

La huella de contacto entre flancos como indicador de la precisión de la transmisión por engranaje de tornillo sinfín.

G. Rivero Llerena, R. Rivero Galán, J. L. Placencia González.

Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica

Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*.

Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba

E – mail: grivero @ mecanica.cujae.edu.cu, rolando @ mecanica.cujae.edu.cu, plashen @hotmail.com

(Recibido el 10 de mayo de 2007; aceptado el 22 de julio de 2007)

Resumen

El objetivo de esta investigación es la creación de un procedimiento que permita evaluar el grado de precisión de la transmisión por tornillo sinfín, teniendo en cuenta los errores de fabricación y montaje propios de cada tecnología de elaboración. Se utilizó un método teórico, que combinado con las mediciones físicas de la huella de contacto, dieron lugar a un procedimiento que se fundamenta en el empleo de nomogramas que contienen los parámetros del contacto entre flancos. Se aprecia que el procesamiento de las imágenes digitales de la huella, permite establecer determinadas características de calidad del par engranado.

Palabras claves: Engranaje de tornillo sinfín, grado de precisión, huella de contacto, montaje.

1. Introducción.

La excelencia en la producción de reductores de velocidad de distintos tipos, se encuentra en algunos países con elevado desarrollo tecnológico. Cada firma elite ha creado la infraestructura necesaria para la fabricación y el control de la calidad del producto ofertado.

Muchos países, que no poseen este nivel de desarrollo, encuentran dificultades para la reposición de estos agregados cuando han quedado fuera de servicio, por lo que en los tiempos actuales se practican soluciones alternativas para la restauración de las cualidades de servicio del conjunto mecánico mediante un procedimiento conocido, en muchos países, como reconversión de reductores de velocidad [5], el cual comienza con un proceso de reingeniería de la geometría del engranaje.

El problema que da origen a este trabajo de investigación, es que en el citado procedimiento, la pequeña cantidad de ruedas a construir no justifica los costos de fabricación de una fresa madre particular (con dimensiones y geometría similares a las del tornillo sinfín), por lo que generalmente se elaboran los dientes de la rueda con “fresa madre natural”, lo que afecta la llamada conjugación de perfiles [7].

Como característica de calidad de la transmisión ha sido utilizada aquí la huella de contacto entre flancos del

engranaje. Las mediciones físicas de la citada huella en el flanco activo del diente, de la rueda construida, constituyen el factor principal del método de evaluación propuesto.

En el desarrollo de este artículo se presenta una breve descripción de algunas restricciones geométricas para garantizar un mayor contacto en la zona de engranaje, se muestran los orígenes de los nomogramas que fueron creados para evaluar el grado de precisión del par engranado, tomando en consideración las mediciones de la huella de contacto que se crean en la transmisión resultante de la tecnología aplicada.

2. Desarrollo.

La sección de la carcasa por el plano axial del tornillo y perpendicular al árbol de la rueda, ha sido representada en la figura 1. La superficie de la base de instalación (P) sirve de referencia para la correcta posición de los orificios (J y K) donde se alojan los rodamientos del tornillo. Es decisivo, en esta vista del conjunto, la relación entre el diámetro de fondo de los filetes del tornillo y la distancia entre los centros de presión de sus rodamientos (L_1) lo cual guarda relación con el grado de rigidez del subconjunto del tornillo, que influye en el contacto entre los flancos engranados, debido a la flexión bajo carga [1].

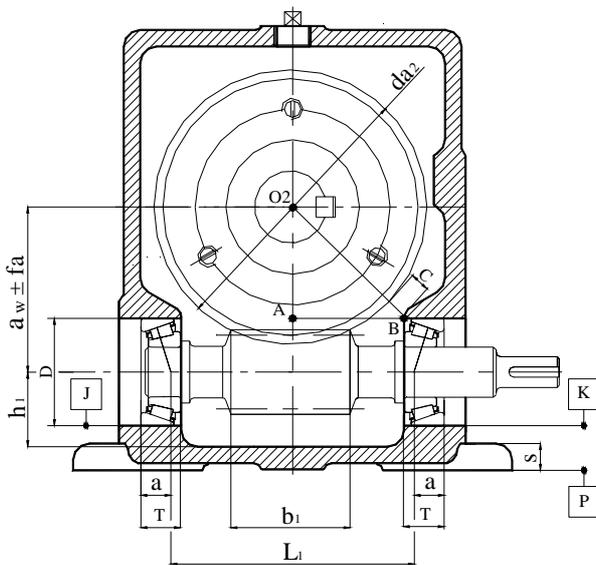


Figura 1 Sección de la carcasa en el plano del tornillo

En la medida en que crece da_2 , debido al incremento de la relación de transmisión o de la distancia interaxial a_w , aumenta la distancia entre los rodamientos del tornillo (triángulo O_2, A, B), la cual debe tener un límite máximo para la resistencia a la flexión de este.

Los errores de fabricación de la carcasa, el tornillo y la rueda, tienen una influencia decisiva en el contacto entre dientes de la rueda y espiras del tornillo, es indispensable para el proceso de fabricación de estos componentes acotar las tolerancias de forma y posición según los estándares establecidos [2], teniendo en cuenta el grado de precisión de elaboración.

La proporción entre la huella de contacto y el área del flanco del diente, es un indicador importante de la carga que se está transmitiendo. Este aspecto no queda suficientemente explicado en la literatura especializada, ya que forma parte de la habilidad profesional de firmas experimentadas en la fabricación de este tipo de engranaje.

3. Materiales y método.

Para el comportamiento en servicio de la transmisión por tornillo sinfín, se establecen tres requisitos [3].

1. Suavidad de trabajo.
2. Precisión cinemática.
3. Contacto entre flancos de dientes y espira.

El lugar geométrico de los puntos de contacto de los flancos del par engranado depende, en buena medida, de la posición relativa entre los ejes del tornillo y la rueda. Los errores en la posición de estos ejes respecto a los

valores teóricos, también influyen en la huella de contacto del engranaje [4].

Los requisitos de contacto entre flancos, aprobados en la norma de intercambiabilidad para este tipo de transmisión [3], prescriben las desviaciones límites para la posición de los mencionados ejes, ver la tabla 1.

Tabla 1 - Errores de elaboración e inestilación.

Errores de contacto entre dientes y espiras	Símbolo	En dependencia de
Desviación de la distancia interaxial.	$\pm f_a$	Grado de precisión de elaboración y distancia interaxial.
Desviación del plano medio de la rueda.	$\pm f_x$	Grado de precisión de elaboración y distancia interaxial.
Desviación del ángulo interaxial.	$\pm f_\Sigma$	Grado de precisión de elaboración y ancho de la rueda.

La Norma cubana NC 16-23 :83 [3], dentro de los requisitos de contacto entre flancos, establece las dimensiones relacionadas con la sumatoria de las huellas de contacto en % del tamaño del diente, a partir del grado de precisión de elaboración de la transmisión.

El mencionado documento [3] designa como:

δ - Sumatoria de las huellas de contacto en % de longitud del diente.

ρ - Sumatoria de las huellas de contacto en % de altura del diente.

En esta investigación se desarrolla un procedimiento práctico [4] para obtener y evaluar la huella de contacto real que se produce en el engranaje sinfín. En el procedimiento se requiere obtener imágenes (fotografías) digitales de la huella de contacto.

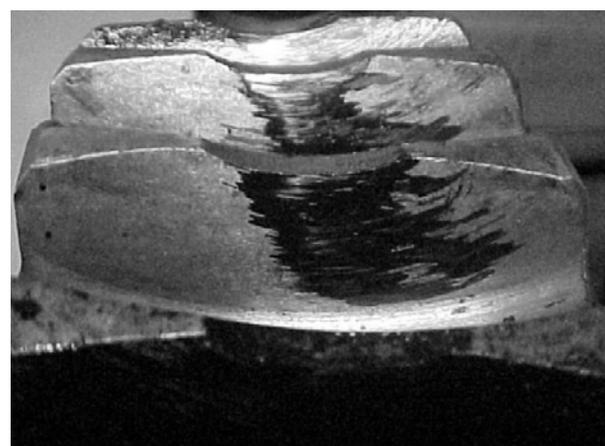


Figura 2 -Huella de contacto y flanco del diente.

Un ejemplo de imagen de huella se puede observar en la figura 2, correspondiente con un caso se trata de rueda construida y analizada en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la CUJAE.

La referida rueda de la figura 2 engrana con un tornillo sinfín, también construido en el mismo lugar y tallado con una herramienta discoidal (tornillo con perfil derivado de cono ZK). Un software de tratamiento de imágenes, permite el análisis posterior [4] de las huellas de contacto.

Como característica de la calidad de elaboración y montaje de la transmisión, se ha definido [4] el cociente de áreas φ como:

$$\varphi = \frac{A_{\mu}}{A_d} \tag{1}$$

Donde:

A_{μ} - Área de la huella de contacto.

A_d - Área del flanco del diente de la rueda.

En dependencia del módulo del engranaje y la geometría de la rueda, se establece el valor del área del flanco del diente [4].

Para el tratamiento teórico [4, 5, 6] del problema, se elaboraron tres modelos matemáticos, que por falta de espacio no se exponen en este artículo, por lo que se exponen en forma resumida en la tabla 2.

Tabla 2 Modelos matemáticos

No	Objetivo del modelo	Relaciones	Variables
1	Cálculo de la geometría del engranaje.	21	25
2	Puntos de la superficie helicoidal ZK.	9	15
3	Contacto teórico entre helicoides y dientes.	3	15

Con el empleo de las herramientas informáticas, Derive 5.0 y MATLAB 6.0, se obtienen las superficies "S" de los puntos de contacto del flanco del diente (véase la figura 6), para esto se introducen en el sistema los valores de los parámetros necesarios de la geometría de la transmisión y de la herramienta discoidal, así como los errores de contacto contemplados en las normas internacionales [3]. Se utiliza con esta finalidad el algoritmo que ha quedado formalizado en el esquema de bloques de la figura 3, cuyo propósito es la obtención del % de aprovechamiento del área del flanco del diente de la rueda (A_d), en relación con el área de la huella de contacto (A_{μ}), a través del cociente de áreas (φ).

Teniendo en cuenta la influencia del contacto entre los flancos activos del engranaje por tornillo sinfín y en concordancia con el objetivo de la presente

investigación, fue definido un factor de contacto (f_g) [4] como:

$$f_g = \frac{\varphi}{\rho \cdot \delta \cdot \cos \gamma} \tag{2}$$

Siendo.

γ : Angulo de elevación del helicoides del tornillo.

Este factor de contacto f_g caracteriza la zona específica de la superficie activa del flanco del diente de la rueda, por donde se transfiere la carga proveniente del tornillo sinfín. Dicha zona es precisamente la huella de contacto que se origina en condiciones de operación del par engranado.

Componiendo las expresiones de cálculo (1) y (2), es posible conocer el área de la huella de contacto en el flanco del diente de la rueda construida. Esto constituye un indicador de la calidad de la transmisión, que ha sido elaborada con un determinado grado de precisión y para la cual se considera un valor del factor de contacto. Con este razonamiento se obtiene la expresión siguiente:

$$A_{\mu} = A_d \cdot \rho \cdot \delta \cdot \cos \gamma \cdot f_g \tag{3}$$

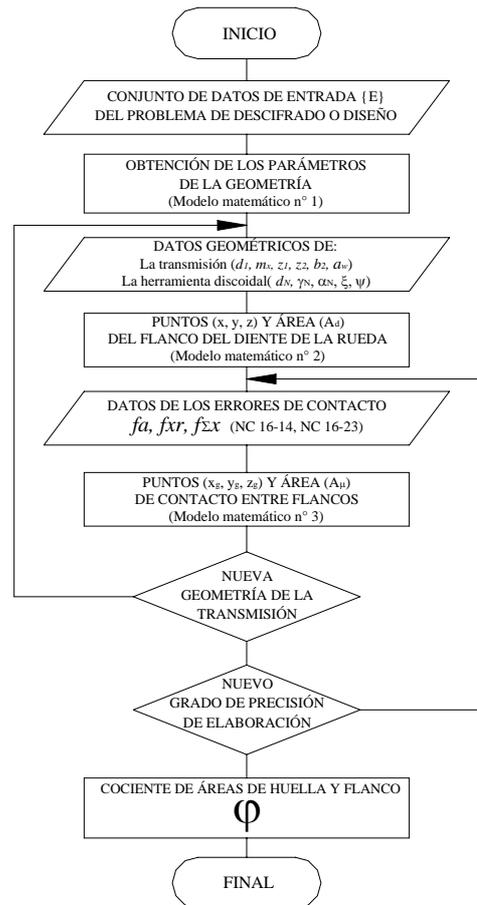


Figura 3 - Esquema del algoritmo del contacto teórico

En esta investigación se utilizó como referencia la propuesta de serie cubana de reductores sinfín, la cual fue concebida para satisfacer una parte considerable de las necesidades de la industria nacional. La serie de reductores se compone de 128 unidades de reducción que abarcan un rango de potencias entre 0.25 y 15 kW. La geometría del par engranado fue determinada a partir de las normas internacionales [7].

Para la evaluación del indicador de calidad, se analizaron algunos tamaños de reductores de velocidad de la citada serie, se utilizó la combinación de variables geométricas de cada tamaño obteniéndose la correspondiente área del flanco del diente (A_d), a partir de la utilización de la herramienta de propósito específico creada [4] con este fin. En la figura 6 puede localizarse la interfaz del usuario de la citada herramienta.

4. Resultados.

Al evaluar la expresión (3), se consideran diferentes valores del factor de contacto (f_g) para las variaciones del grado de precisión de elaboración en los distintos tamaños, de donde se obtienen los resultados de las correspondientes áreas de la huella (A_μ), dando lugar a nomogramas como los de la figuras 4 y 5, que han sido diseñados en esta investigación, para cada uno de los grados de precisión de elaboración que van desde el 2 hasta el 12 [2].

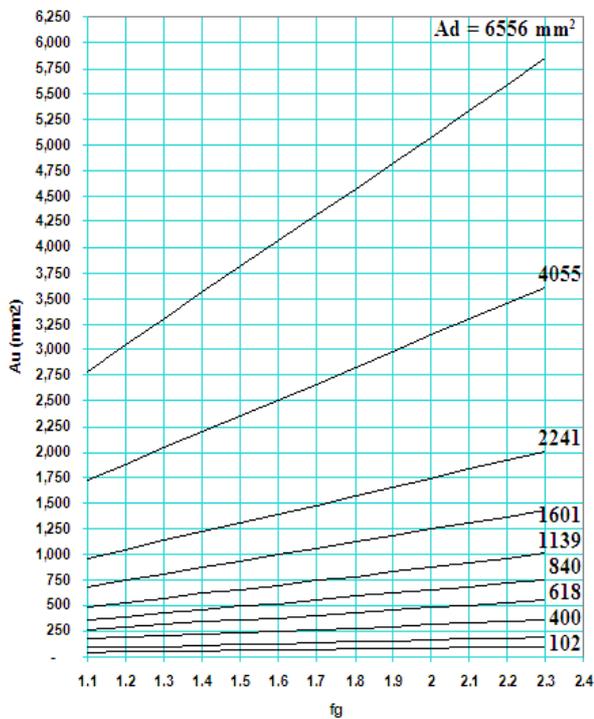


Figura 4 - Área de la huella para el 7° grado de precisión

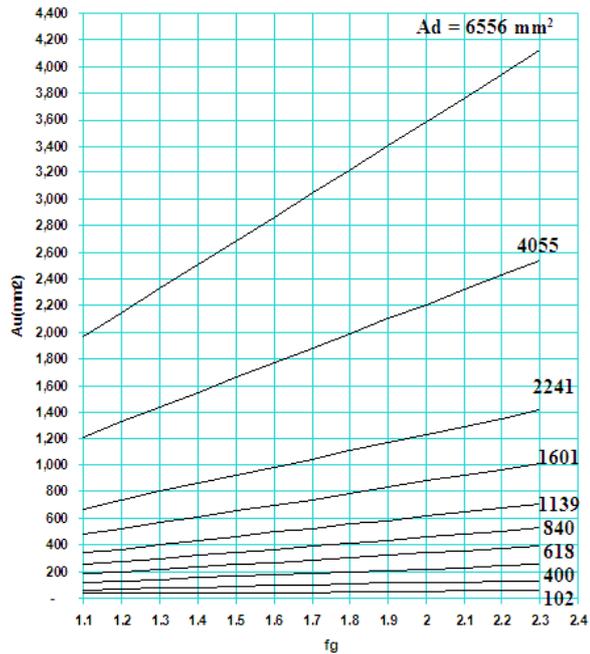


Figura 5 - Área de huella para el 8° grado de precisión.

5. Discusión de resultados.

En esta investigación se han obtenido nomogramas para la caracterización de pares de engranajes por tornillo sinfín, teniendo en cuenta los parámetros del contacto entre flancos: f_g (A_μ, A_d, ρ, δ).

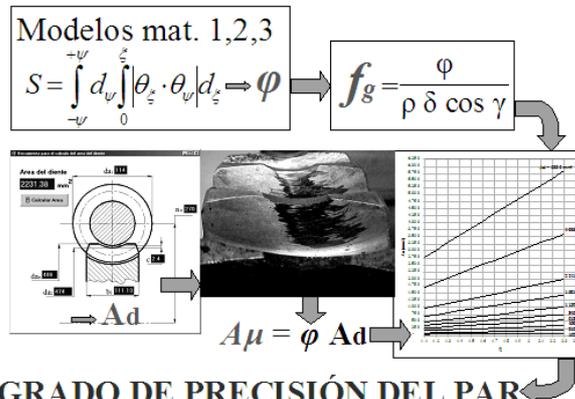
De la comparación de los nomogramas de las figuras 4 y 5, se observa como, para igual área del flanco del diente, el incremento de la calidad expresada en un mayor grado de precisión de elaboración, propicia una mayor área de la huella de contacto.

Se ha formalizado el patrón de calidad del engranaje por tornillo sinfín, a partir del procesamiento de imágenes digitales y los modelos matemáticos creados. El procedimiento de la aplicación de estos resultados es el siguiente:

- Con el algoritmo de cálculo general que incluye los modelos matemáticos 1, 2 y 3, según el esquema de la figura 3, se obtiene el cociente de áreas (ϕ), el que facilita el cálculo del factor de contacto (f_g) que va en el eje de las abscisas de los nomogramas, ver las figuras 4 y 5.
- Con la herramienta creada para el cálculo de área se obtiene (A_d), ver la figura 6.
- Mediante el procesamiento de las imágenes del flanco del diente de la transmisión construida, se obtiene el cociente de áreas (ϕ) que permite, ver la figura 6, evaluar el área (A_μ) de la huella de contacto real, cuyos valores irán en el eje de las ordenadas de los nomogramas.

La pareja de variables ($A\mu$) y (f_g) localizan un punto del nomograma, el que debe estar ubicado sobre la curva correspondiente de (A_d).

El grado de precisión del par engranado viene dado por el grado del nomograma donde se obtenga la concurrencia de las tres variables.



GRADO DE PRECISIÓN DEL PAR

Figura 6 - Procedimiento para evaluar el grado de precisión de elaboración de la transmisión por tornillo sinfín.

6. Conclusiones.

1. Se ha demostrado que teniendo en cuenta los errores admitidos para la intercambiabilidad de las transmisiones por tornillo sinfín, es de vital importancia el conocimiento de las dimensiones de la huella de contacto entre flancos, para el establecimiento de determinadas características de calidad del par engranado.
2. Para igual área del flanco del diente, el incremento de la calidad expresada en un mayor grado de precisión de elaboración, se corresponde con el

incremento del cociente ϕ entre las áreas de la huella de contacto y del flanco.

3. Se ha podido apreciar que el procesamiento de imágenes digitales, es una de las herramientas posibles a emplear para evaluar el grado de precisión de elaboración de la transmisión resultante del proceso de Reconversión.

7. Referencias.

- [1] ANSI-AGMA 6034-B92. Manual for general industrial cylindrical wormgearing for power transmission, 48 pp. Virginia 1992.
- [2] ST CAME 311-76 N.B.I Transmisiones sinfín cilíndricas, Tolerancias, 52 pp. (Equivale a la Norma cubana NC 16-14: 84) 1984.
- [3] ST CAME 1162-78 N.B.I Errores en las transmisiones por tornillo sinfín Cilíndrico y globoidal, 21 pp. (Equivale a la Norma cubana NC 16-23:83) 1983.
- [4] Rivero, G. Determinación del factor de contacto entre los flancos del engranaje por tornillo sinfín con perfil derivado de cono, 116 pp. Tesis de Doctorado, Tutor Dr. Luis Martínez Delgado. ISPJAE, C. de la Habana, 2003.
- [5] Rivero, G. Reconversión de transmisiones por tornillo sinfín, 75 pp, Tesis de Maestría, Tutor MSc. Bernardino Calixto Sirene. ISPJAE, C. de la Habana, 1997.
- [6] Simokobe Akira, Thoyama Akira, Tooth bearing and angle transmitting accuracy of Worm Gears. 2 eme Congr. Mond. engren conf. vol 1, S.I. s.a.p 689-697. Paris 3-5 mar.1986.
- [7] Gregori, S. Análisis de las desviaciones entre los perfiles ZI y ZK en transmisiones Sinfín de producción Nacional, 139 pp. Tesis

The tooth contact pattern as indicator of the cylindrical wormgearing precision.

Abstract:

The objective of this investigation is the establishment of a procedure to evaluate the degree of accuracy of the worm gear transmission, taking into account the manufacturing errors and assembly. A theoretical method was used and combined with the physical measurement of tooth contact pattern, giving as result a procedure focused on the use of nomograms related to contact parameters between faces. It can be appreciated that digital image processing of tooth contact pattern give the possibility of state gear quality features

Key words: Worm gear, accuracy, tooth contact patter.