

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS TECNICOS

Por : Ing. B. Moeltgen, Duesseldorf

Control de la productividad en la fabricación de una pieza de material plástico.

En primer lugar se analizarán de una forma general los diferentes aspectos de un incremento de la producción. Como muestra la práctica, en todas las fases y actividades, que intervienen en el desarrollo y en la producción de piezas de material plástico, como proyecto de la pieza, elección del material, construcción del utillaje y fabricación (incluido el control de calidad), se actúa sobre la rentabilidad de la fabricación de piezas de material plástico. Dado que las decisiones tomadas a un nivel casi siempre influyen en otros niveles la cooperación estrecha y en el instante correcto entre todos los participantes es la clave decisiva de la productividad.

La figura 1 resume algunos de los parámetros más importantes y expone las estrechas relaciones existentes entre ellos. Esto se hace especialmente manifiesto con el ejemplo del grueso de pared de una pieza. Con él influye el proyectista en gran medida tanto en la contracción, es decir en la exactitud de medidas y en la fidelidad de formas de la pieza, como en la duración del ciclo necesario para su fabricación. Estas relaciones se representan en la figura 2. Como consecuencia se deduce de ello, que los gruesos de pared grandes no sólo dan lugar a elevados costos en materias primas, sino también a costos de fabricación altos.

Numerosos transformadores hicieron dolorosas experiencias en otro aspecto : los "ahorros" en los

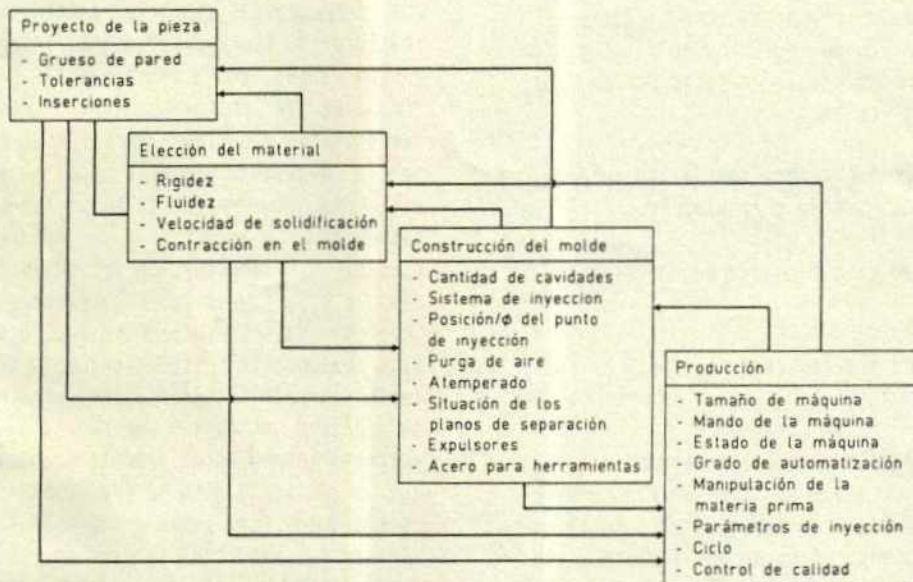


Fig. 1. Relación entre los diferentes parámetros de fabricación

costos de los moldes pueden dar lugar en la fabricación a costos adicionales, que representen un múltiplo de lo ahorrado. Una configuración desfavorable del punto de inyección y un atemperado insuficiente del molde limitan considerablemente el margen del transformador, de modo, que en numerosos casos solo es posible alcanzar un "equilibrio" muy costoso.

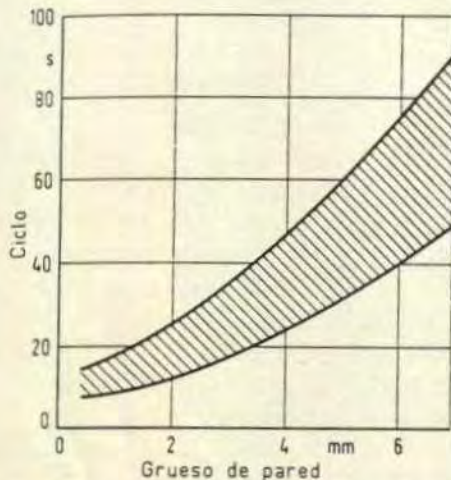


Fig. 2. Ciclos usuales en función del grosor de pared de piezas de poliacetal

Aquí no es posible analizar todos los factores técnicos necesarios para obtener una productividad máxima. La gran variedad de posibilidades existentes queda patente en las instalaciones, que se mencionan a continuación.

- Mandos de máquina a base de microprocesadores para la programación de los datos de máquina, así como para el control y la regulación de los parámetros de inyección.
- Automatización de la preparación de las materias primas con teñido, secado y transporte.
- Sistema de secado eficaz con secadores de aire seco.
- Sistemas sin bebedero con canal caliente o con canal aislado.

Además de estos factores relativos al equipamiento, en los que el transformador sólo puede influir una vez, es decir en el momento de la adquisición, existen otros muchos factores, que se pueden modificar permanentemente. En lo que sigue se analizan algunos de estos factores con

jo, boquilla, distribuidor de canal caliente y análogos. En ellos existen entonces zonas con muescas, grietas, escalones y análogos en los que se sedimenta una parte de la masa fundida, no siendo transportada forzosamente por el movimiento del husillo.

Estos puntos de permanencia se producen, sobre todo, en las boquillas con obturador, así como en las juntas entre diferentes elementos de máquina, como husillo/anillo de apoyo, cilindro/adaptador y adaptador/boquilla. Siempre que estas superficies de asiento se hallen, como se observa con frecuencia, en superficies cónicas, existe el gran peligro de que después de rectificar las superficies de asiento aparezca un escalón o incluso una grieta, figura 4. Para evitar estos problemas, es conveniente trasladar todas las superficies de detalle y desde el punto de vista particular de los materiales plásticos técnicos parcialmente cristalinos.

Reducción de la tasa de desecho por supresión de errores de transformación

En lo que se sigue se exponen algunos defectos de transformación, observados con frecuencia, que dan lugar a piezas modeladas defectuosas, es decir inservibles.

Degradación Térmica

Las consecuencias de la degradación térmica son la reducción de las propiedades mecánicas, la decoloración y las "inclusiones extrañas" debidas a los productos de descomposición. Las causas son temperaturas demasiado altas y/o tiempos de permanencia demasiado grandes. Con el ejemplo de un poliacetal se representa en la figura 3 cómo la temperatura y el tiempo de permanencia pueden conducir a la degradación del polímero. La zona situada a la izquierda de la curva es el margen de trabajo admisible, mientras que a la derecha de ella comienza la degradación de la cadena. Con la temperatura de transformación recomendada de 215 C se obtiene un margen superior a 30 minutos, es decir un tiempo relativamente grande. El hecho de que a pesar de ello se rebasa en algunos casos este tiempo, produciendo con ello la degradación térmica del producto, se debe en parte a puntos de permanencia ocultos en los elementos que conducen la masa fundida, como cilindro obturador de reflu-

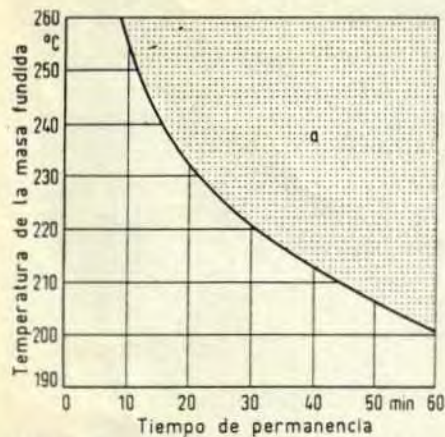


Fig. 3. Tiempo de permanencia del poliacetal en función de la temperatura de la masa fundida. Definición del tiempo de permanencia; peso del material plástico en el cilindro x duración del ciclo/peso de la embolada a margen de degradación térmica

asiento a zonas cilíndricas. Igualmente, se debe cuidar, que existan superficies libres suficientemente grandes.

Las relaciones expuestas para el poliacetal son válidas de forma análoga para la mayoría de los materiales plásticos técnicos parcialmente cristalinos, como por ejemplo poliamidas y poliésteres termoplásticos.

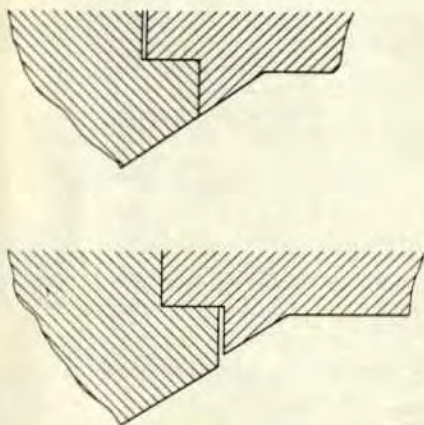


Fig. 4. Formación de puntos de permanencia en piezas cónicas por rectificado de las superficies de asiento
Arriba: antes del rectificado, debajo: después del rectificado

Masa fundida demasiado fría o no homogénea.

Cuando la masa fundida está demasiado fría o no es homogénea, se puede producir la rotura de las piezas, incluso con cargas pequeñas. Las posibles

causas son las temperaturas demasiado bajas de las diferentes zonas de calefacción del cilindro, un número de revoluciones de husillo demasiado alto, un tiempo de permanencia demasiado pequeño al aprovechar plenamente la capacidad de plastificación y, por lo tanto, una duración demasiado pequeña del ciclo.

Para mejorar la homogeneidad de la masa fundida es conveniente elevar la temperatura del cilindro en la zona de entrada, reducir el número de revoluciones del husillo, utilizar una unidad de inyección más grande, prever una ligera presión dinámica y, eventualmente, utilizar un husillo con una forma geométrica más favorable.

Cavidades de molde con llenado insuficiente

Las piezas en las que la cavidad de molde se llenó de forma insuficiente se caracterizan con frecuencia por el hecho de que las dimensiones críticas se hallan fuera de tolerancia y poseen una dispersión muy grande. Esto se puede deber a una presión de inyección y de mantenimiento demasiado pequeña, a un tiempo de presión de mantenimiento demasiado pequeño y/o a puntos de inyección demasiado pequeños o mal situados. Con un diámetro del punto de inyección del orden del 50 a 60% del grueso de pared máximo de la pieza se pueden fabricar generalmente con los materiales plásticos parcialmente cristalinos piezas con una exactitud de dimensiones suficientes. Además, contrariamente al caso de los materiales plásticos amorfos, se recomienda, que la presión de mantenimiento sea igual a la de inyección y que se mantenga constante durante todo el tiempo de presión de mantenimiento.

Franjas superficiales en la pieza o en proximidad del punto de inyección

Las causas de ellas pueden ser una masa fundida ya dañada térmicamente y/o un cizallamiento demasiado grande en el punto de inyección. En este último caso se puede reducir la velocidad de inyección o, siempre que sea posible, escalonarla (de baja a alta), así como agrandar el punto de inyección y redondear las transiciones de canto vivo.

Reducción de las paradas de máquina por construcción adecuada de sus elementos y por mantenimiento preventivo de la máquina

Las condiciones de transformación desfavorables pueden dar lugar a través de fenómenos secundarios, como por ejemplo la formación de un velo en las cavidades del molde, tanto a un efecto directo en la calidad de la pieza como a una merma considerable de la productividad. Las interrupciones de la producción para proceder a la necesaria limpieza de los moldes se pagan con capacidad de máquina y con jornales valiosos, sobre todo, cuando es preciso desmontar y despiezar parcialmente moldes complicados. Dado que la formación de un velo en las cavidades es generalmente la consecuencia de una sobrecarga térmica y/o de un cizallamiento demasiado grande de la masa fundida, las medidas para su supresión enlazan con los puntos ya mencionados: supresión de puntos de permanencia en la unidad de plastificación y conducción lo más favorable posible de la masa fundida.

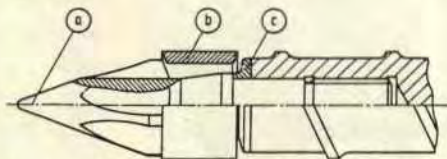


Fig. 5. Diseño favorable de un obturador de reflujo para materiales termoplásticos parcialmente cristalinos
a punta del husillo, b anillo de cierre, c anillo de apoyo

La figura 5 muestra una propuesta para la configuración de un obturador de reflujo, que cumple estas condiciones básicas. Las características decisivas de esta construcción son:

- secciones de paso suficientemente grandes y perfectamente redondeadas para la masa fundida.
- transiciones cilíndricas entre el husillo y el anillo de apoyo, así como entre el anillo de apoyo y la punta del husillo.
- una guía suficientemente larga para alojar la punta del husillo. Con ello se evita, que la punta del husillo se "tuerza" y que la masa fundida y/o los gases penetren en la superficie de asiento.

Las fuerzas de cizallamiento máximas que actúan sobre la masa fundida se producen con frecuencia en la proximidad del punto de inyección, de modo, que la configuración de éste puede influir de

forma decisiva en la aparición de un velo en las cavidades de un molde. Los puntos de inyección demasiado pequeños son en este caso igual de críticos que las transiciones de canto vivo. El diseño de punto de inyección representado en la figura 6 como ejemplo de un bebedero puntiforme en un molde de tres placas tiene en cuenta las relaciones expuestas.

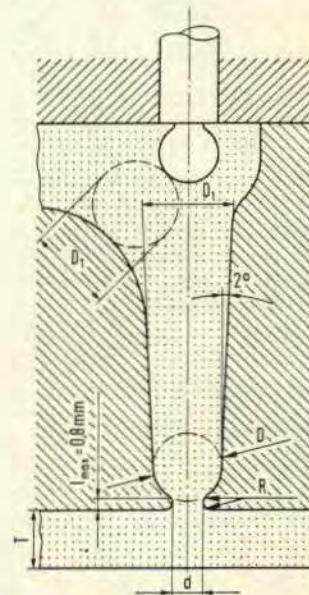


Fig. 6. Configuración favorable de un bebedero puntiforme en un molde de tres placas para la transformación de productos de moldeo sensibles a cizallamiento
 d diámetro del punto de inyección ($d = 0,5 \cdot T$), D diámetro del bebedero ($D = T + 1 \text{ mm}$), D_1 diámetro del bebedero incrementado en el bisel de desmoldeo, l_{max} longitud del punto de inyección, R radio del redondeo, T grueso de pared de la pieza inyectada

En algunos casos no es posible evitar un nivel de cizallamiento alto debido a la forma geométrica complicada de la pieza o a un espesor de pared pequeño, unido a caminos de flujo largos. En este caso puede buscarse la solución del problema en la utilización de tipos de materias primas con preparación especial con una tendencia a la formación de velos en las cavidades del molde considerablemente menor.

El mantenimiento preventivo periódico de las máquinas de inyección no se pudo imponer en numerosos talleres, a pesar de que se recomienda con frecuencia y se justifica de una forma convincente. Con frecuencia se da prioridad a la fabricación de un pedido "urgente" antes de realizar la inspección de la máquina en el

instante previsto. Esto significa, que el plazo de mantenimiento previsto resulta "desfavorable" en el momento previsto para su realización. Sin embargo, generalmente, el instante en el que una máquina queda fuera de servicio a causa de una avería debida a un mantenimiento deficiente, es, al menos, igualmente desfavorable. En estos casos se suma a ello con frecuencia:

- la necesidad de hallar una solución improvisada. Esto equivale, frente a una situación previsible, a operaciones de preparación adicionales con los correspondientes costos de tiempo y de personal.
- el hecho de que la reparación de la avería y, con ello, la recuperación de la capacidad de máquina, dura generalmente, debido a la carencia de piezas de repuesto, mucho más que en el caso de un mantenimiento correctamente preparado.

Sin embargo, incluso antes de un fallo total de la máquina, el desgaste progresivo de determinados elementos, por ejemplo del obturador de reflujo, puede dar lugar a una cantidad de desecho mayor y, con ello, a una productividad reducida. Un mantenimiento, o al menos una revisión, consecuente y periódica de los elementos de máquina más importantes es, por lo tanto sin duda un camino hacia una productividad más alta.

Optimización del ciclo de inyección

El ciclo de inyección típico de los materiales termoplásticos parcialmente cristalinos se subdivide en tiempo de llenado, tiempo de mantenimiento de la presión, tiempo de plastificación, tiempo de seguridad y tiempo de movimiento del molde. A la operación de llenado del molde sigue la fase de presión de mantenimiento en el que el volumen decreciente, a causa de la solidificación y del enfriamiento, se compensa en lo posible con una cantidad de masa fundida adicional. Después de la solidificación del punto de inyección, se plastifica con la boquilla apoyada la cantidad de masa necesaria para el ciclo siguiente. A continuación se prevé generalmente un tiempo de espera pequeño, antes de abrir el molde, de expulsar la pieza y de volver a cerrar el molde.

La característica de los materiales plásticos parcialmente cristalinos es, en comparación con los amorfos, la ausencia de un tiempo de

enfriamiento puro, Figura 7. Debido a la solidificación brusca de los materiales parcialmente cristalinos, se obtiene generalmente la rigidez necesaria para la expulsión de la pieza inmediatamente después de la fase de plastificación. Únicamente en el caso de una forma desfavorable de la pieza, por ejemplo con diferencias de grueso de pared grandes o con un punto de inyección mal posicionado, puede ser necesario un tiempo de enfriamiento adicional. Por el contrario, los materiales plásticos amorfos requieren, después de la fase de llenado y de compactado, una fase de enfriamiento en la que se enfría la pieza inyectada adquiriendo la rigidez y la resistencia necesarias para el desmoldeo.

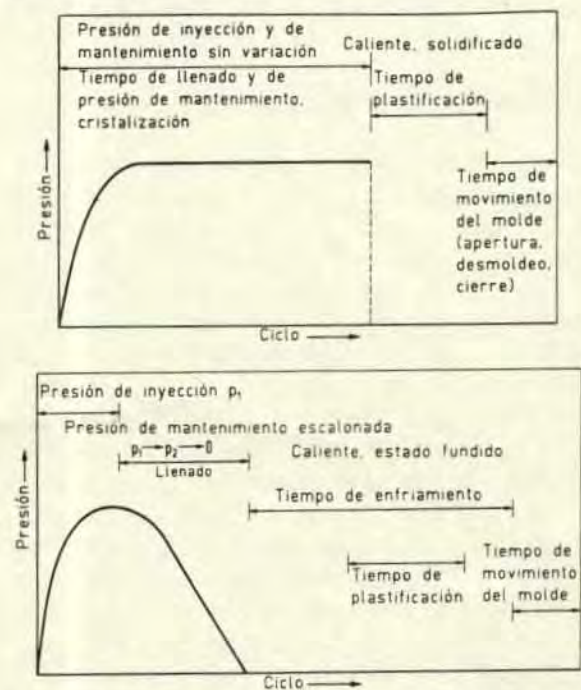


Fig. 7. Representación esquemática de la variación de la presión en función del tiempo en ciclos de inyección para materiales termoplásticos parcialmente cristalinos (arriba) y para materiales termoplásticos amorfos (abajo)

Para obtener una productividad máxima es preciso determinar los tiempos necesarios para las diferentes fases del ciclo de inyección, imprescindible para obtener piezas provechables. La duración óptima del ciclo, que se obtiene por suma de estos tiempos parciales, es la base de una fabricación rentable de piezas, ya que ciclos más cortos dan lugar a tasas de desecho más altas, mientras que ciclos más largos equivalen a tiempo "perdido". Para la determinación de los tiempos óptimos se deben tener en cuenta las siguientes

condiciones marginales.

Tiempo de llenado

Los materiales plásticos técnicos parcialmente cristalinos, como poliacetales, poliamidas y poliésteres termoplásticos, se pueden inyectar en un tiempo muy pequeño, merced a su viscosidad relativamente baja. Sin embargo, un cizallamiento demasiado alto conduce a una degradación mecánica de la cadena con merma de diferentes propiedades físicas, así como, en determinadas circunstancias, a la formación de un velo en la cavidad del molde, por lo que se debería evitar. Una configuración ventajosa del punto de inyección y, en especial, los tipos de materia prima de "inyección rápida" elevan la velocidad de inyección admisible.

Tiempo de presión de mantenimiento

La duración del tiempo de presión de mantenimiento eficaz influye, a través del "llenado" de la pieza en la contracción, la dispersión de las dimensiones y las propiedades mecánicas de ésta. La presión de mantenimiento debe actuar en cualquier caso en tanto permanezca abierto el punto de inyección y sea posible introducir masa fundida en la pieza modelada. Es conveniente, que este tiempo se determine por medio de una curva de llenado, figura 8, cuando se hacen las primeras muestras de una pieza inyectada o después de modificar el sistema de inyección. Para ello se inyectan sucesivamente piezas con tiempos de presión de mantenimiento alargados paso a paso y se determina su peso. Los valores correspondiente del tiempo de presión de mantenimiento y del peso de la pieza dan lugar inicialmente a una relación aproximadamente lineal. A partir de un determinado tiempo de presión de mantenimiento finaliza el aumento de peso, es decir que el peso de la pieza permanece constante. El tiempo de presión de mantenimiento correspondiente a este instante es el valor óptimo, ya que un tiempo menor daría lugar a una pieza modelada con un llenado insuficiente, mientras que un tiempo mayor no produciría efecto alguno y sería, por lo tanto, antieconómico.

Recordemos una vez más, que, junto al tiempo de presión de mantenimiento, el tamaño del punto de inyección también es una premisa importante para obtener piezas inyectadas con un llenado correcto. Un punto de inyección demasiado pequeño solidifica

prematuramente y da lugar a un tiempo de presión de mantenimiento eficaz menor; la influencia negativa de la pieza modelada es la misma que en el caso de una presión de mantenimiento desconectada prematuramente.

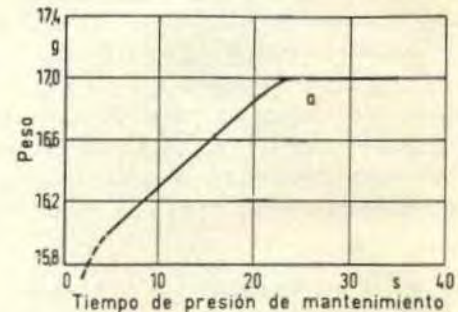


Fig. 8. Ejemplo de una curva de llenado para determinar el tiempo de presión de mantenimiento óptimo
a tiempo de presión de mantenimiento correcto

Tiempo de Plastificación

Como se desprende de la figura 7, al carecer los materiales plásticos parcialmente cristalinos de un "tiempo de enfriamiento", el tiempo de plastificación o de dosificación es decisivo para la duración del ciclo de inyección, por lo que sólo debe tener el valor estrictamente necesario. La tendencia, deriva de esto, hacia números de revoluciones del husillo muy altos es limitada por las siguientes consideraciones:

- Un cizallamiento alto conduce a la degradación mecánica del material plástico y a un calentamiento demasiado intenso y no controlado de la masa fundida. Esto se puede apreciar generalmente por medio de la temperatura de la pared en la proximidad de la zona de compresión, cuyo valor real es entonces permanentemente mayor que el valor teórico ajustado.
- Un movimiento de avance demasiado rápido del granulado de material plástico en el cilindro da lugar con frecuencia a una masa fundida no homogénea. A pesar de medir una temperatura media correcta de la masa fundida, pueden existir todavía partículas no fundidas. Esto equivale a un rápido decrecimiento del alargamiento de rotura y, con ello, a piezas muy sensibles a rotura.

El peligro de obtener una masa fundida térmicamente no homogénea es tanto mayor cuanto más se aproxime el peso de embolada a la capacidad de la unidad de plastificación y cuanto menor sea el ciclo completo. Por ello, en algunos casos es ventajoso, desde el punto de vista económico, utilizar una unidad de cilindro/husillo mayor, ya que permite tiempos de plastificación menores, sin el riesgo de una tasa de desecho mayor, debida a una masa fundida no homogénea. Una medida del gradiente de cizallamiento admisible, sin consecuencias negativas, es la velocidad lineal máxima del husillo. Para los materiales plásticos técnicos aquí considerados es 0,2 a 0,4 m/s, siendo válido el valor inferior para los tipos muy viscosos, es decir poco fluidos, y el superior para las masas fundidas fluidas.

En el marco de estas consideraciones no se puede olvidar la forma geométrica del husillo, es decir la subdivisión en zona de entrada, zona de compresión y zona de expulsión, el paso, la profundidad de la garganta de las diferentes zonas y la forma de los hilos del husillo (ancho, forma de los flancos y análogos). Dado que, con frecuencia, es preciso fabricar con una máquina pedidos pequeños y medios utilizando materiales plásticos en parte muy distintos, no existe en numerosos casos una alternativa rentable del empleo de "husillos universales", a pesar de que desde el punto de vista técnico sería deseable una

geometría de husillo adaptada, si se tienen en cuenta las propiedades de fusión totalmente distintas de los materiales plásticos amorfos y parcialmente cristalinos. En aquellos casos en los que durante un tiempo prolongado se transforma predominantemente un determinado tipo de materia prima se puede obtener, sin embargo, con la utilización de una geometría de husillo especial un aumento manifiesto de la productividad, a consecuencia de la mayor calidad de la masa fundida y de la reducción del tiempo de plastificación necesario.

Tiempos de movimiento y tiempos muertos

El tiempo necesario para la apertura, el desmoldeo y el cierre depende en su mayor parte del sistema hidráulico y del mando de la máquina. Por ello, sólo es posible influir de forma limitada en él, desde el punto de vista de una optimación. La seguridad de desmoldeo, que en definitiva equivale también al tiempo necesario para él, depende, sin embargo, también de la construcción del molde. Mencionemos aquí a título de ejemplo una disposición favorable de los expulsores, biseles de desmoldeo suficientes y una rugosidad adecuada de la superficie del molde, con el fin de evitar un efecto de succión. Por otro lado, también es posible obtener una mayor seguridad de desmoldeo por medio de una preparación especial del material plástico con lubricantes superficiales.

Tomado de la Revista Plásticos Universales No.3
1985. Pags. 122 - 127

La Revista "INFORMADOR TECNICO", es una publicación del Centro de Desarrollo Tecnológico C.D.T. ASTIN del SENA Regional Valle. Señor Empresario, Usted tiene en el Centro de Documentación del ASTIN un amigo para ayudarle a solucionar su problema y actualizarse en el área de los Plásticos, Troqueles, Moldes y Máquinas Herramientas.

Envíe sus consultas o visite nuestro Centro para atenderlo.

SENA - C.D.T. ASTIN
Servicio de Información y Divulgación Tecnológica
ASTIN
A.A. 8053 - Cali, Colombia
Teléfono 467182 - 467195 Ext. 362