

Análisis del deterioro de una herramienta cerámica en el maquinado del acero AISI 316L

Damage analysis of a ceramic tool in the machining of AISI 316L steel

Ricardo del Risco Alfonso^{1,*}, Roberto Pérez Rodríguez², Marcelino Rivas Santana³, Ramón Quiza Sardiñas³, Patricia del Carmen Zambrano Robledo⁴

¹Universidad de Camagüey, Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFREP). Carretera Circunvalación Norte km 5 ½. Camagüey, Cuba.

²Universidad de Holguín. Centro de Estudios de CAD/CAM, Campus “Oscar Lucero Moya”, Avenida XX Aniversario s/n, Piedra Blanca. Holguín, Cuba.

³Universidad de Matanzas. Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS). Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3. Matanzas, Cuba.

⁴Dirección de Investigación, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Manuel L. Barragán 4904, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza. Nuevo León, México.

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

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](#)



Recibido: 17 mayo 2021 Aceptado: 1 junio 2021 Publicado: 1 de septiembre 2021

Resumen

Los procesos de corte de metales por arranque de virutas tienen un protagonismo importante en la industria de la construcción de maquinaria. Por tanto, es fundamental la mejora continua de estos procesos para alcanzar los niveles óptimos de productividad, calidad y costos de producción. Un elemento clave en estos procesos lo constituye la herramienta de corte. En la industria son utilizados con mucha frecuencia, aceros inoxidables, material considerado de mala maquinabilidad, y que durante su elaboración por arranque de virutas provoca un deterioro considerablemente de la herramienta. Ello motiva el constante desarrollo de herramientas de corte, como es el caso de las herramientas BIDEMICS perteneciente a la familia de las cerámicas, diseñadas especialmente para el maquinado de aleaciones termo resistentes. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento del desgaste de una herramienta cerámica BIDEMICS durante el maquinado de aleaciones termo resistentes. Se analiza, a partir de un estudio en la zona de desprendimiento de los principales tipos de desgaste presentes durante el maquinado en seco y con el uso de Mínima Cantidad de Lubricante (MQL) y la relación entre la velocidad inicial del desgaste con los parámetros del régimen de corte. Las variables independientes del proceso fueron la velocidad de corte en tres niveles (100, 200 y 300) m/min y el avance en tres niveles (0,1; 0,2 y 0,3) mm/r. La profundidad de corte se mantuvo constante en 0,5 mm. Se demostró las potencialidades de esta herramienta de corte para maquinar este tipo de aleaciones.

Palabras clave: ASI 316L, BIDEMICS, progresión inicial de desgaste

Abstract

Metal cutting processes by chip removal play an important role in the machine building industry. Therefore, continuous improvement of these processes is essential to achieve optimal levels of productivity, quality and production costs. A key element in these processes is the cutting tool. In the

industry, stainless steels are used very frequently, a material considered to be poor in machinability, and which during its processing by chip removal causes a considerable damage of the tool. This motivates the constant development of cutting tools, such as the BIDEMICS tools, belonging to the ceramic family, specially designed for machining heat resistant alloys. The present work aims to analyze the wear behavior of a BIDEMICS ceramic tool during the machining of heat resistant alloys. It is analyzed, from a study in the detachment zone, of the main types of wear present during dry machining and with the use of Minimum Quantity of Lubricant (MQL) and the relationship between the initial speed of wear with the parameters of the cutting regime. The independent process variables were the cutting speed at three levels (100; 200 and 300 m/min) and the feed at three levels (0.1; 0.2 and 0.3 mm/r). The depth of cut was kept constant and equal to 0.5 mm. The potential of this cutting tool to machine this type of alloys was demonstrated.

Keywords: ASI 316L, BIDEMICS, initial wear progression

1. Introducción

Las aleaciones termorresistentes, en su mayoría se caracterizan por tener una mala maquinabilidad, la cual afecta considerablemente la herramienta, provocando un desgaste severo y afectando la vida útil de las mismas. Panigrahi *et al.* [1] plantean que el desgaste de la herramienta es un factor importante a tener en cuenta durante el mecanizado. Afirman que para el caso del maquinado de aleaciones termorresistentes, los principales mecanismos de desgaste que se aprecian en la herramienta son: la difusión, la adhesión y las grietas térmicas. Por su parte Bushlya, *et al.* [2] esbozan que al maquinar una aleación de Inconel 718 en una operación de tornado de alta velocidad con herramientas de PCBN, los desgastes químicos y el abrasivo fueron los predominantes y que su magnitud tiene una relación directa con la velocidad de corte.

Autores como Sun. *et al.* [3] estudiaron entre otros elementos, los mecanismos de desgaste de las herramientas cerámicas SIALON en el fresado de alta velocidad de una superaleación a base de Fe/Ni GBT GH4099. En comparación con las herramientas de carburo cementado, la eficiencia de mecanizado de las herramientas de cerámica SIALON aumentó en más de 16 veces. Los mecanismos de desgaste de dichas herramientas demostraron un efecto combinado de desgaste abrasivo, adhesivo, difusivo y químico. El desgaste difusivo ocurrió principalmente en las caras de sus flancos, pero no constituyó el mecanismo principal de desgaste. De igual manera, Da-Wang *et al.* [4] estudiaron el mecanismo de desgaste de dos herramientas cerámicas, TiB₂-20vol% B4C (TB20) y TiB₂-80vol% B4C (TB80), en el maquinado de la aleación de titanio Ti-6Al-4V con varios parámetros de corte. El análisis mostró que el mecanismo de desgaste dominante fue el adhesivo, mientras que también se observó astillado en el caso del TB80.

Al abordar esta tipología de estudios, Memarianpour *et al.* [5] plantearon que el comportamiento de la vida útil de la herramienta, teniendo en cuenta los parámetros del régimen de corte, en el desgaste inicial de la herramienta, han recibido menos atención en comparación con las otras dos regiones de la curva de desgaste. Estos autores plantean que la selección adecuada de los parámetros del régimen de corte en los períodos iniciales de la operación de maquinado puede tender a optimizar toda la vida útil de la herramienta. En este mismo sentido, Aramesh *et al.* [6] en su estudio confirmaron la influencia significativa del estado del desgaste inicial en toda la propagación del desgaste de la herramienta de corte y la vida útil durante el mecanizado de materiales de mala maquinabilidad. Por último Duong *et al.* [7] plantean en su estudio, que las condiciones iniciales de corte afectan significativamente la vida útil de la herramienta de corte. Exponen la dependencia entre las condiciones iniciales con el mecanismo de desgaste inicial y determinan que el uso de condiciones de corte iniciales favorables, incluida la velocidad de corte inicial, la velocidad de avance inicial y la

profundidad de corte inicial dentro del primer período de desgaste, mejoran la vida útil de la herramienta.

Se concluye de estos estudios que los parámetros del régimen de corte que logren disminuir la progresión inicial del desgaste, pueden a su vez garantizar una prolongación de la vida de la herramienta de corte. Por tal motivo se investiga en este trabajo la relación de la velocidad de corte inicial con los parámetros del régimen de corte y los tipos de desgastes fundamentales que ocurren, usando las técnicas de microscopía de barrido y la modelación.

2. Materiales y Métodos

En la Figura 1 se muestra una síntesis del procedimiento experimental llevado a cabo en la investigación. El estudio se basó en el análisis del desgaste de la herramienta en la etapa inicial del maquinado, sobre probetas de 25 mm de diámetro de acero AISI 316L. Como herramienta de corte fue utilizada una herramienta cerámica BIMEDIC JX1 de la Empresa NTK Cutting Tool de nueva generación [8].

El estudio se realizó para una operación de torneado en una pasada de semiacabado. Fue utilizada como máquina herramienta un torno CNC HAAS ST10 (Figura 2). Las variables independientes presentes en el estudio fueron la velocidad de corte, la cual se varió en tres niveles (200; 300 y 400 m/min), el avance se varió en tres niveles (0,1; 0,15 y 0,2 mm/r). La profundidad de corte se mantuvo constante a 0,5 mm, al igual que la longitud de maquinado (100 mm). Se realizaron tres réplicas de los ensayos experimentales. Como variable de respuesta, a partir del desgaste inicial, se tomó la progresión inicial del desgaste (*WR*). El trabajo se realizó bajo dos condiciones de lubricación, en seco y con el uso de mínima cantidad de lubricante (MQL).

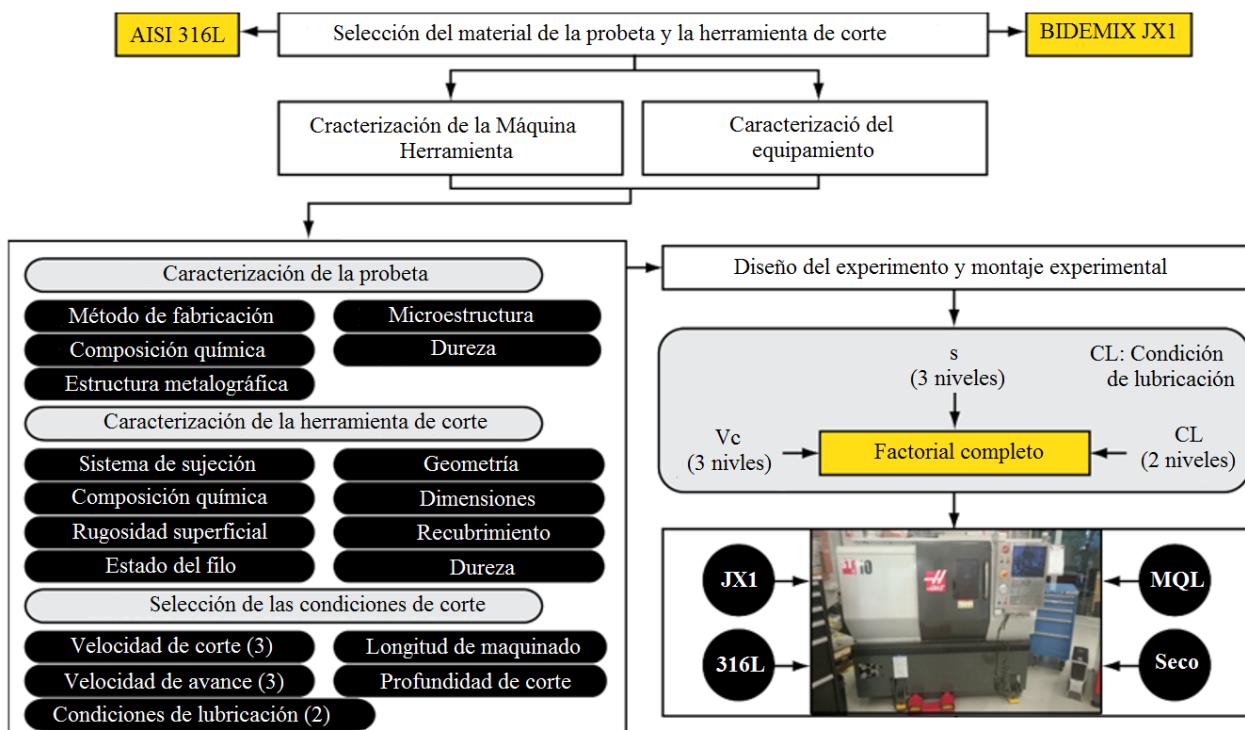


Fig.1 Procedimiento experimental

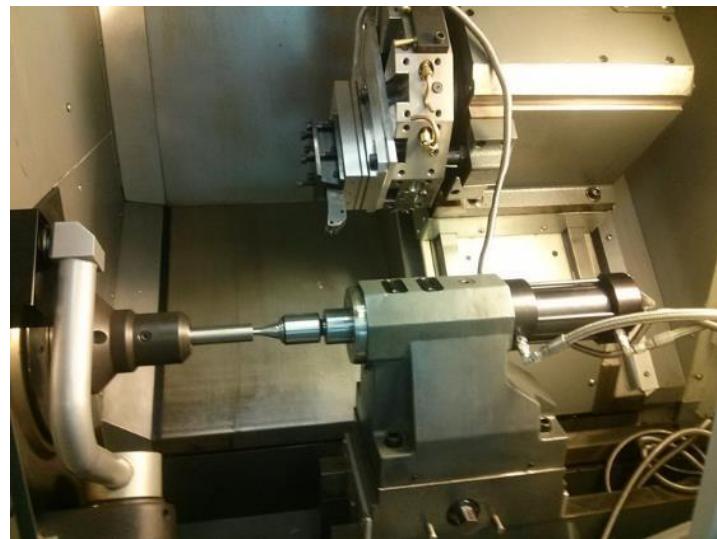


Fig.2 Estación experimental

A la probeta se le realizó el análisis de composición química con el objetivo de comprobar su composición; el análisis se realizó mediante microscopía electrónica de barrido. Los resultados demostraron que se trataba de un acero AISI 316L y dicha composición se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la aleación de la probeta utilizada

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Ni %	P %	S %
AISI 316L	0,015	0,7	1,7	18,5	2,0	14,2	0,02	0,01

Por último, a la herramienta, se le realizó una inspección del filo para comprobar su integridad como se muestra en la Figura 3.

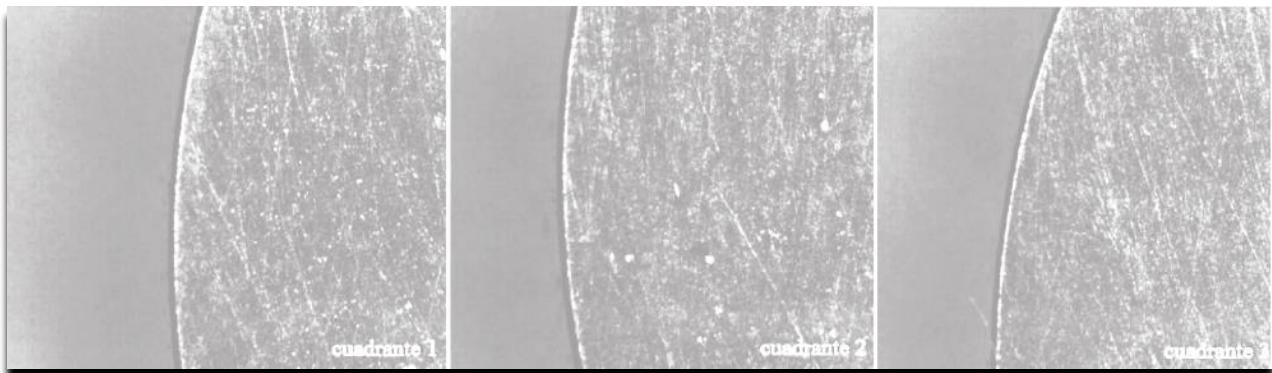


Fig.3 Inspección de los filos de corte utilizados

3. Resultados y Discusión

Durante el maquinado en seco del acero AISI 316L se pudo apreciar que la herramienta sufre desprendimiento de material en la superficie de ataque, además de desgaste abrasivo y adhesivo en la superficie de incidencia y de ataque (Figura 4 a). Sin embargo, durante el maquinado con MQL no se observa desprendimiento en ninguna de las superficies, como se observa en la Figura 4 b.

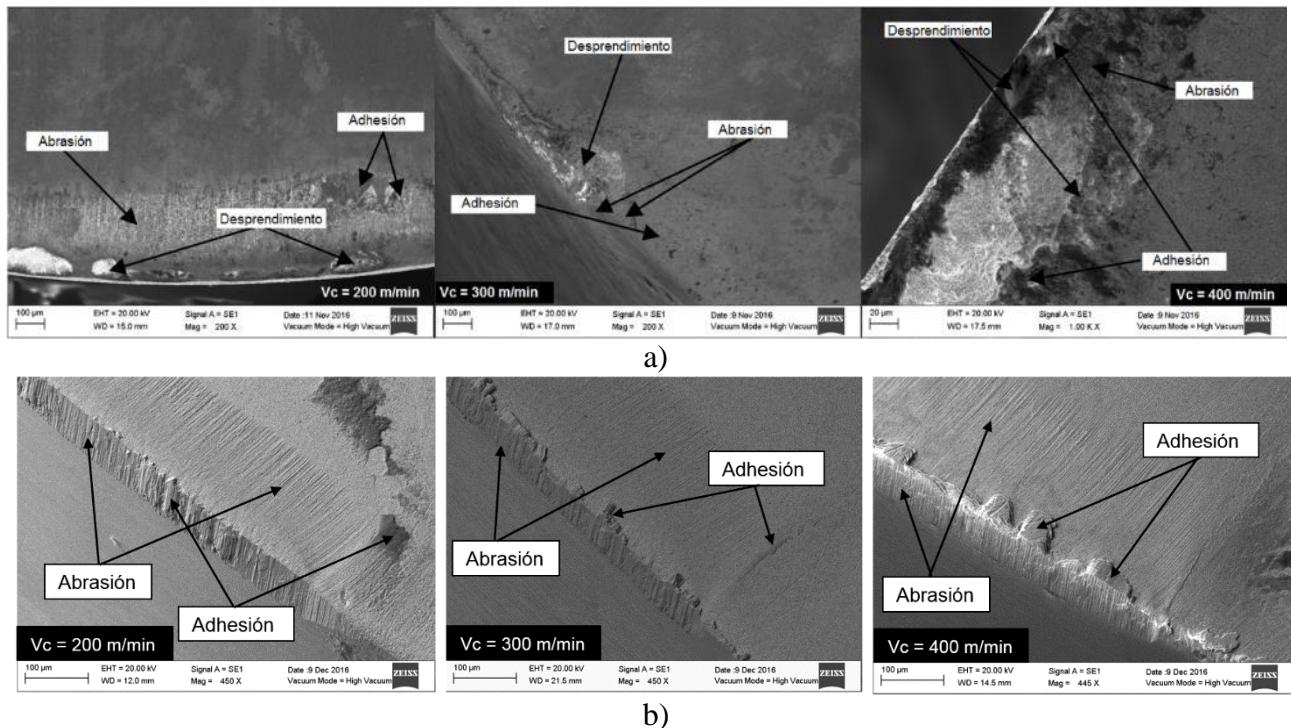


Fig.4 Desgaste en la superficie de ataque durante el maquinado. a) En seco, b) Con MQL

Los análisis de composición química de la herramienta en varios puntos de la zona de desgaste para la velocidad de corte de 400 m/min, para ambas condiciones de lubricación, muestran que en ambos casos aparece el desgaste adhesivo y se evidencia la presencia de desgaste abrasivo, mientras que el desprendimiento de material solo se aprecia durante el maquinado en seco (Figura 5 y Tabla 2). Estos mecanismos de desgaste predominantes se corresponden con los obtenidos en el estudio de Da-Wang *et al.* [4].

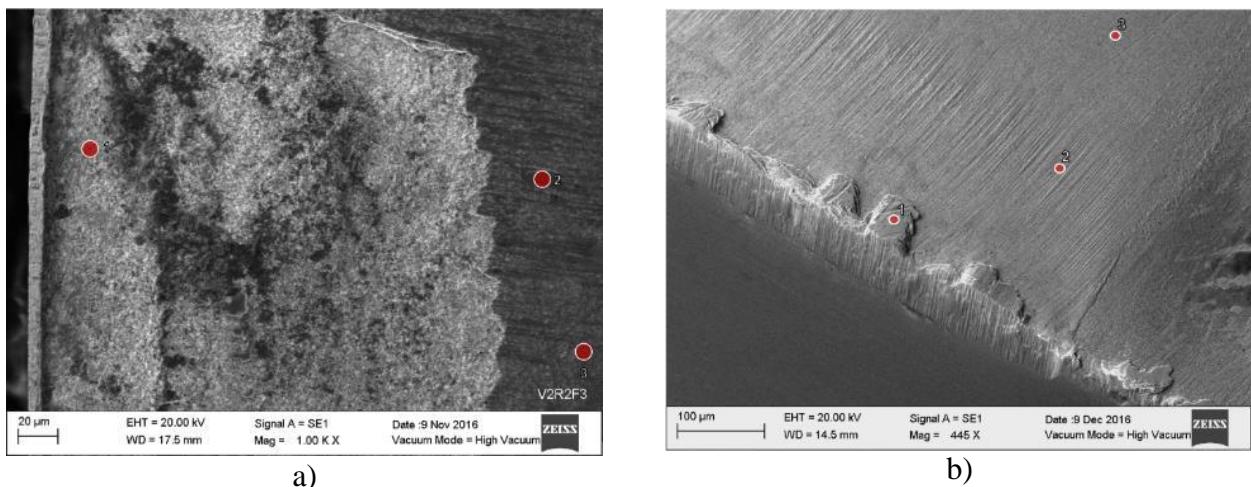


Fig.5 Puntos de análisis de composición química en la superficie de ataque para 400 m/min y 0,2 mm/r. a) Maquinado en seco, b) Maquinado con MQL

Una vez analizado el desgaste en la superficie de ataque, se midió el desgaste en la superficie de incidencia para cada combinación de régimen de corte. A modo de ejemplo, en la Figura 6a y 6b se muestra la medición de la magnitud del desgaste de la herramienta de corte, para la velocidad de corte de 200 m/min y 0,1 mm/r de velocidad de avance, en seco y con MQL respectivamente.

Tabla 2. Composición química en la zona de desgaste de la superficie de desprendimiento para el maquinado del acero AISI 316L a 200 m/min

	C	W	O	Al	Zr	Fe	Cr	Ni	Mn	Si	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Seco	Punto 1	0,02				61,5	18,4	14,8	1,9	0,8	2,1
	Punto 2	5,5	55,2	18,7	16,1	3,3					
	Punto 3	6,1	56,1	17,2	16,6	3,1					
MQL	Punto 1	0,022				62,1	17,8	15,1	2	0,7	2,2
	Punto 2	5,6	55,4	17,9	16,5	3,3					
	Punto 3	6	55,8	18,5	16,2	3,2					

Para ambos insertos y para ambas condiciones de lubricación, la longitud de maquinado fue la misma e igual a 100 mm. Se puede apreciar que el inserto que fue utilizado con MQL, tuvo un mejor comportamiento en cuanto al desgaste. Se observa además, que la magnitud del desgaste (VB) fue menor en el caso del maquinado con MQL. Este procedimiento se siguió para cada combinación del régimen de corte y en todos los casos se evidencia el mejor comportamiento de la herramienta durante el maquinado con MQL.

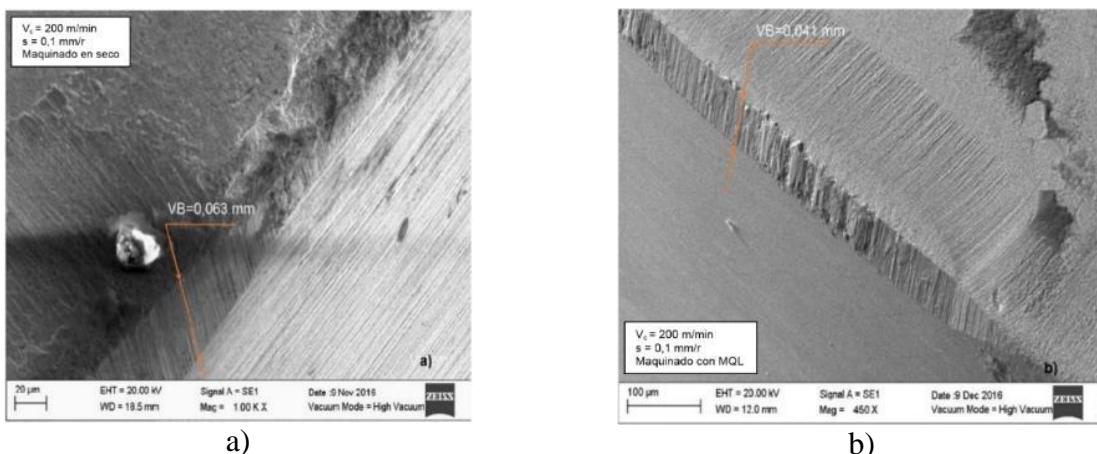


Fig.6 Desgaste en la superficie de incidencia de la herramienta de corte para la $V_c = 200$ m/min y $s = 0,1$ mm/r. a) En seco y b) con MQL

A partir de los valores de desgaste obtenidos y tomando en cuenta que la longitud de maquinado fue constante, se puede definir la velocidad inicial del desgaste para ambas condiciones de lubricación. Esto permite también que se obtengan las ecuaciones que la definen y que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Modelos de progresión inicial del desgaste obtenidos

Régimen de lubricación	Ecuación de la velocidad inicial del desgaste	R^2
Seco	$VB'_0 = \frac{V_c^{1,52} \cdot s^{0,82}}{3,25 \cdot 10^3}$	0,99
MQL	$VB'_0 = \frac{V_c^{1,42} \cdot s^{0,911}}{2,33 \cdot 10^3}$	0,92

En la Figura 7a y 7b se puede observar el comportamiento de la velocidad inicial del desgaste, para el maquinado con MQL y en seco, respectivamente. Se aprecia que la velocidad inicial del desgaste fue menor para el maquinado con MQL, comparado con el maquinado en seco.

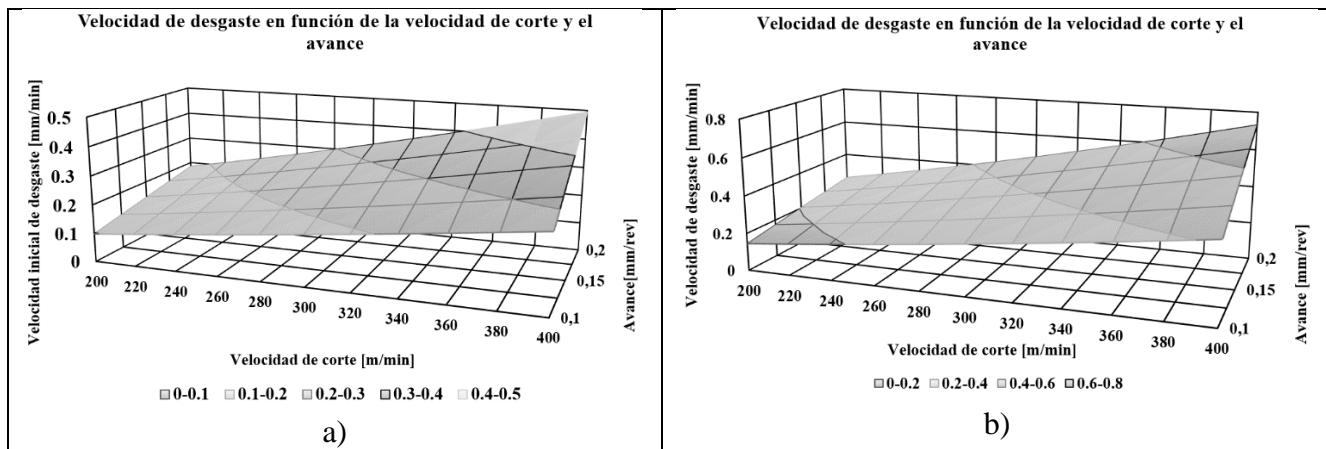


Fig.7 Comportamiento de la progresión inicial del desgaste para: a) Maquinado con MQL y b) Maquinado en seco

Se observa que la progresión inicial del desgaste para ambas condiciones de lubricación se incrementa con el aumento de ambos parámetros del régimen de corte. No obstante, este incremento es mayor para la velocidad de corte, siendo este el factor que mayor incidencia tiene, lo cual se corresponde con lo planteado en la teoría del corte de metales. Para ambas condiciones de lubricación, la herramienta tuvo un mejor comportamiento durante el maquinado con MQL.

4. Conclusiones

Se realizó un estudio que permitió obtener las ecuaciones que integran y relacionan los parámetros del régimen de corte analizados, de la herramienta cerámica BIDEMICS JX1 con la velocidad inicial del desgaste durante el torneado del acero AISI 316L en dos ambientes de lubricación, maquinado en seco y con el uso de MQL. Se aprecia la presencia de desgaste abrasivo y adhesivo en la superficie de ataque para ambos regímenes de lubricación; en el caso del maquinado en seco se aprecia también desprendimiento de material. Con el estudio se pudo demostrar el efecto de la velocidad de corte y la velocidad de avance en la velocidad inicial del desgaste (VB'_0). Un aumento de la velocidad de corte provoca un incremento de la velocidad inicial del desgaste, siendo más significativo para el maquinado en seco. Por otra parte, un aumento de la velocidad de avance provoca un incremento de la velocidad inicial del desgaste, siendo también más significativo para el maquinado en seco aunque el incremento es menor comparado con el obtenido al variar la velocidad de corte.

Referencias

- Panigrahi, R., Panda, A., Sahoo, A.K., Kumar, R., Machining Performance Measures of High Temperature Heat Resistant Super alloys: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2019. **18**: p. 4524-4530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.423>.
- Bushlya, V., Zhou, J., Stahl, J.E., Effect of Cutting Conditions on Machinability of Superalloy Inconel 718 During High Speed Turning with Coated and Uncoated PCBN Tools. *Procedia CIRP*, 2012. **3**: p. 370-375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.064>.
- Sun, J., Huang, S., Ding, H., Chen, W., Cutting performance and wear mechanism of Sialon ceramic tools in high speed face milling GH4099. *Ceramics International*, 2020. **46**(2): p. 1621-1630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.134>.
- Da-Wang, T., Wei-Ming, G., Hong-Jian, W., Hua-Tay, L., Cheng-Yong, W., Cutting performance and wear mechanism of TiB₂-B4C ceramic cutting tools in high speed turning of Ti6Al4V alloy. *Ceramics International*, 2018. **44**(13): p. 15495-15502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.05.209>.

5. Memarianpour, M., Niknam, S.A., Turenne, S., Balazinski, M., *Initial Tool Wear Mechanism in Dry and Lubricated Turning of Inconel 718*. Advances in Engineering Research and Application, 2019. **63**: p. 390-397. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04792-4_51.
6. Aramesh, M., Shaban, Y., Yacout, S., Attia, M.H., Kishawy, H.A., Balazinski, M., *Survival life analysis applied to tool life estimation with variable cutting conditions when machining titanium metal matrix composites (Ti-MMCs)*. Machining Science and Technology, 2016. **20**(1): p. 132-147. DOI: <https://doi.org/10.1080/10910344.2015.1133916>.
7. Duong, X.T., Mayer, J.R.R., Balazinski, M., *Initial tool wear behavior during machining of titanium metal matrix composite (TiMMCs)*. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2016. **60**: p. 169-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.07.021>.
8. del Risco-Alfonso, R., Pérez-Rodríguez, R., Molina, A., Quiza-Sardiñas, R., *Desgaste de una herramienta cerámica BIDEMICS en el maquinado del acero AISI 316L*. Ingeniería Mecánica, 2019. **22**(1): p. 41-48.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (TEC) y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado en esta investigación.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Ricardo del Risco Alfonso. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0225-9281>

Participó en la conceptualización de la investigación, curación de datos, investigación, metodología, redacción y edición.

Roberto Pérez Rodríguez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, curación de datos, redacción y edición.

Marcelino Rivas Santana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0305-515X>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, curación de datos y metodología.

Ramón Quiza Sardiñas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1293-6044>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, curación de datos y metodología.

Patricia del Carmen Zambrano Robledo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9491-0069>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, curación de datos y metodología.