

# EFFECTO LA GEOMETRIA DEL MOLDE Y LA TEMPERATURA AMBIENTE, EN LA ADHESION DE PINTURA SOBRE LA SUPERFICIE DE UNA PIEZA AUTOMOTRIZ DE PBT

César Leyva y Alfredo Márquez\*

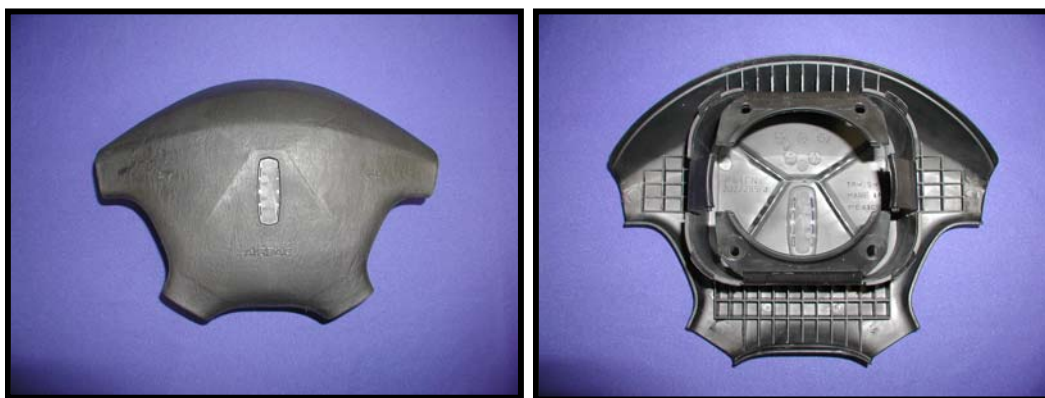
Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.  
Miguel de Cervantes # 120 C.P. 31109, Chihuahua, Chih. México.

\*Autor correspondiente: [alfredo.marquez@cimav.edu.mx](mailto:alfredo.marquez@cimav.edu.mx)

## INTRODUCCION

Con el objetivo de evitar el desprendimiento de la pintura de piezas automotrices moldeadas por inyección, se han propuesto una gran cantidad de soluciones, las cuales se basan principalmente en el uso de promotores de adhesión. La idea de este trabajo es mostrar la posibilidad de mejorar la adhesión de la pintura modificando algunos parámetros del proceso, como son las temperaturas de inyección, del molde y de la pintura misma. Para este propósito se estudió el efecto del tiempo de enfriamiento de una serie de muestras de Poli (butilén tereftalato) (PBT) moldeadas por inyección, y se midió el trabajo de adhesión ( $W_a$ ) de la pintura en sobre estas piezas. Para evaluar las condiciones superficiales, el trabajo de adhesión fue evaluado a partir de experimentos de ángulo de contacto, mediante la ecuación de Young-Dupré. El grado de cristalinidad de las piezas fue determinado por calorimetría, usando un Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC). Los resultados mostraron que, debido al cambio en la microestructura de la pieza, la temperaturas de inyección y del molde tienen una influencia directa en la adhesión de la pintura a la superficie de esta.

Asimismo, ya que la reacción de polimerización de la pintura se lleva a cabo “in situ” sobre la superficie de la pieza de PBT, se estudió también el efecto del tiempo de reacción de la pintura, así como también el de la temperatura ambiente en el mismo proceso. Los resultados mostraron que este último efecto es muy significativo, particularmente a bajas temperaturas, a la cual el trabajo de adhesión disminuye rápidamente con el tiempo.



**Figura 1:** Pieza inyectada de PBT. a) Vista frontal. Las zonas numeradas son las áreas de donde las muestras fueron extraídas. b) Vista trasera.

## EXPERIMENTAL

Los materiales empleados fueron un elastómero termoplástico basado en PBT [Poli(butilen tereftalato)] y una pintura de prueba proporcionada por Sherwin Williams, así como el catalizador, con una razón de mezclado en volumen pintura a catalizador fue de 3.5:1.

La Figura 1 muestra la forma de las piezas utilizadas experimentalmente en este trabajo, la cual corresponde a la cubierta de la bolsa de aire del conductor de un automóvil. El moldeo por inyección de estas muestras se llevó a cabo en una máquina de inyección Cincinnati Milacron de 500 Ton. Las temperaturas del barril y molde empleadas están reportadas en la Tabla 1. El tiempo de enfriamiento promedio  $\tau$  fue calculado de acuerdo a la siguiente expresión (1):

$$\tau = (h^2/\alpha^2 \pi^2) \ln (8R/\pi); \quad (1)$$

PRUEBA	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>BOQUILLA</sub> (°C)	T <sub>MOLDE</sub> (°C)	T <sub>EYECCION</sub> (°C)	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO (s)
1	202	210	216	216	39	70	27.0
2	207	215	221	221	34	70	25.3
3	212	220	226	226	39	70	28.0
4	207	215	221	221	44	70	30.0
5	217	225	231	231	39	70	28.4
6	207	215	221	221	49	70	33.4
7	207	215	221	221	39	70	27.5

**Tabla 1:** Temperaturas del barril, molde, eyección y tiempos de enfriamiento calculados para cada una de las pruebas realizadas.

La fracción cristalina de cada muestra se evaluó en cuatro diferentes zonas, como se muestra en la Figura 1. La cristalinidad fue calculada de los termogramas obtenidos en un Calorímetro de Barrido Diferencial; posteriormente se calculó el calor de fusión ( $\Delta H_{exp}$ ) de las muestras y de estos resultados, se estimó el porcentaje de cristalinidad ( $\chi$ ), utilizando la siguiente expresión:

$$\chi = (\Delta H_{exp}/\Delta H^\circ) \times 100 \quad (2)$$

Para calcular la tensión superficial de la pintura y su ángulo de contacto con la pieza de PBT, se empleó un analizador dinámico de ángulo de contacto y tensión superficial; Para obtener el trabajo de adhesión, definido por el negativo de la energía libre de adhesión (2),  $W^a = -\Delta G^a$ , se empleó la ecuación de Young-Dupré (3):

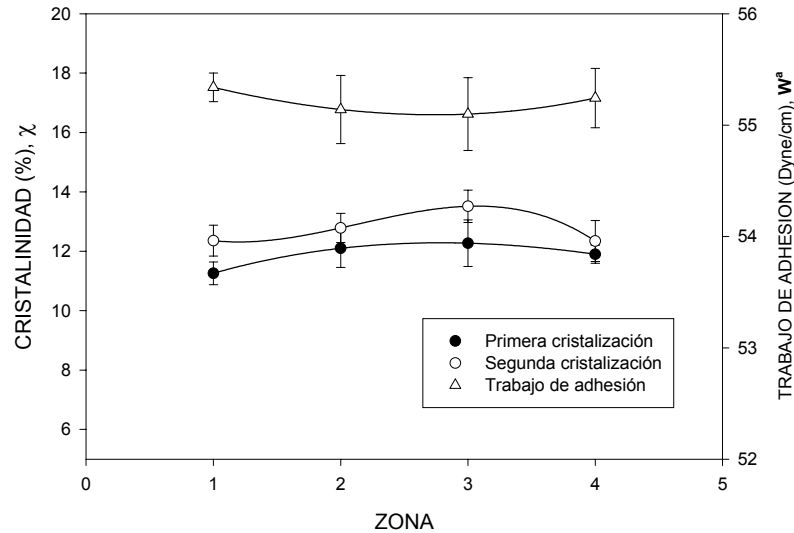
$$W^a = \gamma_{lv} (1 + \cos \theta_Y) \quad (3)$$

El valor de la tensión superficial de la pintura ( $\gamma_{lv}$ ), fue determinada experimentalmente como 29.3 (dina/cm).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se presenta la cristalinidad promedio y el trabajo de adhesión medidos en cada zona, en donde se observa que la cristalinidad mayor corresponde a la zona 3, la cual es la más alejada del punto de inyección, mientras que las zonas 1 y 4 presentan los porcentajes de cristalinidad menores. Este último fenómeno es aparentemente debido a la

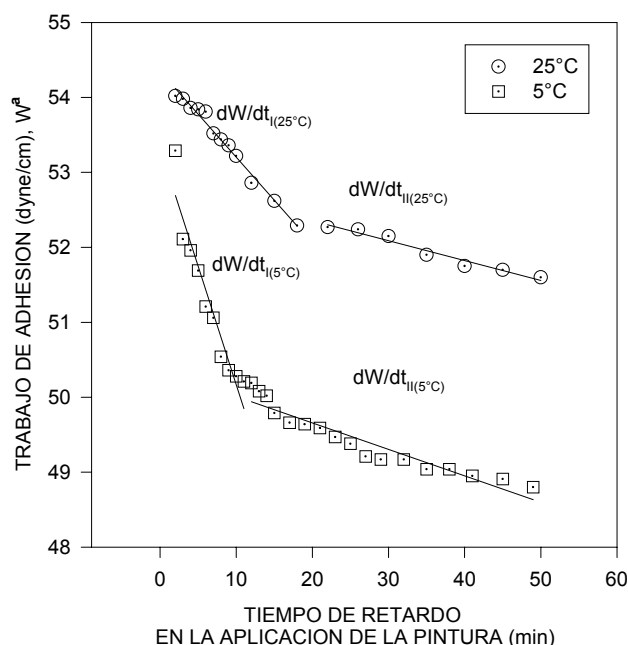
geometría compleja de la pieza, la cual contiene una cantidad de aletas de refuerzo y un receptáculo para la bolsa, los cuales producen un patrón de enfriamiento particular el cual fija esta especial distribución de la micro morfología. Vale la pena remarcar, que en el proceso industrial el desprendimiento de la pintura comúnmente aparece en lugares adyacentes a la zona 3. Es claro que esto sucede porque la geometría del molde produce un aumento en la cristalinidad de la pieza y la subsiguiente disminución del trabajo de adhesión.



**Figura 2:** Variación de la cristalinidad y el trabajo de adhesión a través de la pieza.

Finalmente, el efecto del tiempo de retardo en la aplicación de la pintura sobre el trabajo de adhesión, se muestra en la Figura 3. Esta figura muestra las siguientes observaciones:

- El trabajo de adhesión disminuye con el tiempo de retardo, ya que al transcurrir el tiempo, la polimerización de la pintura avanza, produciendo un líquido con un peso molecular mayor y por consiguiente, una mayor viscosidad y esto da como resultado una menor unión con las moléculas de la superficie del polímero.
- En ambas curvas existe un punto de inflexión. Antes de este punto la velocidad  $dW^a/dt$  depende de la temperatura, mientras que después de él, la velocidad es térmicamente independiente. Este comportamiento es debido evidentemente a la cinética de polimerización de la pintura. No obstante, es importante señalar que la temperatura así como el tiempo de retardo son factores críticos en el proceso de pintura y pueden explicar algunos problemas en los desprendimientos de la pintura.



**Figura 3:** Trabajo de adhesión en función del tiempo de retardo en la aplicación de la pintura, a dos temperaturas.

## CONCLUSIONES

Se estudió el efecto de la velocidad de enfriamiento y la geometría del molde, sobre las características superficiales de piezas de PBT moldeadas por inyección. Las pruebas revelaron que adhesión de la pintura sobre la superficie es casi independiente del tiempo de enfriamiento promedio de la pieza dentro del molde. Por otro lado, el enfriamiento particular de las piezas en el molde, genera un patrón diferente al esperado y que puede ser explicado en base a la cristalización inducida por esfuerzo. En general, el uso de velocidades de enfriamiento mayores, dará una menor cristalinidad y consecuentemente una ligera mejora en la adherencia de la pintura. También, la temperatura y tiempo de polimerización de la pintura son factores críticos para la adherencia de ésta. En particular se observó, que la pintura no debe ser aplicada en un tiempo mayor a los 10 minutos después de haber sido preparada y ni a una temperatura menor a la ambiente (25 °C).

## REFERENCIAS

1. L. Sors and S. Balaz, *Design of Plastic Molds and Dies*, Elsevier Publishers, New York, (1989).
2. A. R. Balkenende, H. J. A. P. Van de Boogaard, M. Scholten and N. P. Willard, *Langmuir*, **14**, 5907 (1998).
3. M. E. Schrader, *Langmuir*, **12**, 3728 (1996).