

Estudio bibliométrico sobre el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices

Bibliometric study of high-speed milling of molds and steels

Julio Ernesto de la Rosa-Melian^{1,*}, Roberto Pérez-Rodríguez¹, Carlos Alberto Trinchet-Varela¹, Dagnier Antonio Curra-Sosa¹, Luis Wilfredo Hernández-González¹

¹ Universidad de Holguín. Avenida XX Aniversario s/n, Piedra Blanca. Holguín, Cuba.

*Autor de correspondencia: delarosa94@4uho.edu.cu

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



Recibido: 15 agosto 2021 **Aceptado:** 31 agosto 2021 **Publicado:** 1 de septiembre 2021

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar la producción científica sobre el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices mediante un estudio bibliométrico. En el proceso de búsqueda bibliográfica fueron empleadas como fuentes de información los artículos presentes en revistas indexadas en las bases de dato *Science Direct*, *IEEEExplore* y *Dimensions*. Para dar cumplimiento al objetivo planteado fueron analizados indicadores bibliométricos de productividad (por años, por revistas, por autores), de colaboración (entre autores), de impacto (autores, revistas) y el análisis de co-ocurrencia de palabras claves que permite identificar las principales líneas de investigación. Las etapas de compilación, procesamiento y visualización de los datos se desarrollaron con el uso de los programas Microsoft Excel, ToolInf y VOSviewer. Los resultados demuestran que esta es una temática con gran atención por parte de la comunidad científica en la actualidad, las principales revistas que la publican son *Advanced Materials Research* y *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Fueron identificados los autores que más destacan en este campo, su productividad e impacto y sus relaciones de colaboración. Por medio del análisis de co-ocurrencia de palabras claves se observa que los principales ejes temáticos en los documentos recuperados son el desgaste de la herramienta, la rugosidad superficial y las fuerzas de corte.

Palabras clave: fresado de alta velocidad, moldes y matrices, estudio bibliométrico

Abstract

This work aims to characterize the scientific production of high-speed milling of molds and dies steels through a bibliometric study. In the bibliographic search process, the articles in journals indexed in Science Direct, IEEEExplore and Dimensions databases were used as sources of information. In order to comply with the proposed objective, bibliometric indicators of productivity (by years, by journals, by authors), collaboration (between authors), impact (authors, journals) and the analysis of co-occurrence of keywords were analyzed that allow us to identify the main topics of research. The data compilation, processing and visualization stages were developed with the use of Microsoft Excel, ToolInf and VOSviewer programs. The results show that this is an area with great attention from the scientific community today, the main journals that publish it are Advanced Materials Research and The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. The authors who stand out the most in this field, their productivity and impact, and their collaborative relationships were identified. Through the analysis of the co-occurrence of keywords, it is observed

that the main thematic axes in the recovered documents are tool wear, surface roughness and cutting forces.

Keywords: high speed milling, molds and dies, bibliometric study

1. Introducción

El fresado es una operación tecnológica de mecanizado ampliamente utilizada en industrias como la aeronáutica, la aeroespacial, la automovilística, la producción de moldes y matrices, entre otras. Desde su surgimiento ha evolucionado con el objetivo de obtener cada vez mayor calidad en los componentes fabricados con el menor tiempo posible. Esto se logra principalmente por medio del fresado de alta velocidad, donde se utilizan elevados regímenes de rotación del husillo entre 10 000 min⁻¹ y 100 000 min⁻¹ [1]. Dentro de las principales ventajas que se obtienen con el uso de esta tecnología se encuentra la posibilidad de mecanizar piezas con geometrías complejas, elementos con paredes de pequeño espesor, un alto régimen de remoción de material; así como la posibilidad de trabajar aceros endurecidos utilizando los conceptos del fresado duro.

Particularmente, en el sector de moldes y matrices que se fabrican con aceros endurecidos, la exactitud dimensional y la rugosidad superficial son parámetros a los que se les confiere gran importancia y que determinan la calidad de estos elementos. Por esa razón, la etapa de mecanizado se enfoca en obtener, considerando siempre los criterios productivos y económicos, una rugosidad superficial y exactitud dimensional lo más cercanas a los valores exigidos del producto final, reduciendo en gran medida el uso de operaciones posteriores como la electroerosión y el pulido [2]. El estudio de este proceso por medio de la experimentación práctica demanda gran cantidad de recursos materiales y energéticos; en ocasiones se precisa de un alto número de repeticiones del experimento en función de la complejidad del problema. Por este motivo el desarrollo de modelos empíricos y la simulación numérica juegan un papel fundamental en el análisis de este comportamiento. Aunque los métodos experimentales no se pueden excluir totalmente, cuando éstos se complementan con ecuaciones empíricas o con la simulación numérica, la exactitud del pronóstico se mejora con una reducción significativa de los gastos materiales [3].

Sin dudas la naturaleza multifactorial que caracteriza a las operaciones de mecanizado dificulta el control preciso de todas las variables que intervienen. De forma general los métodos y modelos que desarrollan distintos autores [4-6] simplifican el fenómeno real por medio de establecer las fronteras y variables fundamentales para cada caso. En este sentido es esencial, a la hora de concebir un nuevo modelo, el estudio exhaustivo de investigaciones precedentes con un elevado rigor científico. Para lo cual es necesario saber cómo y dónde buscar.

En la actualidad, el acceso a la información contenida en la literatura científica se realiza fundamentalmente por medio de publicaciones digitales contenidas en revistas académicas disponibles en bases de datos en línea. El proceso de búsqueda de una determinada temática no siempre es rápido, pero suele ser facilitado al usar bases de datos y metabuscadores [7]. El crecimiento exponencial marca la tendencia en el volumen de información científica que se publica anualmente, realidad que complejiza el proceso de revisión bibliográfica. Por este motivo, los estudios bibliométricos adquieren gran importancia al permitir caracterizar la actividad científica en un determinado campo de investigación con el uso de los indicadores bibliométricos.

El término bibliometría surge en 1969 en el artículo “*Statistical Bibliography or Bibliometrics?*” que presenta Alana Pritchard en la revista *Journal of Documentation* [8]. En este trabajo se define a la bibliometría como el análisis estadístico de los libros, artículos y otros documentos, que permite

cuantificar las tendencias en las publicaciones, la calidad de la información y otras medidas de los campos bibliográficos de estos documentos y los autores que los producen [9].

Los análisis del tipo bibliométrico permiten identificar a los autores, instituciones, países, etc., con mayor influencia en el ámbito académico. Lo que puede ser de gran utilidad para la redacción del estado del arte y en la selección de documentos que sustenten planteamientos teóricos de una investigación. En [9] se presenta un análisis bibliométrico del mecanizado de aleaciones de titanio que muestra indicadores de producción, impacto, colaboración y co-ocurrencia de palabras, a partir de 1291 documentos recuperados de la base de datos *Web of Science* (WOS).

Con los resultados de una búsqueda que emplea como fuente de información la base de datos Scopus, en [10] realizan un análisis bibliométrico del consumo específico de energía (SEC, *Specific Energy Consumption*) en operaciones de mecanizado. Se identificaron los autores, revistas, artículos, países e instituciones con mayor impacto y productividad según el total de citas, cantidad de documentos, el promedio de citas y el vínculo entre referencias. En opinión de sus autores, este trabajo es de gran utilidad para académicos e investigadores interesados en comprender rápidamente los aspectos fundamentales y principales tendencias en el campo del SEC.

Otras investigaciones han centrado el análisis bibliométrico para describir el uso de algoritmos como el de redes neuronales artificiales (ANN) [11] y otras técnicas de optimización [12] que se emplean en los procesos de corte de metales. Al igual que en los casos anteriores por medio de indicadores bibliométricos se identifican los principales autores, revistas, instituciones, etc., que lideran estos frentes de investigación e identifican sus principales tendencias, según el proceso de búsqueda efectuado en la base de datos Scopus.

En el presente trabajo se define como objetivo identificar por medio de un estudio bibliométrico el comportamiento de la producción científica relacionada con el fresado de alta velocidad de aceros que se utilizan en la fabricación de moldes y matrices. Para dar cumplimiento al objetivo planteado se diseña una estrategia de búsqueda que contiene como fuentes de información las bases de datos *Science Direct*, *IEEEExplore* y *Dimensions*.

2. Materiales y Métodos

Para la búsqueda de información se emplearon los términos en español e inglés que se exponen en la tabla 1, a partir de los cuales y por medio de operadores booleanos se obtienen las ecuaciones de búsqueda utilizadas en este trabajo. Al concatenar con el operador OR los términos de una misma fila y con AND los de distintas filas, quedan constituidas dos ecuaciones con las cuales se recupera la información de las bases de datos consultadas.

Tabla 1. Términos utilizados para la búsqueda de la bibliografía

OR			
AND	“alta velocidad” AND fresado	“highspeed” AND milling	“high-speed” AND milling
	“aceros templados”	“hardened steels”	“tempered steels”
	Moldes	“molds”	“moulds”
	Matrices	“dies”	“dies”

Con lo planteado anteriormente se obtienen las ecuaciones de búsqueda que se muestra a continuación:

- 1. (“alta velocidad” AND “fresado”) AND (“aceros templados” OR “moldes” OR “matrices”)
- 2. ((“high speed” OR “high-speed”) AND milling) AND (“hardened steels” OR “tempered steels” OR “molds” OR “moulds” OR “dies”)

La búsqueda de información utiliza como fuentes las bases de datos *Science Direct*, *IEEEExplore* y *Dimensions*. Con las ecuaciones de búsqueda anteriores se obtienen un total de 391 documentos, de los cuales 367 pertenecen a *Dimensions*, 92 a *Science Direct* y 10 a *IEEEExplore*. Posteriormente a la recuperación de los campos bibliográficos de dichos documentos, se verifica la existencia de duplicados mediante el gestor bibliográfico EndNote y son excluidas del análisis las 78 publicaciones que se encuentran indexadas tanto en *Dimensions* como en *Science Direct* (Figura 1).

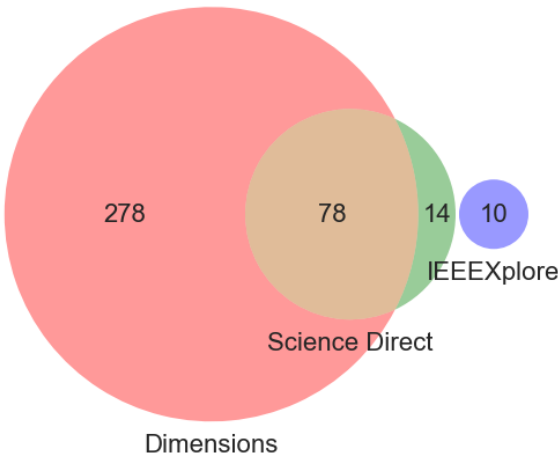


Fig.1 Documentos detectados en las bases de datos empleadas para la búsqueda

En la Figura 2 se muestra la clasificación de los documentos identificados en las fuentes consultadas de acuerdo con su tipología. En este caso los libros y publicaciones de conferencias presentan un 5% cada uno, mientras que 352 artículos conforman la mayor cantidad de documentos recuperados para un 90% del total. Estos últimos son el objeto de análisis para el estudio bibliométrico que se desarrolla en el presente trabajo.

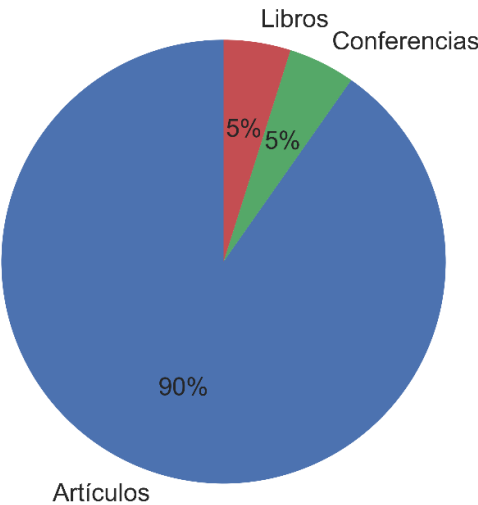


Fig.2 Tipos de documentos identificados en las fuentes de información

En las etapas de compilación, procesamiento y representación de los datos que se utilizaron para el estudio se emplearon los programas: Microsoft Excel, ToolInf y VOSviewer. Por otra parte, en la caracterización de la actividad científica sobre el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices, se emplearon indicadores bibliométricos de productividad, de colaboración, de impacto y el análisis de co-ocurrencia de palabras.

3. Resultados y Discusión

El campo de investigación con mayor cantidad de artículos es el de Ingeniería con aproximadamente el 85% del total. En la Figura 3 se evidencia este comportamiento y también se muestran los restantes campos que contienen al menos cinco artículos.

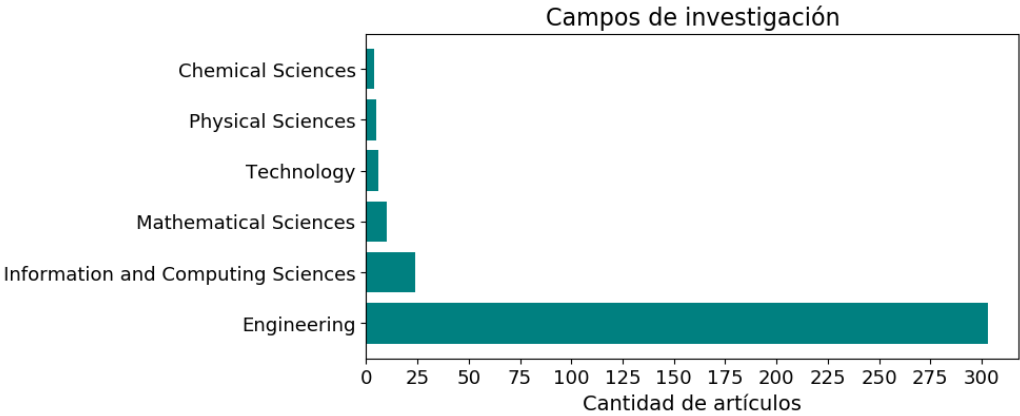


Fig.3 Principales campos de investigación de los artículos recuperados

Los artículos detectados en el proceso de búsqueda fueron publicados entre 1984 y principios de 2021. En la última década se concentra alrededor del 55% del total de publicaciones y en los últimos cinco años cerca del 26%, siendo los años 2009 y 2011 los de mayor productividad con un total de 27 artículos cada uno. Estos datos (Figura 4) evidencian que en la actualidad resulta de gran interés el estudio del fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices.

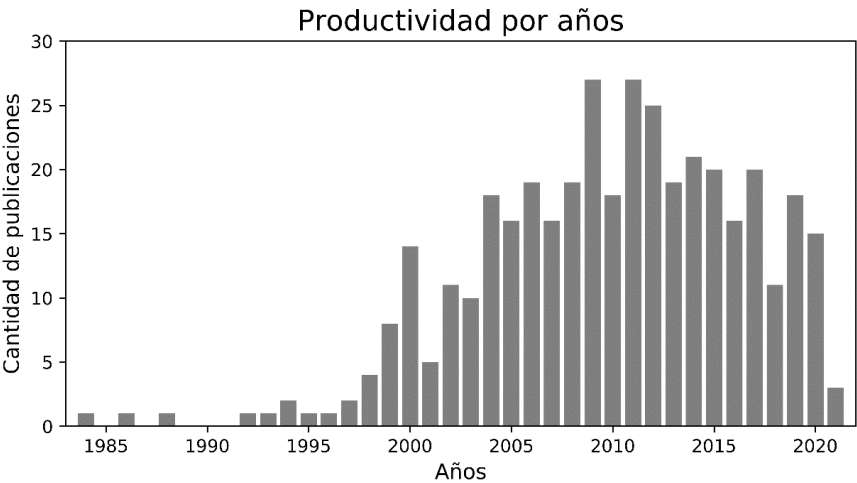


Fig.4 Distribución de la cantidad de publicaciones por años

Los 352 artículos identificados se encuentran en 108 revistas, concentrándose la mayor cantidad de información en diez de estas. En la Tabla 2 se puede apreciar que *Advanced Materials Research*, es la revista donde se publican la mayor cantidad de artículos que abordan el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices con un total de 44, seguida por *The International Journal of*

Advanced Manufacturing Technology y *Journal of Materials Processing Technology* con 35 y 33 publicaciones respectivamente. De forma general, en la Tabla 2 se muestran las revistas que conforman el núcleo de la información sobre esta temática, al tratarse del 9 % del total de revistas donde se publica aproximadamente el 53% de la información.

Tabla 2. Revistas más productivas sobre el fresado de alta velocidad de moldes y matrices

Revista	Cantidad de publicaciones
<i>Advanced Materials Research</i>	44
<i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	35
<i>Journal of Materials Processing Technology</i>	33
<i>International Journal of Machine Tools and Manufacture</i>	15
<i>Key Engineering Materials</i>	15
<i>Journal of the Japan Society for Precision Engineering</i>	11
<i>Materials Science Forum</i>	10
<i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture</i>	10
<i>Applied Mechanics and Materials</i>	8
<i>Procedia CIRP</i>	7

Al cuantificar la cantidad de artículos en los que participa un autor se puede medir su productividad y determinar cuáles son los investigadores más activos en un determinado campo de la ciencia. En la figura 5 se muestra el número de publicaciones de los autores más productivos en el estudio del fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices, dentro de una comunidad formada por 1060 investigadores. Jun Zhao y Bin Jiang encabezan este grupo con 13 artículos cada uno, seguidos por Diniz, Toh y Zhang con 10.

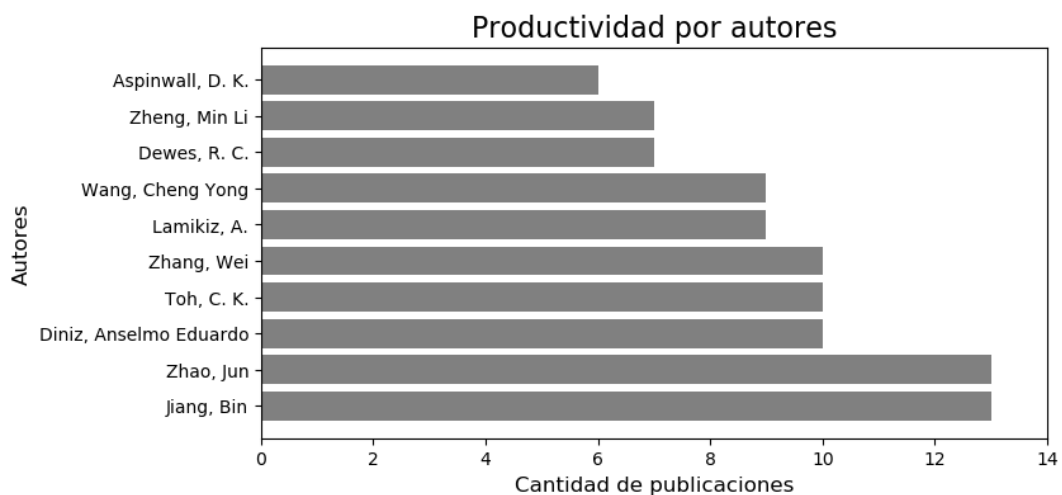


Fig.5 Autores más productivos sobre el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices

El comportamiento de la colaboración entre los autores más productivos se pudo evaluar mediante la red de co-autoría obtenida con el software VOSviewer (Figura 6). En esta red se representa a cada autor con un círculo cuyo tamaño depende de la cantidad de artículos en los que participa y el color está asociado a los grupos de colaboración que se establece entre dichos autores.

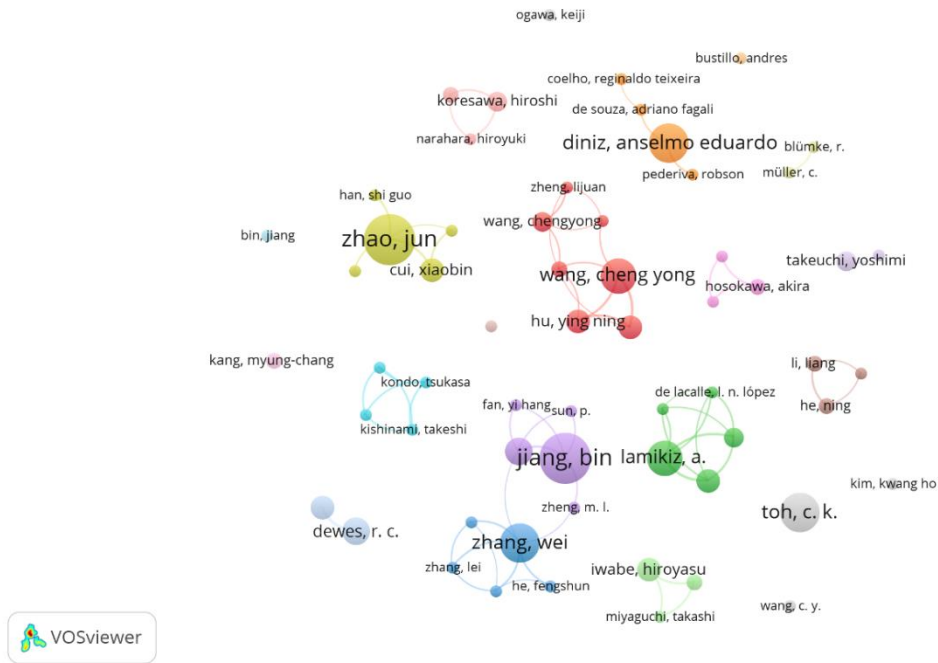


Fig.6 Red de colaboración entre autores

Ajustando la visualización de la red presentada anteriormente para que destaque a los autores que más han publicado en los últimos años, se obtiene la figura que se muestra a continuación. En la misma se puede apreciar que Zhang, Diniz, Zhao y Jiang son los autores con mayor presencia en años recientes (Figura 7).

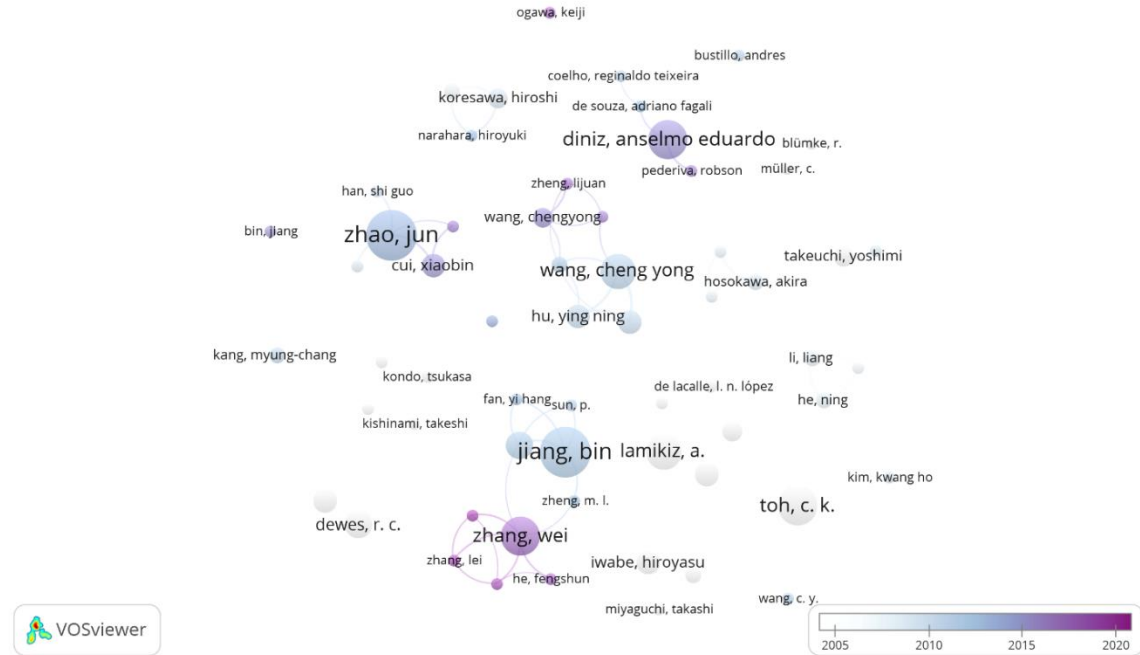


Fig.7 Red de colaboración de los autores más productivos en los últimos años

Una de las vías para medir el impacto de autores y revistas es mediante el análisis de las citas que reciben sus publicaciones [13]. En este trabajo fue seleccionada dicha información en la base de datos *Dimensions*. En la Tabla 3 se presentan a los autores con mayor cantidad de citas recibidas y si lo comparamos con la información de la Figura 5 se puede concluir que no necesariamente los autores más productivos son los que reciben la mayor cantidad de citas.

Autor	Institución	Cantidad de citas
Dewes, R.C	University of Birmingham	589
Aspinwall, D.K	University of Birmingham	443
Lamikiz, A.	Universidad del País Vasco	308
Wang, Cheng Yong	Guangdong University of Technology	307
Özel, T.	The State University of New Jersey	299
Altan, T.	The Ohio State University	279
Koshy, P.	University of Birmingham	252
Sánchez, J.A.	Universidad del País Vasco	244
López de Lacalle, L. N.	Universidad del País Vasco	241
Salgado, M. A.	Universidad del País Vasco	214
Toh, C.K.	University of Birmingham	209
Lin, H. M.	National Taiwan University	172
Liao, Y. S.	National Taiwan University	172

international journal of machine tools and manu

journal of materials processing technology

proceedings of the institution of mechanical en

international journal of automation technology

materials science forum

precision engineering

international journal of production research

materials & design

cirp annals

the international journal of advanced manufactu

rapid prototyping journal

surface and coatings technology

top conference series materials science and eng

ifip advances in information and communication

procedia cirp

applied mechanics and materials

lecture notes in mechanical engineering

procedia engineering

journal of the brazilian society of mechanical

journal of the japan society for precision eng

international journal on interactive design and

transactions of nonferrous metals society of ch

wear

machining science and technology

proceedings of the first international metalor c

Como se muestra en la Figura 9, los principales ejes temáticos abordados por esta comunidad de investigadores son el desgaste de la herramienta (*tool wear*), la rugosidad superficial (*surface roughness*), la fuerza de corte (*cutting force*), las vibraciones (*chatter*) y la integridad superficial (*surface integrity*). Por otra parte, los materiales más estudiados son el Inconel 718, los aceros templados (*hardened steel*), las aleaciones de titanio (*titanium alloy*) y las aleaciones de aluminio (*aluminum alloy*).

Tabla 5. Artículos más citados con palabras claves asociadas al desgaste de la herramienta

Documento	Título	Citas
[20]	<i>High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~58 HRC)</i>	117
[24]	<i>High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture</i>	92
[25]	<i>Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills</i>	82
[26]	<i>Wear and breakage of TiAlN- and TiSiN-coated carbide tools during high-speed milling of hardened steel</i>	66
[27]	<i>Cutting performance of PVD-coated carbide and CBN tools in hardmilling</i>	62
[28]	<i>Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling</i>	61

Tabla 6. Artículos más citados con palabras claves asociadas a la rugosidad superficial

Documento	Título	Citas
[17]	<i>Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models</i>	132
[20]	<i>High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~58 HRC)</i>	117
[29]	<i>The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method</i>	94
[24]	<i>High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture</i>	92
[25]	<i>Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills</i>	82
[30]	<i>Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds</i>	74

Tabla 7. Artículos más citados con palabras claves asociadas a la fuerza de corte

Documento	Título	Citas
[14]	<i>Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters</i>	469
[16]	<i>Process simulation using finite element method — prediction of cutting forces, tool stresses and temperatures in high-speed flat end milling</i>	150
[24]	<i>High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture</i>	92
[25]	<i>Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills</i>	82
[31]	<i>Evaluation of the stiffness chain on the deflection of end-mills under cutting forces</i>	80
[32]	<i>Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel</i>	74

Tabla 8. Artículos más citados con palabras claves asociadas a las vibraciones

Documento	Título	Citas
[32]	<i>Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel</i>	74
[33]	<i>Investigation of chip formation in high speed end milling</i>	70
[34]	<i>Automatic In-Process Chatter Avoidance in the High-Speed Milling Process</i>	46
[35]	<i>Selection of optimal cutting conditions for pocket milling using genetic algorithm</i>	13
[36]	<i>Productivity improvement through chatter-free milling in workshops</i>	12
[37]	<i>Monitoring of Chatter in High Speed Endmilling Using Audio Signals Method</i>	6

Tabla 9. Artículos más citados con palabras claves asociadas a la integridad superficial

Documento	Título	Citas
[17]	<i>Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models</i>	132
[21]	<i>High-Speed Milling of Dies and Molds in Their Hardened State</i>	116
[28]	<i>Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling</i>	61
[38]	<i>High-speed five-axis milling of hardened tool steel</i>	44
[39]	<i>Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials</i>	42
[40]	<i>Some Observations of the Chip Formation Process and the White Layer Formation in High Speed Milling of Hardened Steel</i>	22

4. Conclusiones

Con el análisis bibliométrico realizado se pudo caracterizar el comportamiento de la producción científica relacionada con el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices, de acuerdo con las publicaciones identificadas en *Science Direct*, *IEEEExplore* y *Dimensions*. Los resultados demuestran que el estudio de esta temática es un frente de investigación en la actualidad, dónde en los últimos años se ha publicado más del 50% de la información. La mayor cantidad de artículos se concentran en un grupo pequeño de revistas encabezadas por *Advanced Materials Research* y *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pero en cuanto al número de citas *Journal of Materials Processing Technology* es la de mayor impacto. También se pudieron detectar los autores que más destacan en este campo, sus principales relaciones de colaboración, el comportamiento de su productividad y los más citados. Finalmente, el análisis de co-ocurrencia de palabras claves muestra los principales ejes temáticos abordados por esta comunidad: el desgaste de la herramienta, la rugosidad superficial, las fuerzas de corte, las vibraciones y la integridad superficial, pudiéndose identificar los artículos que presenten el mayor impacto de acuerdo al número de citas que reciben.

Referencias

1. Toh, C.K., *Tool life and tool wear during high-speed rough milling using alternative cutter path strategies*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 2003. **217**(9): p. 1295-1304. DOI: <https://doi.org/10.1243/095440503322420223>.

2. Da Costa, I., Diniz, A.E., *High Speed Milling of Hardened Steel Convex Surface*. *Procedia Manufacturing*, 2016. **5**: p. 220-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.020>.
3. Markopoulos, A.P., *Finite Element Method in Machining Processes*. *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*. Manufacturing and Surface Engineering, 2012. Davim: Springer-Verlag London.
4. Wang, H., Yang, J., Sun, F., *Cutting performances of MCD, SMCD, NCD and MCD/NCD coated tools in high-speed milling of hot bending graphite molds*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2020. **276**: p. 116401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116401>.
5. Mugilan, T., Alwarsamy, T., *Prediction of Cutting Forces during End Milling using 3D FEM based Simulation Analysis*. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, 2020. **12**(1). DOI: <https://doi.org/10.4273/ijvss.12.1.06>.
6. Zhang, W., *Optimization of high-speed milling hardened mold processing parameters based on surface morphology research*. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IIJDeM)*, 2018. **12**(4): p. 1495-1514. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-018-0506-4>.
7. Peña, M.D., De Zayas, M.R., Rodríguez, R.M., *Producción científica cubana sobre biofertilizantes: un análisis bibliométrico en revistas extranjeras*. XV Congreso Internacional de Información INFO, 2018. La Habana.
8. Pritchard, A., *Statistical bibliography or bibliometrics*. *Journal of documentation*, 1969. **25**(4): p. 348-349.
9. Gaurav, G., *Bibliometric analysis of machining of titanium alloy research*. *Materials Today: Proceedings*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.217>.
10. Kumar, R., *Bibliometric Analysis of Specific Energy Consumption (SEC) in Machining Operations: A Sustainable Response*. *Sustainability*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13105617>.
11. Kumar, D., Karwasra, K., Soni, G., *Bibliometric analysis of artificial neural network applications in materials and engineering*. *Materials Today: Proceedings*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.855>.
12. Jamwal, A., *Application of optimization techniques in metal cutting operations: A bibliometric analysis*. *Materials Today: Proceedings*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.425>.
13. Ortiz-Alvarez, M., Piloto-Rodríguez, R., *Análisis bibliométrico de la Revista Cubana de Ingeniería*. *Revista Cubana de Ingeniería*, 2021. **12**(1): p.1-14.
14. Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H., *Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. **145**(1): p. 84-92. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(03\)00865-3](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(03)00865-3).
15. Erkorkmaz, K., Altintas, Y., *High speed CNC system design. Part I: jerk limited trajectory generation and quintic spline interpolation*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2001. **41**(9): p. 1323-1345. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(01\)00002-5](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(01)00002-5).
16. Özel, T., Altan, T., *Process simulation using finite element method — prediction of cutting forces, tool stresses and temperatures in high-speed flat end milling*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2000. **40**(5): p. 713-738. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(99\)00080-2](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(99)00080-2).
17. Axinte, D.A., Dewes, R.C., *Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling- experimental data and empirical models*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002. **127**(3): p. 325-335. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(02\)00282-0](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(02)00282-0).
18. Fallböhmer, P., *High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000. **98**(1): p. 104-115. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(99\)00311-8](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(99)00311-8).
19. Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., *A review of ultra-high speed milling of hardened steels*. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997. **69**(1-3): p. 1-17. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(96\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(96)00042-8).

20. Koshy, P., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., *High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~58 HRC)*. Journal of Materials Processing Technology, 2002. **127**(2): p. 266-273. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00155-3).
21. Elbestawi, M.A., *High-Speed Milling of Dies and Molds in Their Hardened State*. CIRP Annals, 1997. **46**(1): p. 57-62. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60775-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60775-6).
22. Yu, D., *Microstructure and properties of TiAlSiN coatings prepared by hybrid PVD technology*. Thin Solid Films, 2009. **517**(17): p. 4950-4955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2009.03.091>.
23. Liao, Y.S., Lin, H.M., *Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007. **47**(11): p. 1660-1666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.01.007>.
24. Urbanski, J.P., *High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture*. Materials & Design, 2000. **21**(4): p. 395-402. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(99\)00092-8](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(99)00092-8).
25. Thepsonthi, T., Hamdi, M., Mitsui, K., *Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2009. **49**(2): p. 156-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.09.007>.
26. Wang, C.Y., *Wear and breakage of TiAlN- and TiSiN-coated carbide tools during high-speed milling of hardened steel*. Wear, 2015. **336**: p. 29-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.04.018>.
27. Okada, M., *Cutting performance of PVD-coated carbide and CBN tools in hardmilling*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2011. **51**(2): p. 127-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.10.007>.
28. Ming, C., *Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling*. Journal of Materials Processing Technology, 2003. **138**(1-3): p. 468-471. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00120-1).
29. Gologlu, C., Sakarya, N., *The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method*. Journal of Materials Processing Technology, 2008. **206**(1-3): p. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.300>.
30. Vivancos, J., *Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds*. Journal of Materials Processing Technology, 2004. **155**: p. 1505-1512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.260>.
31. Salgado, M.A., *Evaluation of the stiffness chain on the deflection of end-mills under cutting forces*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005. **45**(6): p. 727-739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.08.023>.
32. Toh, C.K., *Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel*. Journal of Sound and Vibration, 2004. **278**(1-2): p. 101-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2003.11.012>.
33. Ning, Y., Rahman, M., Wong, Y.S., *Investigation of chip formation in high speed end milling*. Journal of Materials Processing Technology, 2001. **113**(1-3): p. 360-367. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00628-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00628-8).
34. Van Dijk, N.J.M., *Automatic In-Process Chatter Avoidance in the High-Speed Milling Process*. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, 2010. **132**(3): p. 031006. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4000821>.
35. Aggarwal, S., Xirouchakis, P., *Selection of optimal cutting conditions for pocket milling using genetic algorithm*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. **66**(9-12): p. 1943-1958. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4472-x>.
36. Quintana, G., *Productivity improvement through chatter-free milling in workshops*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 2011. **225**(7): p. 1163-1174. DOI: <https://doi.org/10.1177/2041297510393621>.

37. Ning, Y., Rahman, M., Wong, Y.S., *Monitoring of Chatter in High Speed Endmilling Using Audio Signals Method*. Proceedings of the 33rd International MATADOR Conference, 2000. p. 421-426.
38. Becze, C.E., *High-speed five-axis milling of hardened tool steel*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2000. **40**(6): p. 869-885. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(99\)00092-9](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(99)00092-9).
39. Toh, C.K., *Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials*. *Materials & Design*, 2005. **26**(6): p. 517-533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.07.019>.
40. Ekinovic, S., Dolinsek, S., Jawahir, I.S., *Some Observations of the Chip Formation Process and the White Layer Formation in High Speed Milling of Hardened Steel*. *Machining Science and Technology*, 2004. **8**(2): p. 327-340. DOI: <https://doi.org/10.1081/mst-200029250>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Julio Ernesto de la Rosa Melian. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6334-0211>

Participó en el diseño de la investigación, visualización y análisis de la información y redacción del manuscrito.

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

Participó en el diseño de la investigación y redacción del manuscrito.

Carlos Alberto Trinchet Varela. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5375-2968>

Participó en el diseño y conceptualización de la investigación.

Dagnier Antonio Curra Sosa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5361-6536>

Participó en el procesamiento y visualización de la información.

Luis Wilfredo Hernández González. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2181-1959>

Participó en la revisión y edición del manuscrito