



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ÁREA DE INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO N° 1601_087

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VERIFICACIÓN
DIMENSIONAL DEL DESGASTE PARA HERRAMIENTAS DE
CORTE BASADO EN HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA**

**Dña. CUERVO BLANCO, Carmen
TUTOR: D. BLANCO FERNÁNDEZ, David
COTUTOR: D. ZAPICO GARCÍA, Pablo**

FECHA: Julio 2016

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introducción y objetivos..... | 4 |
| 2. | Estado del arte..... | 6 |
| 2.1 | Partes de la herramienta de corte (plaquita) y tipos de desgaste. | 7 |
| 2.2 | Verificación de la vida de la herramienta con herramientas de torneado: Norma ISO 3685..... | 11 |
| 2.3 | Estado actual de la investigación en métodos de monitorización del desgaste de la herramienta. | 16 |
| 2.3.1 | Métodos indirectos. | 16 |
| 2.3.2 | Métodos directos. | 18 |
| 2.3.3 | Justificación del proyecto. | 41 |
| 2.3.4 | Holografía conoscópica. | 42 |
| 3. | Metodología. | 47 |
| 3.1 | Hitos y tareas. | 48 |
| 4. | Equipos, sistemas e instrumentación empleada..... | 52 |
| 4.1 | MMC DEA Swift..... | 52 |
| 4.1.1 | Sistema de apoyo. | 55 |
| 4.1.2 | Sistema de transducción. | 55 |
| 4.1.3 | Instalación neumática. | 56 |
| 4.1.4 | Desplazamiento de los ejes. | 57 |
| 4.2 | Sensor de holografía conoscópica: Optimet Conopoint 10..... | 58 |
| 4.3 | Lente. | 61 |
| 4.4 | Integración del sensor holográfico en la MMC y Software. | 62 |
| 4.4.1 | Utillaje..... | 62 |
| 4.4.2 | Conexiones entre el sensor y la máquina..... | 63 |
| 4.4.3 | Parámetros de funcionamiento..... | 64 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4.4 | Herramienta de ajuste de los parámetros del sensor y recomendaciones del fabricante..... | 68 |
| 4.5 | Soporte de nivelación. | 71 |
| 4.6 | Herramienta de corte (Plaquita)..... | 72 |
| 5. | Utillaje orientador. | 74 |
| 5.1 | Primer diseño..... | 74 |
| 5.2 | Segundo diseño..... | 75 |
| 5.2.1 | Diseño cuna. | 76 |
| 5.2.2 | Diseño conjunto soporte. | 80 |
| 5.3 | Mejora del segundo diseño. | 82 |
| 5.3.1 | Mejora cuna..... | 82 |
| 5.3.2 | Mejora conjunto soporte. | 87 |
| 5.4 | Últimas mejoras y diseño final..... | 90 |
| 5.5 | Implementación del utillaje al soporte de nivelación. | 96 |
| 6. | Ajuste del sensor a la MMC (calibración)..... | 98 |
| 7. | Caracterización de los parámetros de digitalizado. | 103 |
| 8. | Determinación del ángulo óptimo para la medición..... | 110 |
| 8.1 | Estrategia de digitalizado para la determinación del ángulo óptimo..... | 111 |
| 8.1.1 | Determinación del número de medidas por punto. | 120 |
| 8.2 | Determinación del ángulo de digitalizado óptimo | 124 |
| 8.3 | Análisis de las posiciones óptimas y selección del ángulo a utilizar..... | 134 |
| 9. | Diseño del utillaje de posicionamiento único. | 141 |
| 9.1 | Diseño inicial..... | 141 |
| 9.2 | Diseño definitivo..... | 142 |
| 10. | Pruebas de repetibilidad del utillaje..... | 150 |
| 10.1 | Estrategia de digitalizado para la prueba de repetibilidad..... | 156 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 11. | Medición del desgaste..... | 159 |
| 11.1 | Estrategia y digitalizado de la plaquita sin desgastar. | 160 |
| 11.2 | Desgaste de la plaquita | 169 |
| 11.3 | Digitalización de la plaquita desgastada. | 174 |
| 11.3.1 | Plaquita desgastada 73 μm | 174 |
| 11.3.2 | Plaquita desgastada 120 μm y comparación de las 3 nubes..... | 176 |
| 11.4 | Cálculo del volumen desgastado..... | 178 |
| 11.5 | Comprobación de los resultados..... | 188 |
| 12. | Conclusiones y trabajos futuros | 193 |
| 13. | Bibliografía..... | 196 |

1. Introducción y objetivos.

Uno de los métodos más utilizados en la actualidad para la fabricación mecánica son los procesos de mecanizado, los cuales se caracterizan por el arranque de viruta mediante una plaquita de corte.

Sus principales ventajas son los buenos acabados superficiales y las estrechas tolerancias tanto geométricas como dimensionales conseguidas, mientras que uno de sus mayores inconvenientes es el desgaste de la herramienta de corte, el cual perjudica dichas ventajas a medida que se va desarrollando. Este desgaste es un resultado inevitable debido al proceso de corte de metal y es amplificado por las altas temperaturas que se producen en algunos procesos de altas velocidades de corte (“high speed machining”). Por tanto, uno de los principales objetivos de los estudios existentes en este campo se trata de medir con cierta precisión el desgaste de estas herramientas. Pudiendo tenerlo controlado, se evitaría llegar a desgastes que influyeran demasiado en los parámetros de calidad nombrados.

A pesar del alto nivel actual de automatización en la industria del mecanizado, un cierto número de asuntos no permiten la completa automatización de los procesos. Uno de estos asuntos es el desgaste sufrido por las herramientas de corte, el cual tiene que ser medido una vez desmontada esta de la máquina de corte. Por tanto, esta caracterización on-line del desgaste es crucial.

Los fabricantes de herramientas de corte proporcionan ciertas ecuaciones de cálculo que permiten estimar la duración aproximada que tendrá cada una de ellas. Estas ecuaciones serán función de distintos parámetros de corte (velocidad de corte, de rotación, profundidad, etc) que variarán dependiendo de la operación llevada a cabo. El gran inconveniente de estos cálculos teóricos es que son válidos únicamente si se trabaja bajo las condiciones óptimas descritas por el propio fabricante, las cuales no siempre es posible cumplir. Por tanto la duración real de las herramientas pocas veces coincide con la calculada mediante este método.

A lo largo de los años se han llevado a cabo estudios de otros muchos métodos que permitieran estimar esta duración de la herramienta de corte, la cual es también denominada “vida de la herramienta”. Dichos métodos consisten en conseguir la monitorización bien a tiempo real (on-line) o bien parando el proceso (off-line) del desgaste. Se pueden distinguir dos grandes grupos dentro de este campo, los métodos de monitorización indirecta y directa.

Al primer grupo pertenecen aquellos métodos en los que no es el desgaste propiamente dicho el que se monitoriza, sino un parámetro el cual se vea influenciado por los cambios en la geometría en la plaquita, como puede ser la vibración, la fuerza de corte o la emisión acústica.

Por otro lado, en el segundo grupo se incluyen aquellos métodos que si permiten el control de algún parámetro directamente relacionado con el desgaste de la herramienta. En este grupo se pueden encontrar métodos de medición por contacto (relojes comparadores, perfilómetros, etc.) y sin contacto (visión artificial, sensor de desplazamiento laser, etc).

Los métodos indirectos precisan de una ecuación que permita relacionar el parámetro medido con el desgaste real de la herramienta, mientras que en los métodos directos el parámetro monitorizado ya se trata de una indicación directa de dicho desgaste, por lo que estos últimos evitan errores y aumentan la precisión, siendo por tanto más robustos y fiables.

El principal objetivo de este proyecto será desarrollar y evaluar un procedimiento que permita caracterizar el desgaste de herramientas de corte a partir de información 3D obtenida mediante sensores de holografía conoscópica. Se estudiará el desgaste en herramientas sin rompevirutas y sin recubrimiento, digitalizadas mediante escaneado continuo.

Este error puede ser debido a las diferencias existentes entre la pieza real y la pieza diseñada en CAD (tolerancias).

Realizando el mismo proceso para el desgaste de 120 μm , el volumen resultante es 257,783 mm^3 (Con un error relativo de un 0,000908%). Por tanto el volumen desgastado en este caso será:

$$258,03 \text{ mm}^3 - 257,783 \text{ mm}^3 = 0,247 \text{ mm}^3$$

Y el error cometido en este caso por tanto es: $\varepsilon = \frac{0,25-0,247}{0,25} \cdot 100 = 1,2 \%$, por lo tanto se puede dar como válido el cálculo del volumen desgastado.

12. Conclusiones y trabajos futuros

El presente proyecto valida la utilización de la tecnología de holografía conoscópica como un método fiable y preciso de medición de desgaste.

A lo largo de este documento se ha realizado una investigación para desarrollar un método de medición del desgaste en herramientas de corte en torno. Para ello se ha utilizado un sensor de holografía conoscópica integrado por el “Área de Ingeniería de fabricación” de la Universidad de Oviedo en una máquina de medir por coordenadas.

Una vez realizados todos los pasos previos de preparación (caracterización de los parámetros de digitalizado, determinación del ángulo óptimo, pruebas de repetibilidad...) se ha conseguido llevar a cabo una medición apropiada del desgaste en la cara de incidencia.

Para medir dicho desgaste se toman nubes de puntos de las plaquitas antes y después del mecanizado y estas se modifican y se analizan mediante los softwares “Geomagic” y “Autodesk Inventor”.

Estas nubes de puntos se convierten en sólidos, de manera que se puede medir su volumen y por tanto el volumen del material mecanizado. Además, debido a la digitalización previa y posterior al desgaste, éste es calculado comparando las nubes de puntos de las plaquitas desgastadas con ellas mismas antes de sufrir dicho desgaste, con lo que se consigue cumplir los requisitos expuestos en la norma reguladora (1). Esto representa un gran avance con respecto a muchos de los métodos actuales de medición del desgaste.

Además, aunque solo se haya realizado la medición en la cara de incidencia, todo lo necesario para realizarla en la cara de desprendimiento ha sido llevado a cabo, por lo que se podría poner en marcha la medición del desgaste en la cara de desprendimiento únicamente repitiendo el trabajo realizado para la otra cara en este documento, con algunas variantes.

Por otro lado, este sistema permite obtener una representación tridimensional del desgaste de la herramienta, así como realizar el cálculo de volumen de material perdido entre dos estados de desgaste de esta.

Se trata de un proceso rápido, en el que no se necesitan más de tres minutos para realizar un escaneado de toda la plaquita, por lo que podría ser implementado como un método “en proceso”, que permitiese la medición de la herramienta mientras esta está en tiempo de parada.

Durante la realización de los ensayos se han encontrado algunas dificultades, que, aunque en este estudio no hayan sido de mayor relevancia, podrían dar problemas a la hora de realizar la implementación del sistema en un mecanismo industrial:

- Debido a la naturaleza del método utilizado, los brillos y reflejos que se puedan dar a la hora de trabajar con ciertos materiales harán que algunos de los resultados no sean válidos.

Por tanto, a la hora de trabajar con materiales metálicos (como lo son las herramientas de corte y sus utillajes) u otros materiales con esta capacidad (como la resina plástica utilizada en este proyecto para dar forma al utillaje orientador), se ha de tener controlado este aspecto, bien intentando evitar digitalizar dichas partes reflectantes o cubriéndolas de negro.

- Otro aspecto a tener en cuenta se trata de la suciedad. Durante las distintas pruebas ha sido necesario realizar repeticiones debido a que pequeñas motas de polvo u otros materiales minúsculos se depositaban en la plaquita y dañaban la precisión de digitalizado con puntos fantasma o irregularidades.

Por tanto, durante la realización de la implementación del sistema en industria se ha de tener en cuenta el uso de algún mecanismo de aire a presión para limpiar los insertos antes de realizar las mediciones.

- Por último, se ha de tener en cuenta que este tipo de sensores son muy sensibles a los cambios de temperatura, pudiendo incluso salir erróneas todas las medidas si no se mantiene está bajo control.

Por tanto, a la hora de diseñar la implementación es indispensable la búsqueda de un método que consiga un cierto control sobre los cambios de temperatura en este.

Como trabajos futuros se plantean:

- 1- Realizar la medición del desgaste en la cara de desprendimiento (desgaste de cráter). Todos los pasos previos para realizar este proceso ya se han desarrollado en el presente documento, por lo tanto el trabajo a realizar no implica complejidad.

- 2- Estudio del radio de punta. En el presente proyecto se mide el desgaste de filo y de la cara de incidencia, eliminando de estos los puntos pertenecientes al radio de punta. Un posible avance sería tener en cuenta también el desgaste ocurrido en dicho radio.
- 3- Hasta el momento, el desgaste ha sido medido según los parámetros descritos en la norma reguladora (1), VB para el desgaste de flanco y KT para el de cráter. Un objetivo futuro se trata de la búsqueda de nuevos indicadores, como lo podría ser por ejemplo el tamaño del volumen desgastado. Es decir, se podría encontrar un cierto volumen desgastado a partir del cual el desgaste ya no fuera admisible. Este sería el nuevo indicador.
- 4- Como ya se ha comentado, este método sería de posible utilización en ambiente industrial, y en concreto, para una medición del desgaste en proceso. Para ello habría que diseñar mecanismos para la implementación del sensor en las máquinas en las que se quiera realizar las mediciones; diseñar sistemas de limpieza para la plaquita, regulación de la temperatura...etc.

13. Bibliografía.

1. **3685, ISO.** Tool-life testing with single-point turning tools. s.l. : Norma ISO, 1993.
2. **S. Kurada, C. Bradley.** Computers in Industry 34 (1994) 55-72. *A review of machine vision sensors for tool condition monitoring.* [Department of Mechanical Engineering, University of Victoria]. Victoria, Canada : Elsevier, 4 de January de 1994.
3. **K. Matsushima, T. Kawabata, T Sata.** Recognition and control of the morphology of tool failures. *Annals of CIRP.* 1979. págs. 43-47.
4. **M. Castejón, E. Alegre, J. Barreiro, L.Hernández.** On-line tool wear monitoring using geometric descriptors from digital images. *International Journal of Machine Tools and Manufacture.* 2007. págs. 1847-1853.

5. **Jeon-Ha Kim, Deok-Kyu Moon, Deuk-Woo Lee, Jeong-suk Kim, Myung-Chang Kang, Kwang Ho Kim.** *Tool wear measuring technique on the machine using CCD and exclusive jig.* Graduate School of Mechanical Engineering. Busan, South Korea : Elsevier, 2002.
6. **Chen Zhang, Jilin Zhang.** On-line tool wear measurement for ball-end milling cutter based on machine vision. *Computers in industry.* Nanjing, China : Elsevier, 2013.
7. **S.A. Khan, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, C. Sage, P. Harden, M. Fleming, A. White, R.M. Saoubi.** Tool wear/life evaluation when finish turning Inconel 718 using PCBN tooling. s.l. : Elsevier, 2012.
8. **A. Devillez, S.Lesko, W. Mozer.** Cutting tool crater wear measurement with white light interferometry. *Wear. Science direct.* s.l., France : Elsevier, 25 de September de 2002.
9. **Jurkovic J, Korosec M, Kopac J.** New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system . *Int J Mach Tool Manuf* 45. 2005. págs. 1023-1030.
10. **G. Dawson, Thomas R. Kurfess.** Quantification of tool wear using white light interferometry and three-dimensional computational metrology. *International Journal of Machine Tools and Manufacture.* [Machine tools & manufacture. Science direct.]. s.l., USA : Elsevier, April de 2005. págs. 591-596.
11. **R.F. Ávila et al.** Topographic analysis of the crater wear on Tin, Ti(C,N) and (Ti,Al)N coated carbide tools. s.l. : Wear, 2008. págs. 49-52.
12. **W.H. Wang, Y.S. Wang, G.S.Hong.** 3D Measurement of crater wear by phase shifting method. *Wear.* 2006. págs. 164-171.
13. **Anna Zawada-Tomkiewicz, Borys Storch.** Measurement of tool flank wear with the use of white light interferometer. Koszalin : Raclawicka, 2010.
14. **J.L. Cantero, J. Díaz Álvarez, M.H. Miguélez, N.C. Marín.** Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718. *Wear.* Madrid : Elsevier, 2012.
15. **Luka Cerce, Franci Pusavec, Janez Kopac.** *A New Approach to Spatial Tool Wear Analysis and Monitoring.* Ljubljana : Journal of Mechanical Engineering, 2015. págs. 489-497.
16. **Valdés, Galina Kapustina Iglesias.** *Monitorización off-line del desgaste de herramientas de corte mediante digitalizado 3D.* Gijón : Universidad de Oviedo, Abril 2012. 3111138.

17. **Pablo Zapico García, Sabino Mateos Díaz.** Integración de sensores de holografía conoscópica en maquinas CNC para tareas de verificación e inspección. . *Trabajo Fin de Master*. [Centro Internacional de Postgrado]. Gijon, Asturias, España : Universidad de Oviedo, Mayo de 2014. pág. 120.
18. **Optimet.** OEM Manual for OPTIMET'S Mark 10 . Vol. Ver.1.
19. **DEA.** Catálogo Máquina de Medir por Coordenadas Swift.
20. **Optimet. Ophir Photonics.** [En línea] [ttp://www.optimet.com/our_technology.php](http://www.optimet.com/our_technology.php).
21. Catálogo Herramientas de corte de Sandvik Coromant. *Herramientas de torneado*. 2012.