

Calibración de transductores de fuerza de dos componentes en proceso de torneado

Francisco Mata Cabrera*

Abstract

This article summarizes the basic methodologic aspects and the conclusions of a research project conducted at the Polytechnical University School of Almadén (Spain) to develop a procedure of measurement of the tangential and axial components of the cut force in operations of turning based on extensometric techniques. In particular, the foundations of the method will be exposed and applied on a model of dynamometer that we have developed which incorporates an alternative assembly to the wheatstone bridge.

Keywords: Calibration, transducer, lathe, cut force.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, en el Departamento de Mecánica Aplicada de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén se está trabajando en el desarrollo de técnicas para medir las fuerzas de corte en procesos de mecanizado con máquinas-herramienta. El conocimiento de estas fuerzas en cada instante permite analizar su variación con los parámetros funcionales del proceso de corte y predecir las condiciones óptimas de utilización de cada tipo de herramienta, sin que lleguen a producirse deformaciones significativas que derivarían en el empeoramiento de la calidad dimensional de las piezas mecanizadas.

El objetivo básico de este artículo es mostrar cómo se ha realizado el proceso de calibración de un transductor de fuerzas bidireccional, que permite la medición simultánea de dos de las tres componentes de la fuerza de corte, aplicado sobre la herramienta de un torno convencional. El proceso de calibración que se describe está adaptado a las necesidades y equipamiento de nuestros laboratorios, con el fin de optimizar la utilización de los recursos disponibles. Se convierte así en un procedimiento alternativo que

permite realizar la calibración sin necesidad de disponer de complejos y costosos equipos de ensayo que reproduzcan exactamente las condiciones de trabajo de la herramienta en el torno.

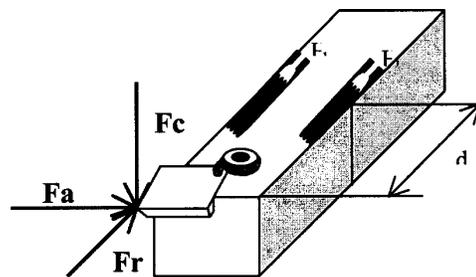


Fig. 1. Componentes de la fuerza de corte.

TRANSDUCTORES DE FUERZA

Los transductores de fuerza –comúnmente llamados dinamómetros- son los dispositivos encargados de medir los valores instantáneos de esta magnitud que se aplican, por ejemplo, en un proceso de mecanizado, donde una herramienta incide sobre una superficie virgen y tiene lugar el arranque de viruta que permite dar forma a las piezas proyectadas. El dispositivo, que es sensible a la variación de alguna de las características mecánicas de la herramienta, debe ser capaz de registrar una determinada señal y transformarla en variaciones de fuerza.

Pues bien, el principio utilizado en el diseño del transductor que se pretende calibrar es la variación de la resistencia eléctrica de una galga extensométrica al sufrir cierta deformación. La galga o extensómetro es en esencia una resistencia de valor variable en función del grado de deformación que tenga como consecuencia de someterla a determinados esfuerzos.

* Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, España.
E-mail: fr_mata@terra.es

Una vez pegada estratégicamente en la herramienta y realizadas las conexiones del circuito de medida, se procede a realizar un ensayo de corte, de manera que en la herramienta se generan tensiones, debidas a las fuerzas de corte, que a su vez originan deformaciones. Estas deformaciones se transmiten también a la galga, que modifica su valor de resistencia, y se produce una caída de tensión en el circuito, que se registra mediante la sonda de un osciloscopio o mediante un polímetro digital.

Dicho de otra forma, las deformaciones producidas en la galga generan caídas de tensión en el circuito, que se miden directamente. Estos valores de tensión eléctrica, generalmente muy pequeños (del orden de mV), se traducirán posteriormente, como veremos, a valores de fuerza, de manera que el circuito eléctrico permitirá medir indirectamente fuerzas.

La realización de una secuencia de ensayos de este tipo sirvió para probar el dispositivo y poner de manifiesto que para conseguir una adecuada sensibilidad en el proceso de medición es necesario reducir la rigidez de las herramientas utilizadas. Para ello, como veremos a continuación, se procedió a calibrar el dinamómetro, entendiendo por tal la determinación de una ley que ofreciese la relación entre fuerza y tensión eléctrica, con el fin de medir directamente fuerzas, que es nuestro objetivo último.

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Fundamento

Tal y como acabamos de comentar, para que el dispositivo diseñado pueda medir directamente fuerzas es necesario establecer una equivalencia entre la tensión eléctrica que es, realmente, el parámetro leído y la fuerza que se desea medir.

Para ello, se ha realizado un ensayo que, si bien no reproduce exactamente las condiciones de trabajo de la herramienta en el torno, nos va a permitir extrapolar sus resultados a la situación real y, en definitiva,

obtener la relación buscada. Dado que las condiciones de trabajo de la herramienta en el torno corresponden a un estado en el que existe una carga puntual aplicada en el extremo de un voladizo (“viga empotrada con extremo en voladizo”) y en la práctica nos es imposible reproducir esta situación por no disponer de todo el equipamiento necesario, se recurre a un ensayo de flexión simple con la herramienta (“viga apoyada en los extremos con carga puntual aplicada en el centro del vano”) en una máquina que permite realizar exclusivamente ensayos de tracción, compresión y flexión simple, al objeto de extrapolar los resultados a la situación real de trabajo de la herramienta, con la que se ensayará posteriormente para medir las componentes tangencial y axial de la fuerza de corte.

En primer lugar, es preciso justificar la idoneidad de esta forma de proceder examinando las dos situaciones que pretendemos comparar. La figura 2 representa las condiciones de trabajo de la herramienta en el torno. Como se puede apreciar, se encuentra empotrada en el portaherramientas y tiene aplicada una carga puntual en el extremo del voladizo.

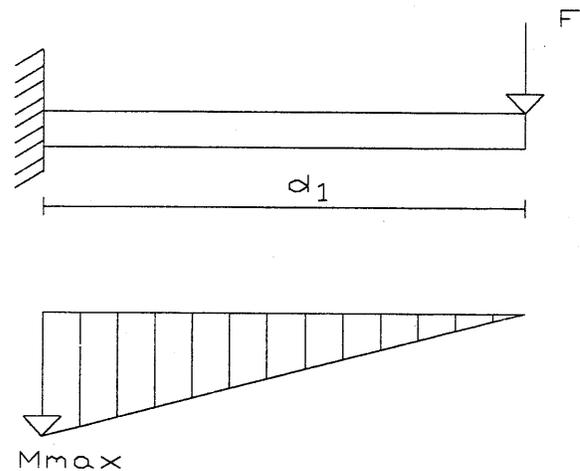


Fig. 2. Solicitación de la herramienta en la operación de mecanizado.

El momento flector máximo en el empotramiento $M_{\max(1)}$ será:

$$M_{\max(1)} = F \cdot d_1$$

siendo:

F: fuerza aplicada, que equivale a la componente de la fuerza de corte que se desea medir

d_1 : distancia del empotramiento al extremo del voladizo (“longitud efectiva de la herramienta”)

y la tensión admisible σ_1 será:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max(1)}}{w_1}$$

donde:

w_1 : módulo resistente de la sección

La figura 3 representa las condiciones de trabajo de la herramienta durante el ensayo de flexión simple.

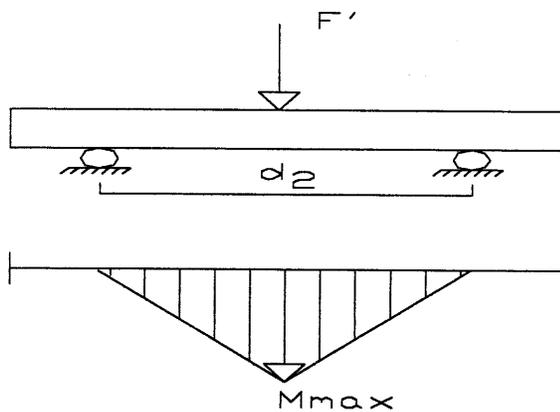


Fig. 3. Solicitación de la herramienta en el ensayo de flexión.

El momento máximo en el centro del vano $M_{\max(2)}$ será:

$$M_{\max(2)} = \frac{F' \cdot d_2}{4}$$

siendo:

F' : Fuerza aplicada en el centro del vano

d_2 : Distancia entre apoyos

y la tensión admisible σ_2 será:

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max(2)}}{w_2}$$

Pretendemos obtener una relación entre F (fuerza que realmente se aplicaría en el torno) y F' (fuerza aplicada en el ensayo de flexión pura). Para ello, tendremos en cuenta una situación en la que las deformaciones producidas en los dos casos sean idénticas, lo que se traducirá inevitablemente en valores de tensión eléctrica también idénticos. Dado que las herramientas utilizadas en los dos supuestos son iguales (sección, material, módulo de elasticidad, módulo resistente, etc.) se concluye que las tensiones mecánicas han de ser también iguales.

Dicho en otros términos:

$$w_1 = w_2 = \frac{\frac{1}{12} \cdot a \cdot a^3}{\frac{a}{2}}$$

siendo “a” la dimensión del lado de la herramienta.

Por tanto:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max(1)}}{w_1} = \frac{F \cdot d_1}{w_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max(2)}}{w_2} = \frac{F' \cdot \frac{d_2}{4}}{w_2}$$

e igualando las expresiones de las tensiones se tiene:

$$\frac{F \cdot d_1}{w_1} = \frac{F' \cdot \frac{d_2}{4}}{w_2}$$

De manera que la relación de fuerzas buscada es:

$$F = \frac{F' \cdot d_2}{4 \cdot d_1}$$

y particularizando los valores de las distancias,

$d_1 = 55 \text{ mm}$ y $d_2 = 100 \text{ mm}$ se tiene:

$$F = 0.45 \cdot F'$$

Esta relación es específica para las condiciones fijadas (longitud efectiva de la herramienta y distancia entre apoyos en el ensayo de flexión simple) aunque es fácilmente aplicable a otras situaciones siempre y cuando se trabaje con herramientas idénticas tanto en la operación de corte como en el ensayo de flexión. Se puede apreciar también que el resultado es independiente de la sección de la herramienta considerada.

Resultados

Para realizar el ensayo de flexión simple sobre la herramienta se pone a punto en primer lugar la máquina de ensayo (figura 4) y se coloca en la herramienta una galga de las mismas características que las utilizadas en el proceso de corte, en el punto de aplicación de la fuerza, en la cara opuesta al contacto con el percutor.

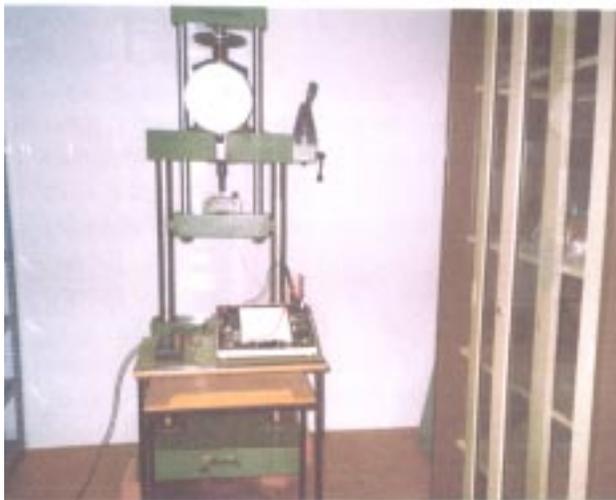


Fig.4. Ensayo de referencia de flexión simple.

A continuación, se realizan las conexiones con el equipo de medida y se procede a registrar los valores de tensión eléctrica que se generan como consecuencia de la aplicación de fuerzas sucesivas de valor creciente.

Los resultados del ensayo de flexión pura se reflejan en la tabla I:

Fuerza aplicada (N)	Tensión eléctrica (mV)
2,000	900
4,000	1,800
6,000	2,700
8,000	3,600
10,000	4,500

Pues bien, aplicando la ecuación deducida anteriormente, se obtienen los valores de la fuerza de corte equivalente (F') que se registrarían durante la operación de mecanizado y que provocarían las mismas deformaciones, esto es:

Valor de F (N)	Valor de F' (N)
2,000	900
4,000	1,800
6,000	2,700
8,000	3,600
10,000	4,500

En consecuencia, los valores de fuerzas y tensiones eléctricas equivalentes leídas durante el proceso de mecanizado en el torno serán los siguientes:

Fuerza de corte (N)	Tensión eléctrica (mV)
900	600
1,800	790
2,700	2,070
3,600	3,300
4,500	3,550

Si se relacionan los valores anteriores se obtiene una buena aproximación lineal dada por la ecuación:

$$F' = 13,287 \cdot v - 4,598$$

Siendo “v” la tensión eléctrica leída en el dispositivo en mV.

Esta es la expresión buscada y permite, de manera sencilla mediante una hoja de cálculo, transformar las lecturas de tensión eléctrica a valores de fuerza.

Validación con experiencias previas

Dado que la relación tensión eléctrica-fuerza se ha determinado experimentalmente a partir de un ensayo de referencia, es necesario contrastar los resultados obtenidos con los de experiencias previas realizados en condiciones similares.

Pues bien, se ha podido comprobar que, por lo general, la relación tensión eléctrica-fuerza se puede expresar por una línea recta con pendiente 1: 1 según demuestran, por ejemplo, J. Agullo y M. Borrás, del Laboratorio de cálculo y mecánica de la E. T.S.I.I. de Barcelona. Otros autores también llegan a resultados parecidos, pero, en todo caso, se ha de tener en cuenta que las condiciones fijadas en los ensayos no siempre son comparables, en cuanto al tipo transductores utilizados, herramientas, condiciones de corte, etc.

Podemos, pues, concluir que la ley de variación de la fuerza con la tensión eléctrica determinada en este trabajo concuerda con otras experiencias realizadas en esta materia, a pesar de no haber reproducido de manera fiel las condiciones de trabajo de la herramienta en el torno.

APLICACIÓN PRÁCTICA

Con el fin de comprobar la eficacia del transductor de fuerza, se procedió a realizar diversos ensayos para medir la fuerza de corte (figura 5) y analizar su variación respecto a las condiciones de trabajo fijadas (profundidad de pasada, velocidad de corte y velocidad de avance).



Fig. 5. Medida de la fuerza de corte en operación de cilindrado exterior.

La gráfica representada en la figura 6 corresponde a la evolución de la fuerza de corte con la profundidad de pasada. Resulta evidente que al aumentar este parámetro debe hacerlo también la fuerza aplicada, como así sucede en la realidad.

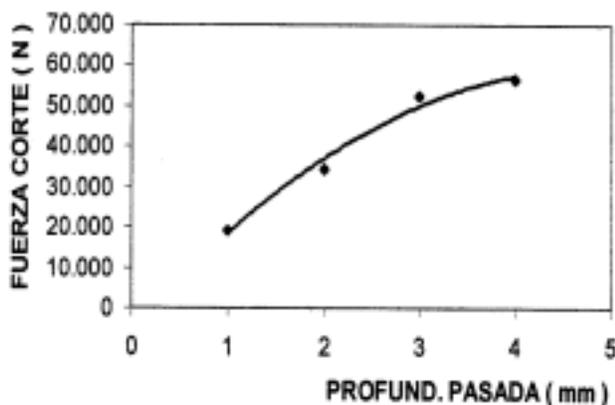


Fig. 6. Evolución de la fuerza de corte con la profundidad de pasada.

Por otra parte, se pudo probar que la sensibilidad del dispositivo calibrado es mayor si se aplica sobre herramientas menos rígidas, circunstancia que se puede resolver practicando unas ranuras perimetrales de diferente profundidad.

CONCLUSIONES

Ha sido la utilización del dispositivo en la medida de las fuerzas de corte bajo diferentes condiciones de trabajo lo que, finalmente, nos ha demostrado su validez y eficacia, en tanto en cuanto los resultados

obtenidos concuerdan con los de otros trabajos similares. Por ejemplo, se ha comprobado en la práctica que la fuerza de corte es entre 4 y 5 veces mayor que la fuerza de avance, tal como se puede demostrar de forma teórica.

Cabe decir, por tanto, que el procedimiento presentado ofrece garantías suficientes para ser aplicado tanto en procesos industriales como en la realización de trabajos de investigación que requieran medir el valor de la fuerza de corte.

REFERENCIAS

1. Pizarro Delgado, M^a Castillo, Mata Cabrera, Francisco, De la Cruz Gómez, Carlos, "Análisis, desarrollo y construcción de un dinamómetro bidireccional para la medida de fuerzas en el torno, basado en técnicas extensométricas" Servicio de Publicaciones. E.U.P. Almadén, 2001.
2. Fuentes del Burgo, Joaquín, "Técnicas extensométricas", Ediciones Copy-Expres, Almadén, 1995.
3. Ortiz, L., "Resistencia de materiales", Editorial Mx Graw Hill, Madrid, 1991.
4. Martín Batlle, M, "Extensometría", Editorial Díaz de Santos, Madrid, 1992.