

# DISEÑO DE UN EQUIPO PARA MEDIR FUERZAS DE ADHERENCIA EN MICROPIEZAS

L. Ruiz–Huerta, E. Kussul, A. Caballero–Ruiz, C. Santos–Carrasco, C. Muñoz–Leines

Laboratorio de Mecatrónica y Micromecánica, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México DF, México, 04510. Tel. 5622–8602 al 07, ext 115, [leo@aleph.cinstrum.unam.mx](mailto:leo@aleph.cinstrum.unam.mx)

## resumen

Mundialmente se ha trabajado en la investigación de la micromecánica; dentro de esta se destaca la importancia del desarrollo de microfábricas, compuestas por elementos de producción, de transporte y ensamble. Siendo estas dos últimas las que reportan una mayor problemática, a causa de la adherencia que presentan las piezas de bajas dimensiones. Es por esta razón que se propone el desarrollo de un equipo capaz de medir las fuerzas, que adhieren las micropiezas con su elemento de transporte. Por lo anterior se plantea el diseño de un rotor gobernado en velocidad, dentro de una cámara de atmósfera controlada –temperatura y humedad–, que pueda alojar en su periferia diferentes piezas, y así evaluar la adhesión que presentan las piezas bajo diferentes características de rugosidad, geometría, temperatura, y humedad.

## *abstract*

The problem of micro factories development is discussed. One of the mayor inconvenient to work with micro pieces is transporting and manipulating actions. Once we take the small size piece, the mayor problem consists in how to release it. In attendance to that problem, in Mechatronics Laboratory, we propose to design and develop, a special instrument to measure the necessary force to separate micromechanical pieces from other surfaces. The basis for it instrument consist in a special disc, with different materials and quality surfaces, where we put micro pieces. Once we put some pieces on the surface, we move by a motor assistance the disc until the pieces realise it. The entire instrument will be inside of a close environment, to control and measure the temperature and humidify conditions. The way to identify the specific moment where the piece loses contact is by a help of an acoustic sensor.

## • INTRODUCCIÓN

Cuando es sujeta una pieza de bajas dimensiones, menor a un milímetro, se puede apreciar un fenómeno de adherencia con la pieza que la sujeta. Dicho fenómeno modifica de manera importante los elementos de transporte y manipulación de micropiezas en comparación con la mecánica de escala mayor.

La fuerza que se considera, interviene principalmente en la adhesión de micropiezas con otras superficies, es la fuerza de cohesión, presente entre las micropiezas, que se define como la fuerza de atracción entre partículas. También cabe mencionar la atracción mutua entre superficies de dos cuerpos puestos en contacto, llamada fuerza de adherencia; siendo importante por que siempre estará presente entre las micropiezas.

Se considera la fuerza de Van Der Waals; su existencia es casi siempre transitoria y puede explicar la cohesividad de ciertos solventes y sólidos. Las fuerzas de Van Der Waals incluyen a un número significativo de interacciones que ocurren entre moléculas, o regiones moleculares unidas por enlaces covalentes de baja o nula polaridad. Contra lo que pudiera esperarse, estas fuerzas poseen un componente electrostático, además de otros efectos que se explican mediante la mecánica cuántica. Obviamente, la atracción electrostática débil de dos regiones de una micropieza posee un pequeño pero apreciable, carácter dipolar.

## • antecedentes

En el Laboratorio de Mecatrónica y Micromecánica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM, hemos desarrollado algunos prototipos de microequipo. Dentro de estos equipos se destacan un par de microcentros de maquinado y un par de modelos de manipuladores. Dichos resultados se basan en la necesidad de desarrollar microequipo mecánico que bajo costo.

Inicialmente partimos de máquinas convencionales que nos permiten generar máquinas de menores dimensiones, que a su vez nos permiten generar máquinas de menores dimensiones. Cada reducción es considerada como una generación. Cada generación tiene asociada una serie de aplicaciones y una serie de equipos adicionales, tales como actuadores y equipos finales de proceso, como pueden ser motores de pasos, o bien de combustión. Cabe mencionar que en lo referente a hardware mecánico se minimiza el uso de componentes comerciales, incluidos los motores de pasos, que son diseño y manufactura propia.

Al trabajar con los primeros modelos de manipuladores, se aprecia la necesidad de incorporar sistemas que desprendan a las piezas de los actuadores terminales o gripers. Dichos sistemas pueden ser por procedimientos (tareas a ejecutar para separar las piezas), o bien por repulsión de alguna fuerza que los obligue a separarse. Por tal razón se propone el diseño de un instrumento capaz de medir las fuerzas de adherencia entre piezas, con el objetivo de cuantificarlas, y desarrollar sistemas para el desprendimiento durante los procesos de transporte y manipulación.

### • DISEÑO

La propuesta inicia con un sistema cerrado que en su interior albergue un disco, que conectado a un actuador que le permita tener movimientos circulares controlados, fungirá como rotor. Sobre la superficie perimetral de dicho disco –que puede tener diferentes rugosidades en diferentes zonas–, se colocarán micropiezas de diferentes dimensiones y geometrías, las cuales serán sometidas al giro del disco, midiendo mediante inspección acústica y óptica el momento de su desprendimiento.

De esta manera nos damos a la tarea de búsqueda de los componentes adecuados para el diseño de dicho dispositivo.

### • Actuadores

Los motores de pasos difieren en gran medida de los motores que todos conocemos de CC (corriente continua). Al aplicar a sus bobinas un conjunto adecuado de impulsos eléctricos éstos giran sobre su eje, a un ángulo fijo, este ángulo recorrido que depende de las características del motor, se le llama paso, de forma que se puede controlar, mediante un circuito electrónico, la cantidad, velocidad y sentido de los pasos. Hay dos tipos básicos de motores de pasos, los BIPOLARES que se componen de dos bobinas y los UNIPOLARES que tiene cuatro bobinas. Externamente se diferencian entre si por el número de cables. Los bipolares solo tienen cuatro conexiones dos para cada bobina y los unipolares que normalmente presentan seis cables, dos para cada bobina y otro para alimentación de cada par de éstas, aunque en algunos casos se puede encontrar motores unipolares con cinco cables, básicamente es lo mismo, solo que el cable de alimentación es común para los dos pares de bobinas.

Una de las tecnologías innovadoras mencionadas, han los sido motores de pasos bimodales miniaturizados, que consisten en motores que pueden operar en modo de pasos o de corriente directa, en la primera trabajan convencionalmente a manera de pulsos, mientras que la segunda se utiliza un sistema de control de pulsos, originados por un sistema optoelectrónico acoplado al rotor; teniendo un costo muy bajo, dado que se maneja una infraestructura que es sencilla de obtener y maniobrar.

### • Control

Una forma de control de los motores de pasos bimodales es por medio de la tecnología de dispositivos lógicos

programables complejos, que se le conocen como FPGA's, la cual consiste en utilizarla como unidad de control, a cambio de la electrónica masiva que se utiliza para que el motor de pasos, sea bimodal.

Un FPGA consiste de un arreglo de elementos lógicos junto con una red de interconexiones que pueden ser configurados por uno mismos. El nombre de a los FPGA's no coincide exactamente con su arquitectura, pues según el nombre, FPGA significa un arreglo de compuertas, lo cual no es así completamente; mas bien un FPGA es un arreglo de bloques lógicos. La programación del usuario especifica tanto la función lógica de cada bloque como las conexiones entre los diferentes bloques. Los FPGA pueden ser del tipo OTP (One-Time Programmable) o reprogramables (tipo EEPROM o SRAM). La elección de una de estas tecnologías es importante porque afectan la densidad del chip, los retardos de propagación de las señales y la lógica, y el consumo de potencia del chip.

Para FPGA's, la variedad de arquitecturas es mayor debido a que cada fabricante desarrolla sus estructuras para proveer a un nicho del mercado en especial. Para FPGA's, los retardos introducidos por la configuración específica del dispositivo son no determinísticos. Esto requiere el uso de buenos y variados simuladores para verificar el dispositivo, tanto a nivel funcional, como a nivel de compuertas.

Los FPGAs han llegado a ser increíblemente populares por los prototipos y diseños de complejos sistemas Hardware. La estructura de un FPGA puede ser descrita como un arreglo de bloques conectados unos con otros, vía interconexiones programables. La principal ventaja de los FPGAs es la flexibilidad que ellos ofrecen ya que un dispositivo contiene un gran número de compuertas lógicas.

La aplicación de estos dispositivos ha sido abundante en muchos campos de la ciencia y pareciera que realmente no hay límite. Algunas de las aplicaciones de estos dispositivos son por ejemplo en la implementación de redes neuronales y en sistemas complejos de control donde se diseñan sistemas difusos o borrosos y claro esta que con estos arreglos de bloques se pueden diseñar sistemas de comunicaciones. Los FPGAs están involucrados en dispositivos que se pueden reconfigurar de forma dinámica; tal es el caso del rotor del equipo para medir fuerzas de adherencia, y así poder tener un completo control de las curvas de aceleración, velocidad y posición de las micropiezas en cuestión.

Actualmente existen varios sistemas de programación según el requerimiento ya sea Exemplar Logic y Xilinx que refuerzan la colaboración en intercambio de tecnología donde han llegado a un acuerdo de colaboración plurianual estratégica para el intercambio de tecnología. Cabe recalcar la firma Altera que es una de las más conocidas, por su bajo costo se tiene la posibilidad de adquirir un paquete de diseño de laboratorio de programa universitario, el cual utiliza la tecnología de dispositivos lógicos programables complejos.

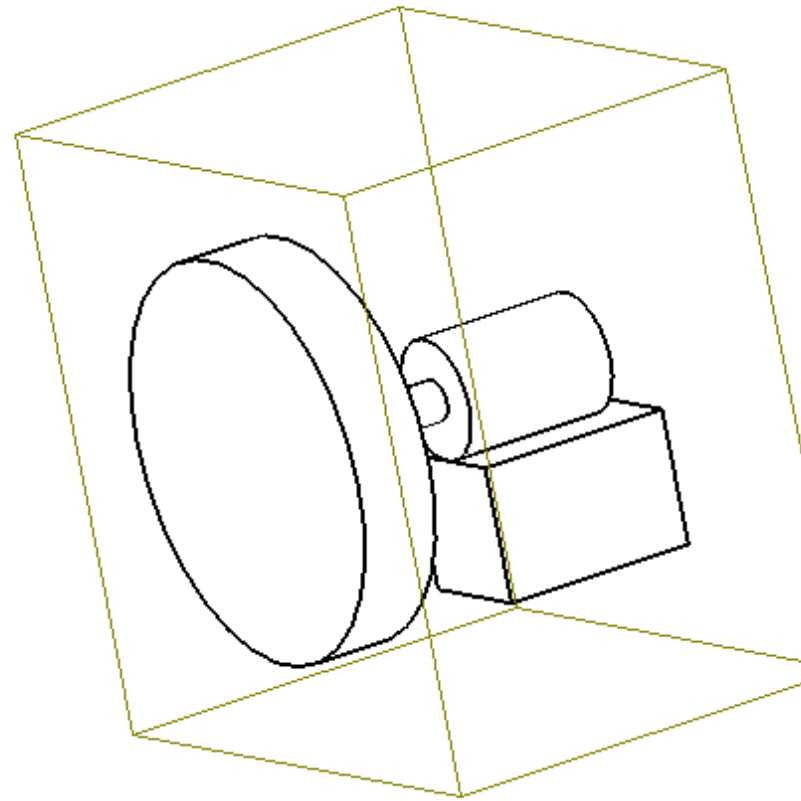
#### • Esquema general

Se propone un sistema que contará de un cubo acrílico que albergará al sistema genera. Dentro de este sistema, se contempla monitorear y controlar la humedad y la temperatura. Dichos parámetros son importantes cuando hablamos de las fuerzas de cohesión. Dentro del mismo cubo acrílico se contempla colocar un motor bimodal, controlado por FPGA's del cual ya se hizo mención, acoplado a un disco que presenta la capacidad de tener diferentes superficies perimetrales, las cuales pueden variar de material y rugosidad.

El procedimiento de operación del sistema consiste en colocar piezas sobre diferentes superficies del disco. Una vez colocadas, se registran los parámetros ambientales y se inicia una secuencia de giro. En el momento en que una pieza pierde contacto con la superficie a la cual estaba adherida –monitoreo acústico–, es registrado el valor de giro del disco. Con los datos de la masa de la pieza, el diámetro y la velocidad de giro, es posible calcular la fuerza necesaria para el desprendimiento.

La información total del sistema –revoluciones, humedad, temperatura, y momento del desprendimiento–, será supervisada y registrada por una computadora personal. La figura 1 muestra un esquema general del

equipo propuesto.



*Figura 1. Esquema general del equipo.*

## • Diseño de pruebas

Antes de hacer funcionar el equipo será necesario:

- Comprobar la estabilidad del dispositivo al momento del giro.
- Caracterizar curvas de aceleración del dispositivo
- Caracterizar superficies con diferentes rugosidades en el disco.
- Diseñar micropiezas para prueba.

La prueba programada con este equipo es:

Colocar una serie de piezas prueba sobre una superficie del disco previamente caracterizada. Medir las condiciones de humedad y temperatura. Iniciar una secuencia de giro con rampas de aceleración tan bajas como sea posible. Registrar los valores de aceleración angular y velocidad angular del disco. Una vez que se desprende la pieza, monitoreada con un sensor acústico, detener el proceso. Con la información adquirida es posible realizar varias veces el experimento hasta obtener un promedio relacionada a esos materiales, superficie, masa, y área de contacto.

La información obtenida servirá para el desarrollo de grippers que generen la fuerza necesaria para soltar las micropiezas manipuladas.

## • conclusiones

Se presentó el diseño de un sistema para la medición de fuerzas de adherencia en micropiezas. Dicho sistema consiste en un ambiente cerrado, y controlado en humedad y temperatura, que permitirá colocar en su interior un rotor, conformado por un disco con diferentes materiales y rugosidades, que será accionado por un motor de accionamiento bimodal –lazo abierto y cerrado–. Dicha configuración permitirá colocar micropiezas sobre las diferentes superficies del disco, y caracterizar el momento del desprendimiento por medio de señales acústicas y ópticas. El equipo será controlado por un sistema FPGA's y será monitoreado mediante el uso de una computadora personal. Los resultados obtenidos una vez que se desarrolle éste equipo, permitirá elaborar grippers especializados para trabajar con micropiezas.

## • referencias

Okazaki Yuichi, Kitahara Tokio. Micro–Lathe Equipped with Closed–Loop Numerical Control. *Proceedings of the 2–nd International Workshop on Microfactories*, Switzerland, Oct.9–10, 2000, pp.87– 90.

Kussul E., Ruiz L., Caballero A., Kasatkina I., Baydyk T. CNC Machine Tools for Low Cost Micro Devices Manufacturing. *The First International Conference on Mechatronics and Robotics*; St.–Petesburg, Russia; 2000, Vol.1, pp.98–103

Stepping Motors and their microprocessor control. Kenjo Takashi, Akira Suwara

Ed. Oxford. 1994

Física Universitaria Francis W. Sears, Mark W. Zemansky

Edit. Addison–Wesley Iberoamericana

<http://www.altera.com>

Control de Temperatura, humedad, velocidad y sensores acústicos y ópticos

Motor

Bimodal

Disco

Soporte