

Desgaste de una herramienta cerámica BIDEMICS en el maquinado del acero AISI 316L

BIDEMICS ceramic tool wear in the machining of AISI 316L steel

Ricardo del Risco-Alfonso^{I,*}, Roberto Pérez-Rodríguez^{II}, Arturo Molina^{III},
Ramón Quiza-Sardiñas^{IV}

I. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas, CEEFREP. Camagüey. Cuba

II. Universidad de Holguín, Centro de Estudios CAD/CAM. Holguín, Cuba

III. Tecnológico de Monterrey. Ciudad de México, México

IV. Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba

*Autor de correspondencia: ricardo.delrisco@reduc.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 3 de septiembre de 2018

Aceptado: 2 de noviembre de 2018

Resumen

Las nuevas herramientas cerámicas destinadas al maquinado de materiales termo resistentes, pueden ser una opción viable para el maquinado de los aceros inoxidable austeníticos. El presente trabajo tuvo como objetivo mostrar los resultados del comportamiento, desde el punto de vista del desgaste, de una herramienta cerámica BIDEMICS, durante el maquinado en seco y utilizando Mínima Cantidad de Lubricante (Minimum Quantity of Lubricant, MQL), del acero AISI 316L. Se desarrolló un experimento factorial completo, basado en una operación de torneado en seco y

con MQL de una barra de 25 mm de diámetro, variando la velocidad de corte en tres niveles, 200 m/min, 300 m/min y 400 m/min y el avance en tres niveles 0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev y 0,2 mm/rev. En el estudio se valoró el comportamiento al desgaste de esta herramienta y se determinaron los modelos que describen la velocidad inicial de desgaste.

Palabras claves: herramienta de corte, cerámica, desgaste, AISI 316L, velocidad inicial de desgaste.

Abstract

The new ceramic tools, intended for the machining of thermo resistant materials, can be a viable option for the machining of austenitic stainless steels. The present work aims to show the results of the behavior from the wear point of view, of a ceramic tool BIDEMICS, during the machining in dry and using Minimum Quantity of Lubricant (MQL), of the steel AISI 316L. An experiment based on a dry turning operation with MQL of a bar of 25 mm in diameter was

developed, varying the cutting speed in three levels, 200 m/min, 300 m/min and 400 m/min and the advance in three levels 0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev and 0,2 mm/rev. In the study, the wear behavior of this tool was evaluated and the models that describe the initial wear rate were determined.

Key words: cutting tool, ceramic, wear, AISI 316L, primary wear velocity..

Cómo citar este artículo:

del Risco Alfonso R, Pérez Rodríguez R, Molina A, et al. Desgaste de una herramienta cerámica BIDEMICS en el maquinado del acero AISI 316L. Ingeniería Mecánica. 2019;22(1):41-48. ISSN 1815-5944.

Introducción

El acero inoxidable AISI 316L es una de las aleaciones que cumple con las exigencias para ser utilizado como material para la fabricación de implantes, dadas sus excelentes propiedades mecánicas y anticorrosivas, lo que posibilita su empleo específico en esta rama [1]. Sin embargo, están considerados entre los materiales de difícil maquinabilidad.

Para la elaboración mecánica de estos aceros, la literatura consultada refleja el empleo de una amplia gama de herramientas de corte, que van desde los carburos cementados con y sin recubrimientos, hasta las de nitruro de boro cúbico (CBN), y con menor frecuencia, se encuentran las de cerámica. En la actualidad, se reporta el desarrollado de nuevas herramientas pertenecientes a la familia de las cerámicas, entre ellas las denominadas BIDEMICS, diseñadas para el maquinado de materiales termo resistentes que en su mayoría se comportan con un grado de dificultad mayor en su maquinabilidad respecto a los aceros inoxidable austeníticos. Constituye un campo de investigación, el análisis del comportamiento al desgaste de estas herramientas, al ser utilizadas en el maquinado por arranque de virutas.

Según [2], el acero AISI 316L es un material considerado como de difícil maquinabilidad y baja conductividad térmica, lo que provoca que exista un sobre calentamiento en la punta de la herramienta y propicia el desarrollo de elevadas tensiones superficiales. No obstante, se plantea que con la utilización de altas velocidades de corte y simultáneamente, una menor profundidad de corte con un menor avance, se obtienen menores fuerzas en el sistema herramienta-pieza y con ello se alarga la vida útil de la herramienta de corte.

El estudio experimental realizado por [3], tuvo como objetivo investigar la evolución del desgaste del flanco respecto al tiempo de maquinado de dos insertos de carburo recubierto, durante el torneado de acabado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L. Como conclusión, los autores señalan que el desgaste del flanco aumentó con el tiempo de maquinado para las velocidades de corte utilizadas en el estudio. También señalan que el desgaste del flanco tuvo un mejor comportamiento para el avance de 0,08 mm/rev en todas las velocidades de corte utilizadas en el estudio. Se demostró que el avance de corte y el tiempo de maquinado tienen un efecto significativo, para un nivel de confianza del 95 %.

De manera similar, en [4], se concluye que en el maquinado en seco del acero AISI 304, el desgaste del flanco de la herramienta decrece con el incremento de la velocidad de corte por encima de los 180 m/min y que el empeoramiento del desempeño de la misma se explica por su ablandamiento térmico, debido al calor generado y la mala disipación térmica a bajas velocidades de corte. Del mismo modo, los valores de la rugosidad superficial decrecen con el incremento de la velocidad de corte, considerando la negativa influencia de la formación del filo recrecido a bajas velocidades de corte.

El torneado en seco de los aceros AISI 304 y AISI 316 se ensayó en [5], con herramientas de carburo con recubrimientos multicapas (TiC/TiCN/TiN y TiCN/TiC/Al₂O₃) a velocidades de corte entre 120 y 210 m/min, con valores de profundidad de corte y avances constantes, concluyéndose que, con el incremento del valor de la velocidad de corte, los valores de la rugosidad superficial decrecieron hasta un valor mínimo. Además, se evidenció que el deterioro de la rugosidad superficial a bajas velocidades se atribuye a la mayor tendencia de formación del filo recrecido.

Según [6], las herramientas cerámicas están formadas por grano fino (<3 µm) de partículas de Al₂O₃. Al igual que los carburos cementados, se obtienen por procesos de sinterización, pero su costo es mayor comparado con el de los carburos. Las cerámicas son resistentes a la formación del cráter provocado por el desgaste. Normalmente, son usadas sin refrigerante y duplican la vida útil de los carburos a los mismos regímenes de trabajo. Las herramientas cerámicas son utilizadas en una amplia gama de materiales, ferrosos y no ferrosos, sin embargo, se plantea que no son convenientes para mecanizar el Al, el Ti y otros materiales que químicamente reaccionan con la alúmina.

En estudios realizados por [7, 8] en el torneado de aceros inoxidables con herramientas cerámicas y de CBN durante el maquinado en seco, se mostró que el mecanismo de desgaste que predomina en la herramienta cerámica es el desgaste abrasivo y que el parámetro que más incide en el mismo es la velocidad de corte.

En [9] se comparó el comportamiento de herramientas cerámicas con nano partículas y herramientas cerámicas tradicionales reforzadas con micro partículas de TiC en el maquinado de aceros inoxidables austeníticos usando refrigerante. Esta herramienta mostró mejor resistencia al desgaste que la reforzada con micro partículas de TiC, los principales fallos fueron la fractura del filo y el descascaramiento del mismo.

Por su parte, en [10] se obtiene un desgaste severo en la punta de una herramienta cerámica Wisker al maquinar el acero AISI 316L, utilizando lubricante con nano partículas. En [11] se presenta un estudio del comportamiento de una herramienta cerámica de base alúmina y zirconio con la adición de MgO como aditivo, en el maquinado en seco del acero inoxidable austenítico 316L. Los resultados demostraron que se produjo un desgaste en el flanco, en la punta de la herramienta y, además, la astilladura del filo. El desgaste se incrementa con el aumento de la velocidad de corte y la astilladura con el incremento del avance. El descascaramiento fue la falla que predominó en todo el experimento. En otro estudio realizado por [12] en el maquinado del mismo material y con la misma herramienta que el utilizado por [11], pero en el maquinado de alta velocidad y en seco, demostraron que el desgaste de la herramienta se incrementa con el aumento de la velocidad de corte debido al incremento del desgaste abrasivo en la punta.

Por último, en [13] se utilizó la misma herramienta cerámica que en el estudio precedente [11], pero esta vez con una capa de recubrimiento de TiN y se analizó el efecto sobre el desgaste de la herramienta al maquinar el acero inoxidable austenítico 316L. Los resultados mostraron una mejora en términos de área promedio de desgaste. No obstante, el promedio de desgaste del flanco en la herramienta cerámica ZTA con el recubrimiento, es aún mayor que la de los insertos de Si₃N₄ disponibles, lo cual puede atribuirse a la baja resistencia de la capa de recubrimiento.

El presente trabajo tuvo como objetivo, mostrar los resultados obtenidos durante del estudio de comportamiento en cuanto al desgaste de una herramienta cerámica, denominada BIDEMICS (RNGN 120700E004 JX1), durante una operación de cilindrado en seco y con el uso de MQL, sobre una barra de acero AISI 316L. Para el estudio se varió la velocidad de corte en tres niveles y el avance en tres niveles, acorde a los valores recomendados por el fabricante. En la investigación se obtuvo el modelo que describe la velocidad inicial de desgaste y se demuestra la factibilidad del uso de estas herramientas en el maquinado del acero AISI 316L.

Métodos y Materiales

La investigación consistió en caracterizar la zona de desgaste del flanco de la herramienta de corte en una operación de torneado en dos niveles de lubricación. Para esto fue utilizado microscopía óptica de barrido y a partir de la medición de la magnitud de desgaste, se obtuvo la velocidad inicial del desgaste por regresión lineal.

Material de la pieza

Para la realización del trabajo fue utilizada una barra de acero inoxidable AISI 316L de 25 mm de diámetro. En la tabla 1 se puede apreciar la composición química del material utilizado, obtenidas en un microscopio de barrido electrónico EVO MA25 de Zeiss. este equipo permite una altura máxima de muestra de 210 mm con un peso máximo de 5 kg y un diámetro máximo de 300 mm. Tiene un soporte para dos cámaras y permite un aumento de 5 a 1000000 x, la tensión de aceleración es de 0.2 a 30 kV, presenta un microscopio electrónico tipo SEM y un campo de visión de 6 mm en la distancia de trabajo analítico. La dureza promedio es de 217 HB, obtenida con un durómetro Wilson Rockwell, este equipo tiene una pre carga de 10 kgf ($\approx 100\text{N}$) y una carga principal de 60, 100, 150 kgf ($\approx 600, 10000$ y 15000 N), tiene varias escalas de dureza: HRA, HRB, HRC, HRD, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK, HRL, HRM, HRP, HRR, HRS, HRV). Datos de salida a través de puerto USB o RS232 y cumple con las normas ASTM E18, ASTM D785, ASTM B294, ISO 6508, JIS Z 2245, GB/T 230.

Tabla 1. Composición del acero AISI 316L utilizado

	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% P	% S	% Mo
AISI 316L	0,028	1,34	0,35	18,8	12,54	0,01	<0,0008	2,69

Herramienta de corte

La herramienta utilizada fue un inserto BIDEIMICS de la familia de las cerámicas, con código RNGN120700E004 JX1, diseñada especialmente para el maquinado de aleaciones termo resistentes. Es un inserto redondo de 12,7 mm de diámetro y 7,94 mm de espesor, con un radio de redondeo del filo de 0,04 mm y el ángulo de ataque y de incidencia es de 0° . Una vez montado en el porta calzo, el ángulo de ataque es de -50° y el de incidencia de 50° . El inserto no posee recubrimiento, lo cual se demostró en el análisis de composición química realizada en diferentes puntos de la superficie y en el interior, figura 1 y cuyos resultados se muestran en la tabla 2.

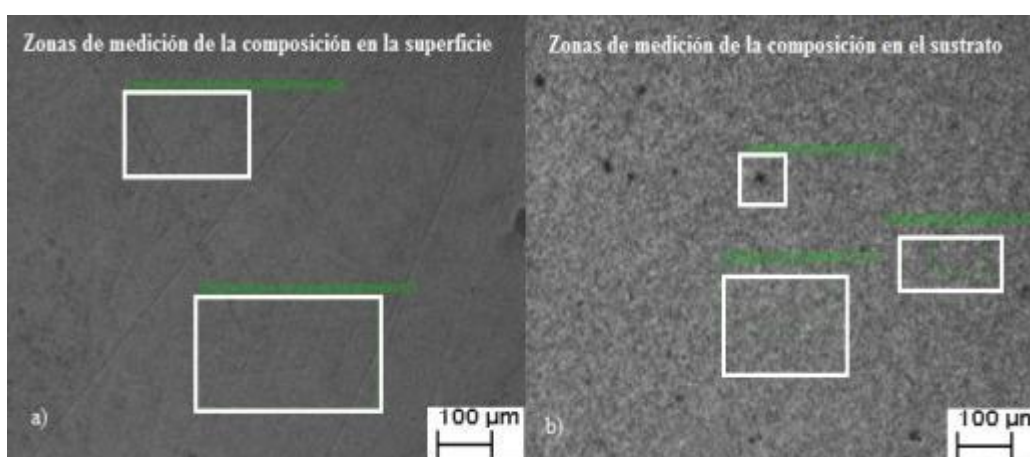


Fig. 1. Microestructura de la herramienta con ampliación de 127X.
a) Parte externa. b) Parte interna

Tabla 2. Composición química de la herramienta

	% W	% O	% Al	% C	% Zr
Parte externa	55,23	18,78	16,12	6,4	3,45
Parte interna	56,22	17,94	17,33	4,92	3,57

A las herramientas se les realizó una inspección del filo con la ayuda del microscopio Olympus SZH, con el objetivo de verificar la integridad del mismo. Se comprobó que el filo de corte estaba en buen estado.

Equipamiento utilizado

Como máquina herramienta fue utilizada un torno CNC HAAS ST10 con una capacidad máxima de 356x406 mm, 11,2 kW de potencia y 6000 rpm en el husillo. Sobre la torreta portaherramientas se montó un dinamómetro Kistler 9257B para la medición de las fuerzas de corte, figura 2. La fuerza F_y se corresponde con la fuerza de corte, F_x con la fuerza axial y F_z con la fuerza radial.

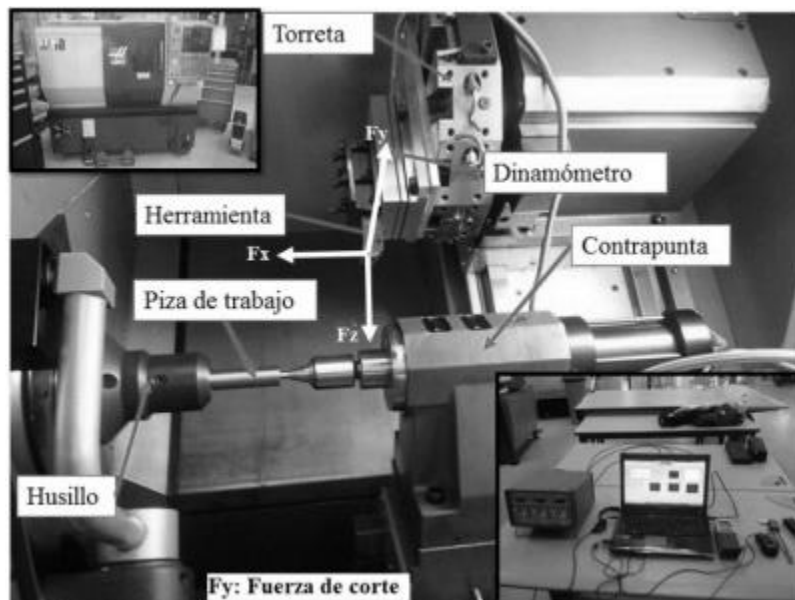


Fig. 2. Estación experimental

Realización de los experimentos

La investigación consistió en determinar el comportamiento al desgaste de la herramienta en una operación de torneado sobre una barra de acero AISI 316L. La velocidad de corte se varió en tres niveles, 200 m/min, 300 m/min y 400 m/min, y el avance también se varió en tres niveles, 0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev y 0,2 mm/rev, la profundidad de corte y la longitud de maquinado permanecieron constantes e iguales a 0,5 mm y 110 mm respectivamente. Se realizaron tres réplicas para un total de 54 corridas experimentales, 27 para cada régimen de lubricación (seco y con el uso de MQL). En el caso del MQL fue utilizado un lubricante vegetal TRI-COOL MD-1, destinado a operaciones de corte de metales ferrosos y no ferrosos. El tipo MD-1 tiene un aditivo sin cloro, estable al calor y de presión extrema para mejorar la vida de la herramienta y el acabado de la pieza [14].

Tomando como referencia varios trabajos realizados con anterioridad donde fue utilizado el MQL, como son el caso de [15-17], para el presente estudio se aplicó una presión del lubricante sobre la cara de desprendimiento de la herramienta de 0,35 MPa a través de una boquilla de 0,8 mm de diámetro; se fijó un consumo de aceite de 50 ml/h. Los parámetros de corte seleccionados están en correspondencia con los recomendados por el fabricante [18], con la diferencia de que el mismo propone utilizar la herramienta con régimen de lubricación y este estudio se realizó en seco y con el uso de MQL, pues constituía un objetivo analizar el comportamiento de dichas herramientas en estos ambientes de fabricación. Se realizaron pasadas de ajuste para comprobar las condiciones de experimentación. En cada corrida fue medida la magnitud de del desgaste del flanco y analizada la composición química en la superficie de desprendimiento.

Resultados y Discusión

En las figuras 3 a) y 3 b), se puede observar el desgaste de la herramienta en la zona de desprendimiento y del flanco para la menor velocidad de corte y el menor avance (200 m/min y 0,1 mm/rev). En las Figuras 3 c) y 3 d) el desgaste para la máxima velocidad de corte y el máximo avance (400 m/min y 0,2 mm/rev), para el maquinado en seco.

En las Figuras 4 a) y 4 b), se observa el desgaste de la herramienta en la zona de desprendimiento y del flanco para la menor velocidad de corte y el menor avance (200 m/min y 0,1 mm/rev). Las Figuras 4 c) y 4 d), permiten apreciar el desgaste para la máxima velocidad de corte y el máximo avance (400 m/min y 0,2 mm/rev), para el maquinado en MQL.

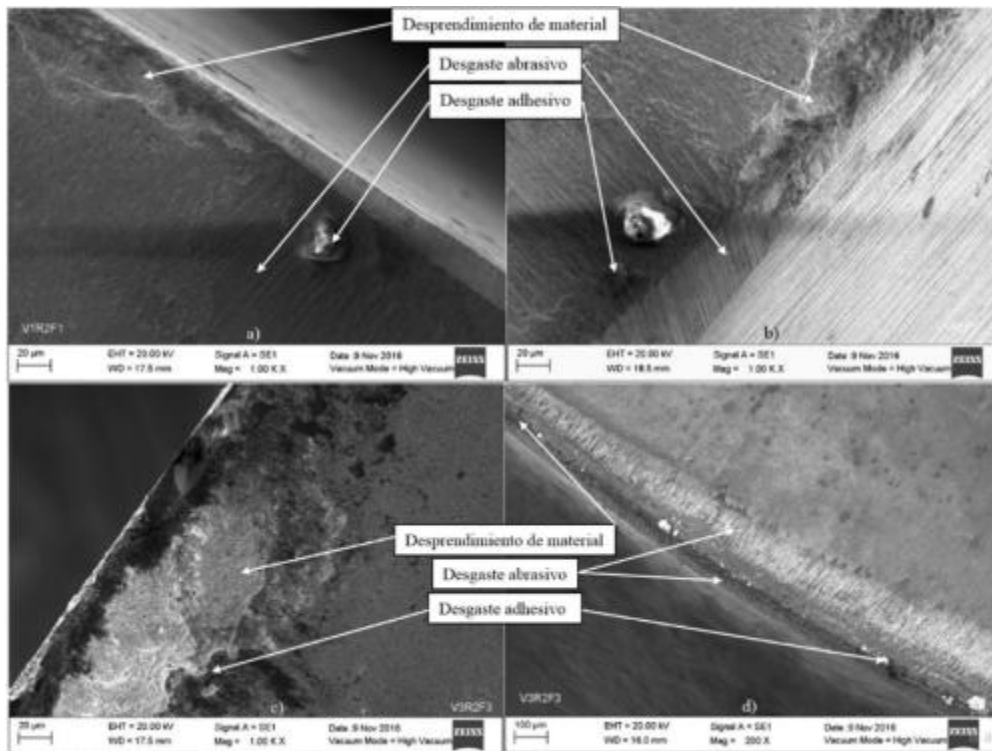


Fig. 3. Desgaste de la herramienta para el maquinado en seco. a) Desgaste para $V_c=200$ m/min y $f=0,1$ mm/rev en la zona de desprendimiento, b) Desgaste para $V_c = 200$ m/min y $f = 0,1$ mm/rev en el flanco, c) Desgaste para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev en la zona de desprendimiento, d) Desgaste para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev en el flanco

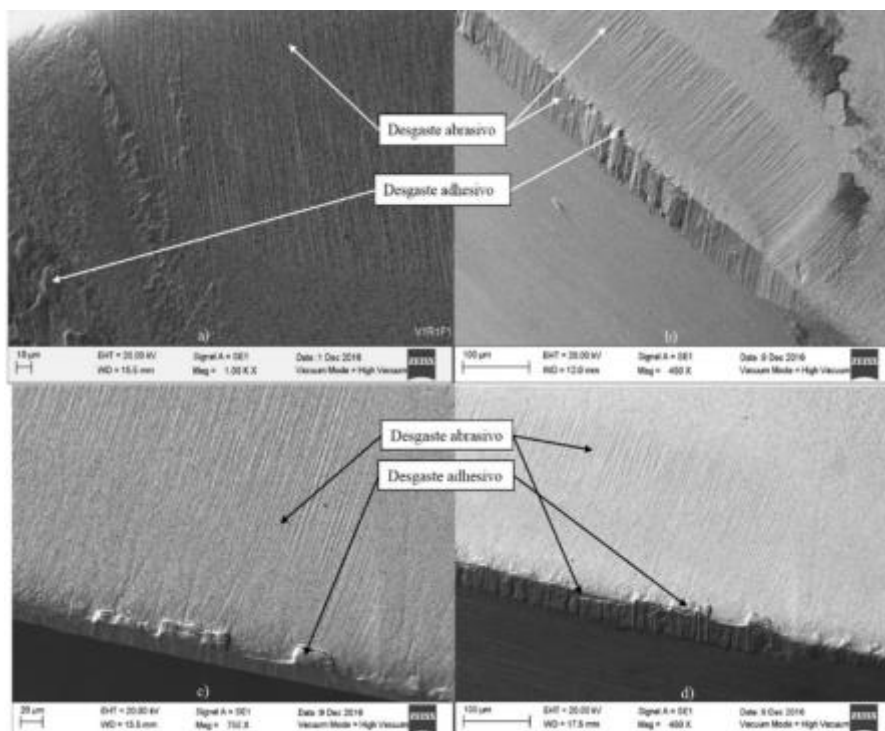


Figura 4. Desgaste de la herramienta para el maquinado con MQL. a) Desgaste para $V_c=200$ m/min y $f=0,1$ mm/rev en la zona de desprendimiento, b) Desgaste para $V_c=200$ m/min y $f=0,1$ mm/rev en el flanco, c) Desgaste para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev en la zona de desprendimiento, d) Desgaste para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev en el flanco.

Comparando las figuras 3 y 4, se puede observar cómo el desgaste de la zona de desprendimiento fue más brusco que en el flanco de la herramienta, para el caso del maquinado en seco, predominando el desprendimiento del material en esa superficie. Esto se corresponde con lo reportado por otros estudios [11-13], aunque también se pueden apreciar zonas de desgaste abrasivo y desgaste adhesivo, este último fue demostrado por el estudio de composición química realizado en varias zonas de la herramienta mediante el

análisis de microscopía electrónica de barrido, figura 5, y cuya composición química en dichas zonas se presenta en la tabla 3. Al realizar una comparación, se puede observar que, para los mismos regímenes de corte utilizando el MQL, prácticamente no se aprecia el desprendimiento de material y se mantiene el desgaste abrasivo y adhesivo, pero en menor medida.

Tabla 3. Composición química en los diferentes puntos de la superficie de desprendimiento para el maquinado en seco (MQL)

		% C	% W	% O	% Al	% Zr	% Fe	% Cr	% Ni	% Mn	% Si	% Mo
Seco	Punto 1	3,70					62,13	12,79	12,05	1,90	0,80	2,1
	Punto 2	5,54	55,74	18,7	16,33	3,30						
	Punto 3	6,16	56,49	17,26	15,47	3,10						
MQL	Punto 1	5,52	27,87	38,72	22,59	5,30						
	Punto 2	6,35	40,82	21,44	17,30	2,23	1,73					
	Punto 3	4,53	33,79	35,83	24,23	1,61						
	Punto 4	55,62		12,60			23,15	4,10	2,14	1,01	0,24	1,1

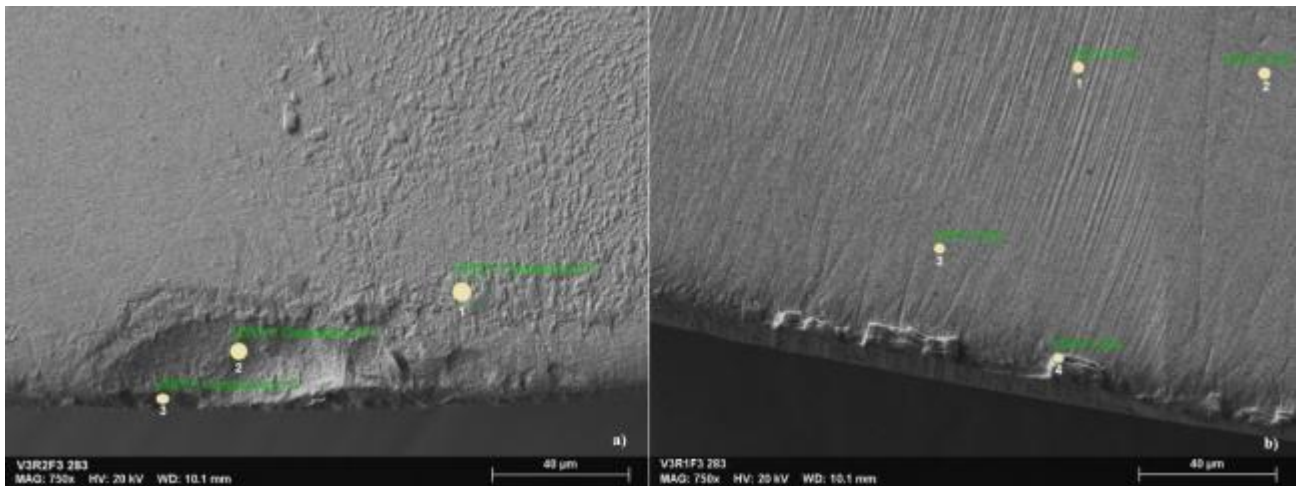


Figura 5. Composición química en diferentes puntos de la zona de desgaste en la superficie de desprendimiento. a) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev durante el maquinado en seco, b) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev durante el maquinado con MQL

Por último, se puede apreciar en la figura 6, que fue mayor la magnitud del desgaste del flanco durante el trabajo en seco que con MQL. También se puede observar en el caso del maquinado en seco, que para la velocidad de 400 m/min, al aumentar el avance se tiende a reducir la aparición del descascaramiento en la superficie de desprendimiento.

Si se toma en consideración que la longitud de maquinado fue constante, se definió la velocidad inicial de desgaste para ambos regímenes de lubricación y se obtuvieron, por regresión lineal, las ecuaciones que la definen y que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Modelos de velocidad de corte obtenidos

Régimen de lubricación	Ecuación de la velocidad inicial de desgaste	R ²
Seco	$V_{vb} = \frac{V_c^{1,51805} * f^{0,819879}}{e^{8,08722}}$	0,99
MQL	$V_{vb} = \frac{V_c^{1,42} * f^{0,911}}{e^{7,752}}$	0,92

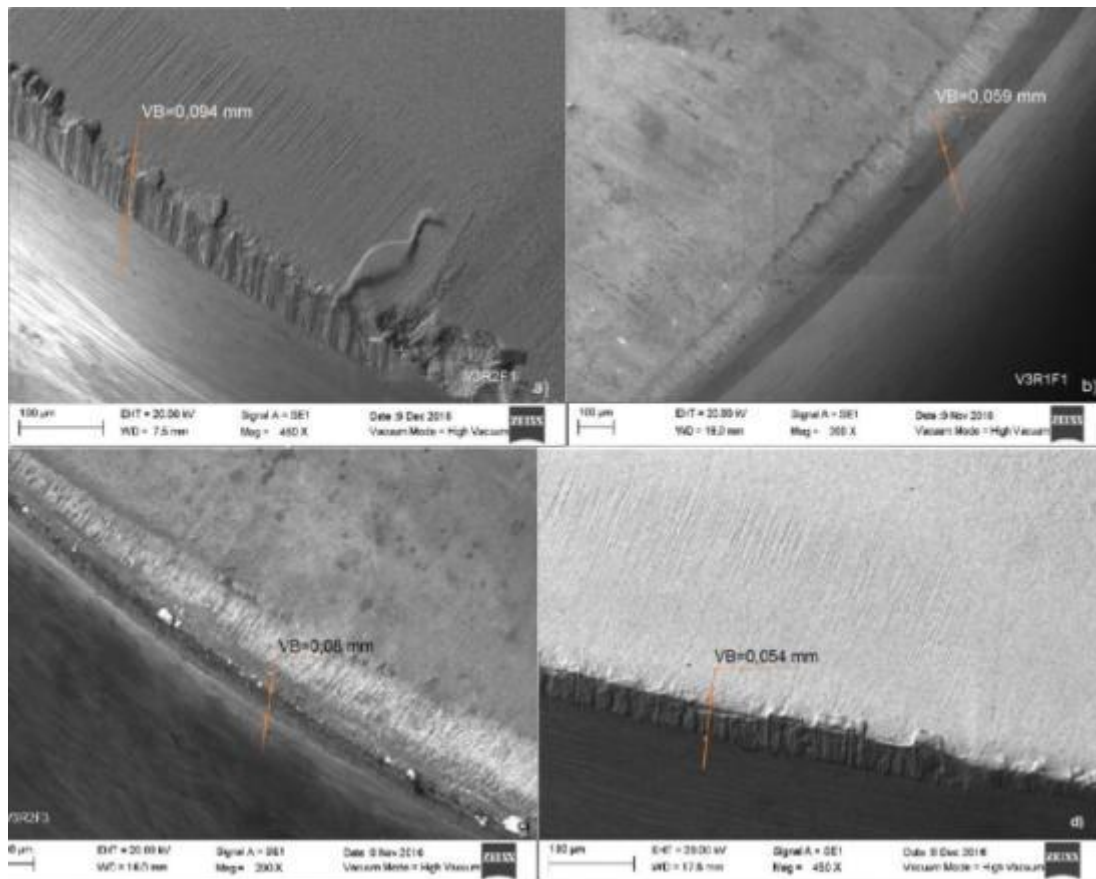


Fig. 6. Desgaste del flanco. a) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,1$ mm/rev en seco, b) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,1$ mm/rev con MQL, c) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev en seco y d) Para $V_c = 400$ m/min y $f = 0,2$ mm/rev con MQL

La figura 7 permite apreciar, cómo la velocidad inicial de desgaste para ambos regímenes de lubricación se incrementa con el aumento de la velocidad de corte, lo cual se corresponde con lo planteado en la teoría del corte de metales, siendo esta menor durante el maquinado utilizando MQL.

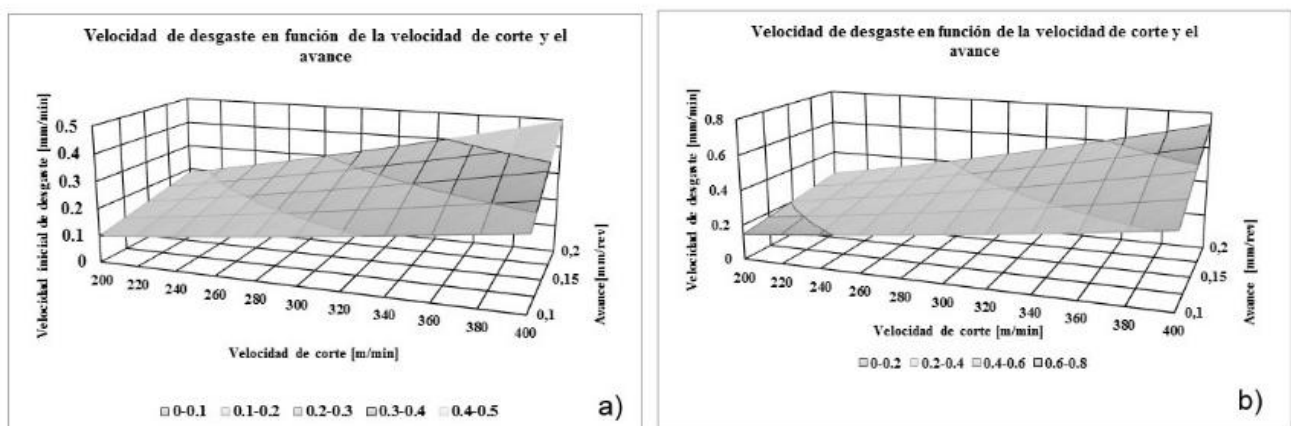


Fig. 7. Comportamiento de la velocidad inicial del desgaste para a) Maquinado con MQL y b) Maquinado en seco

Se demostró que es factible el uso de estas herramientas cerámicas en el maquinado de aceros inoxidables austeníticos, donde el tipo de desgaste y su magnitud es similar al reportado por otros estudios con otras herramientas, siendo incluso menor con el uso de MQL.

Conclusiones

Se demostró que es factible el uso de estas herramientas cerámicas en el maquinado de aceros inoxidables austeníticos, donde el tipo de desgaste y su magnitud es similar al reportado por otros estudios con otras herramientas, siendo incluso menor con el uso de MQL.

El desgaste predominante observado fue el abrasivo, el adhesivo y el descascaramiento en la superficie de desprendimiento, sin embargo, con el uso del MQL este último prácticamente desaparece, pudiendo esto estar provocado por la reducción del coeficiente de fricción y la reducción de la temperatura en esa zona. En ambos casos se observa que, al incrementarse tanto la velocidad de corte como el avance, se incrementa la velocidad inicial de desgaste, siendo la velocidad de corte la de mayor influencia. Con el incremento del avance en el maquinado en seco, tiende a reducirse la aparición del descascaramiento en la superficie de desprendimiento de la herramienta.

Referencias

- Muthukumar, V. Experimental investigation on corrosion and hardness of ion implanted AISI 316L stainless steel. *Materials & Design*. 2010;31(6):2813-17.
- Galanis NI, Manolagos DE Forces Measurement in Turning of Femoral Heads from AISI 316L stainless steel. *Journal of Manufacturing Technology Research*. 2010;2(1-2):1-16.
- Morales, Y. Comportamiento del desgaste del flanco en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L. *Ingeniería Mecánica*. 2013;16(3):238-45.
- Korkut I, Kasap M. Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*. 2004;25(4):303-5.
- Ibrahim C. Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. *Tribology International*. 2006;39(6):565-69.
- Helmi AY. *Machining of Stainless Steels and Super Alloys. Traditional and Nontraditional Techniques*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd; 2016.
- Sobiyi K, Sigala, I. Performance of mixed ceramics and CBN tools during hard turning of martensitic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015;77(5-8): 861-71.
- Kumar AS, Raja Durai A, Sornakumar T. The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006;173(2):151-6.
- Yin Z, Huang C, Yuan J, et al. Cutting performance and life prediction of an Al₂O₃/TiC micro-nano-composite ceramic tool when machining austenitic stainless steel. *Ceramics International*. 2015;45(5):7059-65.
- Rajmohan T, Sathishkumar SD, Palanikumar K. Effect of a nanoparticle-filled lubricant in turning of AISI 316L stainless steel (SS). *Particulate Science and Technology*. 2017;35(2):201-8.
- Mohd AA, Ahmad AAZ. Wear Analysis of ZTA-Mgo Ceramic Cutting Inserts on Stainless Steel 316L Machining. *Advanced Materials Research*. 2015;1087:101-5.
- Mohd A A, Abdullah NS, Ratnam M, et al. The Cutting Speed Influences on Tool Wear of ZTA Ceramic Cutting Tools and Surface Roughness of Work Material Stainless Steel 316L During High Speed Machining. *Materials Science Forum*. 2016;840:315-320.
- Ahmad Azhar Z. Effects of TiN Single Layer Coating on the Wear of ZTA Cutting Inserts and Surface Roughness of Workpiece. *Materials Science Forum*. 2017;888:52-6.
- Multicam, complete CNC solutions. Tri-Cool MD-1. Ohio, USA: MultiCam Great Lakes' Regional Office and Technology Center; 2018. [Citado 12 de diciembre de 2018] Disponible en: <https://www.multicamgl.com/product/tri-cool-md-1/>
- Leppert T, Peng RL. Residual stresses in surface layer after dry and MQL turning of AISI 316L steel. *Production Engineering*. 2012;6(4-5):367-74.
- Murat M, Güllü A. Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*. 2014;65(15):604-16.
- Rotella G, Dillon OW, Umbrello D, et al. The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014;71(1-4):47-55.
- NTK Cutting Tools USA. New Product. Vol. 2. USA: NGK SPARK PLUGS; 2016.. [Citado 12 de diciembre de 2018] Disponible en: <http://www.ntkcuttingtools.com/jp/>