

Influence of the Axial Machining Length on Microgeometrical Deviations of Horizontally Dry-Turned UNS A97075 Al-Zn Alloy

F.J. Trujillo⁽¹⁾, L. Sevilla⁽¹⁾, M. Marcos⁽²⁾

⁽¹⁾ Department of Manufacturing Engineering, University of Malaga, C/ Dr Ortiz Gómez s/n, E-29071 Malaga, Spain. trujillov@uma.es

⁽²⁾ Department of Mechanical Engineering and Industrial Design, University of Cadiz, E-11002 Cadiz, Spain.

RESUMEN

La rugosidad media aritmética Ra es un parámetro comúnmente utilizado en la evaluación de la calidad de acabado superficial de las piezas mecanizadas. Su valor depende de los parámetros de corte empleados: velocidad de corte, avance y profundidad de corte. Se hace necesario, por tanto, optimizar la combinación de valores de estos parámetros para alcanzar los objetivos de calidad deseados, especialmente en mecanizados en ausencia de fluidos de corte. En este trabajo se realiza un estudio de la evolución de Ra a lo largo de la longitud axial de mecanizado, en función de los parámetros de corte utilizados, en el torneado en seco de la aleación de AL-Zn UNS A97075. Los resultados obtenidos indican que el avance es el parámetro más influyente. Además, se ha obtenido una ecuación paramétrica que permite predecir el valor de Ra en función de los parámetros de corte y del tiempo de mecanizado.

Palabras clave: Mecanizado en Seco; UNS A97075; Rugosidad; Parámetros de Corte

ABSTRACT

The arithmetical average roughness, Ra , is widely used to evaluate the quality of surface finish in machining parts. Its value depends on cutting parameters: cutting speed, feed and cutting depth. It is necessary to optimize the value of these parameters to achieve the desired quality, especially in the absence of cutting fluids. In this work, a study of the superficial quality of test bars, turned in dry, of an AL-Zn UNS A97075 alloy is presented. The value of Ra has been analyzed along the axial machining length for a series of test-pieces obtained under different combinations of cutting parameters values. The obtained results confirm that feed has the biggest influence. Finally, a potential relationship between Ra , cutting parameters and machining time has been obtained. This relationship allows predicting the behavior of Ra in the range of cutting parameters considered, along the machining time.

Keywords: Dry-Turning; UNS A97075; Roughness; Cutting Parameters

1. Introducción

Entre las propiedades exigibles a los materiales utilizados en la fabricación de componentes estructurales para aeronaves están las de baja densidad y elevada resistencia mecánica. En este sentido, las aleaciones ligeras, especialmente las de aluminio y titanio, son ampliamente utilizadas debido a que presentan un excelente equilibrio entre estas propiedades [1-3]. En la fabricación de estos componentes se utilizan diversos procesos de conformado, siendo el conformado por arranque de viruta uno de los más utilizados [4, 5].

En el mecanizado se han venido usando tradicionalmente los denominados fluidos de corte, cuyo objetivo es servir de refrigerante y/o lubricante. Sin embargo, la creciente preocupación por la conservación del medioambiente y prevención de riesgos para la salud ha desembocado en la aparición de nuevas leyes que obligan al reciclado de este tipo de sustancias. El alto coste que esto supone para las empresas ha dado lugar al desarrollo de fluidos de corte con escaso impacto ambiental o métodos que eviten o minimicen su empleo. En ese sentido, uno de los métodos más ensayados es el mecanizado en seco, es decir, sin empleo de tipo alguno de fluido de corte [6-8].

Sin embargo, la supresión total de estos fluidos origina condiciones muy agresivas en los procesos que provocan alteraciones tanto en la herramienta como en la pieza, dando lugar a desviaciones sobre las especificaciones de diseño. Por contra, a estos componentes se les suele exigir altos niveles de calidad. Esta nueva situación hace necesario buscar combinaciones de parámetros de corte y tipos de herramientas que optimicen el mecanizado en esas condiciones extremas de trabajo, con el propósito de obtener un nivel de calidad en los productos de acuerdo con las especificaciones exigidas y con un coste tan bajo como sea posible [7-9].

La rugosidad media aritmética Ra es uno de los parámetros más utilizados en la cuantificación de la calidad del acabado superficial de las piezas mecanizadas. Entre los principales factores que afectan al valor final de Ra se encuentran los parámetros de corte: velocidad de corte (v), avance (a) y profundidad de corte (p) [10-13].

En el presente trabajo se realiza un estudio de la evolución de la calidad de acabado superficial, evaluada en términos de Ra , a lo largo de la longitud axial de mecanizado (L), en el torneado en seco de la aleación de Aluminio-Zinc UNS A97075, bajo la acción de distintas combinaciones de parámetros de corte. Finalmente, se ha obtenido un modelo paramétrico que nos permite predecir el valor de Ra en función de los parámetros de corte utilizados y del tiempo de mecanizado.

Cabe destacar que, aun existiendo estudios similares sobre otras aleaciones de aluminio, este es el primero de estas características que se realiza sobre la aleación UNS A97075. Su alto contenido en Zn le confiere una elevada plasticidad, influyendo de forma determinante en el proceso de generación de viruta y en el desgaste por adhesión secundaria por incorporación de material en el filo y en la cara de desprendimiento.

2. Metodología Experimental

Para simplificar el estudio, el tipo de mecanizado seleccionado para los ensayos fue el cilindrado horizontal, por su sencillez de ejecución y facilidad para la observación y toma de medidas. Para ello se hizo uso de un torno paralelo, modelo ECLIPSE de la casa EMCO, equipado con control numérico FAGOR 8055T, Figura 1.a.

Para la realización de los distintos ensayos de torneado se utilizaron probetas cilíndricas de 200 mm de longitud y diámetros entre 30 y 60 mm de la aleación de Al-Zn UNS A97075 T6. La composición de la aleación, en % en masa, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la aleación UNS A97075 utilizada (% en masa)

Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Otros	Al
6,03	2,62	1,87	0,19	0,15	0,20	Resto

Se llevaron a cabo ensayos de torneado horizontal en seco con objeto de evitar el empleo de fluidos de corte que puedan tener impacto ambiental y/o efecto contra la salud negativos, haciendo uso de una herramienta capaz de soportar las condiciones extremas originadas en ausencia de refrigerante o lubricante. Se usaron plaquitas con recubrimiento de TiN y núcleo de WC-Co, con referencia ISO KCMW 11T308FN M, Figura 1.a. Con cada una de las herramientas se realizaron dos ensayos, uno por cada filo de corte. Se empleó un filo nuevo por ensayo con objeto de garantizar las mismas condiciones iniciales de herramienta en cada ensayo.

Con objeto de evaluar la influencia de los parámetros de corte en la calidad del acabado superficial de las piezas mecanizadas, los ensayos se realizaron para una longitud axial de mecanizado, $L = 150$ mm, utilizando distintas combinaciones de los valores de velocidad de corte (v) y avance (a) reflejados en la Tabla 2. La profundidad de corte se mantuvo constante para todos los ensayos: $p = 1$ mm.

Todo el proceso se monitorizó haciendo uso de una videocámara digital SONY DCR-DVD92E, con el objetivo de registrar cualquier incidencia durante el mecanizado. Además, se procedió al fotografiado y almacenaje de la viruta generada en cada ensayo, para futuros análisis y observaciones.

Tras los ensayos, se adquirieron los perfiles de rugosidad superficial de las muestras mecanizadas haciendo uso de un rugosímetro Perthometer M4Pi de Mahr, con palpador a patín de contacto

mecánico modelo NHT 6-100 y unidad de avance modelo PFK. Para ello se dividió la probeta en varios tramos, recogiendo las medidas en cinco tramos separados una distancia de 25 mm, dejando 12,5 mm libres a ambos extremos de la probeta, Figura 1.b. El parámetro elegido para evaluar la calidad de acabado superficial fue la rugosidad media aritmética, Ra . Las medidas se repitieron en cuatro generatrices equidistantes, tomándose como valor de Ra en cada tramo el valor de la media.

Paralelamente, se llevó a cabo un seguimiento de los cambios en la herramienta haciendo uso de un microscopio estereoscópico Nikon modelo SMZ 2T con un máximo de 63X, con cámara Kappa Image Base mod. CF11 DSP, tarjeta capturadora PCI SC module, con fuente emisora de luz Intralux 400 marca Volpi, con adaptadores para emisión anular y dos focos puntuales de fibra óptica. Además, con el objetivo de caracterizar la composición del material adherido al filo de la herramienta, se utilizaron técnicas de microscopía electrónica (SEM y EDS), mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío JEOL modelo SM-6490LV, con detector de electrones retrodispersados.

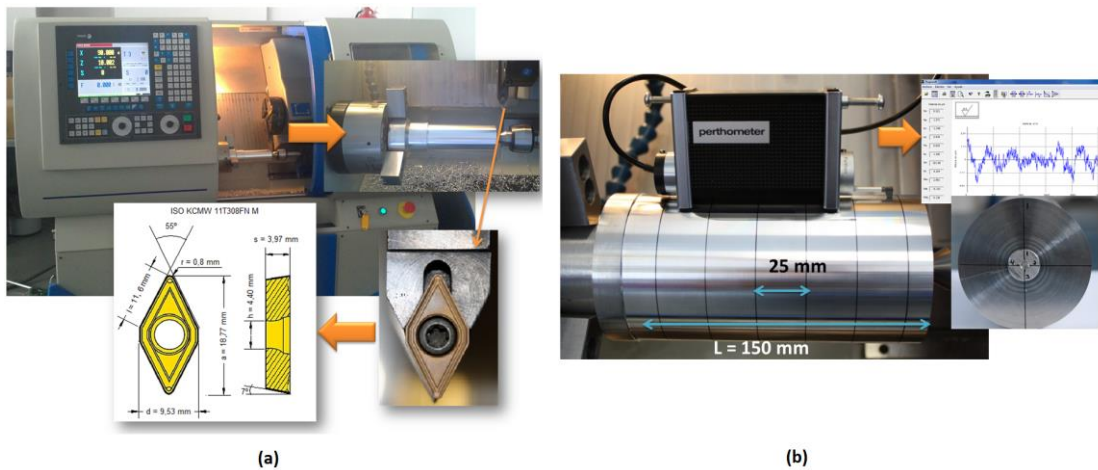


Figura 1. (a)Torno paralelo equipado con CNC y herramienta de corte utilizados en los ensayos. (b) Dispositivo de adquisición del perfil de rugosidad de las probetas mecanizadas

Tabla 2. Parámetros de corte utilizados

v (m/min)	40	80	170	200
a (mm/rev)	0,05	0,10	0,20	

3. Resultados y Discusión

En la Figura 2 se muestran distintas gráficas que representan la evolución de la rugosidad media aritmética (Ra) con la longitud axial de mecanizado (L), para las distintas combinaciones de velocidad de corte (v) y avance (a) ensayados. En cada gráfica se considera constante la velocidad de corte, mostrándose $Ra = f(L)$ para cada valor de avance considerado.

De una primera observación de estas gráficas se desprende que el parámetro que más influye sobre Ra es el avance. Los mayores valores de Ra se obtienen para valores de a de 0,2 mm/rev, reduciéndose de forma considerable el valor de Ra al reducir el avance a valores de 0,1 y 0,05 mm/rev. Las diferencias encontradas en los valores de Ra al aplicar estos dos últimos avances son pequeñas. Estas tendencias se mantienen de forma independiente a la velocidad de corte considerada.

En este sentido, en el rango de velocidades de corte bajas (40 y 80 m/min) los valores de Ra obtenidos para avances de 0,2 mm/rev llegan a ser entre 4 y 5 veces superiores a los obtenidos para valores de a de 0,05 y 0,1 mm/rev. Para el rango de velocidades de corte más altas (170 y 200 m/min) esta diferencia es algo menor, obteniéndose, en cualquier caso, valores de Ra entre 2 y 3 veces superiores para el caso de avances de 0,2 mm/rev respecto de los valores de avance más bajos (0,05 y 0,01 mm/rev).

Por otro lado, se observa que, en general, el valor de Ra muestra una tendencia a decrecer con L . Además, se puede apreciar como esta reducción es más significativa para el caso de los valores de avance bajos. Para estos avances (0,05 y 0,1 mm/rev) se observan reducciones de Ra de entre el 30% y

el 40% del valor inicial. Para el caso de valores de a de 0,2 mm/rev esta reducción no es tan significativa, estando en torno al 10%. No obstante, se observa una singularidad respecto de lo comentado, para el caso de $v = 40$ m/min y $a = 0,2$ mm/rev. Para esta combinación de parámetros de corte, los resultados obtenidos muestran oscilaciones en los valores de Ra a lo largo de L , observándose en algunos tramos tendencia a aumentar y en otros a reducirse. En este caso, las diferencias en los valores obtenidos de Ra pueden llegar al 40%, según el tramo considerado.

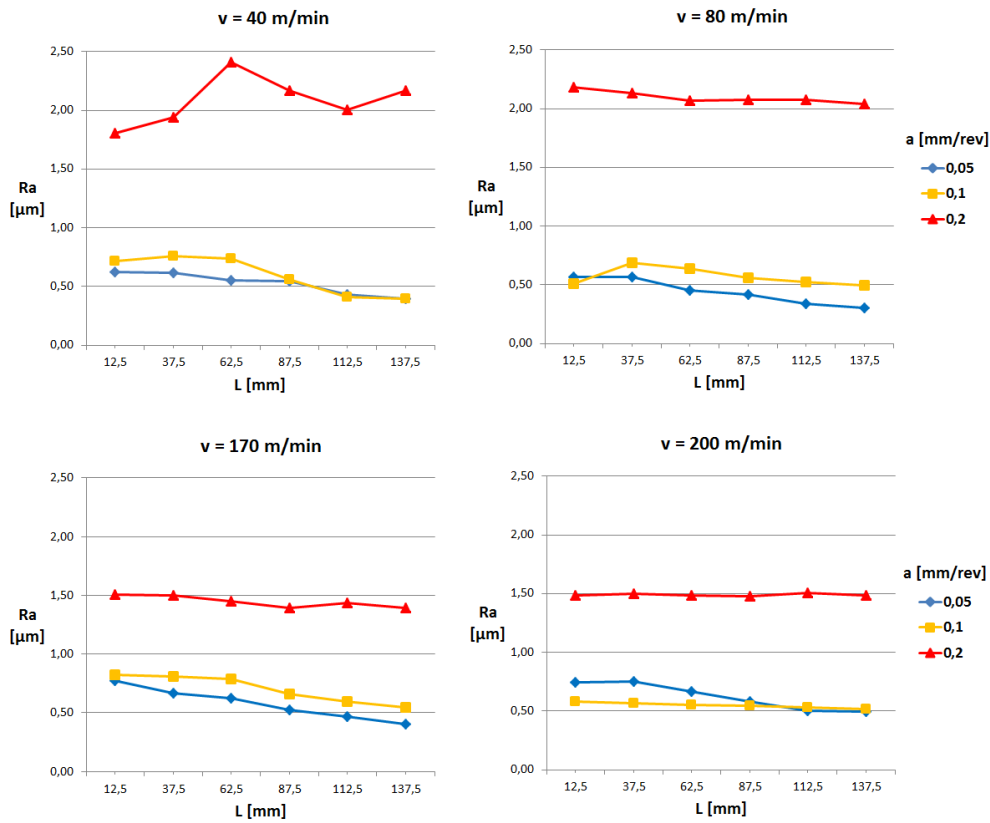


Figura 2. Evolución de $Ra = f(L)$, a velocidad de corte (v) constante, para los distintos valores de avance (a) ensayados

En la Figura 3 se representan gráficas con los mismos resultados que los mostrados en la Figura 2, pero en este caso mostrando la evolución de $Ra = f(L)$ para cada v ensayada, manteniendo constante el avance.

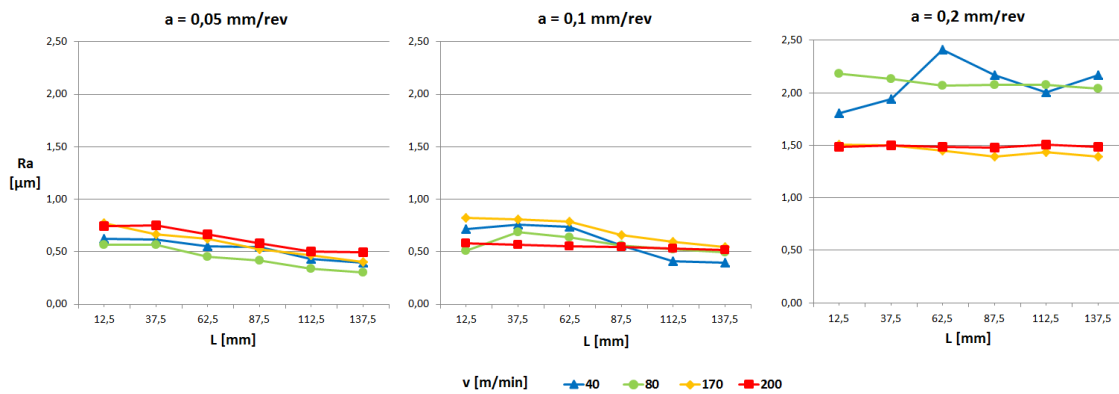


Figura 3. Evolución de $Ra = f(L)$, a avance (a) constante, para los distintos valores de velocidad de corte (v) ensayados

Se observa como la influencia de v sobre Ra es mucho menor que la influencia de a . Para valores de avance de 0,05 mm/rev, los mayores valores de Ra se obtienen en el rango de altas velocidades de corte consideradas, presentando una tendencia a reducirse al pasar de valores de v de 200 m/min a 170 m/min. Los valores obtenidos en el rango de bajas velocidades de corte son algo menores, presentando una tendencia Ra a reducirse al pasar de 40 m/min a 80 m/min. Para valores de avance de 0,1 mm/rev los peores resultados de Ra se obtienen para valores de v de 170 y 40 m/min, hasta la mitad de L . A partir de ese punto, estos valores de Ra tienden a igualarse a los obtenidos para valores de v de 200/m/min y 80 m/min. Para el caso del mayor avance, 0,2 mm/rev, se obtienen los mayores valores de Ra para el rango de las velocidades de corte bajas (40 y 80 m/min).

No obstante, tal y como se ha comentado anteriormente, hay que destacar que las diferencias obtenidas en los valores Ra al variar la velocidad de corte son bastante menores que las obtenidas al considerar las variaciones del avance. Las máximas diferencias no superan 1,7 veces el valor de Ra , frente a las diferencias obtenidas al variar el avance que, tal y como se ha comentado, pueden alcanzar valores próximos a 5 veces el valor de Ra .

Estos resultados se pueden explicar teniendo en cuenta la dependencia geométrica del parámetro Ra con respecto al avance [12], así como a las modificaciones geométricas que sufre la herramienta durante el proceso de corte *Figura 4* [14, 15].

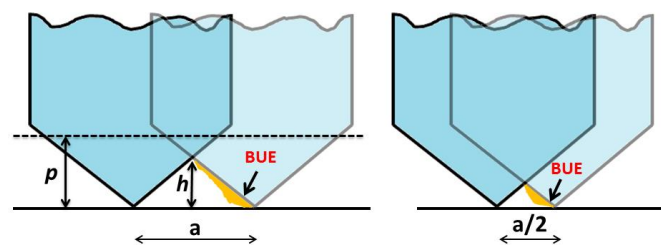


Figura 4. Influencia del avance (a) y de la aparición de BUL y BUE sobre el valor de Ra

En la Figura 5 se muestran imágenes del estado del filo de corte al final del proceso de mecanizado, para cada combinación de velocidad de corte y avance ensayada. En todas las imágenes se aprecia la incorporación de material mecanizado a la herramienta, en forma de filo recercado (*BUE*, Built-Up Edge) y de capa adherida (*BUL*, Built-Up Layer). La aparición de *BUL* y *BUE* da lugar a una alteración de la geometría inicial de la herramienta que repercute en la calidad de acabado superficial de las piezas mecanizadas [16-18].

En la Figura 5 se puede ver como la aparición de filo y capa adherida (*BUE* y *BUL*) es mucho más incipiente al aumentar el valor del avance, observándose una mayor cantidad de material adherido para valores de a de 0,02 mm/rev. Se puede ver, además, como la influencia de la velocidad de corte en la aparición de *BUL* y *BUE* es menos apreciable. Únicamente en el rango de avances bajos (0,01 y 0,05 mm/rev) se observa una mayor cantidad de material adherido en el rango de las bajas velocidades de corte (40 y 80 m/min).

La aparición de material adherido a la herramienta explica la tendencia general de reducción de Ra a lo largo de L . El factor más influyente es la aparición de *BUE*, que origina una reducción del ángulo de posición del filo principal de corte, y la consecuente reducción del área que determina el valor de Ra [19, 20]. El valor de Ra se ve modificado de forma más sensible ante estas alteraciones geométricas cuando se aplican valores de avance más bajos, tal y como se muestra en la Figura 4. Esto explica las reducciones de Ra con L y que estas reducciones sean superiores en el rango de avances bajos.

A esto hay que añadir que con avances bajos la incorporación de material a la herramienta es más progresiva, mientras que a avances altos su aparición se produce en los primeros instantes del mecanizado. Este hecho se puede verificar comparando las imágenes del estado final de las herramientas de nuestros ensayos con las imágenes de herramientas procedentes de ensayos previos, ejecutados en las mismas condiciones pero para mecanizados de 10 segundos de duración [20], Figura 6.

Por otro lado, el *BUE* suele ser inestable a lo largo del proceso de mecanizado, desprendiéndose con frecuencia, y volviendo a aparecer de forma progresiva, repitiéndose este proceso de forma cíclica. Esto explica la aparición de singularidades en la evolución de Ra con L , como la comentada para el caso de

valores de avance de 0,02 mm/rev y velocidad de corte de 40 m/min. La Figura 7 muestra las imágenes, obtenidas mediante microscopia electrónica de barrido (SEM), de dos herramientas sometidas a ensayos con estos parámetros de corte, para un tiempo de mecanizado de 10 segundos y superior a 10 segundos respectivamente. En ella se observa como para el caso de $t = 10$ s el filo adherido ya se ha formado, mientras que para la plaquita con $t > 10$ s se aprecia claramente que el BUE es más pequeño, siendo el BUL más pronunciado. Esto indica que en algún momento este filo se ha tenido que desprender [12], lo que explicaría las oscilaciones de Ra a lo largo de L .

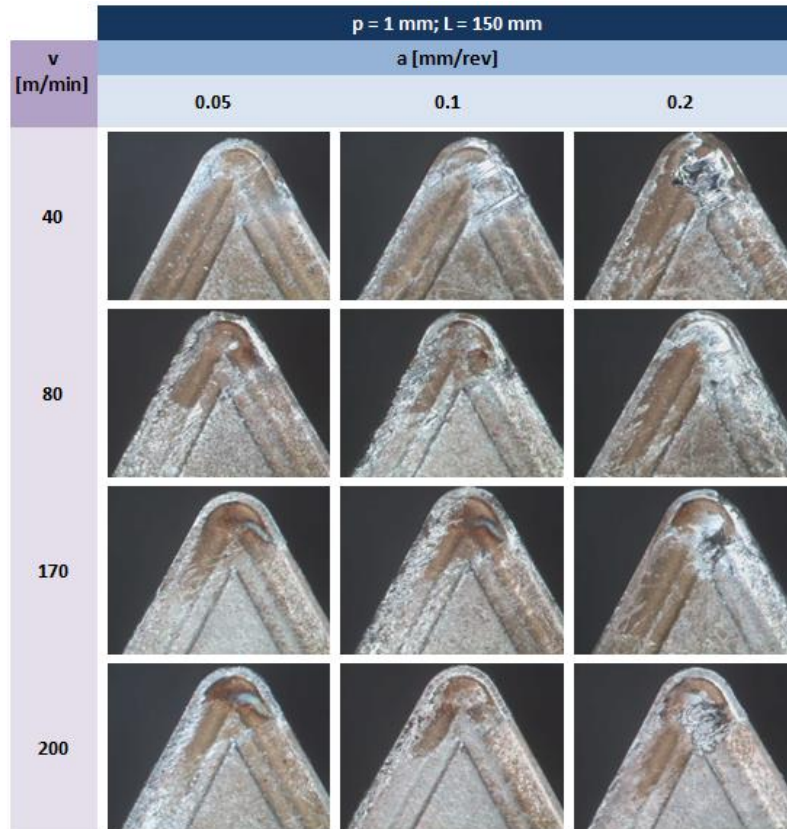


Figura 5. Imágenes macro (30X) del filo de la herramienta y de la cara de desprendimiento para cada combinación de parámetros de corte v y a ensayados

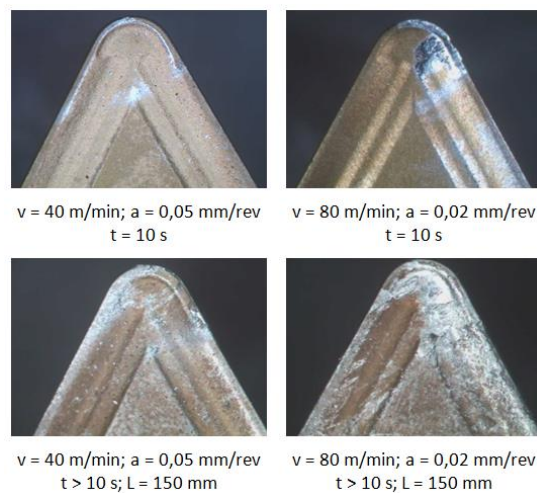


Figura 6. Imágenes macro (30X) del filo de la herramienta para ensayos de duración $t = 10$ s y $t > 10$ s, para algunos de los valores de a y v utilizados, con $p = 1$ mm

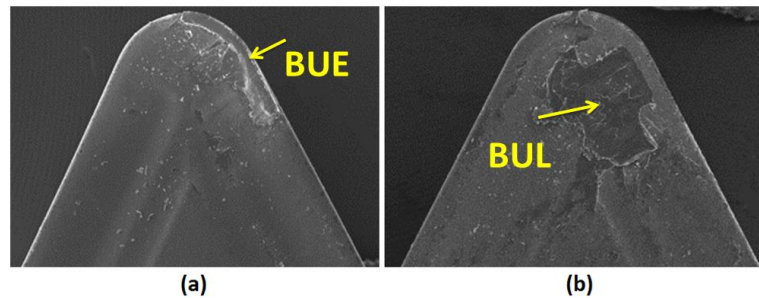


Figura 7. Imágenes SEM del filo de la herramienta para ensayos con $v = 40$ m/min y $a = 0,2$ mm/rev, para $t = 10$ s (a) y para $t > 10$ s (b)

Finalmente, los resultados obtenidos permiten sugerir la búsqueda de un modelo paramétrico que permita predecir el valor de Ra en función de los parámetros de corte, v y a aplicados, y en función de la longitud axial de mecanizado (L). Dado que los ensayos se han realizado con probetas con diámetros distintos, será conveniente introducir en el modelo el tiempo de corte (t) en lugar de la longitud axial de mecanizado, con el fin de comparar longitudes reales de mecanizado. Estas ecuaciones suelen ajustarse bien a modelos paramétricos de tipo potencial [10, 20]. De este modo se probó a ajustar los datos experimentales según el siguiente modelo:

$$Ra = K \cdot v^x \cdot a^y \cdot t^z \quad (1)$$

Siendo Ra la rugosidad media aritmética, v la velocidad de corte, a el avance, y K , x , y y z constantes. Se procedió a ajustar los datos mediante regresión lineal múltiple, obteniendo el valor de la constante y de los exponentes del modelo potencial, quedando la expresión dada en (1) como sigue:

$$Ra = 13,36 \cdot v^{-0,13} \cdot a^{0,75} \cdot t^{-0,11} \quad (2)$$

Los valores obtenidos para los exponentes están en línea con lo comentada previamente. Por un lado el mayor valor del exponente del avance implica una fuerte dependencia de Ra con respecto al avance. La dependencia con respecto a la velocidad de corte es menor, indicando el coeficiente negativo una reducción en el valor de Ra al aumentar la velocidad de corte. Por otra parte, el exponente negativo de t implica una reducción del valor de Ra con el tiempo de mecanizado. Esta reducción será más notable cuando a reduzca su importancia en el resultado final obtenido, cosa que ocurre a valores de avance bajos.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran como el avance es el parámetro que más influye sobre el valor de Ra . Los mayores valores de Ra y, por tanto, los peores resultados de calidad de acabado superficial, se obtienen para el mayor valor del avance (0,2 mm/rev), independientemente de los valores de corte empleados. Por otro lado, la velocidad de corte influye en menor medida que el avance, encontrándose tendencias distintas en la evolución de Ra en función de v , dependiendo del valor de avance empleado.

Asimismo, se observa que, en la mayoría de los casos estudiados, el valor de Ra tiende a reducirse a lo largo de la longitud axial de mecanizado, siendo esta reducción proporcionalmente mayor en el caso de los avances bajos (0,05 y 0,1 mm/rev). Todas estas observaciones tienen su explicación debido a las alteraciones geométricas que sufre la herramienta de corte durante el mecanizado. Esta reducción afecta de forma más sensible a la evolución de $Ra = f(L)$ en el rango de avances bajos.

Finalmente, se ha obtenido una ecuación paramétrica que permite predecir el valor de Ra en función de los parámetros de corte v y a , así como del tiempo de mecanizado, dentro del rango de valores ensayados. De acuerdo con lo encontrado en otros trabajos para aleaciones de aluminio, este modelo puede pensarse como general para este tipo de aleaciones y se deja para trabajos futuros comprobar su generalidad.

5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Málaga – Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech por su aportación económica al desarrollo de este trabajo.

5. Referencias

- [1] F. C. Campbell. *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*. Elsevier Science, Oxford (2006).
- [2] E. O. Ezugwu, J. Bonney, Y. Yamane. An overview of the machinability of aeroengine alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 134 (2003), pp. 233-253.
- [3] J. G. Kaufman. *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design*. M. Kutz (2006).
- [4] M. Nouari, G. List, F. Girot and D. Coupard. Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys. *Wear*, 255 (2003), pp. 1359-1368.
- [5] I. J. Polmear. *Light Alloys*. Butterworth-Heinemann, Oxford (2005).
- [6] S. Zhang, J. F. Li, Y. W. Wang. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*, 32 (2012), pp. 81-87.
- [7] A. Shokrani, V. Dhokia, S. T. Newman. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 57 (2012), pp. 83-101.
- [8] Z. Liu, Q. An, J. Xu, M. Chen and S. Han. Wear performance of (nc-ALTiN)/(a-Si₃N₄) coating and (nc-AlCrN)/(a-Si₃N₄) coating in high-speed machining of titanium alloys under dry and Minimum Quantity Lubrication (MQL) conditions. *Wear*, (In press).
- [9] L. N. López de lacalle, J. Pérez, J. I. Llorente and J. A. Sánchez. Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 100 (2000), pp. 1-11.
- [10] J. Salguero, A. Gómez, M. S. Carrilero, M. Batista, M. Álvarez and M. Marcos. Roughness prediction models for tangential cutting forces in the dry turning of Al-Cu alloys. *Proc. of AMPT 2011: 14th International Conference on Advances in Material Processing Technologies Conference*. Estambul, 2011.
- [11] I. Korkut, M. A. Donertas. The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling. *Materials and Design*, 28 (2007), pp. 308-312.
- [12] E. M. Rubio, A. M. Camacho, J. M. Sánchez-Sola and M. Marcos. Surface roughness of AA7050 alloy turned bars: Analysis of the influence of the length of machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163 (2005), pp. 682-689.
- [13] R. M. Rashad, T. M. El-Hossainy. Machinability of 7116 Structural Aluminum Alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 21 (2006), pp. 23-27.
- [14] M. Batista, J. Salguero, A. Gómez, M. Álvarez and M. Marcos. Image based analysis evaluation of the elements of secondary adhesion wear in dry turning of aluminum alloys. *Advanced Materials Research*, 498 (2012), pp. 133-138.
- [15] J. M. Sánchez, E. Rubio, M. Álvarez, M. A. Sebastián and M. Marcos. Microstructural characterisation of material adhered over cutting tool in the dry machining of aerospace aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165 (2005), pp. 911-918.
- [16] H. Gökkaya, A. Taskesen. The effects of cutting speed and feed rate on Bue-Bul formation, cutting forces and surface roughness when machining AA6351 (T6) Alloy. *Journal of Mechanical Engineering*, 54 (2008), pp. 521-530.
- [17] H. Gökkaya. The effects of machining parameters on cutting forces, surface roughness, Built-Up Edge (BUE) and Built-Up Layer (BUL) during machining AA2014 (T4) Alloy. *Journal of Mechanical Engineering*, 56 (2010), pp. 584-593.
- [18] G. List, M. Nouari, D. Géhin, S. Gomez, J. P. Manaud, Y. Le Petitcorps and F. Girot. Wear behaviour of cemented carbide tools in dry machining of aluminium alloy. *Wear*, 259 (2005), pp. 1177-1189.
- [19] J. Salguero, J. Gerez, M. Batista, J. E. Garófano and M. Marcos. A study of macrogeometrical deviations in the dry turning of UNS R56400 Ti Alloy. *Applied Mechanics and Materials*, 152-154 (2012), pp. 613-617.
- [20] F. J. Trujillo, L. Sevilla, J. Salguero, M. Batista and M. Marcos. Parametric potential model for determining the micro-geometrical deviations of horizontally dry-turned UNS A97075 (Al-Zn) alloy. *Advanced Science Letters* 19 (2013), pp. 731-735.