profundidad de corte; este resultado no está acorde con lo expresado en la bibliografía. Los parámetros de trabajo que se utilizaron para la realización de este experimento fueron parámetros de desbaste, por lo que al no contarse con el equipamiento para medir las vibraciones, las temperaturas en la zona de corte y las fuerzas de corte que se generan durante el proceso de maquinado, se realizó una investigación más profunda sobre los factores de los que depende la rugosidad superficial, los cuales se pueden agrupar en los siguientes:

- Elemento geométricos de la cuchilla.
- Propiedades físico químicas del material de la pieza en bruto.
- Estabilidad del sistema tecnológico de la vibración y de la máquina herramienta.

Incluso no contando con el equipamiento para la medición de las vibraciones, se pudo observar un efecto de traqueteo o vibración durante el maquinado debido a las

condiciones de la máquina herramienta. El traqueteo pudo producir ondulaciones pronunciadas en la superficie de trabajo, por lo que podemos concluir que el factor de la vibración y de la máquina herramienta, provocado por el aumento de la velocidad de corte, es el causante de la degradación brusca de la rugosidad superficial.

Análisis de varianza factorial y de regresión

Después de la toma de datos se elaboró el análisis estadístico de los resultados así como la obtención y validación de los modelos obtenidos mediante regresión lineal y análisis de varianza.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de la comparación para la velocidad de corte y el tiempo y su influencia en el desgaste de la herramienta (VB). Puesto que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha medido la contribución de cada factor sobre el desgaste de la herramienta. Los p-valores (probabilidad de F) comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores (Velocidad de corte y Tiempo) sobre el desgaste de la herramienta.

Tabla 5. Análisis de Varianza para VB - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Vc	0,0476187	2	0,0238094	493,35	0,0000
B:T	0,253084	11	0,0230077	476,74	0,0000
RESIDUOS	0,00149608	31	0,0000482608		
TOTAL (CORREGIDO)	0,257209	44			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Dado que los valores de p de los factores velocidad de corte y tiempo son inferiores a 0,05, las variables velocidad de corte y tiempo tienen un efecto estadísticamente significativo en el desgaste del flanco de las herramientas de corte para un nivel de confianza del 95,0 %. Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la comparación para la velocidad de corte y el tiempo y su influencia en la rugosidad superficial (Ra) obtenida. Al igual que el tópico anterior, se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha medido la contribución de cada factor sobre el desgaste de la herramienta. Los p-valores (probabilidad de F) comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores (Velocidad de corte y Tiempo) sobre la rugosidad superficial.

Tabla 6. Análisis de Varianza para VB - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Vc	46,1641	2	23,082	884,67	0,0000
B:T	7,66912	11	0,697193	26,72	0,0000
RESIDUOS	0,808823	31	0,0260911		
TOTAL (CORREGIDO)	219,361	44			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Dado que los valores de p de los factores velocidad de corte y tiempo son inferiores a 0,05, las variables velocidad de corte y tiempo tienen un efecto estadísticamente significativo en la rugosidad superficial obtenida para un nivel de confianza del 95,0 %.

Conclusiones

Se evidencia la influencia que tiene la velocidad de corte en el tiempo de vida útil de la herramienta y en el acabado superficial que se obtiene.

Para los parámetros de corte fijados de avance 0,2 mm/r y profundidad de corte 2 mm, la herramienta tiene un mayor tiempo de vida útil para la velocidad de 95 m/min.

El acabado superficial se ve afectado por el aumento de la velocidad de corte, esto puede ser debido al aumento de las vibraciones asociadas a las condiciones de la máquina herramienta.

El análisis estadístico realizado demuestra la validez de los datos experimentales obtenidos.

Referencias bibliográficas

ALBERTELLI, P.; MUSSI, V. Y MONNO, M. 2014. The analysis of tool life and wear mechanisms in spindle speed variation machining. *Int J Adv Manuf Technol* 72(5-8): 1051-1061. DOI: 10.1007/s00170-014-5736-4.

CABALLERO-HIDALGO, R. U. 2017. *Vida útil y acabado superficial durante el torneado de acero AISI 1045 con insertos P30S*. Trabajo de diploma. Universidad de Camaguey Ignacio Agramonte Loynaz. Cuba.

COROMANT, S. 2012. *Herramientas de Torneado*. Coromant, S. 529 p.

- HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, L.W.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; ZAMBRANO-ROBLEDO, P.; GUERRERO-MATA, M. Y DUMITRESCU, L. 2011. Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045. *Revista de Metalurgia* 47(3):262-272.
- KULKARNI, A. P.; JOSHI, G. G.; KAREKAR, A. Y SARGADE, V. G. 2014. Investigation on cutting temperature and cutting force in turning AISI 304 austenitic stainless steel using AlTiCrN coated carbide insert. *Int. J. Machining and Machinability of Materials* 15(3-4): 147-156.
- MORALES-TAMAYO, Y.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; ZAMBRANO-ROBLEDO, P.; GÓMEZ-ELVIRA, M. A.; HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, L. W. Y ZAMORA-HERNÁNDEZ, Y. 2013. Comportamiento del desgaste del flanco en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L. *Ingeniería Mecánica* 16(3): 238-245.
- PRASANNA, P. K.; KIRAN, J. O. Y DEELEPKUMAR, S. G. 2014. Effect of tool nose radius and cutting parameters on tool life, surface roughness in turning of grey cast iron. *International Journal of Engineering Science and Technology* 6(3): 69.
- SURVASE, S. B.; DARADE, P. D. Y LAMDHARE, G. K. 2015. A review on effect of various parameters on cutting tool in orthogonal metal cutting process. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 4(5).
- ZAMORA-HERNÁNDEZ, Y.; MORALES-TAMAYO, Y.; LASTRE-ALEGA, A. M. Y BELTRÁN-REYNA, R. 2015. Influencia de los parámetros de corte en el desgaste del flanco de insertos recubiertos durante el torneado del acero AISI 316L. *Ingeniería Mecánica* 6(1):13-24.