

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS PROCESOS DE RECUBRIMIENTO METÁLICO DE TERMOPLÁSTICOS COMERCIALES

Garraín, D.^(p); Vidal, R.; Franco, V.; Martínez, P.; Muñoz, C.

Abstract

Thermoplastic materials used in the field of electronics are usually given a metallic surface coating treatment after their shaping process. The purpose of this -aesthetic changes aside-, is to create an electrically conductive surface, to improve wear and corrosion resistance, and to provide protection against electromagnetic interferences and electrostatic discharges. The most widespread processes for the metallic coating of thermoplastics are the following: conductive coating painting, electroless plating and high vacuum metal deposition.

Our study focuses on the environmental impact of surface coating processes of thermoplastics using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Four impact categories were selected, namely global warming, acidification, eutrophication and fossil fuel depletion.

In light of the results, it can be concluded that conductive coating painting has the greatest environmental impact. This process yields large negative results in the global warming and fossil fuel depletion categories, especially due to the emission of volatile organic compounds. On the other hand, high vacuum metal deposition exhibits the better environmental performance, with minimal raw material and energy consumptions throughout the process.

Keywords: Thermoplastics, Metallic Coating, Life Cycle Assessment, Environmental Impact

Resumen

A los materiales termoplásticos utilizados en el ámbito de la electrónica se les suele aplicar un recubrimiento metálico superficial tras su conformado. El propósito de esta técnica, motivos estéticos aparte, es la creación de una superficie conductora que mejora la resistencia a la corrosión y el desgaste, además de proporcionar protección contra las interferencias electromagnéticas y las descargas electrostáticas. Los procesos de recubrimiento más extendidos son: el revestimiento con pintura conductora, la deposición química (electroless) y la deposición metálica a alto vacío.

Nuestro estudio se centra en el impacto ambiental de estos procesos utilizando la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Para ello, se han seleccionado las categorías de impacto referidas al calentamiento global, acidificación, eutrofización y agotamiento de los recursos fósiles.

Los resultados reflejan que el recubrimiento de pintura conductora tiene el mayor impacto ambiental, con grandes resultados negativos en las categorías de calentamiento global y agotamiento de combustibles fósiles, debidos principalmente a la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Por otra parte, la deposición metálica al vacío presenta el mejor perfil medioambiental, ya que precisa de un consumo mínimo de materias primas y energía durante todo el proceso.

Palabras clave: Termoplásticos, Revestimiento Metálico, Análisis del Ciclo de Vida, Impacto Medioambiental

1. Introducción

A los materiales termoplásticos utilizados en el ámbito de la electrónica se les suele aplicar un recubrimiento metálico superficial tras su conformado. El propósito de esta técnica, motivos estéticos aparte, es la creación de una superficie conductora que mejora la resistencia a la corrosión y el desgaste, además de proporcionar protección contra las interferencias electromagnéticas (EMI, del inglés *ElectroMagnetic Interferences*) y las descargas electrostáticas (ESD, del inglés *ElectroStatic Discharges*).

Las EMI son señales invisibles de fuerza de tipo electromagnético generadas por aparatos eléctricos o electrónicos (teléfonos móviles, microondas, transmisores de radio y televisión, etc.) que perturban sin intención el normal funcionamiento de un sistema eléctrico o electrónico, afectando a las magnitudes eléctricas o magnéticas de sus circuitos. Las EMI provocan en los sistemas digitales y analógicos problemas de varios tipos: picos de tensión inducidos en las líneas de señal y de alimentación sensibles, transitorios que pueden causar fallos permanentes en el hardware, etc. Por tanto, son un problema con el que se encuentran continuamente los ingenieros de diseño, ya que pueden plantear dificultades tanto técnicas (por cuanto una vez completado el diseño del equipo, se hace difícil su protección), como comerciales (por cuanto a los costes incrementados debido a las prestaciones añadidas).

La electricidad estática se define como una carga eléctrica causada por un desequilibrio de electrones en la superficie de un material, produciendo un campo eléctrico que puede afectar a otros objetos situados a una cierta distancia. Las ESD son una de las fuentes de ignición de atmósferas inflamables y de daños en dispositivos electrónicos, más difíciles de prevenir. Pueden provocar averías catastróficas como dañar o destruir componentes electrónicos sensibles o incluso borrar o alterar soportes magnéticos.

Para evitar estas interferencias y descargas, los procesos de recubrimiento de materiales termoplásticos más extendidos son: el revestimiento con pintura conductora, la deposición química (o *electroless*) y la deposición metálica a alto vacío.

1.1 Revestimiento con pintura conductora

El proceso consiste en el pintado de los materiales plásticos con pinturas conductoras especiales que contienen metales para la protección frente a EMI y ESD.

La figura 1 detalla las etapas que componen el proceso junto con las entradas y salidas de material en cada una de ellas. La primera etapa consiste en aplicar sobre la pieza plástica una capa de imprimación (normalmente de poliuretano con alto contenido en sólidos) mezclada con catalizador y disolvente, para garantizar la adherencia de la pintura conductora. Este proceso se realiza con una pistola aerográfica en una cabina de pintado.

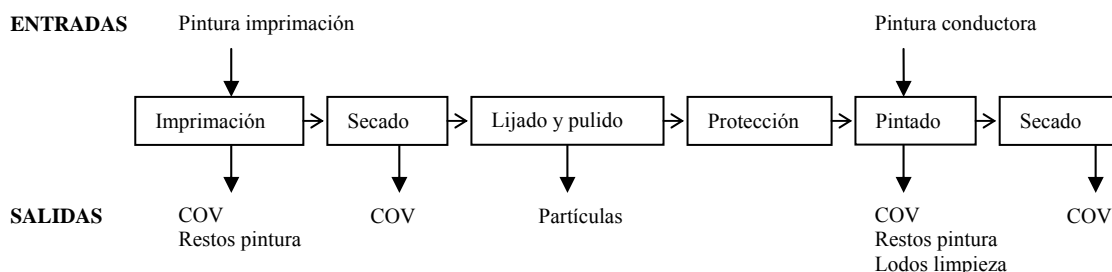


Figura 1. Diagrama de flujo de materiales en el proceso de pintado conductivo de plásticos [COV (Compuestos Orgánicos Volátiles)].

Una vez imprimada, la pieza se coloca en bandejas y se deja secar al aire a temperatura ambiente. Posteriormente se lija y se pule manualmente para eliminar las imperfecciones (exceso de pintura en los cantos, poros, etc.) que haya podido dejar la imprimación en las caras vistas de la pieza y dejar así perfecta la superficie para aplicar la pintura conductora. Opcionalmente se pueden proteger las zonas exentas de pintura mediante etiquetas adhesivas o cinta de carroceros.

El recubrimiento de pintura conductora se realiza con pistolas aerográficas de aire comprimido en cabinas provistas de cortina de agua o filtros secos para atrapar el *overspray*. Esta pintura no necesita ni disolvente ni catalizadores ya que van incluidos en la misma pintura. El proceso finaliza con el secado de la pieza a temperatura ambiente.

1.2 Deposición química o *electroless*

En el proceso de *electroless* un cation metálico en disolución salina se reduce a metal puro (por ejemplo, Cu^{+2} a Cu^0) sobre la superficie del material termoplástico sumergido en la disolución. Los metales más comunes utilizados en esta técnica son el cobre y el níquel.

Este proceso puede requerir de un tratamiento previo de la superficie de la pieza. Lo que no requiere es corriente externa ya que la genera el mismo proceso. En el caso de requerir corriente externa el proceso se denomina chapado electrolítico. Con la deposición química se consigue recubrir una mayor variedad de piezas que con el chapado electrolítico, pues es mucho más eficiente cuando la pieza plástica posee agujeros o ángulos pronunciados, como se muestra en la figura 2. No obstante, el chapado electrolítico posee mayor eficiencia en piezas con diseño de lengüetas, ranuras o indentaciones en forma redondeada o cónica.

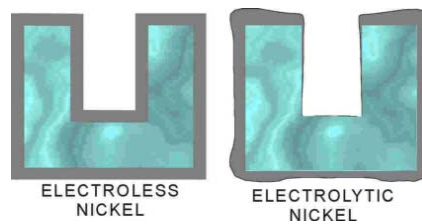


Figura 2. Diferencia entre la efectividad del electroless frente al chapado electrolítico en piezas con ángulos pronunciados.

En muchas ocasiones, el *electroless* se utiliza para generar una capa conductora para un posterior proceso de chapado electrolítico, para conseguir así unos espesores de recubrimiento mayores. La figura 3 muestra estos espesores típicos conseguidos.

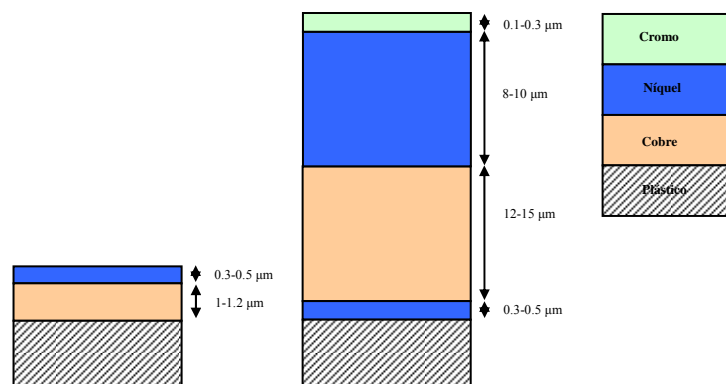


Figura 3. Espesores y materiales más habitualmente utilizados en los procesos de deposición química (izquierda) y chapado por electrólisis (derecha).

1.3 Deposición metálica a alto vacío

Para llevar a cabo el proceso de deposición metálica a alto vacío (o HVMD, del inglés *High Vacuum Metal Deposition*), en primer lugar la pieza plástica se limpia a fondo y se le aplica una capa de laca para sellar los poros y rellenar los defectos. A continuación, se graba químicamente con un ácido fuerte para asegurar una buena adherencia del metal, se carga y se deposita en una cámara o crisol donde se produce el vacío. El metal que se deposita sobre la misma (normalmente aluminio, aunque también se realiza con cromo, oro, plata o zinc) se alimenta a la cámara y se sublima. Posteriormente, las piezas plásticas comienzan a rotar y es cuando se realiza el vacío, consiguiendo que las moléculas de metal se muevan desde la fuente de evaporación hasta la superficie de la pieza revestir, sin encontrar resistencia del aire y otras partículas gaseosas. Una vez terminado el proceso se libera el vacío, se saca la pieza y se recubre con una laca protectora [1]. La figura 4 muestra un esquema del proceso de metalizado.

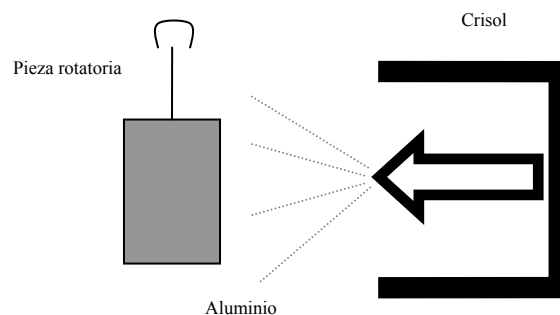


Figura 4. HVMD de aluminio sobre una película de plástico.

Una de las ventajas de este proceso es la capacidad de las piezas recubiertas para ser recicladas posteriormente ya que pueden ser recuperadas y realimentadas en una nueva capa extrusionada y ser usadas en la fabricación de una nueva pieza. La nueva pieza formada tendrá aumentada la protección ante EMI al poseer material conductor incrustado distribuido por todo su espesor. Desde un punto de vista de eliminación de residuos, el aluminio utilizado como capa conductiva no es tóxico para el medio ambiente y representa alrededor del 1% en volumen del producto final. Existen, además, procesos químicos de disolución medioambientalmente aceptables para extraer totalmente el aluminio del sustrato plástico en caso de necesidad [2].

2. Objetivo, alcance y unidad funcional

El objeto del estudio es elaborar el ACV de los procesos de recubrimiento metálico de materiales termoplásticos más extendidos en la industria. Para ello se han contrastado diversas fuentes de datos de inventario del ciclo de vida considerando los consumos de energía eléctrica y los materiales utilizados.

La unidad funcional de medida que se ha tomado en este estudio es 1 m² de superficie de material plástico revestido.

3. Análisis de inventario del ciclo de vida

3.1 Revestimiento con pintura conductora

Los datos sobre consumos de materia y energía han sido facilitados por una empresa española dedicada al pintado metálico de piezas plásticas y corresponden al tratamiento de

una pieza con una superficie de 1275 cm² y 950 g de peso. La tabla 1 muestra los datos inventariados de materia y energía del proceso.

ENTRADAS							
MATERIAS PRIMAS (g/m ²)							
Proceso	PUR	MEK	Tolueno	Isocianato de tolueno	Acetato de etilo	Metal (Cu, Ni)	PVA
Imprimación	4706	-	-	-	-	-	-
Pintura	-	-	1765	-	-	882	294
Disolvente	-	420	207	-	-	-	-
Catalizador	-	-	-	530	176	-	-
CONSUMO ENERGÉTICO (kWh/m ²)							
Imprimación					4,95		
Pintado					3,46		
Lijado y pulido					9,90		
SALIDAS							
EMISIONES AL AIRE (g/m ²)							
COVs de imprimación y pintado					610		
RESIDUOS SÓLIDOS (g/m ²)							
Restos de disolventes de limpieza (lodos)					0,5		
Restos de pinturas y barnices					1200		
Envases de pinturas y barnices					400		
Filtros de las cabinas de pintura					200		

Tabla 1. Entradas y salidas de materia y energía en proceso de pintado de termoplásticos.

3.2 Deposición química o *electroless*

Los datos considerados para realizar el inventario de este proceso han sido las cantidades exactas de material utilizado para recubrir el material termoplástico, además del consumo energético.

Para calcular la cantidad de materiales se ha considerado un proceso de electroless de níquel, en un baño que contenía cloruro de níquel, hipofosfito sódico e hidróxido sódico [3]. Únicamente se ha considerado el desengrasado con carbonato sódico como proceso de pre-tratamiento. La cantidad de materiales necesaria se refleja en la tabla 2. Para su cálculo se han realizado las siguientes consideraciones:

- Los baños poseen unas dimensiones de 1,5 metros de diámetro x 1,5 metros de altura, para que quepa completamente una pieza de un m², así el volumen de los mismos será de 2650 litros.
- El régimen de trabajo será de 2080 horas anuales (8 h/día) y cada pieza está en el baño 3 minutos (para conseguir un espesor de 0,5 micras ya que la tasa de recubrimiento es de 10 micras/h), por tanto, se tiene una producción de 41600 piezas ó m²/año.

- Vaciado completo de los baños cada dos meses.

COMPUESTO	CONSUMO ANUAL (g/m ²)
Carbonato sódico	9,56
Cloruro de níquel	11,47
Hipofosfito sódico	3,82
Hidróxido sódico	3,82

Tabla 2. Consumo de materiales en el proceso de *electroless*.

El consumo energético se estima del estudio realizado por la *U.S. Environmental Protection Agency* [4] sobre los procesos automatizados de recubrimiento de circuitos impresos (*PWB*) por *electroless* de cobre, obteniendo 0,43 kWh/m².

3.3 Deposición metálica a alto vacío

En el proceso de HVMD se ha considerado la cantidad de material de recubrimiento empleado (en este caso, aluminio) y el consumo energético de la máquina. Además se ha tenido en cuenta el consumo de agua de refrigeración.

La cantidad de material empleada se ha tomado del estudio de la Universidad Politécnica de Valencia [5] en el que se detalla el proceso de recubrimiento de una película polimérica de 500 mm de anchura mediante vaporización de aluminio con espesor de capa de 25 micras, obteniendo un consumo de 0,114 g/mm² de superficie recubierta.

El consumo energético se ha tomado de las especificaciones técnicas de los equipos de metalización por alto vacío de una empresa italiana [6]. Considerando un 100% de eficacia y teniendo en cuenta la superficie metalizable, la frecuencia del ciclo productivo y la potencia eléctrica absorbida, se calcula el consumo energético medio por superficie de material metalizado, obteniendo un valor de 0,197 kWh/m². El consumo de agua de refrigeración obtenido es de 9,13 l/m².

4. Evaluación del impacto ambiental

Los datos del análisis de inventario de los tres procesos se introdujeron en el programa de evaluación medioambiental comercial SimaPro® v7.0 [7]. Se siguió el modelo desarrollado por el Instituto de Ciencias Medioambientales de Leiden (Holanda) (CML) con el conjunto de caracterización de factores de Europa del oeste de 1995 [8]. En esta fase se llevó a cabo una clasificación de los resultados mediante las siguientes categorías de impacto: calentamiento global, agotamiento de recursos fósiles, acidificación y eutrofización. La figura 5 muestra los resultados obtenidos.

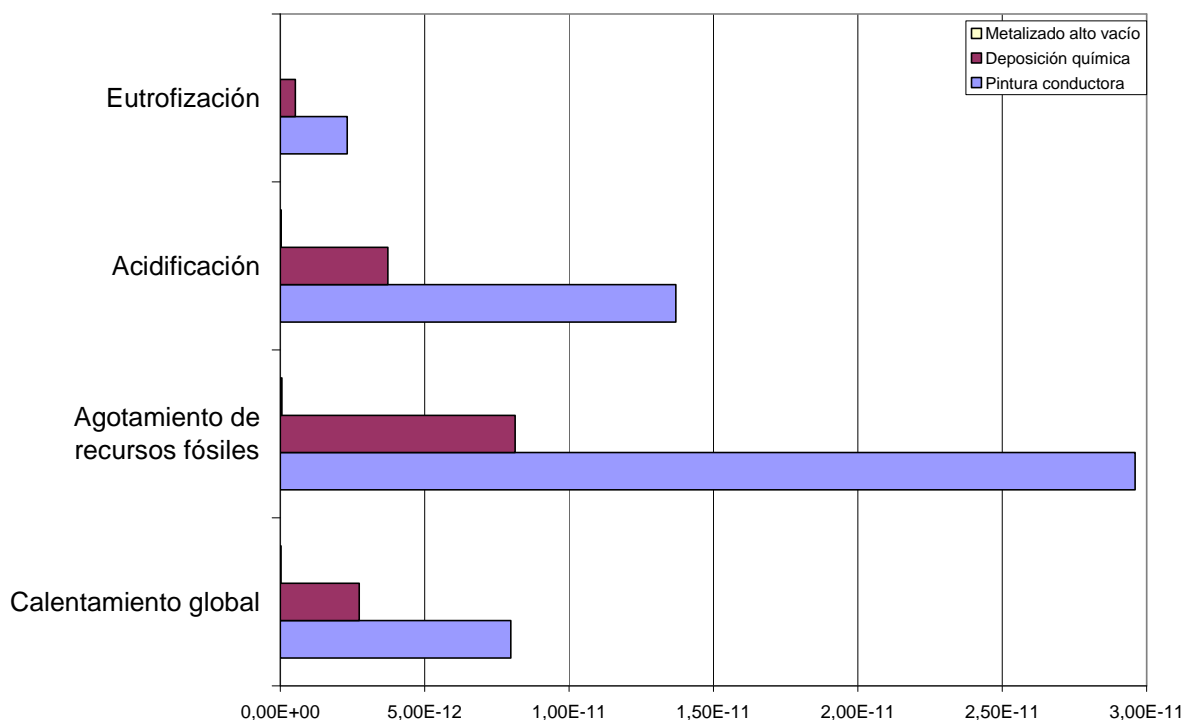


Figura 5. Eco-perfil normalizado de los procesos de recubrimiento de plásticos por m².

5. Discusión y conclusiones

El pintado con pintura conductora es el proceso que mayor impacto medioambiental genera. En las categorías de calentamiento global y agotamiento de recursos es debido a la cantidad de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

Por otra parte, el proceso de HVMD presenta un impacto medioambiental mínimo en comparación con los otros procesos debido al mínimo consumo energético y material. La ausencia de emisiones de COV y la no necesidad de hornos de secado contribuyen a minimizar el impacto.

No obstante, para evaluar la sostenibilidad del proceso de HVMD hay que tener en cuenta el elevado precio que supone la adquisición de la maquinaria para realizar esta técnica de recubrimiento, de ahí que el proceso más extendido sea el de pintado con pintura conductora.

Referencias

- [1] Richardson, T.L., Lokensgard E. "Industria del plástico. Plástico industrial", editores Thomson-Paraninfo, ISBN 84-283-2569-3, 2007, Madrid, España.
- [2] Arnold, R.R. "Vacuum Metallized Thermoformable Structures for EMI Shielding of Printed Circuits Boards and Electronic Devices", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), White Paper, 2002, USA.
- [3] Lyman, T. "Metals Handbook. Surface, Cleaning, Finishing and Coating", Ninth edition, Vol.5, American Society for Metals, 1982, Ohio, USA.
- [4] EPA. "Alternative technologies for making holes conductive - Cleaner technologies for printed wiring board manufacturers", U.S. Environmental Protection Agency, EPA-744-R-98-002, April 1998, USA.

[5] UPV. “Acabados superficiales de plásticos y compuestos”, Curso de la Universidad Politécnica de Valencia, 2000, España.

[6] Empresa italiana *Kolzer* (datos de <http://www.kolzer.com> – acceso en diciembre de 2006).

[7] SimaPro ® software version 7.0. PRé Consultants, 2004, Amersfoot, The Netherlands.

[8] Guinée, J. B., Gorreé, M., Heijungs, R., Huppés, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Weneger, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. “Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO standards”, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, 2001, The Netherlands.

Agradecimientos

Este estudio ha sido parte del proyecto “Estudio medioambiental de los productos plásticos y sus procesos de fabricación, utilizando el análisis del ciclo de vida (ref. IMCOCA/2006/14)”, subvencionado por el IMPIVA – Generalitat Valenciana.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Garraín Cordero.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.
Av. Sos Baynat, s/n. E-12071 Castellón.
Tel. +34 964729252 Fax +34 964728106
e-mail: garrain@uji.es
URL: <http://www.gid.uji.es>

Rosario Vidal Nadal.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Vicente Franco García.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Pilar Martínez Sebastián.
AIMPLAS – Instituto Tecnológico del Plástico.
Paterna (Valencia).

Carlos Muñoz Marzá.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.