

Estudio experimental de la rugosidad superficial en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L destinado a la agroindustria alimenticia

Experimental analysis of surface roughness in the dry high-speed turning of AISI 316L stainless steel for agrifood industry

M.Sc. Yoandrys Morales Tamayo^I, Dr.C. Roberto Pérez Rodríguez^{II}, Dr.C. Patricia ZambranoRobledo^{III}, Dr.C. Ricardo Ávila Rondón^{II}, Dr.C. Yusimit Zamora Hernández^I

^IUniversidad de Granma (UDG), Departamento de Ciencias Técnicas, Bayamo, Cuba.

^{II} Universidad de Holguín “Oscar Lucero”, Holguín, Cuba. Cuba

^{III}Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

RESUMEN. El presente estudio experimental se centra en investigar los efectos de los parámetros de corte en la rugosidad superficial durante el torneado de acabado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L utilizando dos insertos de corte. Los parámetros de corte fueron comparados utilizando un análisis de varianza y de regresión. Como principales resultados se obtuvieron el efecto significativo del avance de corte, los insertos y el tiempo de maquinado, así como sus interacciones en la rugosidad superficial. Para el inserto GC1115 (1) el mejor desempeño correspondió a la velocidad de corte de $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, mientras que para el GC2015 (2) fue a $450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. La rugosidad superficial manifestó un mejor comportamiento para el avance de $0,08 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ en todas las velocidades empleadas en este estudio.

Palabras clave: Torneado de alta velocidad, Rugosidad superficial, Acero inoxidable AISI 316L, Análisis de varianza y regresión.

ABSTRACT. The current experimental study is focused on investigating the effects of cutting parameters on surface roughness during dry high-speed finish turning of AISI 316L stainless steel using two cutting inserts. Cutting parameters were compared using analysis of variance and simple regression. As main results, the significant effect of cutting feed, the inserts and machining time, as well as their interactions on surface roughness were found. With GC1115 (1) insert the best performance was obtained at the cutting speed of $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ while for the insert GC2015 (2) it was at cutting speed of $450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. The surface roughness showed the best performance at the cutting feed of $0,08 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ at all the speeds used in the study.

Keywords: Dry high-speed turning, Surface roughness, AISI 316L Stainless steel, Analysis of variance and regression.

INTRODUCCIÓN

En la sociedad industrial moderna el acero constituye un material básico para el desarrollo, debido a sus versátiles propiedades y posibilidades de reciclado. El acero se aplica en casi todos los sectores industriales importantes dedicados a la fabricación de piezas.

El corte del acero constituye un importante proceso industrial muy utilizado en la mayoría de los países económicamente desarrollados, específicamente el corte del acero inoxidable se utiliza en la fabricación y el mantenimiento de máquinas para

el procesamiento de alimentos como el tomate. En los últimos años el avance alcanzado en las máquinas herramienta, en las herramientas de corte y las tecnologías de maquinado han posibilitado la utilización del maquinado de alta velocidad (HSM) (Hernández *et al.*, 2011).

En los últimos tiempos, debido a la necesidad de materiales para herramientas de corte cada vez más resistentes al desgaste han surgido materiales avanzados que han revolucionado el corte de metales; sustentados en la aparición de recubrimientos

de pequeños espesores y en los procesos de difusión térmica. La utilización de las herramientas de corte recubiertas constituye otra opción para el HSM por lo que se debe continuar estudiando su desempeño (Sahoo y Sahoo, 2012).

El criterio comúnmente empleado para evaluar la calidad de la superficie maquinada es la rugosidad superficial (ANSI/ASME, 1985). Unas de las razones por las cuales es importante evaluar la rugosidad superficial es por la influencia que tiene en la precisión dimensional, en tensiones residuales de la superficie y en la disminución de la integridad superficial (Suresh *et al.*, 2012b). La predicción de la rugosidad superficial en la pieza es necesaria para garantizar las condiciones de corte y los cambios de herramientas oportunos (Asiltürk y Neşeli, 2012).

En los últimos años las investigaciones relacionadas con la predicción de la rugosidad superficial han aumentado, fundamentalmente utilizando bajas velocidades y los fluidos de corte mientras que en el mecanizado de alta velocidad y en seco los estudios han sido limitados. En el caso de los aceros inoxidables austeníticos, Korkut *et al.* (2004), estudiaron la influencia de la velocidad de corte (120, 150 y 180 m·min⁻¹) en la rugosidad superficial y en el desgaste de la herramienta. Como principal resultado obtuvieron que la rugosidad superficial disminuye con el aumento de la velocidad de corte.

Ciftci (2006) evaluó la rugosidad superficial y las fuerzas de corte para herramientas revestidas durante el mecanizado en seco de los aceros inoxidables AISI 316L y AISI 304 empleando velocidades de corte entre 120 y 210 m·min⁻¹. El acero AISI 316L alcanzó mayores fuerzas de corte debido al 2% de Mo presente en su composición química.

Por otra parte Lin (2008) investigó la influencia de las condiciones de corte en la rugosidad superficial durante el torneado en seco a altas velocidades de corte de los AISI 303Cu, AISI 303, y AISI 304 en una longitud de corte de 140 mm. Ellos afirman que el avance de corte tiene una influencia directa en la rugosidad superficial, además determinaron que para avances menores a 0,05 mm·r⁻¹ la velocidad no tuvo un efecto significativo, por el contrario para avances mayores a 0,08 mm·r⁻¹.

La influencia de las condiciones de corte en la tensión residual durante el mecanizado del acero inoxidable AISI 304 fueron investigadas por (Jang *et al.*, 1996). Ellos utilizaron velocidades de corte entre 180 y 580 min⁻¹ y encontraron que la tensión residual es minimizada cuando se utilizó un avance de 0,08 mm·rev⁻¹, una profundidad de 1 mm y la una velocidad de 180 min⁻¹.

Xavior y Adithan (2009) analizaron el efecto de los fluidos de corte en la rugosidad superficial y en el desgaste de la herramienta durante el maquinado del acero inoxidable AISI 304. Utilizaron tres fluidos, uno de los cuales fue aceite de coco, además determinaron el porcentaje de contribución de cada parámetro de corte en cada variable y probaron la efectividad de este fluido natural. Las velocidades empleadas fueron de 38, 61 y 97 m·min⁻¹. Los últimos autores analizados no incluyeron velocidades superiores para obtener la rugosidad superficial.

Por otro lado Galanis y Manolakos (2010) estudiaron el efecto de las condiciones de corte en la rugosidad superficial

en el mecanizado de cabezas femorales a alta velocidad del acero inoxidable AISI 316L. Las velocidades fueron 264, 352 y 440 m·min⁻¹, y solo tuvieron en cuenta una longitud de corte de 28 mm. Ellos determinaron el nivel de significancia de cada parámetro de corte sobre la rugosidad superficial, en este caso afirman que la profundidad de corte fue el factor que más influyó en la rugosidad superficial seguida por el avance de corte.

Çaydaş y Ekici (2012) realizaron una red neuronal para predecir la rugosidad superficial de la pieza maquinada, para ello estudiaron de manera experimental el torneado en seco del acero inoxidable AISI 304 para validar su modelo numérico, en este caso utilizaron las velocidades de corte de 30, 60 y 90 m·min⁻¹. En las reflexiones realizadas anteriormente se puede concluir que el mecanizado de alta velocidad es una tendencia que va en ascenso y que además muchos aspectos aun están siendo investigados. Los principales investigaciones se centran en el estudio del desgaste de la herramienta, las fuerzas de corte y los menos estudiados son las vibraciones mecánicas, las deformaciones superficiales y la rugosidad superficial en el mecanizado de alta velocidad y en seco de los aceros inoxidables.

Teniendo en cuenta esto, esta investigación tiene como objetivo investigar la evolución de la rugosidad superficial respecto a el tiempo de maquinado de dos insertos de carburo recubierto durante el torneado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L.

MÉTODOS

A continuación se describen los elementos que se tuvieron en cuenta para determinar el criterio para el acabado, además de la caracterización de las herramientas de corte utilizadas y de la probeta utilizada en la experimentación. Se analiza el montaje experimental y el diseño de la investigación.

Procedimiento experimental

La calidad superficial es evaluada frecuentemente mediante la rugosidad superficial que alcanza la superficie de la pieza maquinada, en este caso la Norma ANSI/ASME B94.55M recomienda los siguientes valores de Ra: 0,4-0,8-1,6-3,2-6,3-12,5 μm. Para determinar la rugosidad superficial de la pieza se promediaron tres mediciones realizadas por cada superficie con el rugosímetro marca CARL ZEISS SURFCOM.

Material de la pieza

El material empleado corresponde al acero inoxidable austenítico AISI 316L, este se utiliza para fabricar equipos para procesos químicos y alimenticios, en la industria aeroespacial, en la automovilística, en la industria biomédica para implantes médicos, utensilios quirúrgicos y en la fabricación y el mantenimiento de máquinas para el procesamiento de alimentos ácidos (Nalbant y Yildiz, 2011). La composición química del acero AISI 316L se puede observar en la Tabla 1.

TABLA 1. Composición química del material de la pieza

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	N
Comp. %	0,015	0,58	1,50	16,95	2,05	10,08	0,031	0,029	0,059

Material de la herramienta de corte y máquina-herramienta

Se utilizaron los insertos recubiertos con marcación de Sandvik, PVD GC1115-M15 (1) y CVD GC2015-M15 (2). En la Tabla 2 se indican los resultados del estudio realizado en el microscopio electrónico de barrido marca JEOL para determinar el tipo y espesor del recubrimiento.

La geometría seleccionada para los dos insertos fue CCMT 12 04 04-MF con rompevirutas, los insertos fueron depositados en un portaherramienta marca Sandvik de código C6-SCLCL-45065-12 y un adaptador con código C6-391.01-63 060, el ángulo de incidencia principal fue de 7°, el ángulo de ataque fue de 0° y el radio

de la punta fue de 0,4 mm. Se realizó la inspección previa de cada filo de corte en un microscopio óptico NIKON EPIPHOT con una amplificación de 100X para detectar defectos visuales como fragmentos o grietas. Además fue medida la dureza de los insertos en cinco puntos diferentes en la superficie de ataque con un microdurómetro marca SHIMADZU, se obtuvo como promedios: 1755 HV para el inserto GC1115 (1) y 1404 HV para el inserto GC2015 (2).

La máquina herramienta utilizada fue un torno-*milling* CNC marca Okuma modelo Multus B-200W con una potencia del motor de 15 kW, la rotación del husillo oscila entre 50 y 5000 min⁻¹ y el peso máximo que soporta sobre el lado izquierdo es de 110 kg.

TABLA 2. Identificación, tipo y espesor del recubrimiento de los insertos

Inserto	Primera capa	Segunda capa	Tercera capa	Espesor (µm)
1	TiN	-	-	5
2	TiN	Al ₂ O ₃	Ti(N,C)	15

Montaje experimental

La investigación consistió en determinar la rugosidad superficial (Ra) generada por dos insertos durante el torneado de acabado en seco a altas velocidades de corte con dos avances diferentes. Por las condiciones de la máquina herramienta que no posee contrapunto, la pieza se montó en el plato de tres mordazas solamente. Se mantuvo constante la profundidad de corte en todas las pruebas (0,3 mm), en la Tabla 3 aparecen las variables estudiadas.

Los experimentos fueron realizados utilizando dos niveles de velocidades de corte (v), cuatro niveles de tiempo (T), dos niveles de avances de corte (f) y dos niveles de material de la herramienta. El experimento se desarrolló con dos réplicas para la adquisición de la información necesaria, en total fueron 64 ensayos. Se realizaron pruebas iniciales para determinar el estado de los instrumentos de medición, de las máquinas y del personal encargado de la experimentación.

TABLA 3. Variables consideradas en el estudio

Variable	Tipo de variable	Medida
Rugosidad superficial de la pieza	Dependiente	Rugosidad superficial (µm)
Material de la herramienta	Independiente	Carburo recubiertos PVD GC 1115-M15 y CVD GC2015-M15
Velocidad de corte	Independiente	400 y 450 m·min ⁻¹
Avance de corte	Independiente	0,08 y 0,16 mm·r ⁻¹
Tiempo	Independiente	Tiempo en (min). Cuatro mediciones (2, 3, 4, 5 para 400 m·min ⁻¹) y (0,6; 1,2; 3; 4 para 450 m·min ⁻¹)

Se cilindró la pieza comenzando con un filo nuevo y el corte fue interrumpido cada cierto tiempo (Tabla 3) para medir la rugosidad superficial utilizando un rugosímetro marca CARL ZEISS SURFCOM. La medición de la rugosidad superficial fue efectuada acorde a la norma ISO 97 y se seleccionaron de forma aleatoria varias piezas de acero inoxidable AISI 316L para evitar cualquier efecto de confusión entre las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del trabajo es evaluar la evolución de la rugosidad superficial respecto al tiempo de maquinado de dos insertos de carburo recubierto para dos velocidades y dos avances de corte durante el torneado en seco del acero inoxidable AISI 316L.

En la figura 1a se muestra la evolución la rugosidad superficial generada por los insertos para v = 400 m·min⁻¹, se aprecia un mejor comportamiento del inserto GC1115 (1) hasta 4 min de corte. Para los 5 min de maquinado el inserto GC2015 (2)

obtuvo el mejor resultado en cuanto a la rugosidad superficial. Para la velocidad de corte de 450 m·min⁻¹ (Figura 1b) el mejor desempeño hasta 1,2 min de corte fue también para el inserto GC1115 (1), en cambio para los tiempos restantes el inserto GC2015 (2) generó una rugosidad superficial menor.

Se observó que a mayor velocidad de corte la herramienta GC2015 (2) tuvo un mejor desempeño en cuanto a la rugosidad superficial, a pesar de presentar menor dureza, pero esto se debe a que posee tres recubrimientos específicos para mejorar la mecánica del corte. La capa compuesta por Ti (N,C) le proporciona resistencia a el desgaste y estabilidad térmica (Lee *et al.*, 2009), la capa de Al₂O₃ le suministra resistencia al calor y al desgaste cráter y el recubrimiento de TiN le aporta resistencia al calor y un bajo coeficiente de fricción (Suresh *et al.*, 2012a). Además la herramienta de mayor dureza solo presenta un recubrimiento 5 µm de espesor mientras que la suma de los recubrimientos del inserto de tres capas alcanza 15 µm de espesor.

El mejor desempeño en cuanto al valor de la rugosidad superficial lo alcanzó el avance de $0,08 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ para el tiempo de corte evaluado cuando se utilizó la velocidad de corte de $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Figura 1a). En la Figura 2b se observa un igual comportamiento del avance $0,08 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ pero esta vez con una velocidad de corte de

$450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ y 3 min de tiempo de maquinado. Este comportamiento obtenido en este estudio, donde la rugosidad superficial aumenta con incremento del avance de corte esta en correspondencia con los expresado por Galanis y Manolacos (2010), (Çaydaş y Ekici, 2012) y además por Asiltürk y Neşeli (2012).

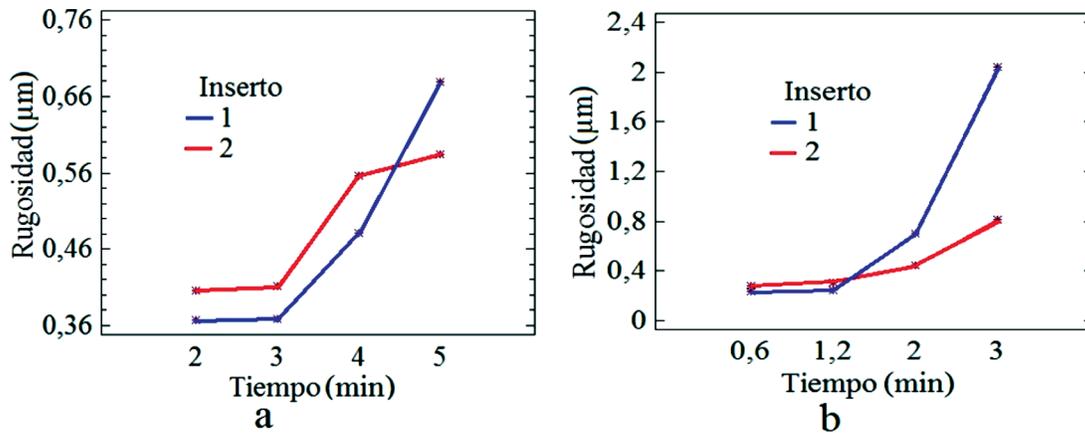


FIGURA 1. Evolución de la rugosidad superficial (a) para $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ y (b) $450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

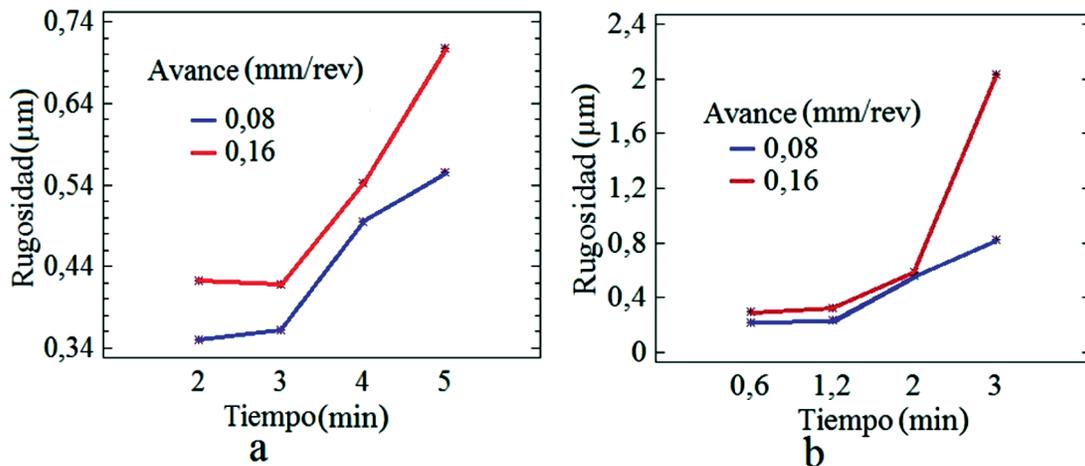


FIGURA 2. Evolución de la rugosidad superficial generada por los avances de corte empleados en el estudio (a) para $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ y (b) $450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ de velocidad de corte.

El análisis de varianza del estudio experimental realizado se presenta en las Tablas 4 y 5 respectivamente. Se midió la contribución de cada factor eliminando los efectos del resto de los factores. La importancia significativa de las variables para un 95% de confianza se comprueba determinando los p-valores inferiores a 0,05. Resultaron significativos todos los efectos principales y las interacciones entre estos, conclusión similar obtenida por Galanis y Manolacos (2010) y Hamdan *et al.* (2012) cuando tornearon el acero inoxidable AISI 316L para elaborar cabezas de fémures.

TABLA 4. Análisis de varianza factorial de la rugosidad superficial para con $v= 400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Cociente-F	p-valor
Avance de corte	0,05324	1	0,05324	203,14	0,0000
Inserto	0,00199	1	0,00199	7,61	0,0125
Tiempo de maquinado	0,33091	3	0,11030	420,86	0,0000
Avance-Inserto	0,00628	1	0,00362	13,84	0,0015
Avance- Tiempo	0,01376	3	0,00458	17,50	0,0000
Inserto-Tiempo	0,03399	3	0,01133	43,24	0,0000
Residuo	0,00497	19	0,00026		
Total (corregido)	0,44251	31			

TABLA 5. Análisis de varianza factorial de la rugosidad superficial para v= 450 m·min⁻¹

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Cociente-F	p-valor
Avance de corte	0,981786	1	0,981786	8,96	0,0075
Inserto	0,957347	1	0,957347	8,74	0,0081
Tiempo de maquinado	7,27193	3	2,42398	9,37	0,0000
Avance- Inserto	0,787858	1	0,787858	7,19	0,0147
Avance- Tiempo	1,96402	3	0,654674	5,98	0,0048
Inserto-Tiempo	2,20341	3	0,734471	6,71	0,0028
Residuo	2,08085	19	0,109518		
Total (corregido)	16,2472	31			

Se realizó un análisis de regresión simple para describir la relación entre la rugosidad superficial, el tiempo de maquinado y el avance de corte con cada velocidad y inserto utilizado en el estudio. La finalidad fue obtener la ecuación del modelo ajustado para cada inserto de corte empleado. Además se determinó el coeficiente de determinación (R²) que representa la bondad del ajuste. En las Tablas 6 y 7 se muestran las ecuaciones del modelo ajustado para cada inserto y el coeficiente de determinación para las diferentes velocidades de corte utilizadas.

TABLA 6. Análisis de regresión de la rugosidad superficial para los insertos para v = 400 m·min⁻¹

Inserto	Tipo	Ecuación del modelo ajustado	R ² (%)
GC1115 (1)	Lineal	$Ra = -0,047315 + 1,28594 \cdot f + 0,104815 \cdot T$	84,29
	Polinomial	$Ra = 0,647785 - 0,239322 \cdot T + 0,0491625 \cdot T^2$	83,12
	Cúbica	$Ra = 0,153932 + 0,00238282 \cdot T^3 + T^2 + 1,28594 \cdot f$	94,12
	Exponencial	$Ra = 0,202811 + 0,0020399 \cdot e^{(T+f)} + 1,15337 \cdot f$	96,81
GC2015 (2)	Lineal	$Ra = 0,15994 + 0,783859 \cdot f + 0,0676717 \cdot T$	83,81
	Polinomial	$Ra = 0,300018 + 0,0383899 \cdot T + 0,00418313 \cdot T^2$	71,75
	Cuadrática	$Ra = 0,355163 + 0,0307952 \cdot T^2 \cdot \sqrt{f}$	89,16
	Exponencial	$Ra = -0,0335673 + 1,03919 \cdot e^{(-1,30973 + 0,144669 \cdot T + 0,979417 \cdot f)}$	90,05

TABLA 7. Análisis de regresión de la rugosidad superficial para los insertos para v = 450 m·min⁻¹

Inserto	Tipo	Ecuación del modelo ajustado	R ² (%)
GC1115 (1)	Lineal	$Ra = -1,49354 + 8,26328 \cdot f + 0,768596 \cdot T$	64,60
	Polinomial	$Ra = 0,536697 - 0,752804 \cdot T + 0,418308 \cdot T^2$	60,21
	Cuadrática	$Ra = -0,454897 - 0,752804 \cdot T + 0,418308 \cdot T^2 + 8,26328 \cdot f$	72,21
	Exponencial	$Ra = -0,172822 + 1,12915 \cdot e^{(-3,03356 + 0,949837 \cdot T + 7,26358 \cdot f)}$	88,99
GC2015 (2)	Lineal	$Ra = 0,0181769 + 0,45625 \cdot f + 0,227852 \cdot T$	89,39
	Polinomial	$Ra = 0,324167 - 0,140163 \cdot T + 0,101185 \cdot T^2$	97,24
	Cúbica	$Ra = 0,219641 + 0,0201327 \cdot T^3 + f^3 + 0,455348 \cdot f$	97,90
	Logarítmica	$Ra = 0,317959 + 0,0201671 \cdot T^3 + \ln f$	97,63

CONCLUSIONES

- El avance de corte, el tiempo de maquinado, los insertos de corte y las interacciones resultaron ser factores significativos con un 95% de confianza para el mecanizado en seco a velocidades intermedias y altas. Se obtuvieron las ecuaciones de regresión para cada inserto de corte utilizado en este experimento.
- Para el inserto GC1115 (1) el mejor desempeño correspondió a la velocidad de corte de 400 m·min⁻¹, mientras que para el GC2015 (2) fue a 450 m·min⁻¹. A consecuencia de las capas que posee, que le proporciona resistencia a el desgaste, estabilidad térmica, resistencia al calor y un bajo coeficiente de fricción.
- Se encontró que la rugosidad superficial aumentó con el tiempo de maquinado para las velocidades de corte

estudiadas, mientras que para el avance de corte la mejor tendencia se alcanzó con 0,08 mm·r⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SEP por proporcionar la beca post-graduada de investigación en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en México, al Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica por el apoyo financiero y tecnológico, además por todas las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo de investigación, al Departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma por el apoyo brindado y al Dr.C. y Prof. Titular, Luis Wilfredo Hernández González, de la Universidad de Holguín, por su colaboración en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASME: *Tool-life testing with single-point turning tools B94.55M*.pp. 47, New York: American National Standard, USA, 1985.
- ASILTÜRK, İ. & S. NEŞELI: “Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis”, *Measurement*, 45(4): 785-794, 2012.
- ÇAYDAŞ, U. & S. EKICI: “Support vector machines models for surface roughness prediction in CNC turning of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(3): 639-650, 2012.
- CIFTCI, I.: “Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools”, *Tribology International*, 39(6): 565-569, 2006.
- GALANIS, N. & D. MANOLAKOS: “Surface roughness prediction in turning of femoral head”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(1): 79-86, 2010.
- HAMDAN, A.; A. SARHAN & M. HAMDI: “An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1): 81-91, 2012.
- HERNÁNDEZ, L. W.; R. PÉREZ; P. ZAMBRANO; M. GUERRERO y P. DUMITRESCU: “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, 2011.
- JANG, D. Y.; T. R. WATKINS; K. J. KOZACZEK; C. R. HUBBARD & O. B. CAVIN: “Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel”, *Wear*, 194(1-2): 168-173, 1996.
- KORKUT, I.; M. KASAP; I. CIFTCI & U. SEKER: “Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Materials & Design*, 25(4): 303-305, 2004.
- LEE, S. M.; H. M. CHOW; F. Y. HUANG & B. H. YAN: “Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(1): 81-88, 2009.
- LIN, H. M.: “The study of high speed fine turning of austenitic stainless steel”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 27(2): 191-194, 2008.
- NALBANT, M. & Y. YILDIZ: “Effect of cryogenic cooling in milling process of AISI 304 stainless steel”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21(1): 72-79, 2011.
- SAHOO, A. K. & B. SAHOO: “Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts”, *Measurement*, (0): 2012.
- SURESH, R.; S. BASAVARAJAPPA; V. N. GAITONDE & G. L. SAMUEL: “Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33: 75-86, 2012a.
- SURESH, R.; S. BASAVARAJAPPA & G. L. SAMUEL: “Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool”, *Measurement*, 45(7): 1872-1884, 2012b.
- XAVIOR, M. A. & M. ADITHAN: “Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2): 900-909, 2009.

Recibido: 20 de mayo de 2012.

Aprobado: 5 de septiembre de 2013.

Yoandrys Morales Tamayo, Prof. Asistente, Universidad de Granma (UDG), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias Técnicas, Carretera Manzanillo, km 17 ½, Peralejo, Bayamo, Cuba. CP 85100, Correo electrónico: ymoralest@udg.co.cu y yzamorah@udg.co.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

*Todos nuestros servicios
a su disposición*

BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ

UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)