

Envío: 19-07-2012

Aceptación: 13-08-2012

Publicación: 28-11-2012

ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

STUDY AND ANALYSIS OF INJECTION MOLDING OF THERMOPLASTIC POLYMERIC MATERIALS

David Juárez¹

Rafael Balart²

Miguel Ángel Peydró³

Santiago Ferrandiz⁴

1. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería (programa del dpto. de ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia.
2. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería (programa del dpto. de ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia.
3. Ingeniero en Organización Industrial. Diploma de Estudios Avanzados (programa doctorado del dpto. de ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia.
4. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería (programa del dpto. de ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia.

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo el análisis del moldeo por inyección de materiales poliméricos termoplásticos, estudiando su situación actual desde la perspectiva de la producción industrial, la evolución de la técnica y la modelización del proceso de inyección.

ABSTRACT

This article aims at analyzing the injection molding of thermoplastic polymeric materials by examining their current situation from the perspective of industrial production, the evolution of technology and modeling of the injection process.

PALABRAS CLAVE

Moldeo, Inyección, Polímero, Termoplástico, Simulación.

KEYWORDS

Molding, Injection, Polymer, Thermoplastic, Simulation.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos, desde su descubrimiento, se han convertido en uno de los principales materiales para la fabricación de multitud de artículos, no sólo por su versatilidad sino por la facilidad de incorporar diferentes elementos para obtener propiedades específicas. Esta característica es clave para haberle permitido entrar en un gran número de mercados y aplicaciones, sin disminuir el dinamismo que siempre ha poseído este sector.

Debido a lo citado anteriormente, las tendencias de mercado indican que el plástico continuará siendo considerado como uno de los materiales de mayor uso a nivel mundial, factor que ha incrementado las investigaciones alrededor de este material con el objeto de satisfacer mayores necesidades de uso, resistencia y facilidad en la transformación, promoviendo la innovando en las tradicionales técnicas de fabricación de los plásticos y en la creación de nuevos materiales.

Dentro del actual contexto de crisis económica [C.E.P.,C. E. d. Plásticos, 2010], la actividad del sector se ha visto afectada muy directamente por el brusco descenso de la demanda, que ha obligado a las empresas a hacer frente a los stocks generados por la inercia productiva y la necesidad de reajustes para adecuar la fabricación a unos niveles de demanda inferiores.

A nivel comunitario Alemania sigue liderando el mercado seguido de Italia y Francia. Las cifras de exportación durante el primer semestre del 2009 de estos países son respectivamente de 269.411, 140.328 y 62.851 miles de € un 53%, 60% y 56% de las exportaciones respectivas alcanzadas en el 2008. Esto hace prever un descenso en la actividad algo menos acusada que en el caso de la maquinaria.

La demanda de moldes en España está estabilizada alrededor de los 215 millones de € anuales. Cabe destacar que a pesar de la difícil situación del sector, la producción del 2008 superó a la del año 2009 en un 5,5%, si bien sigue con niveles inferiores a los del 2004 y una elevada dependencia de las importaciones de procedencia Japón, China y Portugal.

Si bien el sector del plástico tuvo al año 2007 como un año récord en el consumo interno de materias primas, que alcanzó los 6,5 millones de Tm, en el 2008 esta cifra quedó reducida a 5,6 millones de Tm, es decir un retroceso del 13% que sitúa escasamente a niveles de consumo del 2004 (Figura).

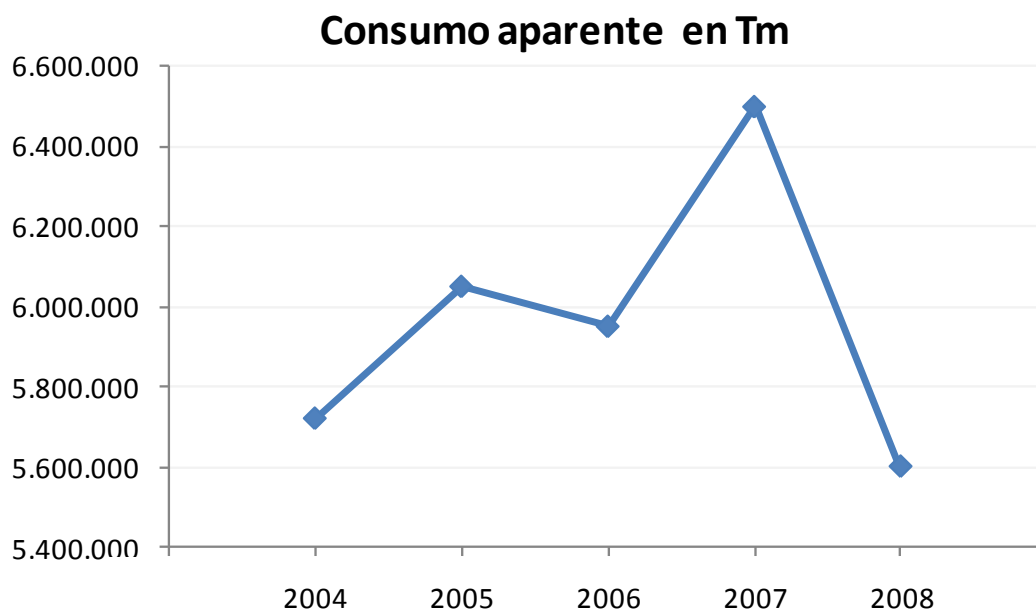


Figura 1. Consumo aparente de plástico en España. Fuente: Centro Español de Plásticos.

También el número de empresas del sector transformador se ha ido reduciendo desde el nivel de 4.234 empresas del 2004 hasta las 3.837 del 2009. No obstante esta reducción no debe imputarse solo a la reducción de la actividad sino también y en mayor medida a un proceso de reestructuración del sector, excesivamente fraccionado (Figura).

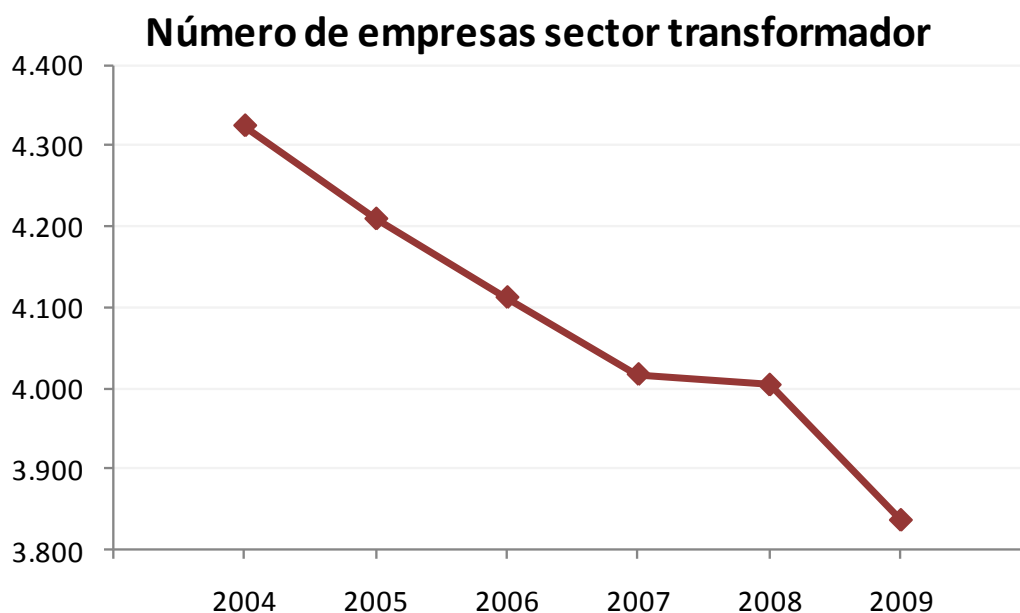


Figura 2. Número de empresas de fabricación de productos de materias plásticas. Fuente: Centro Español de Plásticos.

En los últimos 60 años se ha llevado a cabo un desarrollo exponencial del sector del plástico en Europa occidental, siendo tan espectacular que actualmente se produce un volumen mayor de plásticos que de acero. El principal factor que ha impulsado su crecimiento es la facilidad y economía de transformación de estos materiales, en especial de los termoplásticos, que permiten la fabricación de grandes series con costes relativamente bajos. Por ello el crecimiento está más acusado en el uso de plásticos en productos de consumo.

EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA EN EL SECTOR DE INYECCIÓN

Entre los diferentes los procesos de transformación (inyección, extrusión, soplado y vacío, principalmente) destaca el proceso de inyección, gracias a ciclos rápidos de producción y consecución de productos terminados a la salida de máquina, permitiendo que los materiales poliméricos estén reemplazando a otros materiales como metales, maderas y vidrios, y resolviendo necesidades tecnológicas.

La necesidad de controlar los parámetros de proceso en la inyección del plástico, junto con la innovación sobre las técnicas convencionales ha dado lugar a estudios y trabajos experimentales que investigan la influencia de los parámetros de proceso sobre las propiedades de las piezas y sobre la defectología de las mismas, así como posibles mejoras en el control del proceso. A continuación se citan estudios que tratan de entender el proceso de inyección mediante el análisis de la influencia de determinados parámetros de proceso con respecto a ciertos efectos que afectan a las piezas inyectadas.

Williams [Williams, et al.,1975] estudia el llenado del molde de inyección para materiales termoplásticos centrándose en el flujo de material en los canales circulares de pared fría y de pared caliente.

Cox [Cox, et al.,1986] analiza la influencia directa de la velocidad de inyección con aspectos relacionados con la pieza final, como las características mecánicas, el acabado superficial y las dimensiones, incluyendo la influencia de las cargas de materiales de refuerzo sobre el polímero.

Bushko [Bushko, et al.,1995] plantea un modelo para cuantificar las interacciones entre varios parámetros, como son: el molde, la temperatura de fusión del polímero, el espesor de la geometría y la presión de compactación aplicada sobre los esfuerzos residuales y la contracción de piezas planas.

Kalay [Kalay, et al.,1997] relaciona las condiciones de procesado con las propiedades físicas de las piezas obtenidas, concluyendo con un control de los parámetros de proceso para controlar la rigidez de la pieza obtenida sin tener pérdidas de resistencia.

Kamal [Kamal, et al.,1999] trata de analizar la influencia de pérdida de peso de la pieza en moldeo por inyección de termoplásticos amorfos.

Bigerelle [Bigerelle, et al.,2008] caracteriza la influencia de cuatro parámetros de proceso sobre la rugosidad de las piezas finales obtenidas por inyección, como parámetro de control para garantizar la funcionalidad e integridad de una superficie.

Cheng [Cheng, et al.,2008] propone una optimización de moldeo por inyección basada en la evaluación difusa de la moldeabilidad, logrando un modelo válido, factible y superior a los demás por su capacidad de modelar la dinámica de la lógica difusa en la toma de decisiones de humanos expertos.

Kurt [Kurt, et al.,2009] plantea una investigación experimental de la inyección de plástico, evaluando los efectos de la presión de la cavidad del molde y la temperatura sobre la calidad del producto final. La calidad de las piezas moldeadas es crucial con respecto a su capacidad funcional, y por lo tanto, una gran atención debe ser dirigida hacia el mantenimiento de las dimensiones y tolerancias. Los resultados de este estudio experimental indican que la presión de la cavidad del molde y la temperatura son los factores dominantes que determinan la calidad del producto final en el moldeo por inyección de plástico.

Benítez-Rangel [Benitez-Rangel, et al.,2010] parte de la coincidencia de varios autores en optimizar el flujo de un polímero fundido cambiando su viscosidad, pero el aditivado con productos químicos para ayudar a lograr esta característica cambia las propiedades moleculares del polímero. Por ello proporciona un equipamiento mecánico para modificar la viscosidad de los polímeros fundidos mediante la inducción de vibraciones, sin sacrificar las propiedades del polímero en las piezas inyectadas, y sin implicar modificaciones importantes a la máquina o al molde.

Brezinova [Brezinova, et al.,2010] analiza las condiciones de rozamiento en el desgaste de partes funcionales del molde de inyección, determinando cambios morfológicos en la superficie mediante la evaluación del desgaste y de las condiciones térmicas de forma simultánea.

Consecuentemente, los parámetros de proceso afectan a la obtención de características concretas de piezas inyectadas, procediendo a determinarse por expertos en producción de moldeo por inyección.

La ayuda aportada por modelos matemáticos supone una resolución aproximada para casos sencillos (geometrías simples).

Kamal [Kamal, et al.,1972] plantea un modelo matemático, basado en la conjunción de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía en fluidos, válido para su aplicación sobre geometrías básicas no complejas.

Wu [Wu, et al.,1974] parte del trabajo de Kamal para evaluar el llenado de una geometría circular inyectada por su centro.

Stevenson [Stevenson,1978] introduce un método gráfico basado en el análisis dimensional con el que determina la presión de inyección y la fuerza de cierre requeridas para la dinámica de llenado del molde.

SIMULACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE INYECCIÓN.

La introducción de modelos de simulación numéricos ha permitido el desarrollo de paquetes informáticos que permiten evaluar las condiciones de inyección a partir de parámetros básicos iniciales, solucionando las limitaciones de geometría.

Hieber [Hieber, et al.,1980, Hieber, et al.,1983] propone modelos de simulación basados en elementos finitos, para el llenado de la cavidad en piezas de espesor variable.

Wang [Wang, et al.,1986, Wang, et al.,1988] propone una simulación dinámica por moldeo por inyección de plástico de finas piezas tridimensionales.

Chiang [Chiang, et al.,1991, Chiang, et al.,1991] plantea una simulación unificada, empleando elementos finitos, del llenado y post llenado de moldeo por inyección.

Los modelos numéricos apoyados de paquetes informáticos proceden a facilitar las simulaciones y aportar más información:

Himasekhar [Himasekhar, et al.,1992] plantea una simulación tridimensional del enfriamiento del molde en inyección; Chiang [Chiang, et al.,1993] plantea una simulación integrada de la fluidez y la transferencia de calor en moldeo por inyección para la predicción de contracciones y deformaciones. Wolf [Wolf,1994] prueba y desarrolla modelos experimentales para el paquete informático Moldflow® como software disponible para la simulación del llenado de la cavidad en moldes para inyección de plástico.

Titomanlio [Titomanlio, et al.,1995] trabaja sobre una simulación numérica del moldeo por inyección basada en los modelos y recientes extensiones de Williams y Lord para identificar propiedades del material que son relevantes en el proceso de modelado y posteriores etapas tras el llenado. Chun [Chun,1999] analiza el llenado de la cavidad del molde mediante simulación para detectar atrapes de aire y líneas de soldadura, con el objetivo de visualizar problemas durante el proceso de inyección y entender la causa de los mismos con propuesta de soluciones mediante técnicas de simulación.

Zhou [Zhou, et al.,2002] trabaja modelos 3D de superficies para simular por ordenador el llenado en la inyección del molde; Dubay [Dubay, et al.,2004] plantea un control de temperatura en la inyección del molde, basándose en técnicas predictivas para el control del diseño, simulación e implementación. Hodolic [Hodolic, et al.,2009] desarrolla un modelo integrado de sistema CAD (computer aided design) y sistema CAE (computer aided engineering) para inyección de plástico, que permite trabajar la verificación de parámetros del molde, cálculo y selección del molde.

Johnston [Johnston, et al.,2009] trabaja una proceso de control de la inyección del molde basada en la simulación online; Una simulación numérica online es capaz de predecir las variables de estado tales como la tasa de flujo, temperatura de fusión, velocidad de corte y viscosidad de fusión mediante el uso de datos en tiempo real de

un sensor de presión de la boquilla. Wang [Wang, et al.,2010] trabaja en la misma línea mediante el control online depresión-volumen-temperatura en un molde prototipo. Los datos obtenidos en línea de P-V-T mejora en la predicción exacta de la contracción y deformación.

El análisis del proceso de inyección de plástico y su sus fases tiene en la actualidad un conjunto de herramientas disponible que permiten determinar las condiciones idóneas para el procesado de materiales poliméricos. Estas herramientas permiten correlacionar el resultado final en pieza con los parámetros del proceso.

CONCLUSIONES

Los plásticos se han convertido en uno de los principales materiales para la fabricación de multitud de artículos, característica clave para entrar en un gran número de mercados y aplicaciones, sin disminuir el dinamismo que siempre ha poseído este sector.

Entre los diferentes los procesos de transformación (inyección, extrusión, soplado y vacío, principalmente) destaca el proceso de inyección, gracias a ciclos rápidos de producción y consecución de productos terminados a la salida de máquina, permitiendo que los materiales poliméricos estén reemplazando a otros materiales como metales, maderas y vidrios, y resolviendo necesidades tecnológicas.

El análisis del proceso de inyección de plástico y su sus fases tiene en la actualidad un conjunto de herramientas disponible que permiten determinar las condiciones idóneas para el procesado de materiales poliméricos. Estas herramientas permiten correlacionar el resultado final en pieza con los parámetros del proceso.

AGRADECIMIENTOS

Authors thank “Ministerio de Ciencia y Tecnología”, Ref: DPI2007-66849-C02-02 and Generalitat Valenciana FPA/2010/027 for financial support.

REFERENCIAS

- [1] **BENITEZ-RANGEL, J. P., TREJO-HERNANDEZ, M., MORALES-HERNANDEZ, L. A. and DOMINGUEZ-GONZALEZ, A.** "Improvement of the Injection Mold Process by Using Vibration Through a Mold Accessory", 2010, 577-580.
- [2] **BIGERELLE, M., VAN GORP, A. and lost, A.** "Multiscale roughness analysis in injection-molding process",2008, 1725-1736.
- [3] **BREZINOVA, J. AND GUZANOVA, A.** "Friction Conditions during the Wear of Injection Mold Functional Parts in Contact with Polymer Composites",2010, 1712-1726.
- [4] **BUSHKO, W. C. AND STOKES, V. K.** "Solidification of thermoviscoelastic melts .2. effects of processing conditions on shrinkage and residual-stresses", 1995, 365-383.
- [5] **C.E.P., C. E. P. C. E. d. P.-. C. E. d.** Plásticos. "El sector de los plásticos 2009", *Centro Español de Plásticos*, 88.
- [6] **COX, H. W. AND MENTZER, C. C.** "Injection-molding - the effect of fill time on properties",1986, 488-498.
- [7] **CHENG, J., FENG, Y. X., TAN, J. R. AND WEI, W.** "Optimization of injection mold based on fuzzy moldability evaluation",2008, 222-228.
- [8] **CHIANG, H. H., HIEBER, C. A. AND WANG, K. K.** "A unified simulation of the filling and postfilling stages in injection-molding .1. formulation",1991, 116-124.
- [9] **CHIANG, H. H., HIEBER, C. A. AND WANG, K. K.** "A unified simulation of the filling and postfilling stages in injection-molding 2.Experimental-verification", 1991, 125-139.
- [10] **CHIANG, H. H., HIMASEKHAR, K., SANTHANAM, N. AND WANG, K. K.** "Integrated simulation of fluid-flow and heat-transfer in injection-molding for the prediction of shrinkage and warpage",1993, 37-47.
- [11] **CHUN, D. H.** "Cavity filling analyses of injection molding simulation: bubble and weld line formation",1999, 177-181.
- [12] **DUBAY, R., DIDUCH, C. AND LI, W. G.** "Temperature control in injection molding. Part II: Controller design, simulation, and implementation",2004, 2318-2326.

- [13] **HIEBER, C. A. AND SHEN, S. F.** "A finite-element-finite-difference simulation of the injection-molding filling process", 1980, 1-32.
- [14] **HIEBER, C. A., SOCHA, L. S., SHEN, S. F., WANG, K. K. AND ISAYEV, A. I** "Filling thin cavities of variable gap thickness - a numerical and experimental investigation", 1983, 20-26.
- [15] **HIMASEKHAR, K., LOTTEY, J. AND WANG, K. K** "Cae of mold cooling in injection-molding using a 3-dimensional numerical-simulation", 1992, 213-221.
- [16] **HODOLIC, J., MATIN, I., STEVIC, M. AND VUKELIC, D.** "Development of Integrated CAD/CAE System of Mold Design for Plastic Injection Molding", 2009, 236-242.
- [17] **JOHNSTON, S. P., KAZMER, D. O. AND GAO, R. X.** "Online Simulation-Based Process Control for Injection Molding", 2009, 2482-2491
- [18] **KALAY, G. AND BEVIS, M. J.,** "Processing and physical property relationships in injection molded isotactic polypropylene .1. Mechanical properties", 1997, 241-263
- [19] **KAMAL, M. R. AND KENIG, S.** "INJECTION MOLDING OF THERMOPLASTICS .1. THEORETICAL MODEL", 1972, 294.
- [20] **KAMAL, M. R., VARELA, A. E. AND PATTERSON, W. I.** "Control of part weight in injection molding of amorphous thermoplastics", 1999, 940-952.
- [21] **KURT, M., KAMBER, O. S., KAYNAK, Y., ATAKOK, G. AND GIRIT, O.** "Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products", 2009, 3217-3224.
- [22] **STEVENSON, J. F.** "Simplified method for analyzing mold filling dynamics .1. theory", 1978, 577-582.
- [23] **TITOMANLIO, G., SPERANZA, V. AND BRUCATO, V.** "On the simulation of thermoplastic injection-molding process", 1995, 55-61.
- [24] **WANG, J. A., XIE, P. C., YANG, W. M. AND DING, Y. M.** "Online Pressure-Volume-Temperature Measurements of Polypropylene Using a Testing Mold to Simulate the Injection-Molding Process", 2010, 200-208.
- [25] **WANG, V. W., HIEBER, C. A. AND WANG, K. K.** "Dynamic simulation and graphics for the injection-molding of 3-dimensional thin parts", 1986, 21-45.

- [26] **WANG, V. W. AND SOC PLAST, E.** "Simulation of injection-molding process",1998, 01-013.
- [27] **WILLIAMS, G. AND LORD, H. A.** "Mold-filling studies for injection molding of thermoplastic materials .1. flow of plastic materials in hot-walled and cold-walled circular channels", 1975, 553-568.
- [28] **WOLF, H. J.** "Pc programs for the mold filling simulation in injection-molding - testing applications in the case of moldflow",1994, 399-402.
- [29] **WU, P. C., HUANG, C. F. AND GOGOS, C. G** "Simulation of mold-filling process",1974, 223-230.
- [30] **ZHOU, H. M. AND LI, D. Q.** "Computer filling simulation of injection molding based on 3D surface model",2002, 91-102.