

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE FLANCO EN BURILES DE ACERO RÁPIDO IMPLANTADO CON IONES DE TITANIO Y NITRÓGENO

Ely Dannier V-Niño¹, Jorge Enrique Caballero², Jesús Eduardo Contreras Naranjo²

¹Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

¹Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

¹Fundación of Researchers in Science and Technology of Materials, Colombia

²Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Colombia

Recibido (27/05/2016), aceptado (06/09/2016).

Resumen: Predecir la vida útil de las herramientas de corte es de importancia en el diseño y la implementación de estrategias de reemplazo, así como en la determinación de las condiciones de corte. En la presente investigación se realizó la evaluación experimental del efecto de la superficie de los buriles de acero rápido (HSS) implantados con iones de Titanio (Ti) e iones combinados de Titanio y Nitrógeno (Ti+N) durante el torneado de acabado en seco del acero AISI SAE 1045. La metodología consistió en la realización de pruebas repetitivas de desgaste con velocidad de corte de 20 mm/min, avance de 0.1 mm/rev y profundidad de corte de 1mm. Las medidas del desgaste de flanco se obtuvieron mediante la técnica de microscopía digital con variación de resolución de las imágenes entre 50 y 300 micras y procesadas con el programa ImageJ en formato RAW. Los resultados encontrados con el análisis de regresión simple (ecuación del modelo ajustado) demostraron que los iones de Ti y Ti+N implantados en la superficie de los buriles incrementaron la vida útil de la herramienta de corte en la zona de flanco.

Palabras Clave: Herramienta de Corte, HSS, Modificación superficial, Resistencia al desgaste, Microscopía digital.

EVALUATION OF THE FLANK WEAR IN BURINS OF HIGH SPEED STEEL IMPLANTED WITH TITANIUM AND NITROGEN IONS

Abstract: Predict the useful life of cutting tools is important in the design and implementation of replacement strategies, as well as in determining the cutting conditions. In the present investigation has been made an experimental evaluation of the surface effect of the burins in high speed steel (HSS) implanted with ions of titanium (Ti) and combined ions of titanium and nitrogen (Ti+N) during the dry finish turning of the AISI-SAE-1045 steel. The methodology consisted in carrying wear repetitive tests with cutting speed of 20 mm/min, advance of 0.1 mm/rev and cutting depth of 1mm. The flank wear measurements were obtained using the technique of digital microscopy with resolution varying of the images between 50 and 300 microns and processed with ImageJ program in RAW format. The results found with the simple regression analysis (adjusted model equation) showed that the ions of Ti and Ti+N implanted on the surface of the burins increased the useful life of the cutting tool in the flank zone.

Key words: Cutting tool, HSS, Surface modification, Wear resistance, Digital microscopy.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de una competencia global, las empresas de manufactura tienen como objetivo mejorar y optimizar los procesos de producción, entre ellos los relacionados con la fabricación de piezas con herramientas de corte. En condiciones severas, causadas por unos niveles altos de corte (altas velocidades de corte y de avance) las tensiones mecánicas y temperaturas en la interfaz de la herramienta-viruta y la zona de corte

pueden ser críticamente altas, lo que resulta un desgaste excesivo o incluso un fallo prematuro de la herramienta [1, 2].

El proceso de torneado es un tipo de maquinado que produce el desprendimiento de viruta al emplear una herramienta de corte denominada buril, con el objetivo de fabricar un producto con geometrías específicas. Durante el maquinado, el material y el buril se encuentran sometidos en continuo contacto produciendo el desgaste y deterioro del flanco, lo que

provoca un acabado superficial deficiente y pérdidas en la producción debido a las paradas repetitivas.

Con el fin de mejorar las propiedades de las herramientas de corte se han desarrollado recubrimientos en forma de capas o películas delgadas para contrarrestar los efectos de la fricción y el desgaste sobre piezas mecánicas como buriles, insertos, brocas, machuelos y cortadores utilizados en cualquier línea de producción. En la década de 1970, el Nitruro de boro cúbico policristalino (c-BN) fue introducido como un material para mejorar las propiedades superficiales de las herramienta de corte. El nitruro de titanio (TiN), depositado sobre el c-BN por deposición física de vapor (PVD), ha sido ampliamente aplicado debido a la combinación favorable de propiedades tales como la buena adhesión con el sustrato, la prevención a la interacción adhesiva intensiva en la interfaz herramienta-viruta y por la alta resistencia térmica que le proporciona a la herramienta de corte en contacto con el material a manufacturar [3-5], a pesar de la formación de tribo-películas protectoras de Ti-O en la superficie como resultado de la tribo-oxidación del recubrimiento TiN durante el corte [6].

Históricamente la alúmina (Al₂O₃) fue el primer material cerámico utilizado en herramientas de corte [7] y por su alta estabilidad química, se ha utilizado como recubrimiento depositado sobre un sustrato de carburo. El primer recubrimiento fue desarrollado en la década de 1980 utilizando la técnica de deposición de vapor químico (CVD) [8]. En los últimos años se han desarrollado recubrimientos multicapas con Al₂O₃, tales como el TiC-TiCN-Al₂O₃ para la protección de las herramientas de corte [9]. La presencia de Al₂O₃ ayuda a reducir la adherencia de la viruta en la superficie de la herramienta de corte y en consecuencia, la reducción de generación de calor en la zona de corte [10, 11].

La implantación iónica tridimensional (3DII) [12, 13], es una técnica alternativa utilizada para modificar la superficie de los sólidos metálicos. Los recientes estudios realizados con la técnica 3DII se han enfocado en incrementar la resistencia a la corrosión de los aceros al carbono [14-17]. En el presente trabajo se realiza la 3DII de especies de Ti y Ti+N en la superficie de flanco en buriles de acero rápido. Las superficies de los flancos modificadas y no modificadas fueron sometidas a ensayos repetitivos de maquinado en seco del acero AISI 1045, y mediante la técnica de microscopía digital, usando el programa de procesamiento de imágenes ImageJ, se efectuó la cuantificación del desgaste y con un análisis de regresión simple (ecuación del modelo ajustado) [18] se encontró el desempeño, el comportamiento en función del tiempo y la vida útil del flanco en los buriles estándar respecto a los modificados superficialmente con iones de Ti y Ti+N durante los ensayos repetitivos de torneado en seco del acero AISI SAE 1045.

II. METODOLOGÍA

El estudio del desgaste de flanco fue realizado en buriles estándar HSS 4341 de filo universal con dimensiones de 3/8"×3/8" como herramienta de corte. Los buriles fueron modificados superficialmente mediante la técnica 3DII generada por descargas híbridas de alto voltaje y arco eléctrico a bajas presiones en atmosfera de especies no metálicas (Ar y N) y metálicas (Ti).

Las superficies de los buriles, previamente al tratamiento superficial, fueron sometidas a un proceso de sputtering (limpieza superficial) durante 15 minutos en una descarga de 5kV en atmosfera de argón. En la tabla I se reportan los parámetros establecidos en la implantación de los buriles con iones de Ti y de Ti+N.

Tabla I. Parámetros establecidos en la implantación iónica de especies metálicas y no metálicas.

| Especies implantadas | Tiempo de tratamiento (min) | Voltaje descarga alto voltaje (kV) | Corriente arco eléctrico (A) |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Ti | 8 | 10 | 150 |
| Ti+N | 8 | 10 | 150 |

La figura 1 muestra la distribución de los buriles en la cámara de descarga del reactor JUPITER y en la figura 2 se observan los sustratos después de implantados,

donde por inspección visual se aprecia el cambio de color en la superficie debido a las especies de Ti y N presentes en el tratamiento.

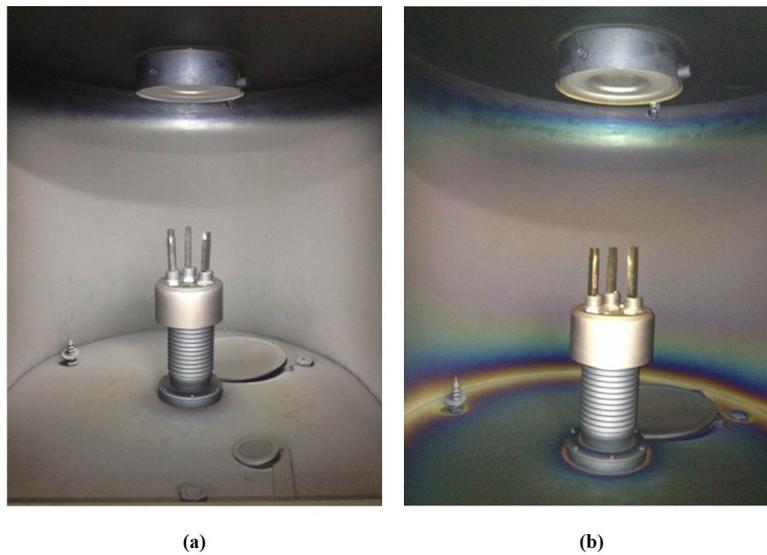


Figura 1. Buriles en la cámara de descarga del reactor JUPITER (a) antes y (b) después de la implantación iónica.

Fuente: Los Autores.

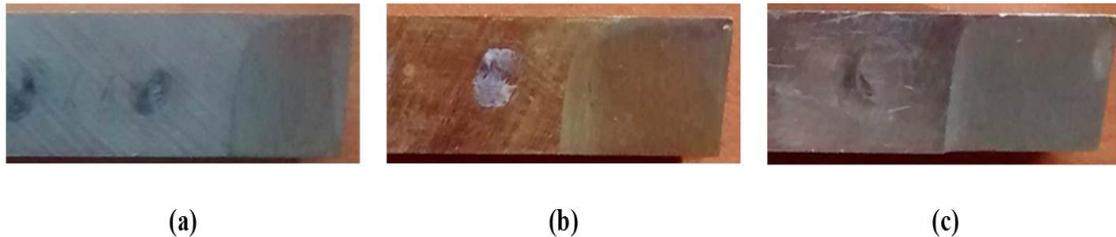


Figura 2. Flanco del buril (a) Sin tratamiento superficial, (b) implantado con iones de Ti+N y (c) Implantado con iones de Ti.

Fuente: Los Autores.

Los ensayos de mecanizado mediante torneado de acabado en seco fueron realizados en un torno CNC marca Samsung Machine Tools, serie SYD modelo PL15. Los buriles fueron ubicados en un

porta-buril, diseñado y fabricado en acero AISI SAE 1020 teniendo en cuenta las especificaciones del porta-herramientas del torno CNC (ver figura 3).

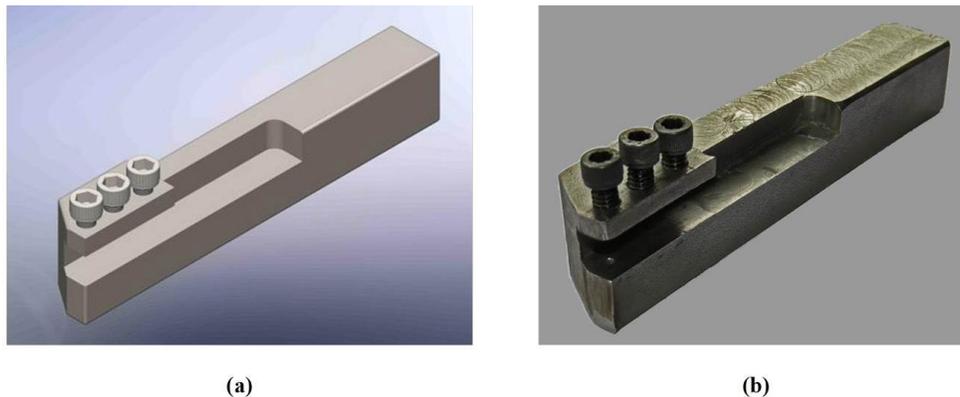


Figura 3. Porta-buril (a) diseñado y (b) fabricado en acero AISI SAE 1020.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 4 se aprecia el conjunto material a maquinar, porta-buril y porta-herramienta utilizado en el montaje experimental implementado en los ensayos de maquinado mediante torneado de acabado en seco. El

material a maquinar fue el acero AISI SAE 1045 en forma de barra con una relación longitud/diámetro menor a 10 (30cm de longitud y 5.08cm de diámetro inicial) con el propósito de evitar las vibraciones durante el mecanizado.

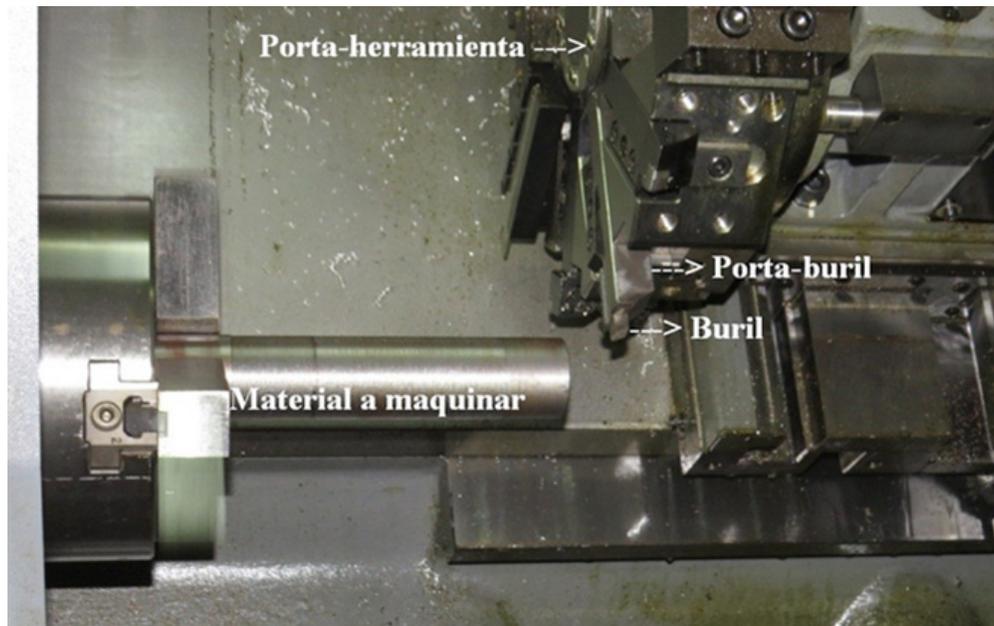


Figura 4. Montaje experimental implementado en el torno CNC SYD modelo PL15 del proceso de torneado.

Los parámetros de maquinado (avance y profundidad) fueron establecidos según la norma ISO 3685:1993 [19], mientras que el valor de la velocidad de corte se determinó

teniendo en cuenta el tipo de material a maquinar y la herramienta de corte [20]. En la tabla II se reportan las condiciones establecidas en el ensayo.

Tabla II. Definición de variables experimentales.

| Variable | Tipo de variable | Medida |
|----------------------------|------------------|--|
| Desgaste de la herramienta | Dependiente | Desgaste del flanco (<i>mm</i>) |
| Material de la herramienta | Independiente | Buril en acero rápido HSS |
| Velocidad de corte | Independiente | 20 <i>mm/min</i> en promedio |
| Avance | Independiente | 0.1 <i>mm/rev</i> |
| Profundidad | Independiente | 1 <i>mm</i> |
| Tiempo de maquinado | Independiente | Intervalos de 2 y 8 minutos ^a |
| Material a tornear | Independiente | Acero AISI SAE 1045 |

^a Criterio de desgaste uniforme según norma ISO 3685:1993 (hasta que el desgaste sea ligeramente menor a 0.3*mm*) [19].

La evaluación del desgaste de flanco en los buriles no implantado e implantado con iones de Ti y Ti+N fue realizada por medio de la técnica de microscopía digital (ver figura 5). Los registros fotográficos fueron obtenidos con la cámara Canon Powershot SX50 HS en formato RAW (imágenes sin procesar), velocidad de obturación de 2s y valor de apertura

del diafragma de 6.3. En la figura 5(a) se aprecia el montaje experimental utilizado en la medición de la progresión del desgaste de flanco en los buriles y en la figura 5(b) se muestra el diseño del soporte que fue fabricado con el propósito de mantener constante la distancia entre la cámara y el buril durante la adquisición de las imágenes.

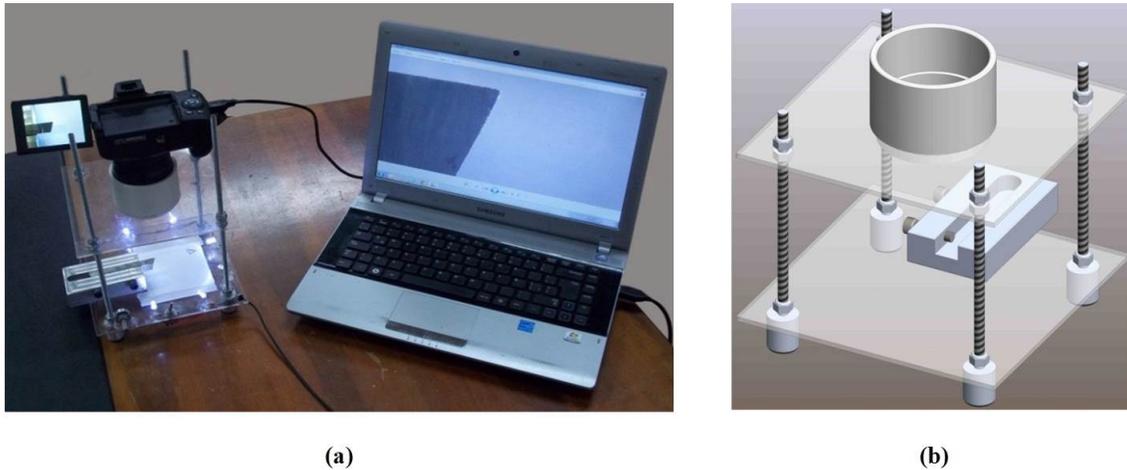


Figura 5. (a) Montaje experimental utilizado en la medición del desgaste de flanco de los buriles, (b) Diseño realizado a escala 1:100 en solidworks del soporte de sujeción de la cámara y el buril a analizar.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas de la progresión del desgaste de flanco en los buriles HSS no implantados e implantados con iones de Ti y Ti+N durante el torneado de acabado en seco de barras circulares en acero AISI SAE 1045 fueron obtenidas manteniendo constantes los parámetros de corte (ver tabla II). La cuantificación del desgaste de los buriles se realizó mediante el programa ImageJ/FIJI 1.46, comparando las diferencias de alturas respecto a la punta del filo de flanco en la

superposición de las imágenes del filo desgastado con la imagen del filo sin desgastar como se observa en la figura 6. La escala utilizada en las medidas del desgaste de flanco fue de 78.979 pixeles/mm, cantidad estandarizada a partir de la relación pixel/mm de 1:1 y obtenida del cociente entre el valor equivalente de la altura del buril en pixeles, encontrado del promedio de 18 medidas realizadas a lo largo del cuerpo del buril con un aumento de 50X correspondiente a 752.67pixeles, y el valor medido de la altura del buril que es igual a 9.53mm.

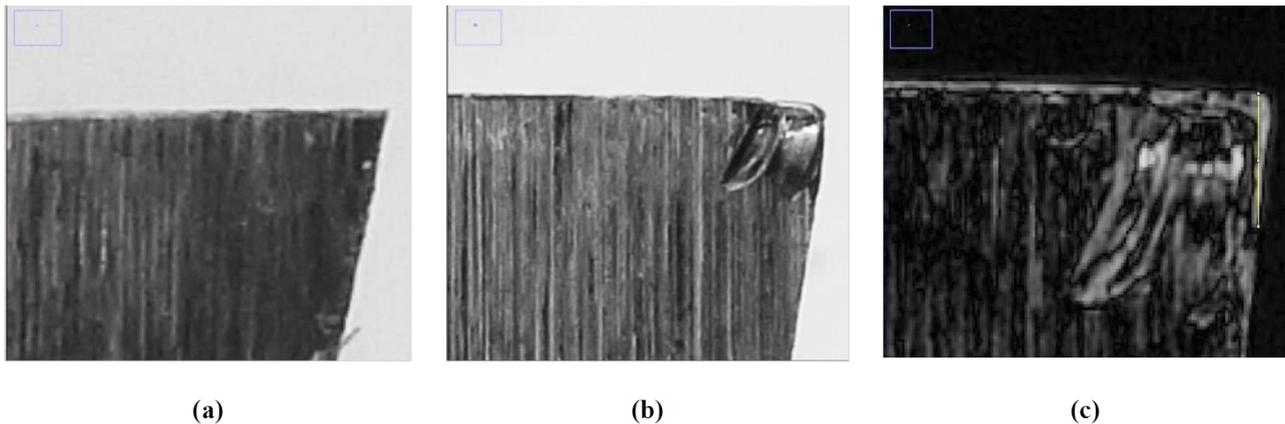


Figura 6. Medición del desgaste de flanco en los buriles usando el programa ImageJ. (a) Flanco del buril sin desgastar, (b) flanco del buril desgastado después de 14min de trabajo y (c) superposición de (a) y (b).

Los valores promedios del desgaste de flanco en los buriles no implantados e implantados fueron graficados en función del tiempo de mecanizado como se muestra en la figura 7. La vida media útil de mecanizado mediante torneado en seco en los buriles no implantados fue de 14min, mientras que los implantados con iones de Ti fue de 96min y en los implantados con Ti+N de 152min, lo que significa que el mecanizado con buriles

implantados con Ti mejoró aproximadamente el 685% y los implantados con Ti+N el 1085% con respecto a los no implantados. La desviación estándar encontrada en las medidas fueron de 0.0658 para las superficies sin implantar, 0.0474 las implantadas con Ti y de 0.0627 las implantadas con Ti+N, indicando que las medidas obtenidas mediante la técnica de microscopía digital presentaron un comportamiento homogéneo.

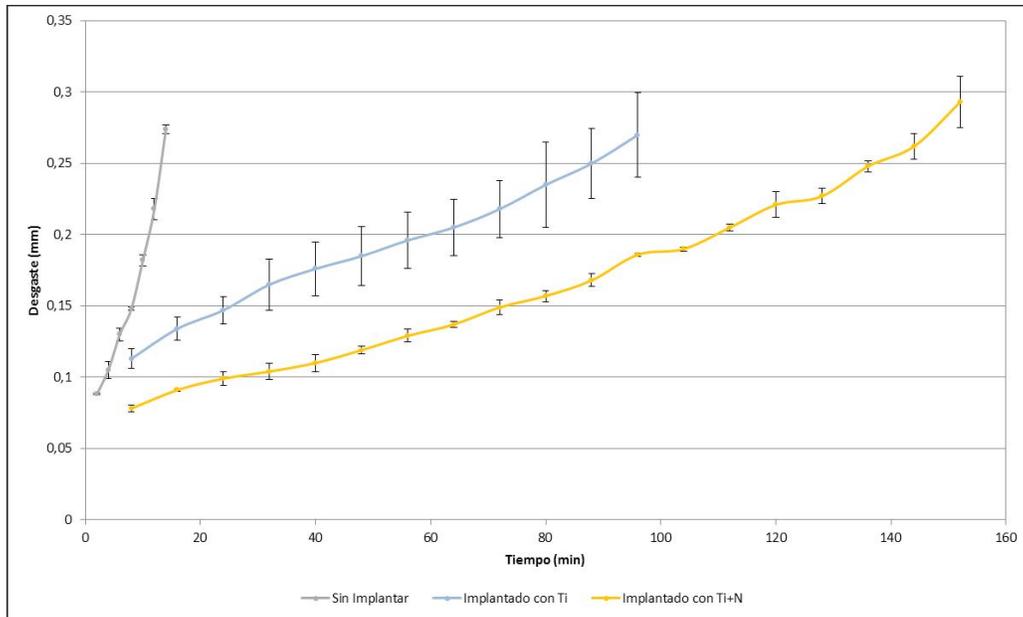


Figura 7. Comparación del desgaste promedio de flanco de los buriles, no implantados e implantados, en función del tiempo de mecanizado.
Fuente: Los Autores.

La relación de confianza entre el desgaste de flanco de los buriles (no implantados e implantados) y el tiempo de mecanizado se evidenció mediante el análisis

de regresión simple por medio de las ecuaciones del modelo ajustado y los coeficientes de correlación reportados en la tabla III.

Tabla III. Análisis de regresión simple del desgaste de flanco de los buriles en función del tiempo de mecanizado.

| Buril | Ecuación | Coefficiente | Coefficiente |
|---------------------|--|--------------|--------------|
| | $y = \text{desgaste}, x = \text{tiempo}$ | R^2 | $R^2(\%)$ |
| No Implantado | $y = 0.0441 + 0.0149x$ | 0.95974 | 95.974 |
| Implantado con Ti | $y = 0.1059 + 0.0016x$ | 0.99078 | 99.078 |
| Implantado con Ti+N | $y = 0.0568 + 0.0014x$ | 0.97649 | 97.649 |

IV. CONCLUSIONES

El diseño experimental de la técnica de microscopía digital implementado para la medición del desgaste de flanco en los buriles de acero rápido, no implantados e implantados con iones de Ti y Ti+N, resultó eficaz, precisa, confiable y reproducible durante la adquisición de forma sistemática de los datos.

Los buriles implantados con iones de Ti+N presentaron el mejor comportamiento de la resistencia al desgaste de flanco en relación con los implantados con Ti y los no implantados, debido a que el tiempo de mecanizado aumentó considerablemente conservando

las mismas condiciones de corte. Las curvas del desgaste de flanco en función del tiempo, demostraron que los iones de Ti+N implantados en la superficie de los buriles incrementó la vida útil de la herramienta de corte en la zona de flanco en aproximadamente el 1085% y los implantados con Ti en 685% respecto a los no implantados.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Rech, C. Claudin, E. D'Eramo, "Identification of a friction model-Application to the context of dry cutting of an AISI 1045 annealed steel with a TiN-coated carbide tool", Tribology

- International, vol. 42, 2009, pp 738–744.
- [2] Rogelio L. Hecker, Gustavo M. Flores, Diego Vicente, “Sistema para el monitoreo de fuerza y temperatura en torneado”, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 16, no. 1, 2012, pp. 51-60.
- [3] M. A. ElHakim, M. D. Abad, M. M. Abdelhameed, M.A. Shalaby, S. C. Veldhuis, “Wear behavior of some cutting tool materials in hard turning of HSS”, *Tribology International*, vol. 44, 2011, pp 1174–1181.
- [4] M. A. Shalaby, M. A. El Hakim, Magdy M. Abdelhameed, J. E. Krzanowski, S. C. Veldhuis, G. K. Dosbaeva, “Wear mechanisms of several cutting tool materials in hard turning of high carbon–chromium tool Steel”, *Tribology International*, vol. 70, 2014, pp 148–154.
- [5] Dogra M., Sharma V. S., Sachdeva A., Suri N. M., “Wear Dureja JSTool. Chip formation and workpiece Surface issues in CBN hard turning: a review”, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 11, 2010, pp. 341–358.
- [6] Fox-Rabinovich, G. S., Totten G. E. (eds.), “Self-organization during friction: advance surface engineered materials and systems design”, (Boca Raton, FL: CRC Taylor and Francis), 2006, pp. 3-150.
- [7] Ayas E., Kara A., “Pressureless sintering of Al₂O₃–TiCN composites”, *Key. Eng. Mater.* vol. 264-268, 2004, pp. 849–52.
- [8] Soderberg S., Sjostrand M., Ljungberg B. “Advances in coating technology for metal cutting tools”. *Metal Powder Report*, vol 56, no 4, 2001, pp. 24–30.
- [9] Bhatt A., Attia H., Vargas R., Thomson V. “Wear mechanism of WC coated and uncoated tools in finish turning of inconer 718”. *Tribol Int.* vol. 43, 2001, pp. 1113–21.
- [10] Grzesik W. “The role of coating in controlling the cutting process when turning with coated indexable inserts”, *J. Mater Process Tech.* vol. 79, 1998, pp 133–43.
- [11] Grzesik W. “Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts”. *Int. J. Mach Tools Manuf.*, vol. 39, 1999, pp 355–69.
- [12] V. I. Khvesyuk, P. A. Tsygankov, “The use of a high-voltage discharge at low pressure for 3D ion implantation”, *Surface & Coatings Technology*, vol. 96, 1997, p. 68.
- [13] V. Dugar, J. Dulcé and P. A. Tsygankov, “High voltage pulse discharge for ion treatment of metals”, *Rev. Sci. Instr.*, vol. 73, no. 2, 2002, p. 828.
- [14] Valbuena Niño E. D. and Dugar-Zhabon V., “Comportamiento del acero SAE-4140 implantado con iones de nitrógeno en ambientes hidrogenados”, *Revista Colombiana de Física*, vol. 38, no. 1, 2006, p. 61.
- [15] Valbuena Niño Ely Dannier, Deicy Viviana Salinas, Darío Yesid Peña and Luisa Fernanda Chinchilla, “Modificación superficial de un acero AISI SAE 1045 mediante la implantación de iones de nitrógeno y titanio”, *Revista Iteckne*, vol. 8, no. 1, 2011, p. 31.
- [16] Dugar-Zhabon V. D., Dulcé-Moreno H., Garnica-Villamizar H. A. and V. Niño E. D., “A new method for surface modifications of carbon steels and alloys”, *Materials Research*, vol. 15, no. 6, 2012, p. 969.
- [17] E. D. V. Niño, D. Peña, M. Reyes, V. Dugar-Zhabon, “Estudio experimental de la resistencia a la corrosión de un acero al carbono AISI-SAE 1020 implantado con iones de titanio”. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 33, no 1, 2013, p. 138.
- [18] L. Hernández, R. Pérez, P. Zambrano, M. Guerrero y L. Dumitrescu, “Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045”, *Revista de Metalurgia*, vol. 47, no. 3, 2011, pp. 262-272.
- [19] ISO 3685:1993, “Tool-life testing with single-point turning tools”, Geneva: ISO, 1993, pp. 1-48.
- [20] R. Timings, “Manual del ingeniero de taller”, México: Editorial Limusa, 2005, pp. 27-33.

RESUMEN BIOGRÁFICO DE AUTORES



Ely Dannier Valbuena Niño. Investigador Asociado de la Fundación of Researchers in Science and Technology of Materials (FORISTOM) y del Grupo de Investigación en Física y Tecnología del Plasma y Corrosión (FITEK) de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Físico y Magister en Física de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Candidato a Doctor en Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Tiene experiencia en el área de Física e Ingeniería de Materiales, con énfasis en Ciencias e Ingeniería de Materiales. Actuando sobre los siguientes temas: Modificación superficial de materiales metálicos y poliméricos (implantación y deposición), Caracterización físico-química de materiales metálicos y poliméricos, Manufactura Aditiva (Estereolitografía por laser, Impresión 3D, Prototipado).



Jorge Enrique Caballero. Profesor Asociado del Departamento de Diseño Mecánico, Materiales y Procesos de la Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Colombia. Ingeniero Mecánico y Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Tiene experiencia en el área de diseño mecánico y mantenimiento industrial.



Jesús Eduardo Contreras Naranjo. Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. Estudiante de Maestría en Electroquímica en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ). Tiene experiencia en el área de Ingeniería de Materiales, con énfasis en Electroquímica.