

CÁLCULO DE LA FUERZA DE SUJECIÓN EN CHUCK

J. Arturo Mendoza Razo
CIATEQ AC campus San Luis Potosí
Alumno de Posgrado
amrazo1@yahoo.com.mx

RESUMEN

Investigaciones diversas para la determinación de la fuerza de sujeción en chucks arrojan diferentes resultados, esto se debe a la falta de consideración de variables tales como la longitud de sujeción, la influencia de la rigidez estructural o los factores de seguridad; lo anterior promueve como resultado una innecesaria disminución en el número de revoluciones utilizables y por lo tanto, una reducción de la efectividad de la operación de torneado. Con el modelo que se presenta en este trabajo es factible determinar la fuerza de sujeción en el chuck con base a las fuerzas presentes en éste durante el proceso de mecanizado. La validez y precisión del modelo matemático fue validada en base a una investigación teórica – práctica previa.

Palabras clave: Sujeción, Chuck, Torneado.

INTRODUCCIÓN

La creciente competencia alrededor del mundo obliga al sector industrial a operar de manera más eficiente en todos sus procesos. En el área de manufactura de corte se ha evolucionado a procesos de mecanizado a altas velocidades, en los cuales se reduce el tiempo de operación y se incrementa la calidad superficial. Sin embargo, este incremento en la velocidad de corte se encuentra estrechamente unido al aumento del número de revoluciones.

El dispositivo de sujeción más difundido para operaciones de torneado debido a su flexibilidad en la fijación de piezas, es el chuck de mordazas, el cual está sujeto a un decremento en la fuerza de sujeción a altas velocidades de giro, como consecuencia de la fuerza centrífuga que se presenta en las mordazas. Esta disminución en la fuerza de sujeción

puede ocasionar una salida descontrolada de la pieza de trabajo, lo que pone en riesgo la seguridad del personal y de la máquina.

El objetivo de este artículo es presentar el modelo analítico de cálculo para determinar, en el torneado, la fuerza de sujeción necesaria en un chuck de mordazas.

FUNDAMENTOS

En el área de torneado, el desarrollo progresivo dentro de la gama de técnicas de accionamiento y materiales de corte, conducen a un incremento en el rendimiento de corte, generalmente al incrementar la velocidad de corte, es necesario aumentar el número de revoluciones.

Para producir de manera segura una pieza, se debe determinar la fuerza de sujeción necesaria y para ello, deben ser conocidas las fuerzas y momentos que se generan durante el mecanizado, ver Fig. 1, y la fuerza de sujeción efectiva durante la operación. La fuerza de sujeción necesaria es la suma aritmética de las fuerzas que actúan de manera radial en las mordazas sobre la pieza.

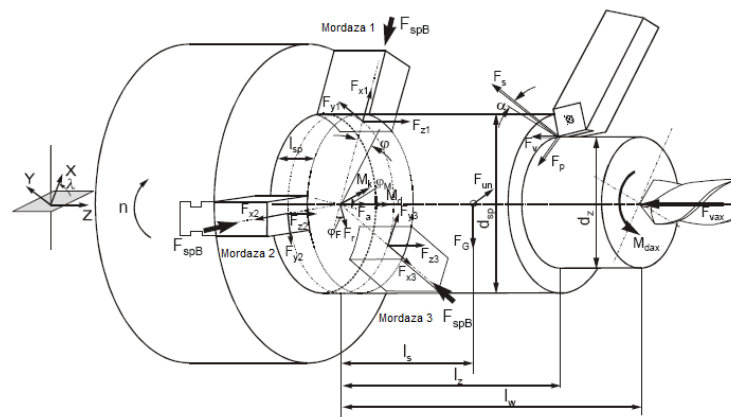


Fig. 1. Fuerzas y momentos en la pieza de trabajo [1]

De esta manera, la velocidad de corte en el torneado está limitada por los dispositivos de sujeción con mordazas. Ya que una sujeción segura de la pieza de trabajo a un número alto de revoluciones, incrementa la seguridad y la eficiencia en la operación de torneado.

Para la formulación del modelo matemático es necesario analizar las características de los chucks y de las mordazas, además de los parámetros del proceso y de las piezas de trabajo. De esta manera se puede conocer la eficiencia del dispositivo, la fuerza centrífuga y la rigidez o esfuerzo involucrado y los factores de sujeción; para obtener un cálculo de la fuerza de sujeción mínima, la pérdida de fuerza durante la operación y por último, la fuerza de sujeción necesaria, ver Fig. 2.

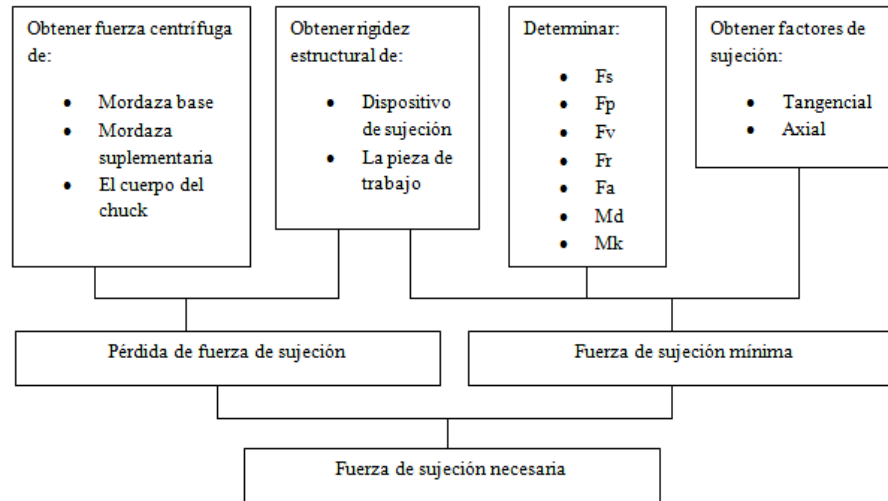


Fig. 2. Procedimiento Experimental [2]

Cuando comienza la operación de torneado, surgen fuerzas de desequilibrio las cuales deben ser determinadas para calcular de manera precisa la fuerza de sujeción necesaria. La fuerza para arranque de viruta F se puede determinar a partir de sus componentes que son la fuerza de corte F_c , la fuerza pasiva F_p y la fuerza de avance F_f , de la siguiente forma:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_c + \mathbf{F}_p + \mathbf{F}_f \quad (1)$$

En el modelo matemático se deben considerar las cargas presentes en la pieza de trabajo tales como la fuerza axial F_a , la fuerza radial F_r y los momentos de giro M_g y el momento de vuelco M_v , de esta manera el uso y la magnitud de los coeficientes de seguridad disminuirá.

Al considerar la rotación del husillo, las fuerzas de reacción actuando sobre la superficie de sujeción varían, debido al cambio de orientación de la fuerza radial φ_{F0} y del momento angular φ_{M0} , cada una respecto al sistema de referencia correspondiente.

La fuerza centrífuga es una fuerza de desequilibrio que se origina con la rotación de una pieza de trabajo alrededor de un eje que no coincide con el eje principal de inercia. El desequilibrio se describe por la indicación de una masa no equilibrada y una excentricidad. Esta fuerza depende del cuadrado del número de revoluciones, de la masa del chuck y de la distancia de las mordazas con respecto al eje de rotación.

De esta manera se puede obtener la Fuerza centrífuga por mordaza superior $F_{CF,sup}$, la Fuerza centrífuga por mordaza base $F_{CF,base}$ y la Fuerza centrífuga del cuerpo del chuck $F_{CF,chuck}$ [1, 2]. Cabe mencionar, que la masa de la mordaza suplementaria, incluye la masa de los tornillos o pernos que la unen a la mordaza base.

La rigidez de una máquina, un ensamble o un componente, caracteriza su comportamiento de deformación elástica, por el efecto de fuerzas y momentos externos. La rigidez del dispositivo de sujeción tiene una gran influencia en la precisión del mecanizado por lo que resulta indispensable el desarrollo de estos parámetros para la correcta descripción del dispositivo de sujeción.

Para determinar la rigidez estructural del dispositivo de sujeción, es necesario determinar en el punto de sujeción, la rigidez de la completa desalineación radial del dispositivo de sujeción debido a efectos de la fuerza de sujeción, ya que dependen de las características geométricas y mecánicas del chuck y de las mordazas, ver ecuación 2, [3].

$$k_{r,sp,sp} = \left(k_{r,GB,sp}^{-1} + k_{r,AB,sp}^{-1} \right)^{-1} \quad (2)$$

Para lo que es necesario calcular la rigidez de desalineación radial en el punto de sujeción debido a la deformación del chuck debido a los efectos de la fuerza de sujeción $k_{r,GB,sp}$ y la rigidez de desalineación radial en el punto de sujeción debido a la deformación de la mordaza suplementaria bajo efecto de fuerza de sujeción $k_{r,AB,sp}$.

Con una suposición de la rigidez radial de la pieza de trabajo infinitamente alta, la Fuerza centrífuga efectiva en el punto de unión por mordaza se calcula por:

$$F_{CF,efect} = \chi_{sup} \cdot F_{CF,sup} + \chi_{base} \cdot F_{CF,base} + \chi_{chuck} \cdot F_{CF,chuck} \quad (3)$$

En donde χ_{sup} es el factor de influencia de vuelco para la fuerza centrífuga de la mordaza superior, χ_{chuck} el factor de influencia de inclinación para la fuerza centrífuga del cuerpo del chuck y χ_{base} el factor de influencia de sujeción para la fuerza centrífuga de la mordaza base.

Con diferentes tipos de chucks y mordazas las dimensiones geométricas cambian, ver Fig. 3, y esto influye en los parámetros de rigidez.

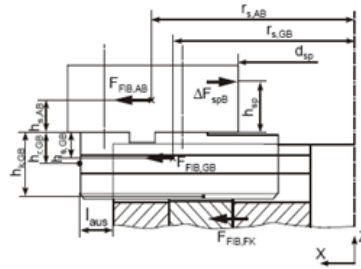


Fig. 3 Parámetros de rigidez

PROCEDIMIENTO

Con los datos del proceso y con la información del sistema de sujeción, se determina la mínima fuerza de sujeción inicial $F_{sujM,min}$, ecuación 4, la fuerza de sujeción utilizable F_{suj0} , ecuación 5, y la pérdida de la fuerza de sujeción por mordaza ΔF_{sujM} , ecuación 6:

$$F_{sujM,min} = \underset{\varphi=-\pi}{MAX}^{\pi} \left(\sqrt{Z(\varphi)^2 + Y(\varphi)^2} + X(\varphi) \right) \quad (4)$$

Con:

$$Z(\varphi) = \frac{M_v \cdot \cos(\varphi_{M0} - \varphi) - \frac{F_a}{3}}{\mu_{spa}} \quad Y(\varphi) = \frac{2 \cdot M}{3 \cdot d_{suj}} - \frac{2 \cdot C \cdot F_r \cdot \text{sen}(\varphi_{F0} - \varphi)}{3 \cdot (1 + C)} \quad X(\varphi) = \frac{2 \cdot F_r \cdot \cos(\varphi_{F0} - \varphi)}{3 \cdot (1 + C)}$$

$$l_e = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{l_{suj}^2}{d_{suj}} \cdot \frac{k_{red,pza,dif}}{k_v} + 3 \cdot d_{suj} \right) \quad C = \frac{k_y}{k_x}$$

$$F_{suj0} = 3 \cdot S_{suj} \cdot \left(S \cdot F_{sujM,min} \pm \Delta F_{sujM} \right) \quad (5)$$

$$\Delta F_{sujM} = \sum_i \chi_i \cdot F_{CF,i} \cdot \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \frac{k_{r,suj,suj}}{k_{red,pza}}} \quad (6)$$

Aquí S y S_{suj} corresponden al factor de seguridad para el virutado y para la fuerza de sujeción respectivamente; l_e es el brazo de palanca efectivo de las fuerzas de reacción axial de la mordaza contra el par de vuelco, M es el par o momento de vuelco y φ el ángulo entre la fuerza pasiva y la dirección de la fuerza radial.

Analizando ecuaciones y parámetros a considerar en el cálculo de la fuerza de sujeción necesaria, se realiza la integración de variables y el desarrollo del modelo analítico a emplear, estableciendo los datos mínimos necesarios y sus valores característicos a ser utilizados. Como ejemplo estos datos se presentan en las tablas 1 a 3 [2, 3, 4].

Tabla 1. Parámetros de la herramienta

Material de corte	HM
Ángulo de ajuste χ_H (°)	95
Profundidad de corte a_p (mm)	0.5
Avance(mm)	0.2
Máximo número de revoluciones n (min^{-1})	3000
Ángulo de inclinación λ (°)	45
Ángulo de desahogo α (°)	0
Dirección de movimiento del husillo	Sentido horario

Tabla 2. Parámetros de la pieza

Material de la pieza de trabajo	Ck45
Diámetro de la pieza de trabajo d_{pza} (mm)	80
Razón de diámetros σ	0
Longitud de la pieza de trabajo l_{pza} (mm)	130
Diámetro de mecanizado d_v (mm)	80
Distancia punto de corte - punto de sujeción l_v (mm)	115
Diámetro de sujeción d_{suj} (mm)	80
Longitud de sujeción l_{suj} (mm)	30
Peso F_G (N)	51
Distancia del punto de corte de la pieza a la sujeción l_s (mm)	50

Tabla 3. Parámetros del chuck y mordazas [4]

Chuck y mordazas	F-KST-K-BSW III 265
Mordaza suplementaria	WB-K III 250
Diámetro alcanzable por las mordazas d_{pzaM}	80 mm
Distancia de sujeción h_{suj} (mm)	35
Posición radial de la mordaza base l_{vol} (mm)	-3
Masa por mordaza base m_{base} (kg)	0.582
Distancia del punto crítico del radio respecto a la mordaza base $r_{s,base}$ (mm)	78.4
Distancia del punto crítico de la mordaza base respecto a la mordaza superior $h_{s,base}$ (mm)	17
Masa por mordaza suplementaria m_{AB} (kg)	1.142
Distancia del punto crítico del radio respecto a la mordaza superior $r_{s,sup}$ (mm)	82.7
Distancia del punto crítico de la mordaza superior respecto a la mordaza base $h_{s,sup}$ (mm)	22.5

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos de las tablas anteriores se determinan las constantes de fuerzas para el material de la pieza de trabajo, las cargas y fuerzas centrífugas en ésta, los esfuerzos de desalineación, los factores de influencia de vuelco y de sujeción, la fuerza de sujeción mínima, la pérdida de fuerza de sujeción en el chuck y la fuerza de sujeción necesaria; estos resultados se presentan de la tabla 4 a la 11.

Tabla 4. Constantes de fuerzas para el material de la pieza de trabajo

Valor principal de la fuerza específica de corte $k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1659
Valor de aumento de la fuerza de corte (1- m_c)	0.79
Valor principal de la fuerza de avance específica $k_{f1.1}$ (N/mm ²)	521
Valor de aumento de la fuerza de avance (1- m_f)	0.51
Valor principal de la fuerza pasiva específica $k_{p1.1}$ (N/mm ²)	309
Valor de aumento de la fuerza pasiva (1- m_p)	0.6

Tabla 5. Cargas y fuerzas centrífugas en la pieza de trabajo

Fuerza de corte F_c (N)	232.7972252
Fuerza pasiva F_p (N)	58.9126815
Fuerza de avance F_f (N)	114.8535318
Fuerza axial F_a (N)	-114.853532
Momento M (Nm)	9.311889008
Fuerza radial F_r (N)	218.4601754
Ángulo de efecto de la fuerza radial φ_{F0} (°)	-64.2307393
Momento de extracción M_v (Nm)	25.28439621
Ángulo de efecto del momento de extracción φ_{M0} (°)	-80.9344037
Fuerza centrífuga por mordaza suplementaria $F_{CF,sup}$ (N)	9321.189963
Fuerza centrífuga por mordaza base $F_{CF,base}$ (N)	4503.382053
Fuerza centrífuga del cuerpo/pistón del chuck $F_{CF,chuck}$ (N)	423739.5196

Tabla 6. Rigideces o esfuerzos

Variación total de la rigidez de desplazamiento radial del medio de sujeción bajo la acción de la fuerza de sujeción $k_{r,suj,suj}$ (N/ μm)	97.648
Reducción promedio de la rigidez radial de la pieza $k_{red,pza}$ (N/ μm)	4487
Diferencia de la reducción de la rigidez radial de la pieza $k_{red,pza,dif}$ (N/ μm)	6302
Rigidez en la dirección x del sistema de referencia base k_x (N/ μm)	96
Rigidez en la dirección y del sistema de referencia base k_y (N/ μm)	136
Rigidez en la dirección z del sistema de referencia base k_z (N/ μm)	604

Tabla 7. Factores de influencia de inclinación

χ_{sup}	0.905678975
χ_{base}	0.601402175
χ_{chuck}	0.000685872

Tabla 8. Factores de sujeción

Coeficiente de sujeción axial $\mu_{suj,a}$	0.08
Coeficiente de sujeción tangencial $\mu_{suj,t}$	0.1

Tabla 9. Fuerza de sujeción mínima en las mordazas

$F_{sujM,min}$ (N)	3165
--------------------	------

Tabla 10. Pérdida o diferencia de la fuerza de sujeción en el chuck

ΔF_{sujM} (N)	11245.20
-----------------------	----------

Tabla 11. Fuerza de sujeción necesaria

F_{suj0} (N) con $S=1.3$ y $S_{suj}=1.3$	59902.83188
F_{suj0} (N) con $S=1.3$ y $S_{suj}=1.1$	50687.01159

Donde estos resultados obtenidos en el modelo matemático, se compararon con los obtenidos mediante medición directa en experimentos realizados en laboratorio [3], encontrándose que existe entre ambos una desviación máxima del 2%.

CONCLUSIONES

El cálculo de la fuerza de sujeción óptima hace más efectiva la operación de torneado, en especial con sistemas de sujeción para alto número de revoluciones, incrementando la precisión en la pieza y la seguridad en la operación.

La determinación más exacta de la fuerza de sujeción necesaria y la pérdida de fuerza de sujeción tres consiguió una reducción en los factores de seguridad, hasta en 40%.

La fuerza de sujeción está determinada por la solución numérica de las ecuaciones, siendo éstas función de las fuerzas del proceso y de la geometría de los dispositivos.

Los resultados del modelo ya se han comparado con los obtenidos de forma experimental y solamente para corroborar se está desarrollando actualmente una adicional comprobación empleando el método del elemento finito.

Con el grado de desviación presentado se estima que este modelo sea empleado para determinar la fuerza de sujeción de los chucks y así garantizar la seguridad de los trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] König, Winfried, *Fertigungsverfahren 1: Drehen, Fräsen, Bohren: Drehen, Frasen, Bohren (VDI-Buch)*. 8 edición, Springer Verlag, Berlín 2008. ISBN: 978-540-23458-6.
- [2] Köther, Reinhard; Rau, Wolfgang; *Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure*. 3 edición Ed. Hanser Fachbuchverlag, Berlín 2007. ISBN-10: 3446412743 . ISBN-13: 978-3446412743
- [3] Xu Chao; Feng Pingfa, et al. "Characteristics of Stiffness and Contact Stress Distribution of a Spindle-holder Taper Joint under Clamping and Centrifugal Forces". *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [en línea]. 2014 , vol 82-83 [ref. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2014.03.006] pp 21-28. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695514000443>
- [4] Catálogo del grupo de productos 6 + 7 Útiles de sujeción, Röhme, Röhme Ibérica S. A., Calle Longares, 9-28022 Madrid.