



## CONTROLLER FOR A SPS MACHINE: A PROPOSAL PI CONTROL

Nathyely Marisol León-Lugo\* y Sergio Alberto Vázquez-Torres

Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacantenco Unidad Profesional Adolfo López Mateos; Av. Luis Enrique Erro s/n, Edificio 1, col. Lindavista C.P. 07738 México, México.

\*Correo Electrónico: [nleon@ipn.mx](mailto:nleon@ipn.mx)

### RESUMEN

Una de las técnicas que continua siendo investigada desde diferentes puntos de vista es la sinterización por corriente pulsada asistida. Es una técnica mediante la cual se pueden procesar metales, cerámicos y polímeros en polvo que en comparación al sinterizado tradicional u otras técnicas de procesamiento de polvos, tales como prensado isostático en caliente (hip) la temperatura del material se incrementa debido al efecto Joule [1]. El tiempo de procesamiento de los materiales se mide en cuestión de minutos, debido a que la velocidad de calentamiento puede ser hasta  $>1000^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Por ello el control de temperatura es la clave para el proceso de sinterizado. El modelado del proceso de sinterización se realizó mediante un estudio térmico-eléctrico con el fin de identificar las variables del sistema [2][3]. En el análisis se encontró que el control temperatura original proporciona una operación de control irregular lo cual afecta a las etapas de sinterización, densificación y solidificación. Finalmente, lo anterior, se sabe repercute directamente en las características cristalinas del material y con ello a la vez en sus propiedades [2]. Durante el desarrollo de esta investigación se propuso un regulador Proporcional-Integral (PI) para mejorar la respuesta, además de estabilizar el control una vez que se detectara un sobre impulso que rebase los límites de operación. De esta manera se sugiere que el control de temperatura de una máquina de sinterizado por corriente pulsada asistida debe tener una retroalimentación PI [4]. Este controlador mostró un mejor comportamiento debido a que la acción integral disminuye el error que existe entre la temperatura requerida y medida, y la acción proporcional provoca que el sistema alcance los límites de operación. La acción derivativa (D) puede ser implementada al controlador pero es excluida debido a que la temperatura es una variable muy inestable y rápida en el proceso de sinterizado, dicha acción es eficaz para sistemas con retardo y con poca oscilación en el sistema [5].

### ABSTRACT

The spark plasma sintering process is being researched by many points of view. It is a technic which is able to manufacture metal, ceramic and polymer powders in comparison with the traditional sintering or other processing technics such as Hot Isostatic Pressing (HIP), so the material temperature is increased by the Joule effect. The time manufacturing is measured in minutes due to the heat speed which may reach more the  $1000^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . That is why, the temperature is the key for sintering process and a model system approximation is modelled by a thermal-electric research in order to identify the system variables. During the analysis, it was figured out thee temperature control causes an irregular control operation affecting the sintering stages; densification and solidification. Finally, the material crystal phases are directly damaged and properties as well. This research proposes a Proportional – Integral control to enhance the system response in order to stabilise the response when the steady error appears and oscillations overtakes the operational limits. So that, it is suggested a PI controller ought to be implemented. The PI controller shows an enhancement in the response system due to the integral action which decreases the error between the measured and desire temperature, the proportional action makes the system to reach the limits operation. The derivative action may be implemented to this controller, but it is excluded due to the temperature is an

*unstable and oscillatory variable during sintering process; this action is effective for delayed and non-oscillatory systems.*

## **REFERENCIAS**

1. R. M. German, History of sintering: empirical phase, Powder Metall, Vol. 56, no. 2, (2013), p. 117-123.
2. G. Cao, Modeling of SPS Apparatus: Temperature , Current and Strain Distribution with No Powders, Vol. 53, no. 3, (2007), p. 703-719.
3. S. A. Sarles, Controlled Resistive Heating of Carbon Fiber Composites, Virgin Tech, (2006), p. 18 – 60.
4. A. Tornamb, A pid controller for the robust stabilization siso linear systems, Vol. 5, no. 4, (1992), p. 15 - 18,
5. R. Dorf and R. Bishop, Modern Control Systems, 9th Ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, (2001).

**TÓPICO DEL CONGRESO O SIMPOSIO:** *S12*

**PRESENTACIÓN:** *O (oral)*