

PREVENCIÓN DEL DESGASTE EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN

Por: Axel Kaminski
BAYER

Hoy en día, el moldeo de piezas a partir de granulado termoplástico se realiza casi exclusivamente en máquinas inyectoras con husillo de émbolo, el cual se encarga de la plastificación homogénea del fundido y de su transporte a la cavidad del molde. Como todo elemento de máquina, también las partes funcionales de la inyectora están sujetas a desgaste, que puede afectar no sólo la máquina sino también las piezas que se están fabricando.

El desgaste no es nada nuevo en la inyección de termoplásticos; mirándolo bien, siempre hubo problemas de desgaste, pero se hicieron notorios apenas a mediados de los sesenta, cuando se comenzó a usar los materiales de carga y de refuerzo para modificar las propiedades de los plásticos de moldeo. La figura 1 ilustra un ejemplo: el aumento del módulo de elasticidad en función del contenido de vidrio en algunos materiales de construcción.

El desarrollo de estos materiales que se caracterizan por una gran resistencia a la deformación, buena aptitud para aplicaciones a elevadas temperaturas y tolerancias estrechas, gran libertad en el diseño de piezas y métodos económicos para su transformación, permitió sustituir, en muchos campos, los materiales convencionales como chapa de acero o fundición metálica, por piezas termoplásticas complejas y multifuncionales. Las figuras 2 y 3 muestran algunos ejemplos típicos.

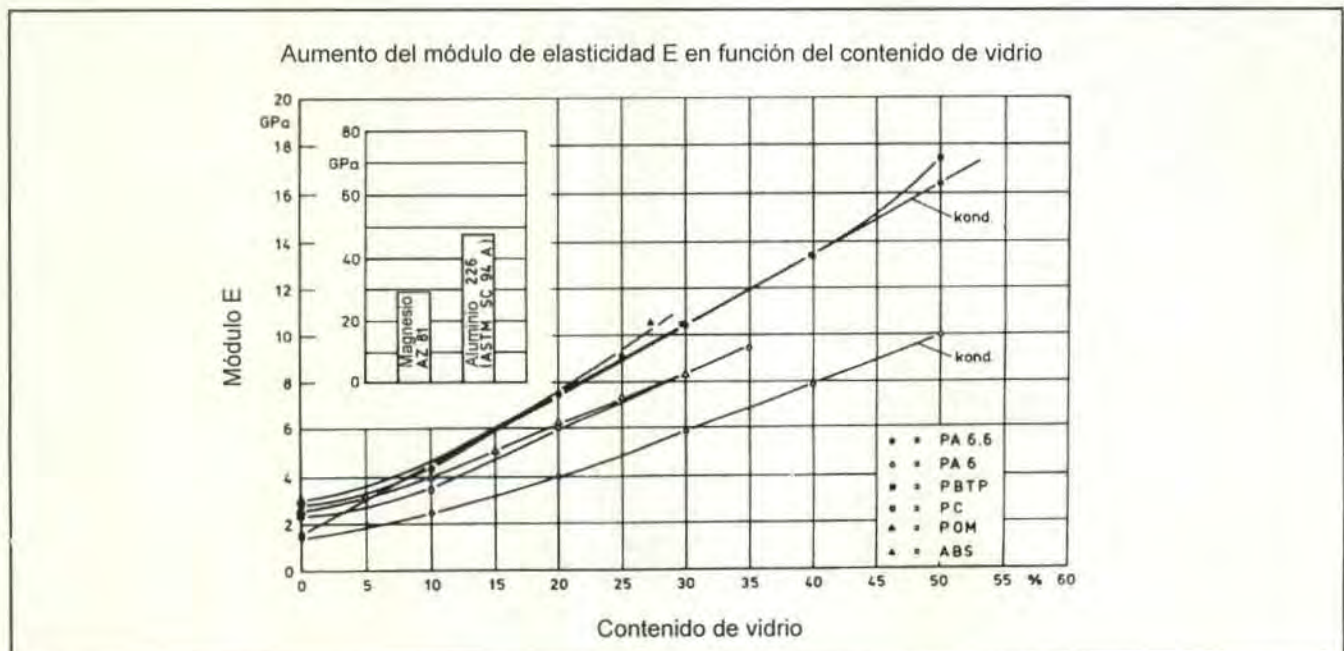


Figura 1. Aumento del módulo E en algunos termoplásticos de construcción mediante refuerzo con fibra de vidrio



Figura 2. Herramientas eléctricas de PA 6 reforzada con fibra de vidrio (Durethan BKV 30)



Figura 3. Base de un proyector de diapositivas de PC reforzado con fibra de vidrio (Makrolon 8324)

La carcasa de la lijadora de cinta y la cubierta del motor, ambas de PA 6 GF, no sólo determinan la forma exterior de la máquina y la protegen contra daños mecánicos por impacto, choque y caída, sino que le sirven de soporte rígido que aloja todos los elementos funcionales y de aislamiento eléctrico.

Otras exigencias son: medidas exactas, alta resistencia a elevadas temperaturas y buen comportamiento mecanodinámico. Criterios similares rigen también para el soporte del proyector de diapositivas fabricado en PC-GF. Aquí, tanto los elementos mecánicos y el motor del ventilador, como la fuente de luz y el sensible sistema óptico de lentes están fijados directamente en el soporte plástico. Es importante que el calor de la lámpara no produzca distorsiones ópticas. En algunos países, tales partes constructivas, y los compuestos de moldeo de los que están fabricadas, han de cumplir con estrictas normas de protección contra incendios.

Se entiende que, con los avances tecnológicos, aumentan también las exigencias a la inyectora, los materiales de moldeo, las piezas moldeadas y los procesos de transformación. En este sistema de estrechas interrelaciones (figura 4) y crecientes requerimientos, también el desgaste aumenta, por las siguientes razones:

1. Los nuevos compuestos de moldeo no sólo vienen cargados con granulados o fibras de relleno y de refuerzo; son también modificados o mejorados además mediante aditivos y estabilizantes para darles determinada gama de propiedades que se requiere en el mercado, por ejemplo alta resistencia al fuego, fácil desmoldeo, o estabilidad a la intemperie y a elevadas temperaturas, tanto durante el proceso de transformación como en condiciones de uso. El empleo de halógenos para aumentar la resistencia al fuego de estos materiales, y la necesidad de obtener masas de mayor fluidez y transformabilidad a temperaturas

más altas, demuestran que la combinación de propiedades puede producir un mayor desgaste.

2. Se pretende moldear piezas, con bajo consumo de material (largos recorridos de flujo y bajos espesores de pared), pero rigidez suficiente (materiales de refuerzo). Los procesos de transformación se realizan a altas temperaturas, altas presiones y altas velocidades, lo cual somete materiales y máquina a grandes esfuerzos.
3. La unidad de plastificación de la inyectora ha de aumentar su producción (tiempo de plastificación, tiempo del ciclo) sin abatimiento de los parámetros del proceso (reproducibilidad) y con los tiempos de permanencia necesarios.
4. La transformación debe ejecutarse a determinado nivel de calidad y de la manera más económica posible, es decir rápido (velocidad de cizallado, presión, tiempo de ciclo) y con bajos porcentajes de defectuosos.

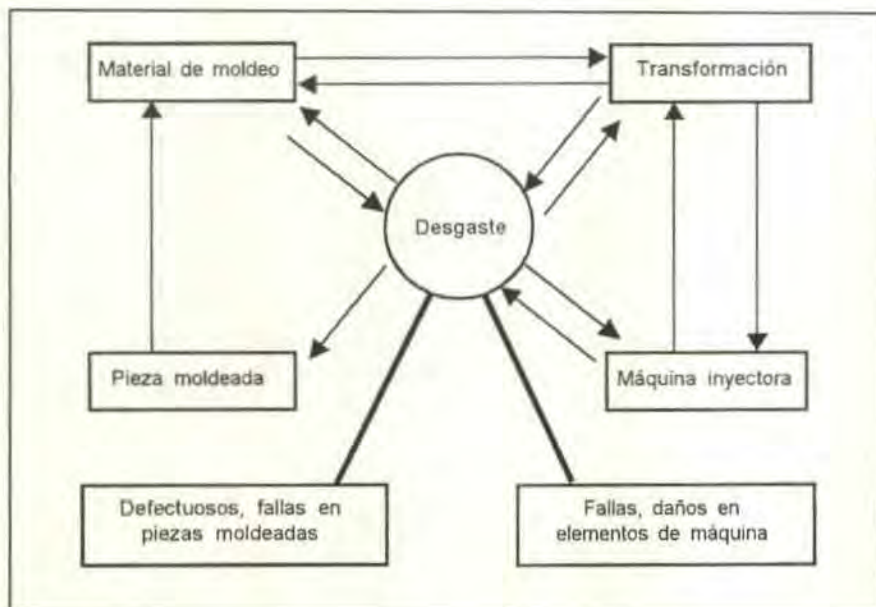


Figura 4. Sistema de desgaste en el moldeo por inyección

Efectos de los fenómenos de desgaste

Según (*1), en 1984 la industria alemana de los plásticos ha tenido que invertir 750 millones de marcos en el recambio de piezas desgastadas. A esta cifra se agregan costos por artículos rechazados del mismo orden.

Por eso es conveniente diferenciar entre los efectos del desgaste sobre la unidad de plastificación misma y sus efectos sobre la pieza moldeada (figura 4).

Un importante criterio es la "vida útil" de un elemento de la unidad de plastificación, es decir el tiempo hasta que haya sufrido una merma metálica tal que se presentan fallas de funcionamiento o paradas. Primeros indicios de desgaste son válvulas antirretorno no herméticas (aumento de presión, corriente de fuga), tiempos prolongados de dosificación, y "pastosidad" del fundido debido al ensanchamiento del cilindro o corrosión en superficies de contacto y superficies humectadas por el plástico fundido.

Al final de su vida útil, el desgaste de elementos constructivos afecta directamente la calidad de las piezas moldeadas: Aumentan las variaciones de medida y de peso. Porciones de masa craqueada que penetraron en fisuras y cavidades causan defectos de superficie, mientras que las corrientes de fuga alargan el tiempo de permanencia hasta tal punto que se produce la degradación térmica de las cadenas moleculares y, como consecuencia, la pérdida de propiedades.

Por otra parte, basta con efectos mínimos de desgaste en elementos funcionales aun en buen estado para provocar defectos en piezas moldeadas y rechazos. A nivel microscópico se presentan reacciones mecánicas, químicas y electroquímicas de abrasión y transformación entre superficies de acero y fundido plástico, que generan productos reactivos o abrasivos de intenso color. Arrastrados a la superficie de la pieza producen contrastes indeseables de color tales como estrías, líneas oscuras, marcas plateadas, puntos, motas y nubes, mucho antes de que,

a nivel macroscópico, se detecte abrasión o corrosión en los elementos de la inyectora. Tales efectos pueden observarse también en husillos y cilindros nuevos y en la transformación de compuestos de moldeo sin refuerzo.

Causas y tipos de desgaste

No es posible analizar fenómenos de desgaste con base en el simple principio de causa - efecto, ya que se trata de un sistema tribológico complejo. Según DIN 50 320, este sistema consta de un cuerpo básico sólido, en cuya superficie se generan pérdidas progresivas de material, un cuerpo complementario, los medios precursores y ambientales y las correspondientes condiciones supletorias: fuerzas, velocidades, temperaturas y tiempos de carga.

En nuestro caso, el cuerpo básico son las superficies activas de la unidad de plastificación. El cuerpo complementario lo constituye la masa de moldeo todavía sólida, muchas veces en forma de granulado. Los cuerpos intermedios pueden ser películas plásticas, productos de descomposición y fisión, y otros medios como por ejemplo oxígeno del aire, dióxido de carbono, agua o vapor de agua. En la transición del granulado a masa fundida, este sistema se transforma en otro, con cuerpo complementario (fundido) y cuerpos intermedios diferentes. Por eso se distingue generalmente entre áreas sólidas y áreas de fusión, donde el desgaste puede presentarse con distinta intensidad.

Los dos sistemas exigen un análisis, que no se limite al desgaste mecánico, sino que tenga en cuenta los efectos y reacciones causadas por procesos químicos y electroquímicos. A veces se habla también de sistemas triboquímicos.

Desgaste mecánico

Los mecanismos de desgaste mecánico que tienen lugar durante la plastificación son por lo general complejos, puesto que el sistema tribológico cambia constantemente durante el proceso de fusión. Detalladas descripciones de los tipos de desgaste, sus causas, factores de influencia, etc., se encuentran en las referencias bibliográficas citadas al final (*1, *11, *15, *19). Aquí se mencionan sólo los puntos esenciales para su comprensión.

La figura 5 muestra los tipos más comunes de desgaste que se presentan a lo largo del eje del proceso de plastificación. Como complemento, son presentados en forma de tabla, donde figuran las "contrapartes" del desgaste, el lugar y los indicios, las

causas y los factores de influencia, además se relaciona los fenómenos de desgaste con tres áreas principales: área sin contacto con el plástico - área de sólidos (plástico no fundido) - área de material fundido, teniendo en cuenta que los límites no son precisos.

Las masas de moldeo sin carga, con pigmentos en bajas concentraciones, no causan abrasión significativa, ni en la zona del material sólido, ni en las del material fundido, a menos que se produzcan presiones muy altas en el área de sólidos, por ejemplo casquillos de alimentación (*8). En este sentido hay que atribuir precisamente a los plásticos fundidos un efecto envolvente y lubricante.

Las figuras 7 y 8 muestran ejemplos de daños muy comunes: desgaste

por deslizamiento y lavado. Estos tipos de desgaste se presentan con frecuencia en la zona de granulados cargados, superficialmente fundidos (cuerpo abrasivo en forma de erizo), bajo la correspondiente presión, mientras que la erosión se observa en superficies del tornillo humectadas por el fundido. En el cilindro actúan mecanismos análogos, sin embargo, con intensidad variable.

El mayor desgaste en el cilindro se presenta abruptamente en la zona de compresión, luego se reduce y aumenta de nuevo en el área de carrera de la válvula antirretorno.

En el tornillo predomina en cambio el desgaste de filetes en la zona de dosificación, que aumenta en dirección del transporte. Donde no se dispone de válvulas antirretorno

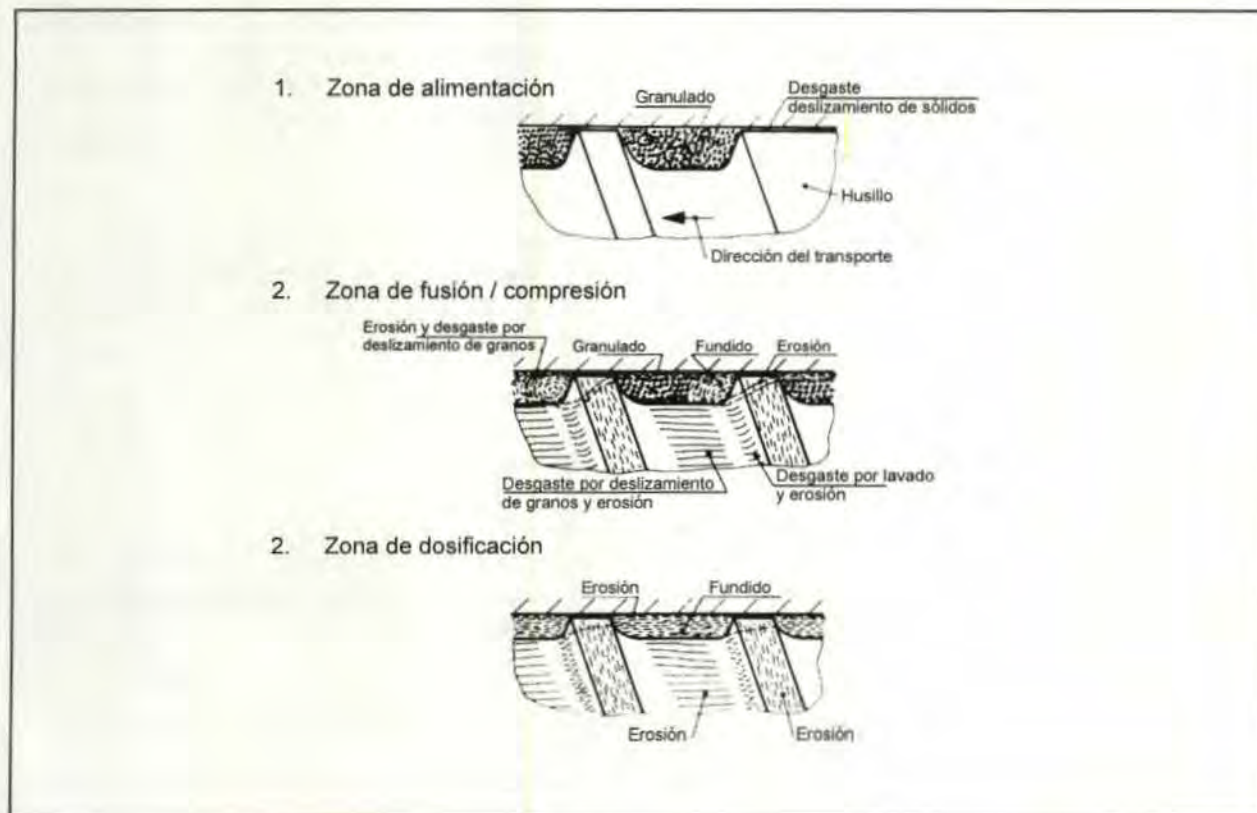


Figura 5. Modelo de fusión para termoplásticos adherentes a la pared

Tipo	Par	Apariencia	Lugar	Área	Causas
Deslizamiento seco (adhesivo)	Metal / metal (seco)	Corrosión, desportilladura segregación de cal/ calcificación	Caña del husillo Filete – zona de alimentación	Sin material	Pareja, dureza, peso, deformación, esfuerzo unilateral, (bolsas y casquillos de alimentación)
Deslizamiento de gránulos, rodadura (abrasivo)	Metal / plástico Metal / carga	Surcos, canales, huellas de rodadura	Fondo del husillo en la zona de alimentación y de compresión	Área de material sólido	Alta presión (plásticos sin carga) pigmentos y cargas duros (secos) Coloración en seco
Deslizamiento (abrasivo)	Metal / carga	Surcos, estrías	Fondo del husillo en la zona de compresión		Alta presión, pigmentos y materiales de carga en plásticos en fusión; efecto erizo, masterbatch, colorantes en forma de pasta
Lavado (abrasivo)	Metal / material de carga	Surcos, estrías socavación	Flanco del filete en la zona de compresión		
Erosión (abrasivo)	Metal / fundido plástico con carga	Grietas, ondulaciones, ranuras, piel de naranja	Filete, flanco, fondo del husillo, al final de la zona de compresión, y en la zona de dosificación	Área de material fundido	Viscosidad (tensión residual) Movilidad, dureza de los materiales de carga, Fuerzas, energía cinética
Deslizamiento húmedo (adhesivo – abrasivo)	Metal / metal lubricado	Corrosión, estrías desportilladura	Cilindro / filete Cilindro / anillo de retención Anillo de retención / punta		Presión, fuerzas, deformación Dureza, emparejamiento lubricación

Figura 6. Desgaste mecánico en la plastificación de materiales plásticos

(transformación de termoeestables), o donde éstas no sean herméticas el desgaste que se observa en dicha zona es muy alto.

La vida útil de un cilindro es por lo general 2 a 4 veces la de un tornillo. El desgaste en boquillas y válvulas antirretorno se considera como algo normal y no como algo negativo (se habla de piezas de desgaste).

Daños menos frecuentes en tornillos son grietas y fisuras en la capa de nitruración como consecuencia de esfuerzos excesivos de torsión (arranque en frío, falta de protección contra esfuerzos excesivos). Otros daños pueden ser causados por fallas de construcción: el descascarillamiento que se presenta en la figura 9 fue provocado por entallas de rectificado a causa de un pulido de

acabado demasiado basto. Fluctuaciones de la carga dinámica favorecen en este caso el desgaste.

Corrosión

La parte química en este juego de mecanismos, o sea el desgaste por corrosión, depende de tantos factores, que a veces es imposible ponderar

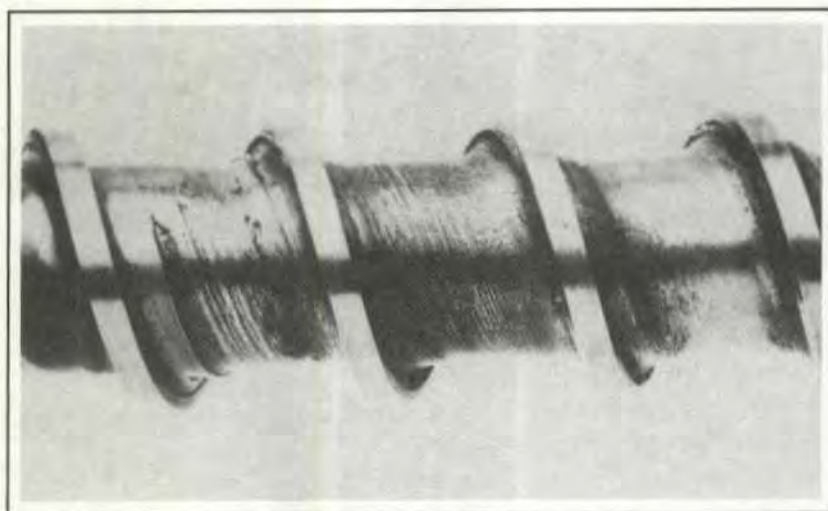


Figura 7. Desgaste por deslizamiento y lavado en la zona de compresión

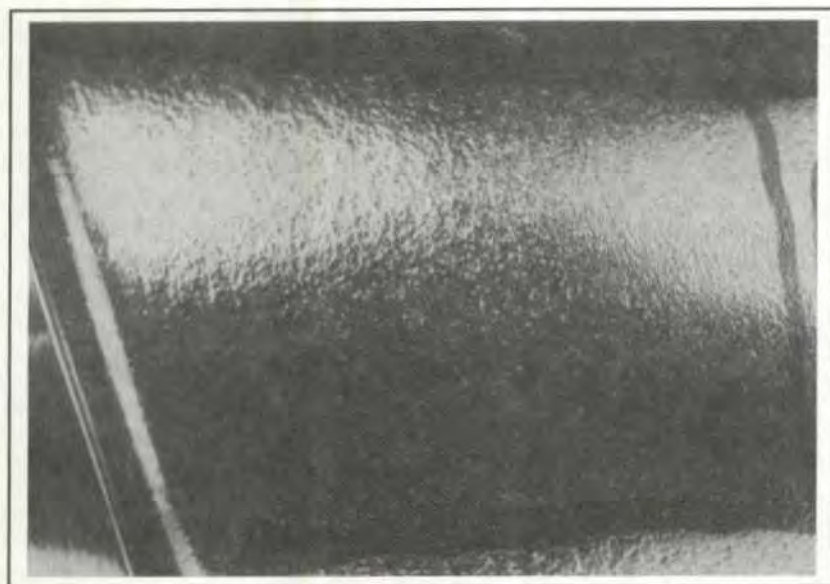


Figura 8. Desgaste por erosión en la zona de dosificación

sus efectos. Agentes que aumentan la corrosión son:

El agua, el aire (oxígeno, dióxido de carbono), los gases de cloruro, los ácidos residuales, las soluciones electrolíticas, los hidrógenos de halógeno, las impurezas y los productos de degradación (*1, *8, *11, *12). Estos contaminantes provienen del ambiente y entran al sistema junto con la masa, de aditivos, materiales de carga e impurezas que

se separan en el proceso de fusión, y de los plásticos fundidos (segregación, degradación, reticulación).

Desde luego que también los parámetros de transformación (temperaturas, presiones, tiempos) y la dinámica de procesos influyen decisivamente en el grado y la velocidad de tales reacciones.

Asimismo las propiedades de adhesión, deslizamiento y pegado de

los fundidos determinan el desarrollo de estas reacciones. Deslizantes, por ejemplo pueden provocar en ABS la adherencia de material fundido en las superficies metálicas y reducir así el grado de corrosión, mientras que todos los daños en superficies como entalladuras, fisuras, rotos, defectos de lisura y asperezas aceleran la corrosión, lo cual sería tema de estudio, al revisarse la información sobre los aceros para unidades de inyección y su tratamiento.



Figura 9. Desprendimientos de la capa de nitruración por entalladuras producidas en el proceso de rectificado o pulido

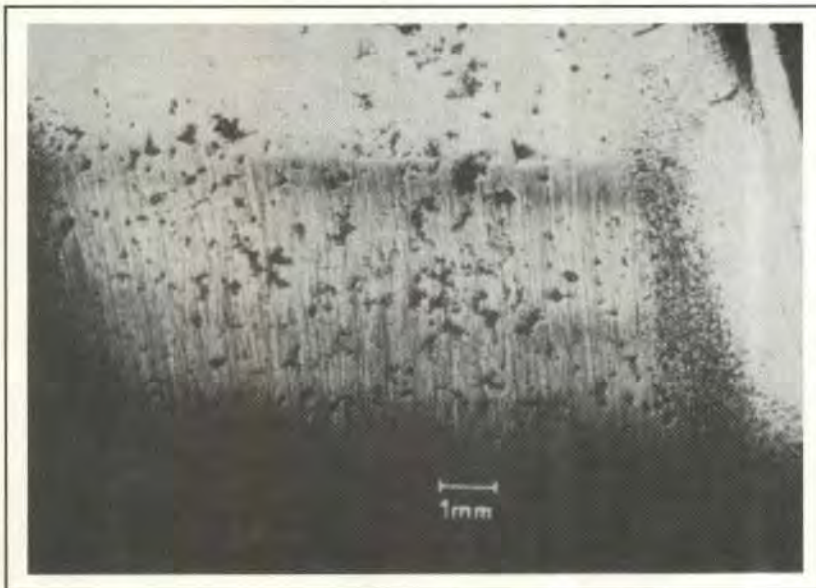


Figura 10. Corrosión en forma de picadura en una superficie de acero nitrurado

El desgaste meramente corrosivo se presenta en forma de desprendimiento laminar y agresión puntiforme (picadura), véase la figura 10. En combinación con el desgaste mecánico, puede presentarse en formas muy diversas.

Clasificación de los plásticos de moldeo según su influencia en el desgaste

La composición y la estructura de los materiales plásticos, los aditivos y materiales de carga, su comportamiento de transporte y sus

reacciones químicas inciden en gran medida en la intensidad y ubicación del proceso de desgaste mecánico y químico. Los dos tipos de desgaste son inseparables, porque se desarrollan conjuntamente y en mutua interacción. Por ejemplo, superficies destruidas por corrosión, son más susceptibles al desgaste mecánico; capas pasivas deterioradas por desgaste mecánico son luego atacadas por corrosión.

El resultado es un desgaste por abrasión y corrosión (en el área de material sólido) o por corrosión y erosión (en el área de material fundido).

Bajo el punto de vista meramente mecánico, lo decisivo es el microproceso de desprendimiento de viruta mediante los materiales de relleno y refuerzo. Según (*1) la intensidad de la abrasión es una función de:

- el tipo, la cantidad, la presentación y la dureza de los aditivos,
- el número de los microfilos y
- los esfuerzos que estos materiales pueden ejercer sobre la superficie de acero, a través del fundido.

Lo último es ante todo un problema de fijación, movilidad y energía cinética de las partículas, lo cual depende en alto grado de los parámetros de transformación, que definen temperatura y viscosidad, presión y velocidad de cizallado así como las orientaciones moleculares.

Ejemplos interesantes de estas dependencias son:

- a. el mayor desgaste en presencia de fibras de vidrio más gruesas, en comparación con fibras más delgadas, del mismo peso de relleno (*27)

- b. el menor desgaste usando fibras cortas, a pesar del mayor número de filos cortantes (*9, *27).

La forma y dureza de los cuerpos abrasivos pueden provocar desgaste de muy variada intensidad, según área del proceso:

Fibras de vidrio en PA 66 producen en el área del fundido un desgaste unas 14 veces mayor que esferas (*9); en cambio en el área de material sólido, las esferas ejercen una mayor compresión hertziana, que se puede traducir en mayores niveles de desgaste (*10).

Además, en contacto con superficies de acero, algunos plásticos tienden a efectos de adhesión, al menos en determinados rangos de temperatura. Fenómenos típicos de desgaste causados por adherencia son desportilladuras en superficies nitruradas, debido a fuerzas adhesivas entre la capa de nitruración y PC fundido que en ella solidifica y se fija por contracción. La figura 11 muestra daños de esta naturaleza.

La coloración directa en seco, con pigmentos duros, con líquidos o pastas bombeables mediante masterbatch muchas veces conllevan a desgaste significativo en las zonas de alimentación y compresión. En este caso la causa son intensa abrasión seca o lubricación insuficiente de las pastas o de la mezcla básica de baja fusión, junto con altas concentraciones de pigmento.

Tomando el desgaste abrasivo y el corrosivo como uno solo, se podría hacer el intento de clasificar los plásticos de moldeo según su comportamiento frente a este deterioro. En la experiencia práctica de hecho existen plásticos que en cuanto a desgaste dan más motivo de quejas que otros (*2). Estas observaciones empíricas son confirmadas, en



Figura 11. Desprendimientos de la capa nitrurada causados por fundido de PC en proceso de enfriamiento

principio, mediante ensayos de simulación (*15). Para los termoplásticos se definió el siguiente orden:

PC-GF y SAN-GF - poco desgaste

PA 6-GF - desgaste mediano

PA 66-GF - mayor desgaste que con PA 6.

Según mediciones más recientes, el PBTP-GF y el POM-GF se comportan aún menos favorable; sorprende sin embargo, un resultado de alto desgaste con PE-GF, que no se observó usando PP-GF (*1).

Influencia del material de tornillos y cilindros

Como materiales estándar para tornillos y cilindros sigue empleándose los aceros de nitruración al gas o en baño 34 Cr Al Ni 7 (1.8550) y 31 Cr Mo V 9 (1.8519); a pesar de que presenten notables deficiencias. En (*3) son considerados, ya en 1.974, como aplicables únicamente a la

transformación de PE y PS. No cumplen con las exigencias actuales, porque no ofrecen la protección suficiente contra abrasión y corrosión.

En (*14) se nombran como causas más frecuentes de falla, deficiente resistencia al desgaste, poca reserva debido a capas de bajo espesor, aplastamiento de la delgada capa nitrurada junto con una dureza básica demasiado baja, y fallas de nitruración (por ejemplo fragilidad a causa de sobrenitruración).

La figura 12 muestra la micrografía de una capa frágil de nitruración. Algunas partículas son socavadas por el fundido a lo largo de los límites intergranulares y se separan del compuesto. Estas fisuras y huecos son el origen de más desgaste abrasivo y corrosivo en la superficie del acero y favorecen la formación de productos de degradación, casi siempre entre oscuros y negros, en los fundidos plásticos, muchas veces con el resultado de decoloración, estrías y líneas grises y moteados en el producto final, (véase la figura 13). La



Figura 12. Micrografía de la capa nitrurada de un tornillo de inyección.

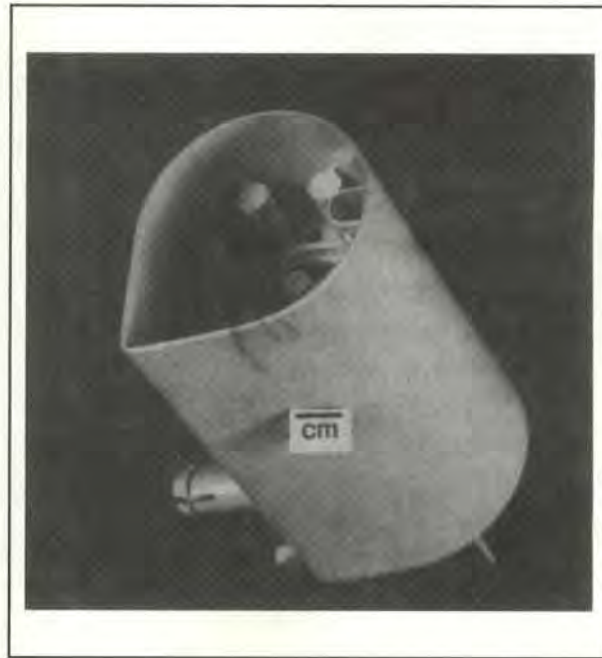


Figura 13. Estrías grises en una pieza de ABS debido a desprendimientos metálicos.

acumulación de hierro en las zonas decoloradas es un indicio de remoción metálica, en la mayoría de los casos.

Se dice que los aceros ionitrados muestran un mejor comportamiento, pero en general presentan, además de las deficiencias mecánicas (dureza, espesor, fragilidad) una muy baja resistencia a la corrosión.

Medidas de prevención

Existe todo un catálogo de medidas para la prevención y la protección contra el desgaste, que se relacionan esencialmente con:

1. el diseño de los elementos constructivos de la inyectora
2. la selección y el tratamiento de los materiales de fabricación y
3. los parámetros del proceso de inyección.

Sólo un cuidadoso ajuste de las medidas individuales puede resultar en una protección eficiente.

1. El diseño de los elementos constructivos de la inyectora

Independientemente de la selección del material de fabricación y las condiciones de transformación es posible contrarrestar el desgaste mediante algunos detalles de configuración.

a. Geometría del tornillo

La figura 14 muestra primero algunas geometrías susceptibles a desgaste: Tornillos cortos tienen una deficiente capacidad de fusión y homogeneización. El granulado no fundido es transportado prematuramente a zonas de elevada presión. Zonas de alimentación de longitud insuficiente, compresión demasiado alta y zonas de compresión demasiado cortas son

condiciones que dificultan la protección al desgaste. Efectos similares se observan en tornillos con núcleo progresivo.

Se espera una mejor resistencia al desgaste del último tornillo, en la parte inferior de la misma figura. Para tornillos con una longitud de 20D, en función de una fusión cuidadosa, el paso debería ser reducido de tal forma que se disponga de 20 canales. También las profundidades del canal en la figura 15 constituyen un compromiso entre lo adecuado para termoplásticos semicristalinos y termoplásticos amorfos. Desviaciones de estos valores no deberían exceder el 10%.

(Excepciones para diámetros mayores a 80 mm y para termoplásticos semicristalinos y ésteres de celulosa. Véase ATI 173/78 "Tornillos de inyección para termoplásticos de Bayer").

b. Cabeza del cilindro

En el área de la cabeza del cilindro hay que tener en cuenta dos puntos críticos: en primer lugar, las dos superficies de obturación en la parte frontal deben ser planas y sin defecto, para que se ajusten a la superficie antagónica sin hendidura. Material plástico que penetre en tales hendiduras craquea. Arrastrado por el flujo del fundido, puede causar decoloración y motas en la pieza terminada. En algunos casos se originan también procesos de corrosión en estas hendiduras que destruyen aun más las superficies de obturación. Presiones en superficies de contacto hasta de 400 N/mm² apoyan el efecto de estanqueidad.

En segundo lugar, hay que procurar un diseño reológicamente favorable para el paso del diámetro del cilindro al de la perforación de la boquilla. Conos pulidos evitan el estancamiento del material en "zonas muertas" que se presenta en elementos de reducción escalonados o en forma de cebolla.

c. Válvulas antirretorno

Propiedades que reducen el desgaste son también aquí un anillo de presión entre la punta y la parte frontal del tornillo con superficies de contacto impecables, y secciones transversales de flujo debajo del anillo de obturación similares a los que se dan en el último canal del tornillo (+/- 20%).

Así mismo se recomienda un flujo de la masa sin cambios bruscos de dirección, guías de longitud suficiente para el anillo obturador, con función hermética (aproximadamente 1-D; 0,8-D para diámetros > 70 mm), cierre rápido de la válvula para evitar flujos de fuga y blindaje de los filetes en la punta del tornillo, ya que se deslizan en el anillo obturador causando abrasión.

Además, el cono de la punta del tornillo debe ajustarse a la cabeza del cilindro. Para el juego máximo admisible entre anillo de obturación y perforación del cilindro, exento de fugas, no se puede dar una medida de aplicación general. Este depende en gran parte de la viscosidad de la masa

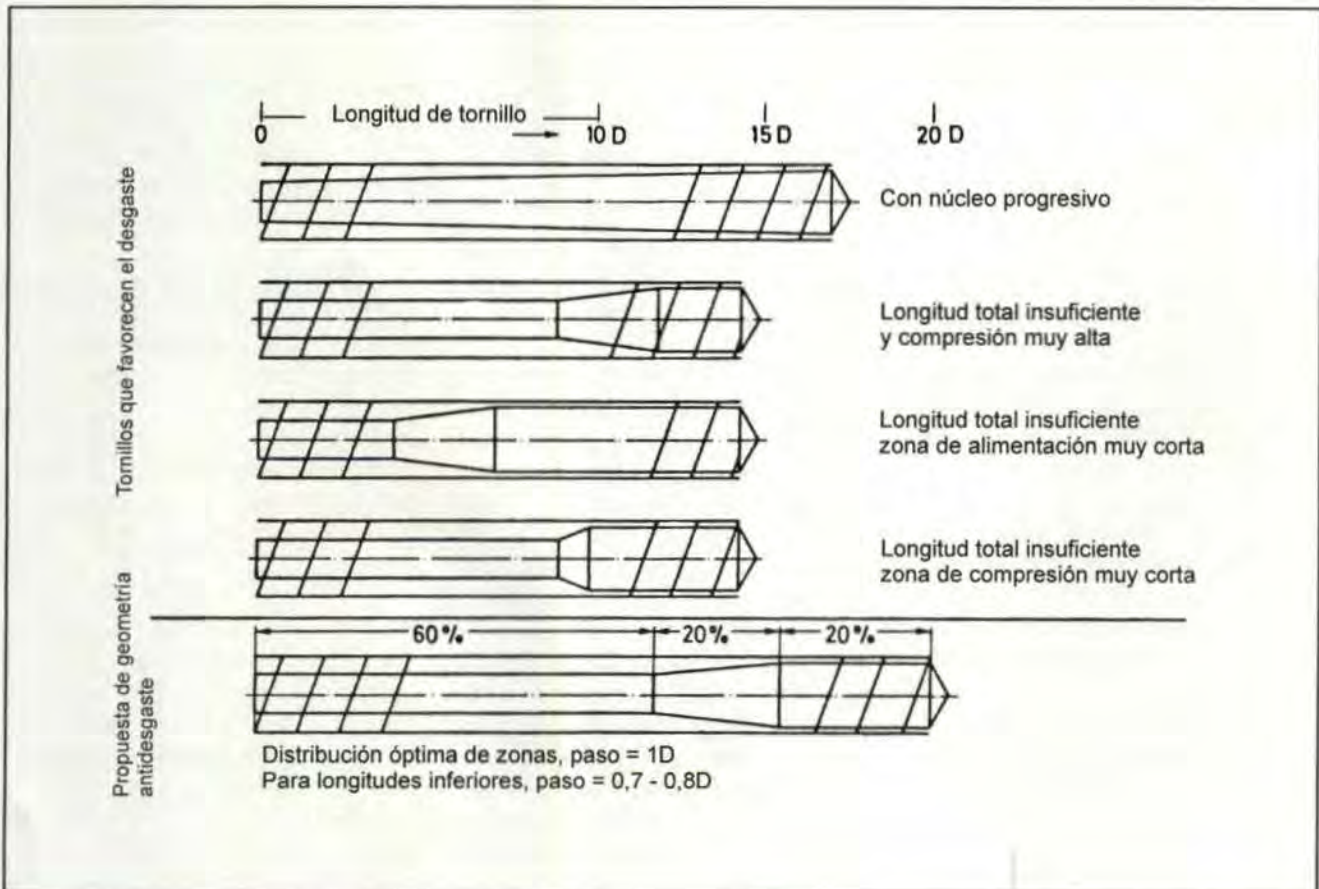


Figura 14. Geometrías de tornillo que favorecen o previenen el desgaste.

Diámetro de tornillo mm	Profundidad de canal				Proporción de la profundidad de canal
	Zona de alimentación		Zona de dosificación		
	A*	mm	A*	mm	
30	0,142	4,3	0,070	2,1	2:1
40	0,135	5,4	0,065	2,6	2,1:1
60	0,125	7,5	0,056	3,4	2,2:1
80	0,114	9,1	0,048	3,8	2,4:1
90	0,111	10,0	0,047	4,2	2,4:1
120	0,100	12,0	0,040	4,8	2,5:1
>120	máx. 14,0		máx. 5,6		máx. 2,5:1

A* = factor para el cálculo de valores intermedios para el diámetro $A \times D$ = profundidad de canal

Las profundidades de canal (h) también se pueden calcular para cualquier diámetro (Dx) mediante la ley básica $h_x = h_o (Dx / Do)^{0,74}$.

Figura 15. Profundidades de canal en tornillos para termoplásticos, (*20)

y la presión requerida para el moldeo de la pieza. Si el juego es demasiado grande, puede presentarse un desgaste más intenso.

2. Selección del material de fabricación

Las conocidas deficiencias de los aceros de nitruración estándar y los tipos de esfuerzo permiten definir las propiedades de los materiales que se exigen para la fabricación del tornillo, el cilindro y el anillo de obturación. En algunos casos puede justificarse determinar la selección del material específicamente con base en la componente principal de desgaste (abrasión o corrosión). Hay sin embargo, tres argumentos a favor de unidades de plastificación universales:

- A largo plazo, el industrial desea transformar exitosamente diferentes termoplásticos en la misma máquina
- Corrosión y abrasión muchas veces actúan conjuntamente, sin que sea posible determinar con cuál participación cuantitativa

- La protección contra un solo tipo de desgaste puede descuidar las influencias poco significativas, de otros, lo cual puede generar defectos en las piezas y géneros rechazados.

Los materiales para tal unidad de plastificación "universal" deben cumplir con las siguientes exigencias:

- dureza superficial suficiente en una capa con el mayor espesor posible (reserva para el desgaste)
- ductilidad suficiente de esta misma capa (susceptibilidad a la fisuración, carga dinámica)
- apoyo de esta capa mediante una base firme, resistente a la presión
- estabilidad y dureza al calor para altas temperaturas de proceso
- buenas propiedades de deslizamiento, poca tendencia adhesiva en contacto con plásticos fundidos
- estabilidad química adecuada para suprimir problemas de corrosión
- homogeneidad de las propiedades
- poca tendencia a la deformación
- buena resistencia a esfuerzos mecánicos.

Existe una serie de medidas para cumplir con estas exigencias. Las más usuales están resumidas en la figura 17, sin que aquí se pretenda ofrecer un listado completo, de validez absoluta, ya que cualquier listado está sujeto a futuras experiencias.

Como cilindros, se está usando cada vez más los tubos bimetálicos, recubiertos en su interior con una capa de blindaje de aproximadamente 2 mm, que garantiza su protección contra la abrasión y la corrosión. En ocasiones, especialmente en caso de reparaciones, se montan también casquillos recubiertos en un tubo soporte.

Para los tornillos existen varias soluciones: buscando la protección combinada contra abrasión y corrosión, se utilizan con frecuencia aceros al cromo altamente aleados, de temple total. Estas superficies no tienden a desprendimientos, en contacto con fundidos plásticos en proceso de enfriamiento que adhieren a la pared, y sólo en menor grado a la formación de capas límite (motas,

decoloraciones). Asimismo, se ha obtenido buenos resultados con aceros al cromo bonificados, blindados con estelita en áreas muy delicadas, como los filetes del tornillo, y con ionitruración adicional de toda la superficie. Los aceros nitrurados estándar con blindaje de los filetes y cromado duro del fondo del tornillo, son algo sensibles al trato rudo y a la abrasión. Pueden presentarse desprendimientos en la capa de cromado.

Para tornillos y cilindros de diámetro pequeño se usan también componentes tratados al boro. A las capas de boruro se les atribuye dureza y buena resistencia a la corrosión.

El blindaje de filetes o de superficies completas con estelitas muchas veces se entiende como medida de reparación o de recuperación de unidades estándar. Sobre su eficacia existen controversias. Muchas veces se observan fisuras, desprendimientos

y deformación, que cuestionan su rentabilidad frente a tornillos nuevos.

Para otros tratamientos de superficies como por ej. la aplicación no eléctrica de capas de carburo de Ni o de NiSi, el método CVD o PVD (generación química o física de capas de desgaste desde la fase gaseosa), o el uso de materiales duros para elementos constructivos faltan aún experiencias sólidas.

La selección de los materiales para la cabeza del cilindro y el anillo antirretorno se orienta por los que se usan en los tornillos (véase la figura 17).

3. Parámetros del proceso de inyección

Los principales factores que influyen en el proceso son presión, velocidad, cizallado, temperatura y tiempo de permanencia. Como se presentan simultáneamente y ejercen influencia el uno sobre el otro, no es posible

cuantificar con exactitud el desgaste que produce cada uno, pero sí estimar la tendencia correctamente para reducir el desgaste. Sin embargo, existen también tendencias opuestas. Por ejemplo, puede duplicarse la velocidad de reacción química, con sólo aumentar la temperatura en 10K, mientras que el cizallado se reduce considerablemente. Por otra parte, las posibilidades de intervenir son bastante limitadas, por condiciones adicionales. Determinada resistencia del molde al llenado exige determinadas presiones y velocidades mínimas, a elevadas temperaturas, tal vez al límite de lo admisible, de proceso. Por razones de rentabilidad puede ser necesario seleccionar una altísima velocidad circunferencial del tornillo para reducir el tiempo de dosificación.

Por eso las condiciones del proceso, generalmente, no son optimizadas con relación al desgaste, sino respecto a otros criterios tales como la calidad y la rentabilidad de la pieza terminada.

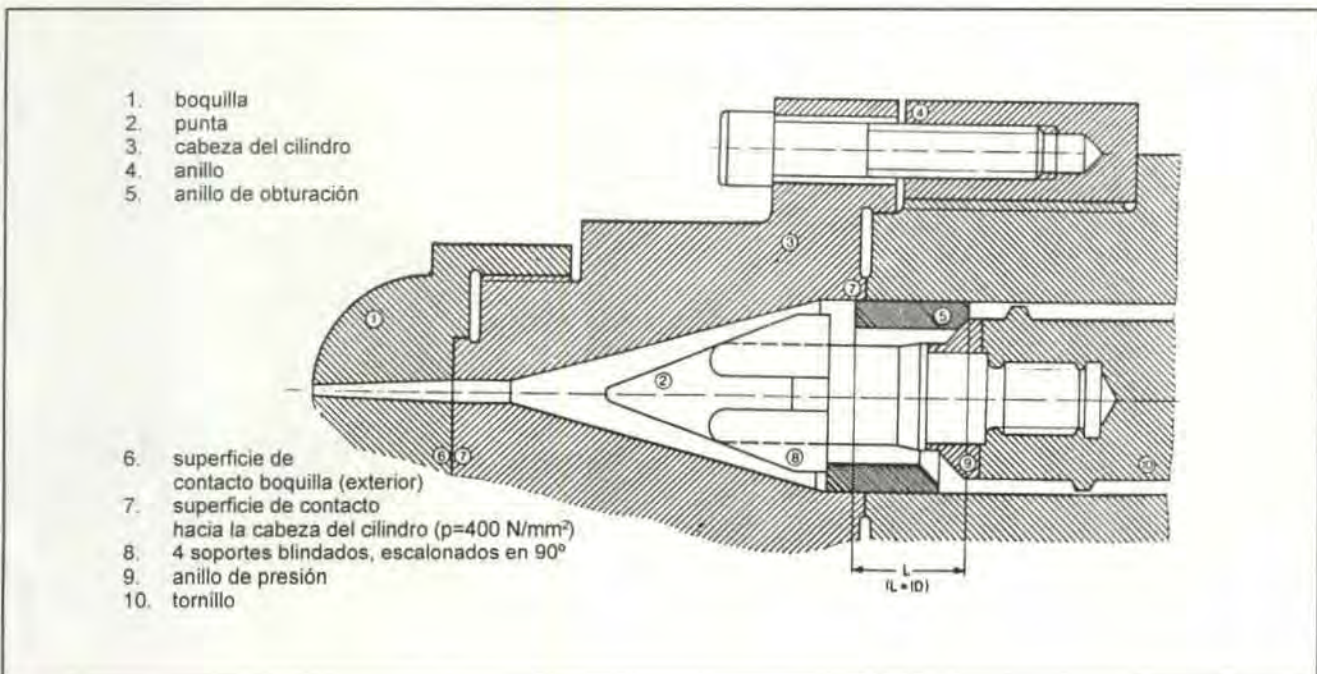


Figura 16. Propuesta de diseño para el área de la válvula antirretorno / boquilla

Cilindros

- a. Recubrimiento con una capa de blindaje, preferiblemente con base en Ni-Co-Cr-W-B; casi libre de Fe; aceros C aleados o no aleados.
- b. Montaje de casquillos recubiertos;
Tubo portador, aceros nitrurados, por ejemplo: 34 Cr Al Ni 7 (1.8550)
31 Cr Mo V9 (1.8519)
- c. Capas difusoras de boruro; pequeños diámetros.

Tornillos

- a. Aceros al Cr de alta aleación y de temple total (diámetros hasta de 60 mm, longitud 1500 mm), a veces adicionalmente ionitrurados; por ejemplo:
- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| X 155 Cr V Mo 12 1 (1.2379); | X 165 Cr Mo V 12 (1.2601) |
| X 210 Cr 12 (1.2080); | X 220 Cr Mo 12 2 (1.2378) |
| X 210 Cr W 12 (1.2436) | |
- b. Blindaje de filetes de estelita con aceros al cromo ionitrurados; por ejemplo
- | |
|---|
| X 35 Cr Mo 17 (1.4122); bonificado; diámetros pequeños y medianos |
| X 22 Cr Ni 17 (1.4057); bonificado; diámetros pequeños y medianos |
| X 5 Cr Ni 13 4 (1.4313); bonificado; todos los diámetros. |
- c. Blindaje de filetes de estelita con cromado del fondo del tornillo y de los flancos; por ejemplo: 31 Cr Mo V 9 (1.8519)
- d. Capas difusoras de boruro; diámetros pequeños.

Cabeza de cilindro

- a. Aceros al cromo de alta aleación; ionitrurados (véase tornillos b.)
- b. Aceros nitrurados estándar, con cromado duro; por ejemplo 31 Cr Mo V 9 (1.8519).

Válvulas antirretorno

- A. Punta y anillos de presión
- * Filetes de la punta siempre blindados con aleación de Cr Ni B y adición de carburo
 - a. Aceros al cromo de alta aleación; eventualmente ionitrurados; (véase tornillos b.)
 - b. Aceros al cromo de alta aleación y temple total (véase tornillos a.)
- B. Anillos de obturación
- a. Aceros al cromo de alta aleación y buena tenacidad; de temple total o bonificados, ionitrurados; por ejemplo
X 155 Cr V Mo 12 1 (1.2379)
X 35 Cr Mo 17 (1.4122)
- C. Todos los elementos constructivos elaborados en
- materiales duros, o
 - boronizados, o
 - protegidos por capas CVD / PVD.

Figura 17. Selección de materiales para componentes de inyección resistentes al desgaste.

Ejemplo	Tratamiento contra el desgaste	Plástico	ϕ	Vida útil factor S	Costos factor K	Rentab. S / K	Observaciones
A	Cilindro: revestimiento Tornillo: templado total	PA 6 + 30% GF	60	> 5	1,5	> 3,3	en servicio después de 200 t
B	Cilindro: revestimiento Tornillo: blindaje de filetes y cromado	PA 6 + 30% GF	60	> 6	1,8	> 3,3	En servicio después de 250 t
C	Cilindro: revestimiento Tornillo: blindaje de filetes y ionitruración	PA 66 + 35% GF	60	> 10	1,7	> 5,9	En servicio después de 215 t
D	Cilindro: revestimiento Tornillo: blindaje de filetes y ionitruración	PA 6 + 30% GF	60	> 8	1,7	> 4,7	En servicio después de 4 años
E	Cilindro: revestimiento Tornillo: blindaje de filetes y ionitruración	PC + 30% carga	60	> 7	1,7	> 4,1	En servicio después de 70 t

Figura 18. Comparación de costos, tiempo de servicio y rentabilidad, (*26) unidades de plastificado

La protección contra el desgaste, en componentes de la inyectora, debe ser diseñada con la debida reserva, de manera que factores del proceso, en un rango práctico ya no produzcan consecuencias.

Experiencias prácticas y rentabilidad

Como se mencionó antes, en la práctica del taller, la evaluación de elementos de inyección con protección contra el desgaste no se puede orientar exclusivamente por criterios de rentabilidad (relación costos / vida útil). Tal evaluación debe ser más amplia y considerar también factores como el número de defectuosos y el grado de utilización de la capacidad instalada en vista de paradas por fallas y reparaciones.

La experiencia no casual, que la cuota de defectuosos puede ascender al 50% de la producción total, explica que así los costos de fabricación

pueden aumentar drásticamente. Por otra parte, no existen datos cuantitativos sobre cuotas de productos rechazados y tiempos improductivos causados por fallas de desgaste. Por eso sólo puede afirmarse que tratamientos especiales contra el desgaste reducen o eliminan estos costos y mejoran la rentabilidad en general, más allá de la relación costos / vida útil de componentes. La rentabilidad incluye, además, la aplicabilidad de la solución escogida al mayor número posible de materiales plásticos. Basta con evaluar la vida útil y los costos de fabricación en comparación con maquinaria estándar para reconocer considerables ventajas para unidades de plastificación con tratamiento antidesgaste. La tabla de la figura 18 muestra este hecho citando cinco ejemplos típicos.

Los factores de vida útil y costos representan la comparación directa con tratamientos convencionales de

acero nitrurado estándar, (*26). Con válvulas antirretorno protegidas al desgaste, se alcanzan factores de vida útil y costo muy similares, (*26). Al relacionar vida útil y costos, se obtiene una rentabilidad 3 a 6 veces mayor, cifras que hablan por sí solo. Si se tiene en cuenta, además, la reducción de la cuota de piezas defectuosas, se suman tantas ventajas, que los elementos de inyección con tratamiento contra el desgaste seguramente se impondrán en un futuro.

Los fabricantes de máquinas ya han respondido a esta nueva situación y están ofreciendo estas unidades universales con protección al desgaste en el mercado como accesorios especiales, a un precio 50-80% mayor, mientras que en algunos casos pertenecen al equipamiento estándar, como es razonable.

BIBLIOGRAFÍA:

- *1. Uetz: Abrasión y Erosión. Editorial Hanser, 1986
- *2. Roggenbach, H. y Vogel, H.: Revista Plastverarbeiter V.23, No 8, 1972, p. 599 - 606
- *3. Lenze, G.: Revista Plastverarbeiter V.25, Nos 4 y 6, 1974, p. 209 - 213; 347 - 355.
- *4. Knappe, W. y Mahler, W.-D.: Revista Maschinenmarkt V.79, No. 38, 1973, p. 816 - 820
- *5. Braun, D. y Volz, P.: Tecnología del Taller II, 1988, p. 440 - 446
- *6. Volz, P.: Revista Kunststoffe 71 (1981) No 1, p. 10 - 14
- *7. Reinhard, M., Volz, P. y Mennig, G.: Estudios del Desgaste en la Zona Sólida de Máquinas Transformadoras de Plásticos, Sociedad Científica Plásticos e. V. Darmstadt, Instituto Alemán del Plástico - DKI Darmstadt, Código de Promoción O/ZT 618 ZA/NT/NTS 1009, 1982.
- *8. Brinkschroeder, F. J. y Johannaber, F.: Desgaste en Unidades de Plastificación durante la Transformación de Termoplásticos y su Prevención. Informaciones Técnicas de Bayer, No. KL 47.107
- *9. Mahler, W. D. Revista Kunststoffe 67, 1977, No 4, p. 224 - 226
- *10. Volz, P.: Acta de la 7ª Reunión del Grupo de Trabajo "Desgaste", DKI Darmstadt, 18. 09. 1979
- *11. Meridies, R. y Bassner, F.: Revista Plastverarbeiter V. 24, 1979, No 7, p. 617 - 623
- *12. Braun, D. y Mählhammar, G.: Revista Química Macromolecular Aplicada No 69, 1978, p. 157 - 167, y No 83, 1979, p. 129 - 137 y 139 - 159.
- *13. Mosle, H.-G y otros: Revista Kunststoffe V. 67, 1977, No 4, p. 220 - 223
- *14. Krumpholz, R. y Meilgen, R.: Revista Kunststoffe, V. 63, 1973, No 5, p. 286 - 291
- *15. Mahler, W.-D.: Tesis de doctorado 1975, Instituto Alemán del Plástico - DKI, Darmstadt
- *16. Volz, P.: Revista Kunststoffe, V. 69, 1979, No. 4, p. 227 - 232
- *17. Mennig, P. y Volz, P.: Revista Kunststoffe V. 70, 1980, No 7, p. 385 - 390
- *18. Volz, P.: El Efecto corrosivo de Compuestos Termoplásticos de Moldeo en la Superficie Metálica bajo Condiciones de Inyección.
- *19. Stolte, E.: Desgaste y Resistencia al Desgaste de Aceros. Informaciones Técnicas de Krupp. Informes del Taller, V. 37, 1979, No 3, p. 67 - 77
- *20. Schwillay, D.: Husillos de Inyectoras para Termoplásticos Bayer. Informaciones Técnicas de Proceso 173, 1978, Bayer AG, No. 47.125
- *21. Metzger, W. y Florian, Th.: Revista Plastverarbeiter V. 30, 1979, No 3, p. 142 - 145
- *22. Knotek, O. y Putzier, U.: Procesos PVC/procesos CVD. Casa de la Técnica: Publicaciones de Conferencias No 173, p. 17 - 23/ 4 - 17
- *23. Kortmann, W.: Aceros de Herramientas Resistentes al Desgaste para la Transformación de los Plásticos. Ponencia en el Coloquio sobre altos polímeros y materiales plásticos, Universidad Técnica Darmstadt, 9. 11. 1978
- *24. Rembkes: Observación durante la 12ª sesión del Grupo de Trabajo "Desgaste" del Instituto Alemán del Plástico DKI, Darmstadt, 9.11.1982
- *25. Wolde-Giorgis: Discusión de los resultados de ensayos, durante la 12ª sesión del Grupo de trabajo "Desgaste", del DKI Darmstadt, 9. 11. 1982.
- *26. Lülldorf, P.: Información personal sobre análisis aún no publicadas de la empresa Reiloy-Metall GmbH.
- *27. Seiler: Acta de la 7ª reunión del Grupo de Trabajo "Desgaste" del DKI Darmstadt, 18. 9. 1979.

Traducción realizada para el Informador Técnico por la señora Ilse Koenig de Laverde, instructora CDT ASTIN.

Tomado de:
KAMINSKI, Axel. -- Verschleiss-Schutz beim Spritzgiessen = Prevención del desgaste en el moldeo por inyección. -- Leverkusen: BAYER, Geschäftsbereich Kunststoffe - Anwendungstechnik, 1987

