

Impacto de la Terminación de las Superficies del Material Base Para la Adherencia en el Proceso de Sobremoldeo

*Bia Pamela De Los Santos Rivera
Maestría en Manufactura competitiva
Rafael Nieves, PharmD.
Escuela Graduada
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *El sobremoldeo consiste en el moldeo por inyección de una sustancia sobre otra. El propósito de estas tecnologías es producir componentes multifuncionales con una variedad de colores y/o materiales y unir las características de cada uno de los materiales moldeados permitiendo que la durabilidad, funcionabilidad y en algunas ocasiones la estética, incremente. Una de las características más importantes en este tipo de proceso es la adhesión entre los materiales. Para esto se pueden utilizar solventes, los cuales afectan la superficie del material que va a ser sobremoldeado de forma que ayude a la adherencia del nuevo material. La adherencia se ve impactada por la terminación ocasionada por el solvente y por ende en los desprendimientos que pueden resultar del proceso esto se evidenció por medio de diferentes grupos con diversas terminaciones que fueron evaluados.*

Términos clave — *Adhesión, elastómero termoplástico, Sobremoldeo, Solvente, Superficie.*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la manufactura en los procesos de sobremoldeo una gran cantidad de unidades son descartadas por el defecto de desprendimiento o falta de adherencia entre las piezas. Esto representa un alto impacto en los descartes de las áreas de producción lo que se traduce en pérdida de dinero.

En un proceso en específico la causa raíz no ha sido detectada, pero se intuye que la terminación del material base luego de ser tratado con el solvente puede que tenga relación, esto es lo que se evaluará en esta investigación.

Descripción de la Investigación

Durante la manufactura en el proceso de sobremoldeo una gran cantidad de unidades son

descartadas por el defecto de desprendimiento. Esto representa un alto impacto en los descartes del área lo que se traduce en pérdida de dinero.

No se ha detectado la causa raíz, pero se percibe que las diferentes terminaciones de la superficie del material base luego de ser tratado con el solvente (Proceso que se realiza manual) puede que tenga relación con la cantidad de desprendimiento que se detecta en el proceso. Esto es lo que se evaluará en la investigación.

Contribuciones de la Investigación

Identificar las variables que impactan en la adherencia entre los polímeros específicamente los que son adheridos mediante el proceso de sobremoldeo (*overmolding*) para así poder tener un control sobre ellas de manera que se asegure la manufactura de piezas de calidad que no tengan el riesgo de desprenderse en el proceso de pruebas o durante el uso del cliente final.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar cuáles son las variables que influyen en que la adherencia no sea robusta entre polímeros elastómeros en el proceso de sobremoldeo.

Objetivos Específicos

- Evaluar si la terminación de la superficie del material base influye en la adherencia.
- Determinar cuál es el mejor método para asegurar una adherencia robusta en el proceso de sobremoldeo.
- Identificar cuál de los métodos genera menos unidades defectuosas/ fallidas y si hay una diferencia estadística.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las técnicas que involucran dos o más materiales son generalmente llamadas moldeo de múltimateriales. El propósito de estas tecnologías es producir componentes multifuncionales con una variedad de colores y/o materiales. Las partes obtenidas pueden tener procesamiento y ventajas en rendimiento (mayores grados de libertad en arreglos de color y forma, combinaciones rígidas/flexibles, y características funcionales) además de ventajas económicas (integración de funciones y eliminación de operaciones de posprocesamiento). Una vez que se usa la inyección de materiales múltiples para producir piezas con geometrías complejas, en general, se requiere una colaboración intensa entre los diseñadores de la pieza, la herramienta y, en algunos casos, el equipo de procesamiento.

El sobremoldeo consiste en el moldeo por inyección de una sustancia sobre otra. La mayor ventaja es que el sobremoldeo permite añadir un material de “tacto suave” a un producto. Se mejora así el agarre y la durabilidad. Puede aportar también propiedades como la absorción de impactos y el amortiguamiento de vibraciones. Además, el material usado para el sobremoldeo puede tener un color diferente, mejorando así la estética del producto [1].

Durante esta revisión de literatura se realizó una búsqueda de las investigaciones y materiales relacionados al proceso de sobremoldeo. El libro de *Injection molding* de Kamal, Isayev y Liu [2] explica que, a diferencia de la co-inyección, en el sobremoldeo los moldes juegan el papel principal en el proceso. De hecho, las principales variantes de esta tecnología se clasifican según los respectivos diseños de moldes, involucrando herramientas complejas y costosas.

Una característica distintiva del sobremoldeo es la aparición, en el mismo ciclo de producción, de dos o más operaciones de moldeo secuenciales que implican un cambio de la geometría de moldeo en el interior la herramienta. Dependiendo de la geometría de la pieza, se podrían utilizar sistemas mecánicos auxiliares complejos. Estos pueden ser internos

(núcleos móviles y giratorios) o externos (mesas giratorias o robots) [2].

De acuerdo con GLS (un líder reconocido en temas de sobremoldeo de elastómeros termoplásticos TPE) hay dos procesos de moldeo por inyección que dominan la fabricación de productos sobremoldeados, moldeo por inserción y moldeo por inyección multidisparo.

El moldeo por inserción es el proceso más utilizado es insertar moldeado, donde hay un inserto premoldeado, se coloca en un molde y se dispara el TPE directamente sobre él. Para moldeadores, la ventaja de moldeo por inserción es convencional y se pueden usar máquinas de IM de un solo disparo (los gastos de maquinaria nueva no son necesarios), y los costos de herramientas asociados con moldura de inserción son más bajos que con procesamiento de múltiples disparos [3].

En el caso del moldeo por inyección multidisparo también conocido como moldeo de doble disparo o tiro requiere una máquina de inyección especial de moldeo que está equipada con dos o más barriles, permitiendo que dos (o más) materiales sean inyectados en el mismo molde durante el mismo ciclo de moldeo. Un moldeador elegirá el moldeo de múltiples disparos para reducir los tiempos de ciclo, lograr una calidad de pieza superior y reducir los costos laborales.

Una de las características más importantes en este tipo de proceso es la adhesión entre los materiales. Los factores que afectan la adhesión entre los materiales son:

- Grado de sustrato plástico (relleno de vidrio, relleno de mineral, estabilizado al calor, lubricado).
- Polímeros en la superficie. La adhesión será mejor cuando haya más polímeros en la superficie del sustrato.
- TPE elegido. Hay que asegurar que esté diseñado para adherirse al sustrato.
- Espesor apropiado de TPE. Si es demasiado delgado puede conducir a la delaminación.
- Uso de enclavamientos mecánicos en el diseño de componentes.

- Diseño de cierre adecuado.
- Ventilación adecuada, es crítica especialmente en los extremos del flujo.
- Tipo de portador de concentrado de color utilizado tanto en el plástico como en el TPE.
- Pre-secado del material de sobremoldeo de TPE, si es necesario.
- Preparación y limpieza del sustrato.
- Una temperatura de fusión de TPE más alta generalmente proporciona una mayor fuerza de unión.
- Control de la temperatura de fusión por la velocidad de inyección, la presión de la primera etapa, luego las temperaturas del barril [3].

La adherencia en los procesos de sobremoldeo según el libro de *Injection molding* de Kamal, Isayev y Liu [2] expone como se da la interacción entre diversos materiales:

- En una gran mayoría de piezas sobremoldeadas, es importante una buena adhesión entre los materiales utilizados (ver Tabla 1).
- Cuando la buena adhesión entre los materiales es crítica, se requiere de una selección cuidadosa de los polímeros a utilizar. Se usa información relevante, como la presentada en la Tabla 1.
- Es común rediseñar la pieza para incluir un anclaje mecánico que garantice la eficiencia y enclavamiento entre los materiales seleccionados.
- El uso de materiales incompatibles con diferentes valores de contracción no permite la producción de sistemas funcionales y ponen en peligro las operaciones de ensamblaje luego de moldeo [2].

A veces cuando nos vemos frente a uniones entre materiales muy parecidos los niveles de adherencia en algunas partes del producto pueden que no sean tan robusto. Para estos casos una de las opciones es el uso de solventes para ayudar en la adherencia de las distintas partes.

Tabla 1
Adhesión de los Termoplásticos [2]

| | ABS | PC+ABS | PC | HIPS | PMMA | PA | PBT | POM | PPO | PP | TPU |
|--------|-----|--------|----|------|------|----|-----|-----|-----|----|-----|
| ABS | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PC+ABS | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PC | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| HIPS | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PMMA | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PA | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PBT | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| POM | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PPO | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PP | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| TPU | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

■ good; ■ moderate; ■ poor; ■ incompatible; □ without registry

De acuerdo con Charles A. Harper en el *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites, Fourth Edition* [4], la cementación o unión con solvente es el método más simple y económico de unir termoplásticos no cristalinos. En la cementación o unión con solvente, la aplicación del solvente suaviza y disuelve las superficies del sustrato que se van a unir. El disolvente se difunde en la superficie, lo que permite una mayor libertad de movimiento de las cadenas de polímero. A medida que las partes se juntan bajo presión, el plástico suavizado con solvente fluye. Las fuerzas atractivas de Van der Waals se forman entre las moléculas de cada parte, y las cadenas de polímeros de cada parte se mezclan y difunden entre sí. Las partes se mantienen en su lugar hasta que el solvente se evapora del área de la junta.

Las juntas cementadas con solvente de materiales similares son menos sensibles al ciclo térmico que las juntas unidas con adhesivos, porque no hay tensión en la interfaz debido a las diferencias en la expansión térmica entre el adhesivo y el sustrato. Cuando se van a unir dos plásticos diferentes, generalmente es deseable la unión adhesiva debido a problemas de compatibilidad de solventes y polímeros. Las juntas cementadas con solvente son tan resistentes a ambientes degradantes como el plástico original. Por lo general, se puede obtener una resistencia de unión superior al 85 por ciento del plástico original. Los solventes proporcionan enlaces de alta resistencia rápidamente debido a las rápidas tasas de evaporación [4]. A pesar de ello la cantidad de solvente que se aplica también

podría influenciar en si la adherencia resulta lo suficientemente fuerte en el caso de los productos que durante su funcionamiento se ven sometidos a estrés. Esto en conjunto con el proceso ideal de secado y la reacción resultante de la superficie debido a la cantidad de solvente aplicada es una variable que aun afecta a muchos procesos especialmente cuando se efectúan de manera manual ya que no suelen ser tan constantes y repetitivas las terminaciones de las superficies.

METODOLOGÍA

Propósito

Identificar si la terminación del tubo tiene relación con la cantidad de unidades descartadas y cantidad de unidades que fallan la prueba de desprendimiento.

Objeto de Investigación

Unidades de un producto que en su manufactura se les aplica solvente a los tubos para ayudar a la adherencia y luego se les realiza sobremoldeo (*overmolding*).

Muestreo Probabilístico o No Probabilístico

Se tomará un muestreo que sea representativo de la población o con el cual se puedan realizar análisis estadísticos.

El muestreo será probabilístico y de tipo estratificado ya que se dividirá (estratificar) a la población por alguna característica específica en 3 grupos:

1. Unidades pintadas con brocha y solvente terminación de la superficie lisa y con sobremoldeo.
2. Unidades pintadas con brocha y solvente terminación de la superficie porosa y con sobremoldeo.
3. Unidades pintadas con atomizado, terminación mate y con sobremoldeo.

Tamaño de muestra: La muestra a tomar será de 30 unidades de cada grupo para un total de 90 unidades para realizar el estudio.

Razón: 30 unidades es la cantidad que por estimación aproximada se requiere para poder realizar un análisis de correlación entre las variables.

Procedimiento de recolección de muestras para garantizar estandarización:

- Se tomarán 30 unidades de tubos con la superficie lisa y 30 unidades de tubos con la superficie porosa y tubos con la superficie mate tomando en cuenta que: se utiliza el mismo lote de materia prima para los grupos, mismo lote de tubo, y mismo lote de solvente.
- Se marcarán las unidades para diferenciar un grupo de otro, se mezclarán y se introducirán al proceso de sobremoldeo (*overmolding*). Las unidades serán mezcladas para que los grupos cuenten con el mismo estado de la inyectora al momento de ser moldeados. Esto va a eliminar la variable equipo de la ecuación ya que todos los grupos van a ser sobremoldeados y van a estar impactados por los cambios que se puedan dar en el proceso de sobremoldeo.
- Los grupos serán inspeccionados de manera visual por la misma persona, así se evita que el método de inspección entre personas sea una variable que impacte la investigación.
- Los grupos serán sometidos a la prueba de desprendimiento la cual la realizará la misma persona a todos los grupos, aquí también se evitará que el método de prueba entre personas sea una variable que impacte la investigación.

Criterios Para los Resultados de la Prueba

Estos criterios aplican para todos los grupos:

- Prueba satisfactoria: si cuando se realiza la prueba de desprendimiento no se ve separación entre el tubo y el *overmolding*.
- Prueba fallida: si cuando se realiza la prueba de desprendimiento se detecta separación o desprendimiento entre el tubo y el *overmolding*, sin importar el tamaño.

Nota: No hay tolerancia para el desprendimiento, la prueba es pasa o no pasa, desprendió o no desprendió no importa el tamaño de la separación.

Análisis Estadístico

Se realizará prueba de Chi-cuadrada. Probar la igualdad del % de defectuosos para más de 2 grupos. Esta prueba puede utilizarse para determinar si existe alguna diferencia entre el porcentaje de defectuosos de grupos diferentes. Los grupos se diferencian por una característica de interés, como un producto producido por distintos operadores, por diferentes plantas o en diferentes momentos. La prueba de chi-cuadrada evalúa de manera conjunta si cualquier porcentaje de defectuosos difiere significativamente de cualquier otro porcentaje de defectuosos [5].

En caso de que solo se puedan evaluar 2 de los grupos el método a utilizar sería la prueba t pareada, esta es útil para analizar el mismo conjunto de elementos que se midieron bajo dos condiciones diferentes, las diferencias en las mediciones realizadas en el mismo sujeto antes y después de un tratamiento o las diferencias entre dos tratamientos administrados al mismo sujeto [6].

En ambos casos Prueba de hipótesis con un 95% de confiabilidad para determinar si hay diferencia entre los grupos.

Luego de tener los resultados se enviarán muestras del grupo con mejor desempeño para realizar las pruebas funcionales:

- Prueba simulando el uso final del producto (centrifuga)
- Prueba bajo agua luego de la simulación (*Leak* bajo agua)
- Corte para ver adherencia entre piezas luego de la simulación (*Cross section*)

Muestreo: 30 unidades igual que las pruebas anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los pasos que se siguieron para realizar las pruebas son los que se expusieron en la metodología del Proyecto.

Para los grupos 1 y 2 se utilizó brocha de Nylon (ver Figura 1) para la aplicación del solvente en el material base y para el grupo 3 se aplicó por medio

de un *spray* ultrasónico. El atomizador se puede ver en la Figura 2.



Figura 1
Brocha de Nylon [7]



Figura 2
Atomizador

1. Para el grupo 1 - Unidades pintadas con brocha y solvente, terminación de la superficie de la base lisa y con sobremoldeo. De las 30 unidades probadas 16 unidades satisfactorias y 14 unidades que fallaron en la prueba de peeling.
2. Para el grupo 2 - Unidades pintadas con brocha y solvente, terminación de la superficie porosa por el exceso de solvente y con sobremoldeo. De las 30 unidades probadas 25 unidades satisfactorias y 5 unidades que fallaron la prueba de peeling.
3. Para el grupo 3 - Unidades pintadas con atomizado, terminación mate y con sobremoldeo. De las 30 unidades todas obtuvieron resultados satisfactorios en todas las pruebas.

En la Tabla 2 se presentan todos los resultados de las pruebas.

Tabla 1
Resultados de Prueba de Peeling

| Muestra | Pass ✓ | Fail X | Porcentaje satisfactorio |
|----------------|--------|--------|--------------------------|
| Grupo 1 | 16 | 14 | 53.33% |
| Grupo 2 | 25 | 5 | 83.33% |
| Grupo 3 | 30 | 0 | 100.00% |

En porcentajes se evidencia que las unidades del grupo 3 tienen una mayor adherencia que las de los grupos 1 y 2.

En adición a este resultado se realizó una prueba de hipótesis para verificar si había una diferencia estadística entre estos grupos. Para esto se utilizó la herramienta Minitab. Dado los resultados del grupo 3, la prueba Chi-cuadrada no puede realizarse ya que para llevar a cabo esta prueba el número de defectuosas y no defectuosas de todos los grupos requiere ser mayor o igual que 5.

Basado en los resultados obtenidos el proceso que da mejor resultado es en el cual se pintó con atomizado para obtener una terminación mate.

Para obtener una mejor respuesta se compararán los resultados del grupo 1 y grupo 2. Este análisis aclarará más el panorama de cuánto influye la terminación y cuál de los 2 restantes es más efectiva.

La prueba t pareada es útil para analizar el mismo conjunto de elementos que se midieron bajo dos condiciones diferentes, las diferencias en las mediciones realizadas en el mismo sujeto antes y después de un tratamiento, o las diferencias entre dos tratamientos administrados al mismo sujeto [6]. Esta será la utilizada.

Prueba de hipótesis con un 95% de confiabilidad para determinar si hay diferencia en entre los grupos. Ver los resultados del análisis estadístico en las gráficas de la Figura 3 y Figura 4.

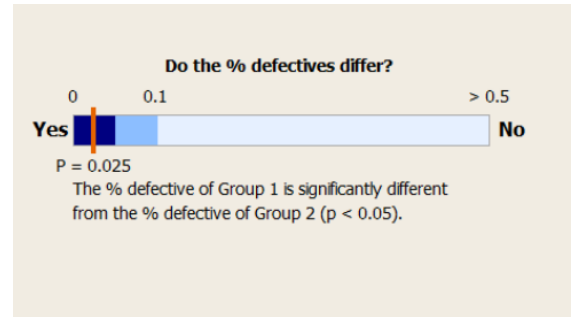


Figura 3
Resultado MiniTab

| Statistics | Group 2 | Group 1 |
|---|---------------|-----------------|
| Total number tested | 30 | 30 |
| Number of defectives | 5 | 14 |
| % Defective | 16.67 | 46.67 |
| 95% CI | (5.64, 34.72) | (28.34, 65.67) |
| Difference in % defectives * | | -30.00 |
| 95% CI | | (-52.28, -7.72) |
| * The difference is defined as Group 1 - Group 2. | | |

Figura 4
Resumen Resultado MiniTab

Hay una diferencia significativa en ambos grupos. Las unidades muy pintadas en que la superficie se siente porosa resultaron tener un mejor desempeño. Esto no asegura que las unidades no se desprendan, pero las unidades fallidas serán menos.

Observación: La mayoría de las unidades que estaban mate, sin importar a que grupo correspondieran, dieron resultados satisfactorios.

Al grupo con mejor desempeño de los 3, como se indicó en la metodología, se le realizaron pruebas funcionales. Dado los resultados de un 100% de unidades satisfactorias se manufacturaron 30 unidades más del grupo 3 para realizarles estas pruebas obteniendo los resultados que se observan en la Tabla 3.

Tabla 2
Resultados pruebas funcionales grupo 3

| Prueba | Pass ✓ | Fail X | Porcentaje satisfactorio |
|----------------|--------|--------|--------------------------|
| Centrifuga | 30 | 0 | 100% |
| Leak bajo agua | 30 | 0 | 100% |
| Cross section | 30 | 0 | 100% |

Los resultados obtenidos son satisfactorios en todas las pruebas funcionales realizadas a las unidades enviadas. Esto nos indica el funcionamiento correcto de las piezas que se hayan manufacturado bajo esta condición o tratamiento. Una validación del nuevo método y del proceso con estas nuevas condiciones confirmaría que finalmente es el mejor.

CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos podemos evidenciar que la terminación de la superficie del material base tiene relación con la adherencia durante el proceso de overmolding.

A pesar de utilizar la misma resina, mismo solvente y material base vemos un comportamiento diferente en las unidades dependiendo de cómo queda la superficie y de cómo se aplicó el solvente. Hay diferencia en la cantidad de unidades defectuosas cuando comparamos las unidades con la superficie del material base; porosa, lisa y solo mate.

Según los resultados obtenidos en las pruebas generales y los resultados en las pruebas funcionales de un 100% de unidades satisfactorias el mejor método es el empleado al utilizar el atomizador con aerosol ultrasónico; grupo 3.

Luego de este en segundo lugar el grupo 2 por obtener un 83.3% de unidades satisfactorias y de ultimo el grupo 1 con un 53.3% de unidades satisfactorias en las pruebas generales.

Dado los resultados vemos que una superficie mate representa la mejor forma para la reducción del desprendimiento esta terminación es la que nos da el uso de atomizado en el proceso.

La implementación de este método reduciría los descartes en un gran porcentaje al igual que los riesgos de tener unidades que se desprendan en las pruebas de calidad durante el proceso como en las pruebas de *incoming* del cliente y lo que es mucho más importante durante el uso del producto.

REFERENCIAS

- [1] Redacción Interempresas, "Sobremoldeo y moldeo con inserciones: funciones adicionales del moldeo por inyección," February, 2017. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/169019-Sobremoldeo-y-moldeo-con-inserciones-funciones-adicionales-del-moldeo-por-inyeccion.html>.
- [2] M. R. Kamal, A. I. Isayev and S. Liu, "Overmolding," in *Injection Molding Technology and Fundamentals*, Cincinnati: Hanser, 2009.
- [3] 2004. [Online]. Available: https://www.polyone.com/files/resources//Overmold_Design_Guide.pdf.
- [4] C. A. Harper, "Solvent Cementing," in *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*, Fourth Edition, Plastics Joining, McGRAW-HILL, 2002.
- [5] 2017. [Online]. Available: https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/Asistente_Pruebas_de_chi-cuadrada.pdf. [Accessed Mayo 2020].
- [6] "Minitab," 2019. [Online]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/paired-t/before-you-start/overview/>. [Accessed Mayo 2020].
- [7] "McMASTER-CARR," [Online]. Available: <https://www.mcmaster.com/oil-brushes/bristle-material~plastic/>. [Accessed Junio 2020].