

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 218**

51 Int. Cl.:

B29B 7/48 (2006.01)

B29C 47/40 (2006.01)

B29C 47/64 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2009 E 09765580 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2013 EP 2291271**

54 Título: **Procedimiento para la extrusión de masas plásticas**

30 Prioridad:

20.06.2008 DE 102008029303

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

02.12.2013

73 Titular/es:

**BAYER INTELLECTUAL PROPERTY GMBH
(100.0%)
Alfred-Nobel-Strasse 10
40789 Monheim, DE**

72 Inventor/es:

**BIERDEL, MICHAEL;
KÖNIG, THOMAS;
CONZEN, CARSTEN;
LIESENFELDER, ULRICH;
KOHLGRÜBER, KLEMENS;
RUDOLF, REINER y
RECHNER, JOHANN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 432 218 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la extrusión de masas plásticas

5 La invención se refiere a un procedimiento para la extrusión de masas plásticas, en especial de masas fundidas poliméricas y mezclas de masas fundidas poliméricas, sobre todo termoplásticos y elastómeros, con especial preferencia policarbonato y mezclas ("blends") de policarbonatos, también con mezcla de otras sustancias como p.ej. sólidos, líquidos, gases u otros polímeros u otras mezclas de polímeros con propiedades ópticas mejoradas, con ayuda de una extrusora de varios árboles con geometrías de tornillo sin fin definidas.

10 La extrusión es un procedimiento conocido en la fabricación, preparación y procesamiento de polímeros. Por extrusión se entiende aquí y en lo que sigue el tratamiento de una sustancia o mezcla de sustancias en una extrusora de doble husillo o de varios árboles que giran en el mismo sentido, como está descrito detalladamente en [1] ([1] = Kohlgrüber. Der gleichläufige Doppelschneckenextruder, Hanser Verlag Múnich 2007).

Por una extrusora de varios árboles se entiende en lo que sigue también una extrusora de anillo.

El tratamiento de masas plásticas durante una extrusión comprende una o varias de las operaciones de procedimiento de transportar, fundir, dispersar, mezclar, comprimir componentes líquidos, desgasificar y establecer presión.

15 En la fabricación de polímeros la extrusión sirve por ejemplo para la eliminación de componentes volátiles como monómeros y disolvente residual del polímero ([1], véase págs. 192 a 212), para la reacción en reacciones de poliadición y policondensación así como dado el caso para la fusión y confección de polímeros así como dado el caso la mezcla de aditivos con el polímero.

20 En la preparación de polímeros se fabrican por extrusión sobre todo mezclas de polímeros con aditivos y sustancias suplementarias y de refuerzo así como colorantes y mezclas de distintos polímeros que se diferencian p.ej. en la composición química, peso molecular o estructura molecular (véase p.ej. [1], págs. 59 a 93). Este procedimiento también denominado composición ("compounding") sirve para la preparación del polímero para la fabricación de la masa de moldeo de plástico lista (la combinación, "compound") utilizando materias primas de plástico que habitualmente se funden, con adición y mezcla de cargas y/o sustancias de refuerzo, plastificantes, adhesivos, lubricantes, estabilizadores, etc. con el polímero. La preparación comprende frecuentemente también la eliminación de componentes volátiles como p.ej. aire y agua. La preparación puede incluir también una reacción química como p.ej. injerto, modificación de grupos funcionales o modificaciones del peso molecular por aumento o disminución selectivo del peso molecular.

30 Como es generalmente sabido y se describe p.ej. en [1] en las páginas 169 a 190, la mezcla puede dividirse en mezcla distributiva y dispersiva. Por mezcla distributiva se entiende la distribución homogénea de distintos componentes en un volumen considerado. La mezcla distributiva se presenta por ejemplo en la mezcla de polímeros del mismo tipo. En la mezcla dispersiva se dividen en primer lugar partículas sólidas, gotas de líquido o burbujas de gas. Para la división deben aplicarse fuerzas de corte suficientemente grandes para, por ejemplo, superar la tensión superficial en la interfase entre la masa fundida polimérica y un aditivo. Por mezcla se entiende siempre en lo que sigue mezcla distributiva y/o dispersiva.

35 En la publicación previa [1] en la página 73 y siguientes se describe el transporte de la masa fundida y el establecimiento de presión. Las zonas de transporte de masa fundida sirven para transportar el producto de una zona de procedimiento a la siguiente así como para embeber cargas. Las zonas de transporte de masa fundida están por regla general llenas parcialmente, como p.ej. en el transporte del producto de una zona de procedimiento a la siguiente, en la desgasificación y en zonas de permanencia.

40 En el procesamiento de polímeros los polímeros se llevan preferentemente a una forma semiacabada, un producto acabado listo para el uso o de componente. El procesamiento puede producirse p.ej. por fundición inyectada, extrusión, soplado de láminas, estirado de láminas o hilado. El procesamiento puede comprender también mezclas de polímeros con cargas y sustancias suplementarias y aditivos así como modificaciones químicas como p.ej. vulcanización.

La extrusión de polímeros se lleva a cabo, como es sabido por el técnico en la materia, ventajosamente en máquinas de tornillo sin fin con dos o dado el caso más árboles.

50 Máquinas de tornillo sin fin con dos o dado el caso más árboles que giran en el mismo sentido, cuyos rotores se rozan recíprocamente exactamente, son ya conocidos desde hace largo tiempo (documento DE 862 668). En la fabricación, preparación y procesamiento de polímeros las máquinas de tornillo sin fin que se basan en el principio de perfiles que rozan exactamente experimentan un aprovechamiento diverso. Tales máquinas de tornillo sin fin tienen como es sabido un buen efecto de mezcla, un buen efecto de desgasificación y un buen efecto para la fusión

de polímeros. Ofrecen ventajas en la calidad de los productos fabricados con ellas porque las masas poliméricas se adhieren a las superficies y a las temperaturas de procesamiento habituales se degradan con el tiempo, lo cual se evita mediante el efecto autolimpiador de los tornillos que rozan exactamente. Reglas para la generación de perfiles de tornillo sin fin de roce exacto están descritas por ejemplo en Klemens Kohlgrüber, *Der gleichläufige Doppelschneckenextruder* (La extrusora de doble husillo de giro en el mismo sentido), Hanser Verlag München 2007, pág. 96 y sigs. [1]. Allí se describe la construcción de perfiles de una, dos y tres entradas. Además se describe también que un perfil de tornillo determinado en el 1^{er} árbol de una extrusora de doble husillo determina el perfil de tornillo en el 2^o árbol de una extrusora de doble husillo. El perfil de tornillo en el 1^{er} árbol de la extrusora de doble husillo se denomina por consiguiente como el perfil de tornillo generatriz. El perfil de tornillo del 2^o árbol de la extrusora de doble husillo sigue al perfil de tornillo del 1^{er} árbol de la extrusora de doble husillo y por consiguiente se denomina el perfil de tornillo generado. En una extrusora de varios árboles el perfil de tornillo generatriz y el perfil de tornillo generado se colocan en árboles contiguos siempre alternadamente.

El técnico en la materia sabe que en la zona de las crestas del tornillo se disipa en especial mucha energía en la masa fundida, lo que conduce localmente a fuertes sobrecalentamientos en el producto. Esto está descrito por ejemplo en [1] en las páginas 160 y sigs. Estos sobrecalentamientos locales pueden conducir a deterioros en el producto como p.ej. cambio en el olor, color, composición química o peso molecular o a la formación de inhomogeneidades en el producto, como trozos de gel o manchas. Sobre todo es aquí perjudicial un ángulo de cresta grande.

Es sabido por el técnico en la materia que la velocidad de reacción con la que tiene lugar un deterioro del polímero depende de la temperatura. Como sabe el técnico en la materia y puede consultarse en p.ej. J. Robertson: *Thermal Degradation Studies of Polycarbonate*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2001 en el capítulo 3 o en K. Chrissafis: *Kinetics of Thermal Degradation of Polymers*, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 95 (2009) 1, 273-283, la constante de velocidad de reacción $k(T)$ puede describirse con la fórmula de Arrhenius: $k(T) = A \cdot \exp(-E_A/(R \cdot T))$. En esta ecuación significan k la constante de velocidad de reacción, T la temperatura absoluta en [K], A el factor de frecuencia, E_A la energía de activación en [J/mol] y R la constante universal de los gases en [J/mol/K]. Es sabido además que ya un aumento de temperatura de 10K puede conducir a una duplicación de las constantes de velocidad de reacción. Los procedimientos para la extrusión de masas plásticas deben estar pues concebidos de manera que durante el procesamiento y mecanizado de la masa plástica el aumento medio de la temperatura resulte lo menor posible. En especial los procedimientos para la extrusión de masas plásticas deben estar concebidos de manera que en el procesamiento y mecanizado de la masa plástica se eviten puntas de temperatura locales, como por ejemplo las que se presentan en las zonas de cresta de un elemento de tornillo sin fin con un perfil de tornillo de Erdmenger según el estado de la técnica.

Las extrusoras de doble husillo modernas cuentan con un sistema de unidades de montaje con el que pueden montarse distintos elementos de tornillo sin fin sobre un árbol central. De este modo el técnico en la materia puede adaptar la extrusora de doble husillo al respectivo objetivo de procedimiento. Por regla general se utilizan hoy elementos de tornillo sin fin con perfiles de dos y tres entradas, pues el perfil de tornillo de una entrada debido a su gran ángulo de cresta tienen una aplicación de energía muy elevada .

Según el estado de la técnica, los elementos de tornillo sin fin conocidos, con excepción de los discos circulares dispuestos excéntricamente, están caracterizados porque en sección transversal la curva del perfil presenta al menos un acodamiento (véase p.ej. la Fig. 1) que se presenta en la transición entre la cresta del tornillo y los flancos de la rosca. La cresta consta de un arco circular con radio = diámetro exterior del perfil y el punto de giro del perfil como centro. El acodamiento en la transición al flanco del perfil forma sobre el elemento de tornillo un canto.

Uno de los objetivos esenciales que se llevan a cabo en máquinas de varios árboles es la dispersión de fases líquidas o masas fundidas que no son miscibles homogéneamente entre sí o la dispersión de sólidos en masas fundidas poliméricas. Por la literatura técnica se sabe (véase p.ej. Chang Dae Han: *Multiphase Flow in Polymer Processing*, Academic Press, Nueva York 1981) que una combinación de flujo de corte y flujo de extensión es óptima para objetivos de dispersión difíciles.

Una forma de flujo semejante se presenta en un canal de tornillo sin fin, en donde la masa por un lado se corta por la rotación de los árboles y por otro se extiende al mismo tiempo por la convergencia del canal del tornillo hacia la cresta. En la zona de la cresta del tornillo se presenta sin embargo un flujo de corte puro que para objetivos de dispersión difíciles apenas contribuye a la dispersión. Por otro lado en el intersticio entre la cresta de tornillo y la carcasa o el árbol contiguo se disipa la mayor parte de la energía aplicada. Por lo tanto, esta zona contribuye decisivamente al calentamiento de la masa polimérica y con ello potencialmente al deterioro térmico, sin prestar una contribución al objetivo del procedimiento de la dispersión.

Los discos circulares dispuestos excéntricamente, que como es sabido pueden disponerse de modo que rocen exactamente, suponen una excepción. Estos no presentan ninguna zona de cresta con puro flujo de corte. Son

conocidos por su excelente efecto de dispersión, pero presentan igualmente una elevada aportación de energía porque a lo largo de una gran zona periférica forman un intersticio muy estrecho. Además están limitados a un número de entradas $Z = 1$.

El documento EP-A-O 160 124 da a conocer un procedimiento conforme al preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 El objetivo ha consistido por consiguiente en encontrar un procedimiento para la extrusión de masas plásticas en el que se reduzca el aumento de temperatura medio y máximo para evitar un deterioro del polímero.

10 El objetivo se alcanza sorprendentemente utilizando una extrusora de composición o desgaseificación de engrane estrecho y giro en el mismo sentido en la que se utilizan elementos de tornillo sin fin que presentan geometrías especiales. A este respecto se trata de elementos de tornillo sin fin cuyo perfil a lo largo de toda la sección transversal puede representarse por una curva de perfil constantemente diferenciable. Usando estos elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles se consigue un aporte de energía lo menor posible en comparación con el estado de la técnica, lo que tiene por consecuencia un aumento menor de la temperatura y con ello una menor temperatura media y máxima. Al mismo tiempo se consigue un establecimiento de la presión muy bueno, comparable o incluso mayor en comparación con el estado de la técnica.

15 De modo sorprendente resulta que la capacidad de establecimiento de presión del elemento de transporte utilizado conforme a la invención es mayor que en un elemento de transporte con perfil de tornillo de Erdmenger conforme al estado de la técnica. Con un elemento de transporte utilizado conforme a la invención puede efectuarse un establecimiento de presión deseado o necesario, por ejemplo, en una zona de establecimiento de presión más corta, con lo que la estructura de la extrusora se acorta o, en caso de longitud de la extrusora constante, se alargan
20 otras zonas de procedimiento como por ejemplo una zona de desgaseificación o una zona de mezcla y de este modo se mejora su acción sobre la masa plástica.

Es por consiguiente objeto de la invención un procedimiento para el procesamiento de masas plásticas con las características de la reivindicación 1.

25 A este respecto la invención no está limitada a elementos de tornillo sin fin basados en el modo de construcción modular actual habitual hoy en día de un tornillo sin fin formado por elementos de tornillo sin fin y árboles centrales, sino también a tornillos sin fin utilizables en un modo de construcción macizo. Por consiguiente por el término de elementos de tornillo sin fin debe entenderse también tornillos sin fin en un modo de construcción macizo.

30 Los perfiles de sección transversal, en lo que sigue también brevemente perfiles o también perfiles de tornillo, de los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención pueden describirse unívocamente mediante una disposición de arcos circulares.

El perfil de tornillo generatriz y generado de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención se compone en su totalidad de n arcos circulares, siendo n mayor que o igual a cuatro. Cada uno de los n arcos circulares posee un punto inicial y uno final. Los n arcos circulares devienen en sus puntos inicial y final tangentes entre sí, de modo que conforme a la invención forman una curva de perfil constantemente diferenciable.

35 La posición de cada uno de los arcos circulares j ($j = 1$ a n) puede establecerse unívocamente por el dato de dos puntos distintos. Convenientemente la posición de un arco circular se establece por datos del centro y del punto inicial y final. El tamaño de un determinado arco circular j se establece por el radio r_j y el ángulo α_j desde alrededor del centro entre el punto inicial y el final, siendo el radio r_j mayor que 0 y menor que la distancia entre ejes a entre los árboles y el ángulo α_j en medida de arco mayor que 0 y menor que o igual a 2π , siendo π el número π .

40 Conforme a la invención los elementos de tornillo sin fin utilizados están caracterizados porque

- el perfil de tornillo generatriz y el perfil de tornillo generado se encuentran en un plano
- el eje de giro del perfil de tornillo generatriz y el eje de giro del perfil de tornillo generado están a una distancia a (distancia entre ejes) respectivamente perpendiculares al plano mencionado de los perfiles de tornillo, denominándose el punto de corte del eje de giro del perfil de tornillo generatriz con dicho plano punto de giro del perfil de tornillo generatriz y el punto de corte del eje de giro del perfil de tornillo generado con dicho plano punto de giro del perfil de tornillo generado.
- 45 - el número de arcos circulares del perfil de tornillo generatriz completo n es mayor que o igual a cuatro ($n \geq 4$),
- el radio exterior r_a del perfil de tornillo generatriz es mayor que 0 ($r_a > 0$) y menor que la distancia entre ejes ($r_a < a$),

- el radio central r_i del perfil de tornillo generatriz es mayor que 0 ($r_i > 0$) y menor que o igual a r_a ($r_i \leq r_a$),
 - todos los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz devienen tangenciales entre sí,
 - los arcos circulares forman un perfil de tornillo cerrado, es decir, la suma de los ángulos α_j de todos los j arcos circulares es igual a 2π , siendo π el número pi ($\pi \approx 3,14159$),
- 5
- los arcos circulares forman un perfil de tornillo convexo,
 - cada uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz se encuentra dentro de o en los límites de una corona circular con el radio exterior r_a y el radio central r_i , cuyo centro se encuentra en el punto de giro del perfil de tornillo generatriz,
- 10
- al menos uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz es tangente al radio exterior r_a del perfil de tornillo generatriz en un punto P_A ,
 - al menos uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz es tangente al radio central r_i del perfil de tornillo generatriz en un punto P_1 ,
 - el número n' de los arcos circulares del perfil de tornillo generado es igual al número n de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz,
- 15
- el radio exterior r_a' del perfil de tornillo generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio central r_i del perfil de tornillo generatriz ($r_a' = a - r_i$),
 - el radio central r_i' del perfil de tornillo generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio exterior r_a del perfil de tornillo generatriz ($r_i' = a - r_a$),
- 20
- el ángulo α_j' del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado es igual al ángulo α_j del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
 - la suma del radio r_j' del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado y del radio r_j del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz es igual a la distancia entre ejes a , siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
- 25
- el centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado presenta una distancia al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz que es igual a la distancia entre ejes a , y el centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado presenta una distancia al punto de giro del perfil de tornillo generado que es igual a la distancia del centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz al punto de giro del perfil de tornillo generatriz, y la línea de unión entre el centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado y el centro del
- 30
- arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz es una paralela a una línea de unión entre el punto de giro del perfil de tornillo generado y el punto de giro del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
- 35
- un punto inicial del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado se encuentra en una dirección referida al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado que es opuesta a aquella dirección que presenta un punto inicial del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz respecto al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares.

Los perfiles de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención están caracterizados porque pueden construirse solamente con escuadra y compás. Así, la transición tangencial entre el arco circular $j^{\text{ésimo}}$ y el $(j+1)^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz se construye trazando alrededor del punto final del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ un círculo con el radio r_{j+1} y el punto de corte que está más próximo al punto de giro del perfil de tornillo generatriz de este círculo con la recta que está definida por el centro y el punto final del arco circular $j^{\text{ésimo}}$, es el centro del arco circular $(j+1)^{\text{ésimo}}$. De forma práctica, en lugar de escuadra y compás se utiliza un programa informático para la construcción de los perfiles de tornillo.

- 45
- Un perfil de tornillo predeterminado sobre un primer árbol de una extrusora de doble husillo (el "generatriz") establece unívocamente el perfil de tornillo de un segundo árbol contiguo (el "generado"). El perfil de tornillo sobre un primer árbol de la extrusora de doble husillo se denomina por consiguiente el perfil de tornillo generatriz, mientras que el perfil de tornillo sobre el segundo árbol contiguo de la extrusora de doble husillo se denomina el

perfil de tornillo generado. En una extrusora de varios árboles el perfil de tornillo generatriz y el perfil de tornillo generado se colocan en árboles contiguos siempre alternadamente.

5 Los elementos de tornillo utilizados en el procedimiento conforme a la invención pueden ser asimétricos o simétricos; preferentemente los elementos de tornillo utilizados conforme a la invención son simétricos. Los elementos de tornillo simétricos pueden ser axialmente simétricos o de simetría puntual, preferentemente los elementos de tornillo utilizados conforme a la invención son axialmente simétricos.

10 Un perfil de tornillo axialmente simétrico con número de entradas Z puede dividirse en $2Z$ partes simétricas, pudiendo transformarse las partes simétricas entre sí por reflexión en los ejes de simetría. Debido a su simetría, el perfil de un elemento de tornillo con simetría axial con un número de entradas Z se define pues totalmente por una sección de perfil en un fragmento de $360^\circ/(2 \cdot Z)$ que se encuentre entre dos ejes de simetría del perfil. El perfil restante resulta por reflexión de la sección de perfil en los Z ejes de simetría que se cortan en el punto de giro y subdividen el ángulo de 360° alrededor del punto de giro en $2 \cdot Z$ ángulos de tamaño $360^\circ/2 \cdot Z$. En elementos de tornillo sin fin con simetría axial, además, los perfiles de tornillo correspondientes sobre árboles contiguos (perfil generatriz y generado) son iguales o pueden ponerse en coincidencia por rotación [1].

15 Lo mismo es válido para perfiles de tornillo con simetría puntual, en la que partes simétricas pueden transformarse respectivamente entre sí por reflexión puntual en el centro de simetría.

20 En lo que sigue se describe una forma de realización especial conforme a la invención de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención que está caracterizada porque los elementos de tornillo son de simetría axial. El número de entradas Z de tales elementos de tornillo de simetría axial utilizados conforme a la invención asciende preferentemente a 2 a 8, con especial preferencia asciende a 2 a 4.

La curva de perfil de la sección transversal de elementos de tornillo sin fin de simetría axial utilizados conforme a la invención puede subdividirse en $2 \cdot Z$ secciones de perfil que pueden transformarse entre sí por reflexión axial en los ejes de simetría del perfil. El número de los arcos circulares n que forman una de las secciones de perfil asciende preferentemente a 2 a 8, con especial preferencia a 2 a 4.

25 El perfil de los elementos de tornillo sin fin de simetría axial utilizados conforme a la invención con el número de entradas Z se caracteriza porque dentro de una sección de perfil en un fragmento de $360^\circ/(2 \cdot Z)$ solo hay un único punto P_A que está a una distancia del punto de giro que corresponde al radio exterior r_a del elemento de tornillo. Expresado de otra manera solo hay un punto P_A dentro de la sección de perfil que se encuentre en un círculo alrededor del punto de giro con el radio exterior r_a (círculo exterior).

30 Mientras que en perfiles de tornillo sin fin conforme al estado de la técnica todos los puntos en la zona del ángulo de cresta KW limpian la carcasa con un estrecho intersticio (véase p.ej. la Fig. 1), en el perfil de elementos de tornillo sin fin de simetría axial utilizados conforme a la invención solo está el punto P_A marcado en el radio exterior (véase p.ej. la Fig. 2a).

35 Por motivos prácticos la posterior descripción debe basarse en un sistema de coordenadas cartesiano cuyo origen se forma con el punto de giro D de un elemento de tornillo sin fin. El eje x del sistema de coordenadas cartesiano discurre a través del punto P_A ; el eje y está perpendicular al eje x en el punto de giro D . En la Fig. 2a se muestra un sistema de coordenadas semejante.

40 Además es razonable utilizar parametros adimensionales para simplificar la transferibilidad a distintos tamaños de extrusora. Como magnitud de referencia para magnitudes geométricas, como por ejemplo longitudes o radios, se propone la distancia entre ejes a , pues esta magnitud no puede variarse en una extrusora. Para las figuras rigen las siguientes convenciones: las coordenadas x e y tienen su origen en el punto de giro de uno de los árboles. Todos los datos de ángulos se dan en medida de arco. Todos los demás datos dimensionales están normalizados con respecto a la distancia entre ejes y se representan con letras mayúsculas: $A = a/a$; $R_j = r_j/a$, $RA = r_a/a$; $RI = r_i/a$, etc.

45 La sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin con simetría axial utilizado conforme a la invención está caracterizada porque entre el punto P_A , que se encuentra en el radio exterior del perfil, y un punto P_I , que se encuentra en el radio central, se compone de arcos circulares que devienen tangenciales entre sí, encerrando las rectas DP_A y DP_I , que pasan por los puntos P_A y P_I y se cortan en el punto de giro D , un ángulo de $360^\circ/(2 \cdot Z)$.

50 En una forma de realización especial la sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención entre los puntos P_A y P_I se compone de exactamente dos arcos circulares. Los arcos circulares devienen uno en otro en un punto P_{FP} y forman conforme a la invención a lo largo de toda la sección de perfil una curva constantemente diferenciable. En el punto P_{FP} los arcos circulares se ponen tangentes a una recta FP . La recta FP discurre a una distancia del punto de giro que corresponde a la mitad de la distancia entre ejes A , y presenta una pendiente (en medida de arco) de $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$. El punto P_{FP} está a una distancia del punto de corte de una

5 tangente al círculo exterior en el punto P_A con la recta FP que corresponde a la distancia entre el punto de corte y P_A . Una ortogonal que se forma desde el punto P_{FP} a la recta FP corta a la recta DP_A , que pasa por el punto P_A y el punto de giro, en el centro M_1 de un primer arco circular 1 generatriz de perfil, mientras que esta corta a la recta DP_1 , que pasa por el punto P_1 y el punto de giro, en el centro M_1' del otro arco circular 1' generatriz de perfil (véase para aclaración la Fig.2a).

El radio R_1^{2K} del arco circular 1 generatriz de perfil corresponde por lo tanto al tramo M_1P_A ; el radio $R_1'^{2K}$ del arco circular 1' corresponde al tramo $M_1'P_1$.

10 En otra forma de realización especial la sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención se compone entre los puntos P_A y P_1 de exactamente tres arcos circulares. Se obtiene por consiguiente un grado de libertad adicional y el perfil en la zona del punto P_A , que limpia la pared del cilindro, puede configurarse más delgado si se elige un radio pequeño, con lo que se reduce más la disipación de energía.

15 La Fig. 2b muestra a modo de ejemplo una sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de dos entradas utilizado conforme a la invención formada por tres arcos circulares. El radio R_1 del arco circular 1, que se conecta en el punto P_A , puede elegirse libremente entre los límites $0 < R_1 < R_1^{2K}$. Su centro M_1 se encuentra en el tramo de unión D- P_A .

El radio del arco circular 3, que se conecta en el punto P_1 , tiene un radio de $R_3 = A - R_1$. Su centro M_3 se encuentra en el tramo D- P_1 .

Entre estos dos arcos circulares se conecta un arco circular 2 constantemente diferenciable con el radio $R_2 = A/2$. Su centro M_2 se encuentra a una distancia $A/2 - R_1$ del punto P_1 y a una distancia $R_3 - A/2$ del punto M_3 .

20 El arco circular 1 se limita por P_A por un lado y por el punto de corte con las rectas por P_1 y P_2 por otro lado.

El arco circular 3 se limita por P_1 por un lado y por el punto de corte con las rectas por M_2 y M_3 por otro lado.

25 Mediante la libre elección de los radios R_1 o R_3 es posible para la distancia entre ejes A dada construir distintos perfiles de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención rozantes de modo exacto. Por consiguiente también es posible construir perfiles de tornillo sin fin asimétricos utilizados conforme a la invención proveyendo en fragmentos respectivamente correspondientes del tamaño $360^\circ/(2 \cdot Z)$ del perfil del tornillo en ambos árboles el mismo perfil de tornillo, configurando sin embargo fragmentos distintos del tamaño $360^\circ/(2 \cdot Z)$ en un árbol. Tales construcciones son en ese caso razonables si el material a transportar debe someterse a deformaciones especiales en el marco de tareas de dispersión, por ejemplo una compresión lenta seguida de una expansión rápida.

30 Los elementos de tornillo sin fin que dentro de una sección de perfil del tamaño $360^\circ/(2 \cdot Z)$ se componen de más de tres arcos circulares pertenecen igualmente al objeto de la presente invención. Conforme a la invención los arcos circulares devienen tangenciales unos en otros en sus puntos inicial y final.

35 La relación $RA = ra/a$ entre el radio exterior ra del elemento de tornillo sin fin y la distancia entre ejes a asciende para tornillos sin fin de dos entradas utilizados conforme a la invención preferentemente a entre 0,54 y 0,7 y con especial preferencia a entre 0,58 y 0,63, para tornillos sin fin de tres entradas preferentemente a entre 0,53 y 0,57 y con especial preferencia a entre 0,54 y 0,56, así como para tornillos sin fin de cuatro entradas preferentemente a entre 0,515 y 0,535.

Los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención pueden estar configurados como elementos de transporte o como elementos de amasado o como elementos de mezcla.

40 Un elemento de transporte se caracteriza como es sabido porque (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248) el perfil de tornillo en la dirección axial está torcido en forma de tornillo y continua. A este respecto el elemento de transporte puede ser de paso a derecha o paso a izquierda. El paso t del elemento de transporte puede adoptar p.ej. valores de 0,1 veces a 10 veces el diámetro exterior, entendiéndose por paso la longitud axial que es necesaria para un giro completo del perfil de tornillo. Preferentemente el paso t se encuentra en el intervalo de 0,3 veces a 3 veces el diámetro exterior. La longitud axial de un elemento de transporte se realiza por motivos prácticos preferentemente en múltiplos de números enteros de t/Z .

45 Un elemento de amasado se caracteriza como es sabido porque (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248) el perfil de tornillo en la dirección axial está continuado de modo escalonado en forma de discos de amasado. La disposición de los discos de amasado puede realizarse con paso a derecha o paso a izquierda o de forma neutra. La longitud axial de los discos de amasado se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,02 veces a 2 veces el

diámetro exterior. La distancia axial entre dos discos de amasado contiguos se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,001 veces a 0,1 veces el diámetro exterior.

5 Los elementos de mezcla se forman como es sabido (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248) realizando elementos de transporte con aberturas en las crestas del tornillo. Los elementos de mezcla pueden ser de paso a derecha o paso a izquierda. Su paso t se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,1 veces a 10 veces el diámetro exterior. La longitud axial de un elemento de mezcla se realiza análogamente a los elementos de transporte preferentemente en múltiplos de números enteros de t/Z . Las aberturas tienen preferentemente la forma de una ranura con forma de u o v. Si el elemento de mezcla se forma partiendo de un elemento con actividad de transporte, entonces las ranuras se disponen preferentemente en contra del transporte o paralelamente al eje.

10 Materiales preferidos a partir de los cuales están constituidos los elementos de tornillo sin fin son aceros, en especial aceros nitrurados, aceros al cromo, de herramientas y finos, así como materiales compuestos metálicos fabricados por pulvimetalurgia basados en hierro, níquel o cobalto.

15 Los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención forman en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo con el mismo sentido por pares y que rozan exactamente por pares un canal que se extiende a lo largo de toda su periferia. A este respecto el canal presenta una anchura de canal alternante creciente y decreciente. Un canal semejante se denomina aquí canal convergente-divergente. En un canal convergente-divergente semejante se presenta en servicio en toda su longitud una combinación de flujo de corte y flujo de extensión que tiene un efecto de dispersión muy bueno. La aportación de energía se reduce con un acodamiento en el perfil en comparación con los elementos de tornillo sin fin habituales conocidos por el estado de la técnica.

20 Los discos circulares dispuestos excéntricamente forman igualmente un canal convergente-divergente. Los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención presentan sin embargo una menor zona periférica en la que esté presente un intersticio muy estrecho que los discos circulares dispuestos excéntricamente. Por consiguiente la aportación de energía en este procedimiento con los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles se reduce respecto al uso de discos circulares dispuestos excéntricamente.

25 Es sabido por el técnico en la materia que los perfiles de tornillo sin fin que rozan directamente no pueden utilizarse directamente en una extrusora de doble husillo, antes bien, son precisos huelgos entre los elementos de tornillo sin fin y la carcasa y entre los propios elementos de tornillo sin fin. Huelgos demasiado grandes reducen el efecto de autolimpieza e influyen negativamente en la acción de transporte y el establecimiento de presión. Huelgos demasiado pequeños elevan la aportación de energía y conducen a un aumento de la temperatura de las masas plásticas no deseado. Para los perfiles de tornillo de los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención se utilizan huelgos en el intervalo de 0,001 a 0,1, referidos al diámetro del perfil de tornillo, preferentemente a 0,002 a 0,05 y con especial preferencia a 0,004 a 0,02. Los huelgos entre tornillo y carcasa y entre tornillo y tornillo pueden ser, como es sabido por el técnico en la materia, de distinto tamaño o iguales. Los
30
35
40
45
huelgos también pueden ser constantes o, en los límites indicados, variables. Es también posible desplazar un perfil de tornillo dentro de los huelgos. Son conocidos por el técnico en la materia métodos para, partiendo de un perfil de tornillo predeterminado que roce exactamente, desarrollar un perfil de tornillo con huelgos. Son métodos conocidos para ello por ejemplo la posibilidad descrita en [1] en la página 28 y siguientes del aumento de la distancia entre ejes, de los equidistantes de sección longitudinal y de los equidistantes espaciales, que son conocidos por todos los técnicos en la materia. En el aumento de la distancia entre ejes se construye un perfil de tornillo con menor diámetro y se distancia del otro en la cantidad del huelgo entre los tornillos. En el método de los equidistantes de sección longitudinal se desplaza la curva de perfil de la sección longitudinal (paralelamente al eje de giro del elemento respectivo) en la mitad del huelgo tornillo-tornillo perpendicularmente a la curva de perfil hacia dentro, en dirección al eje de giro. En el método de los equidistantes espaciales, partiendo de la curva espacial en la que los
50
55
elementos de tornillo se limpian, el elemento de tornillo se reduce a la mitad, en la dirección perpendicular a las superficies del perfil que roza exactamente, en el huelgo entre tornillo y tornillo. Preferentemente se utilizan la equidistante de sección longitudinal y la equidistante espacial, con especial preferencia la equidistante espacial.

La invención se explica a continuación más detalladamente con ayuda de las Figuras sin que sin embargo se limite a estas.

50 Convenientemente se trabaja con parámetros adimensionales para simplificar la transferibilidad a distintos tamaños de extrusora. Como magnitudes de referencia para magnitudes geométricas como por ejemplo longitudes o radios se propone la distancia entre ejes a , pues esta magnitud no puede variarse en una extrusora.

55 Para las figuras rigen las siguientes convenciones: las coordenadas x e y tienen su origen en el punto de giro de uno de los árboles. Todos los datos de ángulos se dan en medida de arco. Todos los demás datos dimensionales están normalizados con respecto a la distancia entre ejes y se representan con letras mayúsculas: $A = a/a$; $R_j = r_j/a$,

RA = ra/a ; RI = ri/a , T = t/a , etc. M_x y M_y son las coordenadas x e y del centro del círculo de un arco circular generatriz de perfil, R es el radio normalizado a la distancia entre ejes a y α el ángulo de arco del arco circular. Además significan RG = radio de la carcasa normalizado, RV = radio virtual normalizado de la carcasa, RA = radio exterior normalizado del perfil que roza exactamente, RF = radio exterior normalizado del tornillo sin fin a fabricar, S = huelgo normalizado de los tornillos entre sí (intersticio), D = huelgo normalizado del tornillo respecto a la carcasa, VPR = valor normalizado del desplazamiento del perfil, VPW = ángulo del desplazamiento del perfil en medida de arco, VLR = valor normalizado del desplazamiento del árbol izquierdo, VLW = ángulo del desplazamiento del árbol izquierdo, VRR = valor normalizado del desplazamiento del árbol derecho, VRW = ángulo del desplazamiento del árbol derecho.

La Fig. 1 muestra en sección transversal dos elementos de tornillo sin fin de dos entradas que rozan exactamente conforme al estado de la técnica dispuestos a una distancia entre sí A. Los elementos de tornillo sin fin cuentan con el mismo perfil de simetría axial. El elemento de tornillo sin fin derecho está girado respecto al izquierdo 90° . Los puntos marcados con 1-1 indican los puntos de giro de los árboles en los que están dispuestos los elementos de tornillo sin fin. El perfil mostrado se compone de varias secciones simétricas. En las transiciones de las secciones se presentan acodamientos (uno de los acodamientos está señalado con una flecha con 1-2). En la zona del ángulo de cresta KW, durante el funcionamiento de una máquina de tornillo sin fin de varios árboles con tales elementos de tornillo sin fin, el producto está sometido a una fuerza de corte elevada sin extensión.

Este inconveniente se evita mediante un elemento de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención con un perfil conforme a la Fig. 2. La Fig. 2a muestra en sección transversal un cuarto del perfil de un elemento de tornillo sin fin (elemento de tornillo generatriz) de dos entradas que roza exactamente. El perfil tiene simetría axial respecto a los ejes x e y, de modo que la totalidad del perfil resultaría por reflexión del cuarto indicado en los ejes x e y. El perfil del correspondiente elemento de tornillo sin fin (generado) resulta entonces por giro del perfil del elemento de tornillo generatriz de 90° . El origen de coordenadas marca en esta y en todas las demás figuras el punto de giro D del árbol. Con el radio exterior RA se ha dibujado un círculo a trazos alrededor del perfil. El taladro de la carcasa se representa mediante un círculo concéntrico al mismo con un radio RG aumentado en el huelgo S respecto al diámetro exterior ($RG = RA + S$). El perfil de tornillo conforme a la Fig. 2a consta de dos arcos circulares que devienen uno en otro sin acodamiento. Las coordenadas de los arcos circulares están indicadas en la Fig. 2a. El centro M_1 del círculo se encuentra en las horizontales a través del punto de giro y el centro $M_{1'}$ del círculo 1' en las verticales a través del punto de giro ($M_{1y} = 0$, $M_{1'x} = 0$). La transición del círculo 1 al círculo 1' se produce en el punto FP en el que ambos círculos son tangentes a la recta FP.

La construcción de la sección de perfil mostrada puede realizarse mediante los siguientes pasos:

- Establecimiento de un punto P_A a una distancia del punto de giro D del elemento de tornillo sin fin que corresponda al radio exterior RA del elemento de tornillo sin fin,
- Establecimiento de un punto P_1 a una distancia del punto de giro D del elemento de tornillo sin fin que corresponda al radio interior RI del elemento de tornillo sin fin, encontrándose el punto P_1 en una recta DP_1 a través del punto D, que con una recta DP_A a través del punto P_A y D encierra un ángulo de $360^\circ/(2 \cdot Z)$,
- Establecimiento de una recta FP a una distancia del punto de giro D que corresponda a la mitad de la distancia entre ejes A del elemento de tornillo sin fin y con una pendiente en medida de arco de $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$,
- Establecimiento del punto de corte de la tangente T_A en el punto P_A en el círculo exterior con radio RA alrededor del punto de giro D con la recta FP y establecimiento del punto FP en la recta FP que está a la misma distancia del punto de corte que P_A y que está a una distancia menor del punto de giro que la que corresponde al radio RA,
- Establecimiento del centro M_1 , que se encuentra en el punto de corte de la ortogonal a la recta FP en el punto P_{FP} con la recta DP_A ,
- Establecimiento del centro $M_{1'}$, que se encuentra en el punto de corte de la ortogonal a la recta FP en el punto P_{FP} con las rectas DP_1 ,
- Generación de un arco circular 1 alrededor del centro M_1 entre los puntos P_A y P_{FP} ,
- Generación de un arco circular 1' alrededor del centro $M_{1'}$ entre los puntos P_1 y P_{FP} .

La Fig. 2b muestra a modo de ejemplo una sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de dos entradas utilizado conforme a la invención formada por tres círculos. El punto D designa el punto de giro del elemento de tornillo sin fin (elemento de tornillo generatriz). A la distancia A del punto de giro D se encuentra el punto de giro del elemento de tornillo sin fin (elemento de tornillo generado) correspondiente. Alrededor del punto de giro D está dibujado un círculo (círculo interior) con el radio central RI y un círculo (círculo exterior) con el radio exterior RA del

elemento de tornillo sin fin. Círculo interior y círculo exterior forman una corona circular. Todos los puntos de la sección de perfil así como del perfil completo del elemento de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención que resulta del mismo se encuentran en esta corona circular. El punto P_A marca un punto inicial de un primer arco circular 1 con el radio R_1 y el centro M_1 , que se encuentra en el tramo de unión D- P_A . El punto P_A se encuentra en el círculo exterior. El punto P_1 marca un punto inicial de un arco circular 3 con el radio $R_3 = A - R_1$. Su centro M_3 se encuentra en el tramo D- P_1 . Entre el arco circular 1 y el arco circular 3 está conectado un arco circular 2 constantemente diferenciable con el radio $R_2 = A/2$. Su centro M_2 se encuentra a una distancia $(A/2) - R_1$ del punto P_1 y a una distancia $R_3 - (A/2)$ del punto M_3 . Por reflexión continuada de la sección de perfil mostrada en una recta que discurra por los puntos D y P_A y en una recta que discurra por los puntos D y P_1 puede construirse el perfil completo del elemento de tornillo sin fin (elemento de tornillo generatriz) utilizado conforme a la invención. El perfil del elemento de tornillo sin fin (elemento de tornillo generado) correspondiente resulta aquí fácilmente por giro del perfil del perfil de tornillo generatriz un ángulo de 90° alrededor del punto de giro D.

La Fig. 2c muestra un ejemplo de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención en los que las secciones de perfil marcadas con líneas a trazos no pueden llevarse a coincidencia por reflexión axial con las secciones de perfil marcadas con líneas de trazo continuo. En lugar de esto los perfiles tienen simetría puntual respecto al punto de giro.

Una forma de realización especial de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención esta representada a modo de ejemplo en la Fig. 3. Esta está caracterizada porque los taladros de carcasa están realizados con un radio mayor que el radio exterior de los perfiles de tornillo sin fin y los perfiles de tornillo sin fin están desplazados por pares respecto a los centros de los taladros de carcasa, sin embargo los puntos de giro (representados por círculos pequeños) se mantienen en los centros de los taladros de carcasa. De este modo resulta sorprendentemente una clara reducción adicional de la aportación de energía. Los elementos de tornillo que de este modo rotan excéntricamente pueden desplazarse discrecionalmente dentro de los taladros de carcasa. En la Fig. 3 está representado el caso a destacar especialmente de que los dos perfiles se desplazan paralelamente y en la misma cantidad en dirección a una recta que pasa a través de los dos puntos de giro y perpendicularmente a la misma hasta que tocan el contorno de la carcasa. De este modo se consigue que los tornillos rocen exactamente entre sí, pero que solo una de las dos respectivas crestas de tornillo de cada árbol roce exactamente la carcasa. Esta disposición presenta una limpieza total de todas las superficies con una simultánea reducción de la aportación de energía.

Hasta la fecha se han tratado solamente perfiles de tornillo sin fin de roce exacto. Sin embargo en máquinas realizadas industrialmente es necesario desviarse de la geometría de roce exacto en tanto que se mantengan intersticios exactamente definidos en la limpieza. Esto es necesario para impedir un "gripado" metálico, para compensar tolerancias de fabricación y para evitar una disipación excesiva de energía en los intersticios. Para la generación de intersticios uniformes son posibles varias estrategias. La más extendida es la generación de intersticios que son equidistantes en una sección longitudinal a través de la máquina. El modo de proceder para la generación de los correspondientes perfiles de tornillo se ha descrito en [1] en la página 103 y siguientes.

Las reglas para la generación de perfiles de tornillo sin fin con intersticios definidos pueden aplicarse a los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención.

La Fig. 4 muestra ejemplos de perfiles de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención con intersticios (huelgos). En la Fig. 4a se eligió el intersticio S en la limpieza de los tornillos del mismo tamaño que el intersticio D en la limpieza de la carcasa. En la Fig. 4b el intersticio S es menor que D y en la Fig. 4c y 4d es al revés, D es menor que S.

Con la Fig. 5 se muestra que los perfiles excéntricos utilizados conforme a la invención también se obtienen construyendo un perfil de tornillo sin fin con intersticios y desplazando a continuación los perfiles dentro de los intersticios. Los perfiles de la Figura 5 a-d son idénticos al perfil de la Figura 4d. El desplazamiento se realiza respecto a una recta por los puntos de giro de los elementos de tornillo en la Fig. 5a en un ángulo de 0° , en la Fig. 5b en un ángulo de 30° , en la Fig. 5c en un ángulo de 60° y en la Fig. 5d en un ángulo de 90° .

La Fig. 5 muestra ejemplos en los que ambos árboles se desplazan con el mismo vector de desplazamiento. Básicamente también es posible desplazar ambos árboles dentro de los huelgos con un vector de desplazamiento distinto. Se obtienen entonces perfiles que se limpian con un intersticio que varía durante una revolución de los árboles.

El efecto de transporte de un par de perfiles se produce como es sabido al hacer girar helicoidalmente los perfiles continuamente en dirección axial. De este modo se forma un tornillo de transporte como el que está representado a modo de ejemplo en la Fig. 6a.

Se obtienen elementos de amasado con eficacia de dispersión incrementada respecto al tornillo transportador disponiendo en el eje discos prismáticos de perfiles autolimpiadores girados entre sí un ángulo de desplazamiento. La Fig. 6b muestra un ejemplo de un elemento de amasado con siete discos de amasado que están dispuestos en el eje con un ángulo de desplazamiento de 30°.

5 En las Figuras 1 a 6 se han tratado exclusivamente elementos de tornillo sin fin de dos entradas. Los mismos principios pueden aplicarse sin embargo también a elementos de tornillo sin fin con tres y más entradas. La Fig. 7 muestra en sección transversal dos elementos de tornillo sin fin de tres entradas conforme al estado de la técnica (véase p.ej. [1] pág. 103). El perfil de tres entradas de la Fig. 7 consta de tres secciones simétricas. En las transiciones de las secciones se presentan acodamientos y el perfil configura la cresta del tornillo sin fin (marcada a modo de ejemplo con la flecha 7-1). Aquí el perfil rota a estrecha distancia de la carcasa e imprime con los inconvenientes descritos a la masa fundida polimérica un corte puro.

10 La Fig. 8 muestra por el contrario una sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de tres entradas utilizado conforme a la invención. Como el perfil es simétricamente axial respecto a tres rectas dispuestas entre sí con un ángulo de 60° (S1, S2, S3) que pasan a través del origen de coordenadas, aquí solo se muestra un fragmento de 60°. El perfil completo resulta por reflexión continuada de la curva de perfil mostrada en las rectas espejo S1, S2 y S3. La curva de perfil está constituida en la sección mostrada entre las rectas S1 y S3 por dos arcos circulares. Para los tornillos sin fin resulta un canal convergente-divergente que imprime a la mezcla en toda su amplitud una combinación de flujo de corte y de extensión. La transición tangencial entre los círculos generatrices de perfil 1 y 1' se produce en el punto en que el perfil se pone tangente a la recta FP. Para perfiles de tres entradas la recta FP discurre a una distancia de media distancia entre ejes del punto de giro con una pendiente de -1,73. La construcción mostrada en la Fig. 8 puede aplicarse de modo análogo para todas las relaciones de radio exterior de tornillo a distancia entre ejes de 0,5 a 0,577.

25 Para los perfiles de tres entradas pueden construirse perfiles de rotación excéntrica. Tales perfiles de tornillo se muestran en la Fig. 9 a-d. El modo de proceder es análogo al modo de proceder en los perfiles de dos entradas. El radio exterior del perfil se reduce respecto al radio de carcasa y el perfil se desplaza por parejas, manteniéndose el punto de giro céntrico respecto a la carcasa. Son especialmente interesantes perfiles de tornillo en los que los tornillos se limpian totalmente entre sí y donde la carcasa se limpia solamente con una de las tres crestas. En la Fig. 9a se muestra la generación de un perfil semejante, en la que el perfil se desplaza horizontalmente hacia la derecha hasta que la cresta derecha del tornillo alcanza el contorno de la carcasa. En esta disposición se forman 30 entradas de tornillo simétricas entre el perfil y la carcasa. Otras disposiciones en las que una de las tres crestas del tornillo limpia la carcasa se obtiene con un desplazamiento de los perfiles de un ángulo de 20° (Fig. 9b) o 40° respecto a una recta que discurre por los puntos de giro (Fig. 9c). En estos perfiles la entrada de tornillo que se forma es asimétrica. Se forma con desplazamiento creciente una zona con corte más intenso (en las Figuras 9b y 9c arriba) y una zona con corte menos intenso (en las Figuras 9b y 9c abajo). Desplazando el perfil un ángulo de 35 60° respecto a una recta que discorra por los puntos de giro (Fig. 9d) puede producirse una disposición en la que dos de tres crestas limpien la carcasa. La asimetría está aquí marcada al máximo. Se forman dos zonas con una carga de corte muy intensa (en la Fig. 9d arriba) y una zona con menor carga de corte (en la Fig. 9d abajo). La masa a procesar se somete por lo tanto a sollicitaciones muy cambiantes, lo que es muy útil en tareas de dispersión.

40 La generación de intersticios en la limpieza recíproca de los perfiles y en la limpieza de la carcasa se realiza en coincidencia total con el modo de proceder de los perfiles de dos entradas.

Los perfiles de tres entradas pueden utilizarse como tornillo de transporte continuo conforme a la Fig. 10a o como discos de amasado conforme a la Fig. 10b.

45 Los perfiles de tornillo sin fin de cuatro pasos con simetría axial están definidos totalmente por una sección de 45° del perfil de tornillo. La Fig. 11 muestra una sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de cuatro pasos con simetría axial utilizado conforme a la invención que se compone de dos segmentos circulares. La construcción es análoga para todas las relaciones a aplicar de radio exterior de tornillo a distancia entre ejes de 0,5 a 0,541.

La generación de perfiles excéntricos y la generación de intersticios en la limpieza se realiza de forma y modo similar al de los perfiles de dos y tres entradas y no se indica aquí.

50 Los perfiles de cuatro entradas pueden utilizarse como tornillo de transporte continuo conforme a la Fig. 12a o como discos de amasado conforme a la Fig. 12b.

Perfiles de más de cuatro entradas utilizados conforme a la invención pueden producirse de modo análogo. Igualmente pueden variarse los intersticios de modo análogo y se generan perfiles excéntricos.

En la Fig. 13a se muestra en sección transversal esquemáticamente un ejemplo de un par de elementos de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención. El perfil de tornillo generatriz se representa mediante el perfil de tornillo

izquierdo. El perfil de tornillo generado se representa mediante el perfil de tornillo derecho. Ambos perfiles de tornillo sin fin están constituidos por 16 arcos circulares. Los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz y del generado están marcados con líneas gruesas de trazo continuo que están provistas de los respectivos números de los arcos circulares. Los centros de los arcos circulares se representan con círculos pequeños. Los centros de los arcos circulares están unidos con líneas finas de trazo continuo tanto con el punto inicial como también con el punto final del arco circular correspondientes al mismo (líneas de delimitación). El radio exterior del tornillo es respectivamente igual de grande para el perfil de tornillo generatriz y el generado. En la zona de la carcasa del tornillo el radio exterior del tornillo está marcado con una línea fina de trazos, en la zona de cuña con una línea fina de puntos. Debido a la multiplicidad de arcos circulares y debido a la generación de las figuras mediante un programa informático puede suceder que los números de los distintos arcos circulares se solapen con las líneas de delimitación y por consiguiente puedan leerse mal. A pesar de la legibilidad parcialmente mala de determinados números, la construcción de los perfiles resulta sin embargo clara por el contexto junto con esta descripción y los datos de coordenadas de la Fig. 13b.

El par de perfiles de tornillo utilizado conforme a la invención mostrado en la Fig 13a tiene simetría puntual pero no simetría axial. La recta FP (marcada a puntos) no se hace tangente. Un elemento de tornillo semejante permite libertades especialmente grandes para el efecto de dispersión, pues las zonas de delante y detrás de las crestas, que son decisivas para el efecto de dispersión, pueden adaptarse exactamente al objetivo sin que deba tenerse en cuenta la limitación geométrica por la recta FP. La Fig. 13b muestra para todos los arcos circulares de la Fig. 13a las coordenadas x e y (M_x y M_y) de los centros, los radios R y los ángulos α de los arcos circulares. Los datos angulares se dan en medida de arco; todos los demás datos dimensionales están normalizados con respecto a la distancia entre ejes y son por consiguiente adimensionales.

Son masas plásticas que pueden extruirse con elevada eficiencia y simultáneo cuidado del producto p.ej. suspensiones, pastas, vidrio, masas cerámicas, metales en forma de una masa fundida, plásticos, masas fundidas de plástico, soluciones de polímeros, masas de elastómeros y cauchos.

Preferentemente se utilizan plásticos y soluciones de polímeros, con especial preferencia polímeros termoplásticos. Como polímero termoplástico se utiliza preferentemente al menos uno de la serie de policarbonato, poliamida, poliésteres, en especial poli(tereftalato de butileno) y poli(tereftalato de etileno), polilactidas, poliéteres, poliuretano termoplástico, poliacetal, fluoropolímeros, en especial poli(fluoruro de vinilideno), polietersulfonas, poliolefina, en especial polietileno y polipropileno, poliimida, poliacrilato, en especial poli(metacrilato de metilo), poli(óxido de fenileno), poli(sulfuro de fenileno), polietercetona, poliarietercetona, polímeros de estireno, en especial poliestireno, copolímeros de estireno, en especial copolímero de estireno-acrilonitrilo, copolímeros de bloque de acrilonitrilo-butadieno-estireno y poli(cloruro de vinilo). Igualmente se utilizan preferentemente las llamadas mezclas (blends) de los plásticos citados, bajo las cuales el técnico en la materia entiende una combinación de dos o más plásticos. Son especialmente preferidos policarbonato y mezclas que contienen policarbonato, muy especialmente preferido policarbonato, por ejemplo obtenido por el procedimiento de interfase o el procedimiento de transesterificación en masa fundida.

Otros materiales que se utilizan preferidos son los cauchos. Como caucho se utiliza preferentemente al menos uno de la serie de caucho de estireno-butadieno, caucho natural, caucho de butadieno, caucho de isopreno, caucho de etileno-propileno-dieno, caucho de etileno-propileno, caucho de butadieno-acrilonitrilo, caucho de nitrilo hidrogenado, caucho de butilo, caucho de halobutilo, caucho de cloropreno, caucho de etileno-acetato de vinilo, caucho de poliuretano, poliuretano termoplástico, gutapercha, caucho de arilato, caucho fluorado, caucho de silicona, caucho sulfurado, caucho de clorosulfonil-poli(etileno). Naturalmente también es posible una combinación de dos o más de los cauchos enumerados, o una combinación de uno o más cauchos con uno o más plásticos.

Estos termoplásticos y elastómeros pueden utilizarse en forma pura o como mezclas con cargas y substancias de refuerzo, como en especial fibras de vidrio, como mezclas entre sí o con otros polímeros o como mezclas con aditivos de polímeros habituales.

En una forma de realización preferida se añaden a las masas plásticas, en especial a las masas fundidas poliméricas y mezclas de masas fundidas poliméricas, aditivos. Estos pueden añadirse a la extrusora como sólidos, líquidos o soluciones junto con el polímero o bien se añade al menos una parte de los aditivos o todos los aditivos a la extrusora a través de una corriente lateral.

Los aditivos pueden conferir a un polímero múltiples propiedades. Estos pueden ser por ejemplo colorantes, pigmentos, coadyuvantes de procesamiento, cargas, antioxidantes, substancias de refuerzo, absorbentes de UV y fotoestabilizadores, desactivadores de metales, captadores de peróxidos, estabilizadores básicos, agentes de nucleación, benzofuranos con actividad como estabilizadores o antioxidantes, agentes de desmoldeo, aditivos ignífugos, agentes antiestáticos, colorantes y estabilizadores de masas fundidas. Son ejemplos de estos negro de humo, fibras de vidrio, arcilla, mica, fibras de grafito, dióxido de titanio, fibras de carbono, nanotubos de carbono,

Líquidos iónicos y fibras naturales.

Las ventajas que resultan de la utilización del procedimiento para los distintos polímeros son distintas según el tipo del proceso de extrusión y del tipo de la masa plástica.

5 En la extrusión de polietileno y copolímeros de polietileno se observan a temperatura demasiado elevada una reducción del peso molecular, ramificación y reticulación. Además el polietileno y los copolímeros de polietileno reaccionan con el oxígeno del aire en el ciclo de autooxidación conocido por el técnico en la materia ([2] Hepperle, J.: Schädigungsmechanismen bei Polymeren. Polymeraufbereitung 2002, VDI-K, VDI-Verlag, GmbH, [3] Zweifel, H.: Stabilization of Polymeric Materials. Berlin: Springer 1997, [4] Schwarzenbach, K., y col.: Antioxidants, en Zweifel, H. (Ed.): Plastics Additives Handbook. München: Hanser 2001, [5] Cheng, H.N., Schilling, F.C., Bovey, F.A.: 13C Nuclear
10 Magnetic Resonance Observation of the Oxidation of Polyethylene, Macromolecules 9 (1976) págs. 363-365) con formación de componentes de bajo peso molecular de olor intenso y por tanto molestos, como por ejemplo cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y alcoholes.

En la extrusión de copolímeros basados en polietileno y acetato de vinilo se forma a temperatura demasiado elevada además ácido acético de olor intenso y corrosivo.

15 En la extrusión de polipropileno y de copolímeros de polipropileno se observa a temperatura demasiado elevada una reducción del peso molecular. Además el polipropileno y los copolímeros de polipropileno reaccionan con el oxígeno del aire en el ciclo de autooxidación con formación de componentes de bajo peso molecular de olor intenso y por tanto molestos, como por ejemplo cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y alcoholes.

20 En la extrusión de poli(cloruro de vinilo) a temperatura demasiado elevada se disocia del poli(cloruro de vinilo) con coloración ácido clorhídrico gaseoso corrosivo, actuando el ácido clorhídrico a su vez catalíticamente en la posterior disociación de ácido clorhídrico.

En la extrusión de poliestireno se forma a temperatura demasiado elevada estireno perjudicial para la salud así como estireno dímero y trímero, con reducción del peso molecular y empeoramiento correspondiente de propiedades mecánicas.

25 En la extrusión de copolímero de poliestireno - acrilonitrilo (SAN) el producto se colorea bajo carga térmica al amarillo, lo que conduce a una transparencia reducida, y se forma el monómero cancerígeno acrilonitrilo así como estireno, con reducción del peso molecular y empeoramiento de propiedades mecánicas.

30 En la extrusión de policarbonatos aromáticos se colorea bajo elevada carga térmica, en especial bajo influencia de oxígeno, al amarillo, lo que conduce a una transparencia reducida, y muestra una reducción del peso molecular, en especial bajo influencia de agua. También bajo elevada carga térmica se retrodisocian monómeros, como p.ej. bisfenol A.

35 En la extrusión de poliésteres, como p.ej. poli(tereftalato de etileno), poli(tereftalato de butileno), poli(tereftalato de trimetileno) o polilactidas resulta a temperatura demasiado elevada e influencia de agua una reducción del peso molecular y un desplazamiento de los grupos terminales en la molécula. Esto es sobre todo problemático en el reciclado de poli(tereftalato de etileno). Del poli(tereftalato de etileno) se disocia a temperatura elevada acetaldehído, que puede conducir por ejemplo a cambios en el sabor del contenido de botellas de bebidas.

40 En la extrusión de termoplásticos modificados para resistencia al impacto con cauchos diénicos, en especial con caucho de butadieno, en especial tipos de poliestireno modificados para resistencia al impacto (HIPS) y SAN (acrilonitrilo-butadieno-estireno, ABS) modificado para resistencia al impacto se disocia a temperatura demasiado elevada butadieno cancerígeno así como vinilciclohexeno tóxico. Además el caucho diénico se retícula, de modo que se presentan empeoramientos de las propiedades mecánicas del producto.

En la extrusión de polioximetileno se disocia a temperatura demasiado elevada formaldehído tóxico.

45 En la extrusión de poliamidas, como poliamida 6, poliamida 6,6, poliamida 4,6, poliamida 11 y poliamida 12 temperatura demasiado elevada conduce a coloraciones del producto y a reducción del peso molecular y a la retroformación de monómeros y dímeros y con ello a empeoramiento de propiedades mecánicas, sobre todo en presencia de agua.

En la extrusión de poliuretanos termoplásticos temperatura demasiado elevada conduce a modificaciones de la estructura molecular por transuretización y, en presencia de agua, a reducción del peso molecular. Ambas influyen en las propiedades del poliuretano termoplástico de manera no deseada.

50 En la extrusión de poli(metacrilato de metilo) se disocia con carga térmica demasiado elevada con reducción del

peso molecular metacrilato de metilo, lo que conduce a carga olfativa y a propiedades mecánicas empeoradas.

En la extrusión de poli(sulfuro de fenileno) se disocian a temperatura demasiado elevada compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen azufre, que conducen a carga olfativa y pueden conducir a corrosión de las herramientas de extrusión. También se forman aquí oligómeros de bajo peso molecular y monómeros y se reduce el peso molecular, lo que empeora las propiedades mecánicas del poli(sulfuro de fenileno).

En la extrusión de polifenilsulfona se disocian a temperatura demasiado elevada compuestos orgánicos, sobre todo en presencia de agua. También se reduce el peso molecular, con lo que se empeoran las propiedades mecánicas.

En la extrusión de polifeniléter se disocian a temperatura demasiado elevada compuestos orgánicos, reduciéndose el peso molecular. Esto conduce a un empeoramiento de las propiedades mecánicas del producto.

En la extrusión de cauchos diénicos, como por ejemplo caucho de polibutadieno (BR), caucho natural (NR) y poliisopreno sintético (IR), caucho de butilo (IIR), caucho de clorobutilo (CIIR), caucho de bromobutilo (BIIR), caucho de estireno-butadieno (SBR), policloropreno (CR), caucho de butadieno-acrilonitrilo (NBR), caucho de butadieno-acrilonitrilo parcialmente hidrogenado (HNBR) así como copolímeros de etileno-propileno-dieno (EPDM) se forma a temperatura demasiado elevada por reticulación gel, que conduce a empeoramiento de propiedades mecánicas de los componentes fabricados a partir de los mismos. En el caso del caucho de cloro- y bromobutilo puede disociarse a temperatura elevada ácido clorhídrico o bromhídrico gaseoso corrosivo, que a su vez cataliza la posterior descomposición del polímero.

En la extrusión de mezclas de cauchos que contienen vulcanizadores como p.ej. azufre o peróxidos se les lleva por temperaturas demasiado elevadas a vulcanización prematura. Esto conduce a que a partir de esas mezclas de caucho no pueda ya fabricarse producto alguno.

En la extrusión de mezclas de uno o varios polímeros a temperaturas demasiado elevadas se presentan respectivamente los inconvenientes de la extrusión de los distintos polímeros.

El proceso parcial de la desgasificación de polímeros en la fabricación se lleva a cabo en las llamadas extrusoras de desgasificación. Las extrusoras de desgasificación son básicamente conocidas por el técnico en la materia y están descritas por ejemplo en [1]. Son característicos de las extrusoras de desgasificación los llamados domos de desgasificación. Estos son carcasas con aberturas a través de las cuales pueden desprenderse los vapores que se forman. Como es sabido pueden hacerse funcionar distintos domos de desgasificación a distintas presiones si entre los domos de desgasificación se estanca el producto, lo que forma una estanqueidad entre las distintas presiones.

Los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención se utilizan preferentemente en zonas llenas parcialmente y con especial preferencia en las zonas de desgasificación.

Una extrusora de desgasificación utilizada conforme a la invención puede alimentarse de distinta forma con producto, dependiendo de la forma en la que se obtiene el polímero. En una variante preferida la extrusora se alimenta con una fase líquida que además del polímero puede contener también disolvente y dado el caso monómeros residuales. La forma en la que se obtiene el polímero después de la reacción y dado el caso de una evaporación previa es conocida por el técnico en la materia. Son ejemplos de ello

- Poliestireno con estireno residual y eventualmente etilbenceno, tolueno, xileno, butanona u otro disolvente
- Copolímero de estireno y acrilonitrilo con estireno residual, acrilonitrilo residual y eventualmente etilbenceno, tolueno, xileno, butanona u otro disolvente
- Polietileno lineal de baja o alta densidad, polietileno ramificado con disolvente como hexano, hexano técnico, propano, isobutano y monómeros como propileno, buteno-1, hexeno-1, 4-metil-penteno-1, octeno-1 (procesos con suspensiones son: proceso CX de Mitsui Chemicals (hexano), proceso Hostalen de Basell (hexano), Chevron Philips USA (isobutano), proceso Borstar de Borealis (propano) Bélgica, y DSM utiliza hexano en un proceso con disolvente). Detalles de ellos están descritos en [6] (Comparative Análisis of Various Polyethylene Production Technologies, Chem. and Petroleum Eng. vol. 44, n^{os} 7-8, 2008)
- Policarbonato con disolvente, p.ej. clorobenceno y cloruro de metileno
- Poli(metacrilato de metilo) con monómero, es decir metacrilato de metilo.

En una variante preferente a una extrusora de desgasificación alimentada con líquido se le suministra el producto con una llamada desgasificación de retroceso. A este respecto una solución de polímero dado el caso precalentada se introduce en una extrusora de doble husillo y se espuma ahí. Los gases se evacúan entonces hacia atrás a través de las entradas de la extrusora de doble husillo a un domo de desgasificación. En general una

desgasificación de retroceso semejante es estado de la técnica y está descrita p.ej. en [1] en las páginas 193-195. La concentración de policarbonato de la solución asciende en este caso en la entrada de la extrusora preferentemente a entre 55% en masa y 95% en masa, con especial preferencia a entre 65% en masa y 90% en masa.

5 En otra variante preferente, suministrar el producto a una extrusora de desgasificación alimentada con líquido consiste en una evaporación rápida en la entrada de la extrusora. Preferentemente un evaporador rápido se encuentra sobre la extrusora, de modo que la masa fundida parcialmente desgasificada se forma directamente en los árboles del tornillo. Los vapores que se forman en el evaporador rápido se evacuan preferentemente desde un
10 recipiente de separación que se encuentra igualmente sobre la extrusora mediante una o más conducciones de vapores. La temperatura de la solución polimérica se encuentra preferentemente en el intervalo de 180°C a 300°C, con especial preferencia entre 200°C y 250°C. El evaporador rápido se hace funcionar preferentemente en un intervalo de presiones entre 30 kPa abs y 600 kPa abs, con especial preferencia entre 50 kPa abs y 200 kPa abs.

En otra variante preferente, suministrar el producto a una extrusora de desgasificación alimentada con líquido consiste en un intercambiador de calor de haz de tubos en la entrada de la extrusora que está dispuesto por encima de los árboles de la extrusora, de modo que la solución polimérica parcialmente desgasificada que sale de los tubos puede caer directamente sobre los árboles. Entre la salida del intercambiador de calor de haz de tubos y los árboles de la extrusora se encuentra también un recipiente de separación en el que pueden separarse entre sí los vapores y la solución polimérica y que cuenta con al menos una salida para los vapores. La solución polimérica se introduce a través de un orificio de entrada en el extremo superior del evaporador de tubos descendentes y se conduce a través de un fondo distribuidor a una multiplicidad de tubos que se calientan desde fuera. Preferentemente el calentamiento se realiza por medio de vapor de agua condensante, un portador de calor orgánico condensante o por medio de un portador de calor orgánico líquido. A través de la superficie interior de los tubos se introduce la energía térmica para la evaporación del disolvente en la masa fundida de policarbonato. De este modo se evapora parte del disolvente y se forma una mezcla bifásica gas-líquido. Así se evita selectivamente un sobrecalentamiento de la masa fundida polimérica. El disolvente que se desprende en forma de vapor produce un entremezclado constante y una renovación superficial de la masa fundida polimérica, lo que hace su concentración más eficiente. De este modo se alimenta a la extrusora de evaporación una masa fundida de policarbonato claramente más concentrada, de modo que tanto la aportación de energía como también el tiempo de permanencia de la masa fundida de policarbonato en la extrusora pueden ser menores para producir la misma o incluso mayor desgasificación residual de la masa fundida de policarbonato. Preferentemente la concentración de la solución polimérica en la entrada del intercambiador de calor de haz de tubos está entre 50 y 80% en peso. La temperatura de calefacción de los tubos asciende a 240°C a 360°C, preferentemente a 250°C a 340°C y con muy especial preferencia a 260°C a 300°C. La concentración de polímero en la entrada en la extrusora asciende a entre 80 y 99% en peso, preferentemente 90 y 99% en peso. La presión en el recipiente de separación asciende preferentemente a entre 30 kPa abs y 600 kPa abs, con especial preferencia a entre 50 kPa abs y 200 kPa abs.

Otra forma preferida para suministrar producto a una extrusora de desgasificación alimentada con líquido consiste en un evaporador de espuma, como ya está descrito p.ej. en el documento EP 1 740 638 para policarbonato. Un evaporador de espuma puede estar constituido por ejemplo por un haz de tubos o por una placa de toberas. Desde las aberturas del evaporador de espuma la masa polimérica se espuma y se libera de disolvente residual hasta un
40 pequeño contenido residual.

Este evaporador de espuma está preferentemente dispuesto encima de los árboles de la extrusora de modo que la solución polimérica que sale de los tubos puede caer directamente sobre los árboles. Entre la salida del intercambiador de calor de haz de tubos y los árboles de la extrusora se encuentra también un recipiente de separación en el que pueden separarse entre sí los vapores y la solución polimérica y que cuenta con al menos una
45 salida para los vapores.

Con especial preferencia como solución polimérica se utiliza una solución de policarbonato.

En este caso la concentración de la solución de policarbonato en la entrada del evaporador de espuma asciende a entre 90% en peso y 99,95% en peso. Opcionalmente a la solución de policarbonato se le añade también un agente de espumación como por ejemplo nitrógeno, CO₂. La presión de vapor del agente de espumación junto con el disolvente residual asciende a 10 a 10.000 kPa, preferentemente a 50 a 6.000 kPa y con especial preferencia a 100 a 4.000 kPa. La presión en el separador asciende a A través de las aberturas del evaporador de espuma la solución polimérica se divide en corrientes parciales a entre 10 y 2.000 Pa. La temperatura de la solución polimérica asciende a entre 250°C y 340°C. La presión en el recipiente de separación asciende preferentemente a entre 10 y 2.000 Pa.

55 La **Fig. 14** muestra una forma de realización preferida en la que se utilizan los elementos de tornillo sin fin en una extrusora de desgasificación. En la zona A se añade a la extrusora a través de un tubo de evaporación rápida 1 la

solución de policarbonato. Los vapores se separan de la solución de policarbonato en el recipiente de desgasificación 2. Las zonas C, E, G, J y L son zonas de desgasificación. Los vapores que ahí se liberan se evacuan en los domos de desgasificación 3. Las zonas B, D, F y H son zonas de estancamiento en las que mediante un elemento de estancamiento se genera un tapón de producto que permite el ajuste de distintas presiones en las zonas respectivamente adyacentes. En la zona K se añade adicionalmente agente de arrastre para configurar de manera efectiva la desgasificación en la zona L. En la zona M se mezcla el polímero con una corriente lateral con aditivos y se establece la presión para la filtración y boquillas que siguen a la extrusora.

La **Fig. 15** muestra otra forma de realización preferida en la que los elementos de tornillo sin fin se utilizan en una extrusora de desgasificación. En la zona A se añade a la extrusora a través de un precalentador vertical 1 la solución de policarbonato. Los vapores se separan de la solución de policarbonato en el recipiente de desgasificación 2. Las zonas C, E, G, J y L son zonas de desgasificación. Los vapores que ahí se liberan se evacuan en los domos de desgasificación 3. Las zonas B, D, F y H son zonas de estancamiento en las que mediante un elemento de estancamiento se genera un tapón de producto que permite el ajuste de distintas presiones en las zonas respectivamente adyacentes. En la zona K se añade adicionalmente agente de arrastre para configurar de manera efectiva la desgasificación en la zona L. En la zona M se mezcla el polímero con una corriente lateral con aditivos y se establece la presión para la filtración y boquillas que siguen a la extrusora.

La **Fig. 16** muestra otra forma de realización preferida en la que los elementos de tornillo sin fin se utilizan en una extrusora de desgasificación con un evaporador de espuma en la entrada. En la zona A se añade a la extrusora a través de un evaporador de espuma 1 la solución de policarbonato. Los vapores se separan de la solución de policarbonato en el separador 2. En las zonas B, D, F y H se añade respectivamente agente de arrastre y se dispersa. En las zonas C, E, G y J se separan los componentes volátiles del polímero. En la zona K se mezcla el polímero con una corriente lateral con aditivos y dado el caso otro polímero y se establece la presión para la filtración y boquillas que siguen a la extrusora.

Una extrusora de dos o más árboles equipada con los elementos de tornillo sin fin puede alimentarse también en la fabricación de polímeros con partículas. En este caso una extrusora conforme a la invención sirve sobre todo para la fusión, para la confección y para la mezcla con aditivos. La forma en la que se obtienen los polímeros después de la reacción y dado el caso una pre-evaporación o precipitación son conocidas para el técnico en la materia. Son ejemplos de esto

- Polipropileno, en el que el polímero se obtiene en forma de polvo después de la última reacción
- Polietileno de alta densidad de una fase gaseosa o de un proceso de suspensión
- Polímeros de emulsión como por ejemplo acrilonitrilo-butadieno-estireno tras la precipitación y dado el caso secado

En el procesamiento es adecuada una extrusora de doble o más husillos que esté equipada con los elementos de tornillo sin fin, en especial para tareas con desgasificación. A este respecto resultan ventajas especiales en el procesamiento directo de poli(tereftalato de etileno) de reciclado de botellas que se realiza con una desgasificación a una carga de temperatura mínima.

Con especial preferencia el procedimiento conforme a la invención se utiliza en la fabricación y composición ("compounding") de policarbonato. A este respecto ofrece ventajas sobre todo en el color del policarbonato, medido en policarbonato no coloreado con el índice de amarillez (yellowness index, YI). Los elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención se utilizan a este respecto con especial preferencia en la zona de desgasificación.

Difenoles adecuados para la fabricación de policarbonato para el procedimiento conforme a la invención están descritos reiteradamente en el estado de la técnica.

Son difenoles adecuados por ejemplo hidroquinona, resorcina, dihidroxidifenilo, bis-(hidroxifenil)-alcanos, bis-(hidroxifenil)-cicloalcanos, bis-(hidroxifenil)-sulfuros, bis-(hidroxifenil)-éteres, bis-(hidroxifenil)-cetonas, bis-(hidroxifenil)-sulfonas, bis-(hidroxifenil)-sulfóxidos, α,α' -bis-(hidroxifenil)-diisopropilbencenos, así como sus compuestos alquilados, alquilados en el núcleo y halogenados en el núcleo.

Son difenoles preferidos 4,4'-dihidroxidifenilo, 2,2-bis-(4-hidroxifenil)-1-fenil-propano, 1,1-bis-(4-hidroxifenil)-fenil-etano, 2,2-bis-(4-hidroxifenil)-propano, 2,4-bis-(4-hidroxifenil)-2-metil-butano, 1,3-bis[2-(4-hidroxifenil)-2-propil]-benceno (bisfenol M), 2,2-bis-(3-metil-4-hidroxifenil)-propano, bis-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-metano, 2,2-bis-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-propano, bis-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-sulfona, 2,4-bis-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-metil-butano, 1,3-bis-([2-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-2-propil]-benceno y 1,1-bis-(4-hidroxifenil)-3,3,5-trimetil-ciclohexano (bisfenol

TMC).

Son difenoles especialmente preferidos 4,4'-dihidroxidifenilo, 1,1-bis-(4-hidroxifenil)-fenil-etano, 2,2-bis-(4-hidroxifenil)-propano, 2,2-bis-(3,5-dimetil-4-hidroxifenil)-propano, 1,1-bis-(4-hidroxifenil)-ciclohexano y 1,1-bis-(4-hidroxifenil)-3,3,5-trimetil-ciclohexano (bisfenol TMC).

- 5 En el caso de los homopolicarbonatos se utiliza solo un difenol, en el caso de los copolicarbonatos se utilizan varios difenoles, pudiendo estar naturalmente los difenoles utilizados como también todos los otros productos químicos y coadyuvantes añadidos en la síntesis contaminados con las impurezas procedentes de su propia síntesis, manipulación y almacenamiento, aunque es deseable trabajar con las materias primas más limpias posibles.

- 10 Los interruptores de cadena monofuncionales necesarios para la regulación del peso molecular, como por ejemplo fenol o alquilfenoles, en especial fenol, p-terc-butilfenol, isooctilfenol, cumilfenol, sus ésteres de ácido clorocarbónico o cloruros de ácido de ácidos monocarboxílicos o mezclas de estos interruptores de cadena o bien se alimentan a la reacción con los bisfenoles o los bisfenolatos o bien se añaden en cualquier momento discrecional de la síntesis en tanto todavía estén presentes en la mezcla de reacción fosgeno o grupos terminales de ácido clorocarbónico o, en el caso de los cloruros de ácido y ésteres de ácido clorocarbónico como interruptores de cadena, en tanto estén disponibles suficientes grupos fenólicos terminales del polímero que se forma. Preferentemente sin embargo el o los interruptores de cadena se añaden después de la fosgenación en un lugar o en un momento en el que ya no esté presente fosgeno alguno, pero no se haya dosificado todavía el catalizador. Como alternativa pueden dosificarse también antes del catalizador, junto con el catalizador o paralelamente a él.

- 20 Del mismo modo se añaden a la síntesis dado el caso ramificadores o mezclas de ramificadores. Habitualmente sin embargo los ramificadores se añaden antes de los interruptores de cadena. Por regla general se utilizan trisfenoles, fenoles cuaternarios o cloruros de ácido de ácidos tri- o tetracarboxílicos o mezclas de los polifenoles o de los cloruros de ácido. Algunos de los compuestos con tres o más de tres grupos hidroxilo fenólicos adecuados como ramificadores son por ejemplo floroglucina, 4,6-dimetil-2,4,6-tri-(4-hidroxifenil)-hepteno-2, 4,6-dimetil-2,4,6-tri-(4-hidroxifenil)-heptano, 1,3,5-tri-(4-hidroxifenil)-benceno, 1,1,1-tri-(4-hidroxifenil)-etano, tri-(4-hidroxifenil)-fenil-metano, 2,2-bis-(4,4-bis-(4-hidroxifenil)-ciclohexil)-propano, 2,4-bis-(4-hidroxifenil-isopropil)-fenol, tetra-(4-hidroxifenil)-metano.

- 25 Algunos de los otros compuestos trifuncionales son ácido 2,4-dihidroxibenzoico, ácido trimésico, cloruro cianúrico y 3,3-bis-(3-metil-4-hidroxifenil)-2-oxo-2,3-dihidroindol.

Son ramificadores preferidos 3,3-bis-(3-metil-4-hidroxifenil)-2-oxo-2,3-dihidroindol y 1,1,1-tri-(4-hidroxifenil)-etano.

- 30 Los catalizadores usados preferentemente en la síntesis de interfase de policarbonato son aminas terciarias, en especial trietilamina, tributilamina, trioctilamina, N-etilpiperidina, N-metilpiperidina, N-i/n-propilpiperidina, sales de amonio cuaternario como hidróxido, cloruro, bromuro, hidrogenosulfato, tetrafluoroborato, de tetrabutilamonio, tributilbencilamonio, tetraetilamonio, así como los compuestos de fosfonio correspondientes a los compuestos de amonio. Estos compuestos están descritos en la literatura como catalizadores de interfase típicos, pueden obtenerse comercialmente y son familiares para el técnico en la materia. Los catalizadores pueden añadirse a la síntesis solos, en mezcla o también unos junto a otros o unos después de otros, dado el caso también antes de la fosgenación, sin embargo se prefieren dosificaciones después de la introducción del fosgeno, a no ser que se utilicen como catalizadores un compuesto de onio o una mezcla de compuestos de onio. En este caso es preferida una adición antes de la dosificación del fosgeno. La dosificación del catalizador o de los catalizadores puede realizarse en substancia, en un disolvente inerte, preferentemente el disolvente de la síntesis de policarbonato o también como solución acuosa, en el caso de las aminas terc. entonces como sus sales de amonio con ácidos, preferentemente ácidos minerales, en especial ácido clorhídrico. Cuando se usan varios catalizadores o la dosificación de cantidades parciales de la cantidad total de catalizador, naturalmente también pueden efectuarse distintos modos de dosificación en distintos lugares o en distintos momentos. La cantidad total de los catalizadores utilizados se encuentra en 0,001 a 10% en moles referida a moles utilizados de bisfenoles, preferentemente en 0,01 a 8% en moles, con especial preferencia en 0,05 a 5% en moles.

- 50 La realización de la síntesis de policarbonato puede efectuarse de modo continuo o discontinuo. La reacción puede realizarse por consiguiente en tanques agitados, reactores tubulares, reactores de recirculación por bombeo o cascadas de tanques agitados o combinaciones de los mismos. A este respecto, puede asegurarse que usando los órganos de mezcla ya mencionados la fase acuosa y orgánica solo es posible que se desmezclen si la mezcla de síntesis ha reaccionado, es decir ya no contiene cloro de fosgeno o ésteres de ácido clorocarbónico saponificables.

Tras la introducción del fosgeno puede ser ventajoso entremezclar un cierto tiempo la fase orgánica y la fase acuosa antes de dado el caso añadir ramificador, en tanto este no se dosifique junto con el bisfenolato, interruptor de cadena y catalizador. Puede ser ventajoso un tiempo de post-reacción semejante después de cada dosificación.

Estos tiempos de post-reacción se encuentran en 10 segundos a 60 minutos, preferentemente 30 segundos a 40 minutos, con especial preferencia 1 a 15 minutos.

5 La fase orgánica puede estar constituida por un disolvente o mezclas de varios disolventes. Son disolventes adecuados hidrocarburos clorados (alifáticos y/o aromáticos), preferentemente diclorometano, tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloroetano y clorobenceno y sus mezclas. Sin embargo también pueden utilizarse hidrocarburos aromáticos como benceno, tolueno, m/p/o-xileno o éteres aromáticos como anisol solos, en mezcla con o adicionalmente a hidrocarburos clorados. Otra forma de realización de la síntesis utiliza disolventes que no disuelven el policarbonato sino que solamente lo hinchan. Por consiguiente también pueden utilizarse no disolventes para policarbonato en combinación con disolventes. A este respecto pueden utilizarse como disolventes también disolventes solubles en la fase acuosa como tetrahidrofurano, 1,3/1,4-dioxano o 1,3-dioxolano si el codisolvente forma la segunda fase orgánica.

15 La mezcla de reacción al menos bifásica que ya ha reaccionado que contiene como máximo todavía trazas (< 2 ppm) de ésteres de ácido clorocarbónico se deja decantar para la separación de fases. La fase acuosa alcalina se conduce eventualmente total o parcialmente de nuevo a la síntesis de policarbonato como fase acuosa, o bien se conduce al tratamiento de aguas residuales, donde se separan las partes de disolvente y de catalizador y se retornan. En otra variante del procesamiento después de la separación de las impurezas inorgánicas, en especial de disolventes y de restos de polímero, y dado el caso después de ajustar un valor de pH determinado, p.ej. por adición de lejía de sosa, se separa la sal, que puede conducirse p.ej. a electrólisis cloralcalina, mientras que la fase acuosa dado el caso se conduce de nuevo a la síntesis.

20 La fase orgánica que contiene policarbonato puede purificarse ahora de todas las contaminaciones de tipo alcalino, iónico o catalítico. La fase orgánica contiene también después de uno o varios procesos de decantación todavía partes de la fase acuosa alcalina en finas gotitas así como el catalizador, por regla general una amina terciaria. Los procesos de decantación pueden dado el caso auxiliarse haciendo pasar la fase orgánica por decantadores, tanques agitados, coalescedores o separadores o combinaciones de los mismos, pudiéndose dosificar dado el caso en cada uno o algunos de los pasos de separación en ciertas circunstancias agua usando órganos de mezcla activos o pasivos.

25 Después de esta separación gruesa de la fase acuosa alcalina, la fase orgánica se lava una o varias veces con ácidos diluidos, ácidos minerales, carboxílicos, hidroxicarboxílicos y/o sulfónicos. Son preferidos ácidos minerales, en especial ácido clorhídrico, ácido fosforoso y ácido fosfórico o mezclas de estos ácidos. La concentración de estos ácidos debería estar en el intervalo de 0,001 a 50% en peso, preferentemente de 0,01 a 5% en peso.

30 Además la fase orgánica se lava repetidamente con agua desmineralizada o destilada. La separación de la fase orgánica, dado el caso con partes de la fase acuosa dispersadas, se realiza después de los distintos pasos de lavado mediante decantadores, tanques agitados, coalescedores o separadores o combinaciones de los mismos, pudiéndose dosificar el agua de lavado entre los pasos de lavado dado el caso usando órganos de mezcla activos o pasivos.

Entre estos pasos de lavado o también después del lavado pueden añadirse dado el caso ácidos, preferentemente disueltos en disolventes en los que se base la solución polimérica. Preferentemente se utilizan aquí cloruro de hidrógeno gaseoso y ácido fosfórico o ácido fosforoso, que dado el caso también pueden utilizarse como mezclas.

40 Las masas plásticas obtenidas por el procedimiento conforme a la invención pueden proveerse de aditivos y sustancias accesorias habituales (p.ej. coadyuvantes y sustancias de refuerzo) para la modificación de propiedades. La adición de aditivos y sustancias accesorias sirve para la prolongación de la vida útil (p.ej. estabilizadores frente a la hidrólisis o degradación), la mejora de la estabilidad cromática (p.ej. termoestabilizadores y estabilizadores frente a UV), la simplificación del procesamiento (p.ej. desmoldeadores, coadyuvantes de fluencia), la mejora de las propiedades de utilización (p.ej. antiestáticos), la mejora de la protección frente al fuego, la influencia de la impresión visual (p.ej. colorantes orgánicos, pigmentos) o la adaptación de las propiedades del polímero a determinadas cargas (modificadores de la resistencia al impacto, minerales finamente divididos, fibras, cuarzo molido, fibras de vidrio y carbono).

Los siguientes ejemplos sirven para la explicación ejemplificada de la invención y no deben entenderse como limitación.

50 Se calculó la capacidad de establecimiento de presión, la demanda de potencia y el aumento máximo de temperatura de los elementos de tornillo sin fin con un perfil de tornillo de Erdmenger de dos entradas conforme al estado de la técnica y de elementos de tornillo sin fin utilizados conforme a la invención con perfiles de tornillo de nuevo tipo utilizando simulación de flujo.

Como sabe el técnico en la materia y como puede consultarse en [1] en las páginas 129 a 146, el comportamiento

de funcionamiento de elementos de tornillo sin fin como elementos de transporte, de amasado y de mezcla puede describirse por una característica de diferencia de presión-rendimiento y por una de potencia-rendimiento. Para simplificar la transferibilidad a distintos tamaños de extrusora las magnitudes diferencia de presión, potencia y rendimiento se utilizan en su forma adimensional. En el caso de una masa plástica con un comportamiento de flujo newtoniano resulta una relación lineal entre diferencia de presión y rendimiento como también entre potencia y rendimiento. En la característica de diferencia de presión-rendimiento los puntos de corte con los ejes se marcan con A1 y A2 ([1], página 133). El punto de funcionamiento A1 marca el rendimiento propio de un elemento de tornillo sin fin. El punto de funcionamiento A2 marca el comportamiento de diferencia de presión sin rendimiento. En la característica de potencia-rendimiento los puntos de corte con los ejes se marcan con B1 y B2 ([1], página 136). El punto B1 es el llamado punto de turbina. Si el rendimiento es mayor que B1, entonces se suministra potencia a los árboles del tornillo sin fin. El punto de funcionamiento B2 marca la demanda de potencia sin rendimiento.

En una zona de establecimiento de presión solo puede transformarse una parte de la potencia aplicada en potencia de corriente. El resto de la potencia aplicada se disipa. La potencia de corriente se calcula como producto del rendimiento y la diferencia de presión. Como fácilmente aprecia el técnico en la materia la potencia de corriente en los puntos de corte con los ejes A1 y A2 es respectivamente igual a 0, pues o bien la diferencia de presión es igual a 0 (A1) o el rendimiento igual a 0 (A2). En la zona entre A1 y A2 tanto la diferencia de presión como el rendimiento son mayores que 0 y resulta una potencia de corriente positiva. Si se divide la potencia de corriente de un punto de funcionamiento dado por la potencia suministrada a ese punto de funcionamiento por los árboles del tornillo sin fin, entonces se obtiene el grado de eficiencia del establecimiento de presión en ese punto de funcionamiento. Derivando el grado de eficiencia respecto al rendimiento y subsiguiente búsqueda de la raíz puede encontrarse el grado de eficiencia máximo de un elemento de tornillo sin fin.

El cálculo del flujo dentro de un par de elementos de tornillo sin fin se llevó a cabo para el comportamiento de establecimiento de presión y la demanda de potencia con el software accesible comercialmente Fluent en la versión 6.3.26 y para el aumento máximo de temperatura con el Open Source Software Open-FOAM en la versión 1.5. Una introducción para la simulación de flujo de tornillos sin fin de dos árboles se encuentra por ejemplo en [1], páginas 147-168.

En la simulación de flujo se analizaron respectivos elementos de tornillo sin fin cuya longitud era igual a la mitad del paso. Estos elementos de tornillo sin fin se dotaron en la simulación de flujo en su inicio axial y en su final axial de condiciones límite periódicas para calcular un estado de flujo introducido hidrodinámicamente.

Como masa plástica se utilizó un fluido con comportamiento de flujo newtoniano. Como datos de materiales se utilizaron valores típicos, como los que pueden encontrarse p.ej. en el libro *Polymeraufbereitung 2002*, VDI-K, VDI-Verlag, Dusseldorf, 2002 en la página 159. La densidad de la masa plástica asciende a 1000 kg/m^3 . La viscosidad de la masa plástica asciende a $1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. La conductividad térmica de la masa plástica asciende a $0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. La capacidad térmica de la masa plástica asciende a $2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

Ejemplos

Ejemplo comparativo 1:

La geometría del elemento de transporte conforme al estado de la técnica puede verse en las Figuras 17a a 17c.

La Figura 17a muestra en sección transversal un cuarto de un perfil de tornillo sin fin de un elemento de tornillo sin fin con un perfil de tornillo de Erdmenger conforme al estado de la técnica. En el centro de la figura se encuentra el sistema de coordenadas xy en cuyo origen se encuentra el punto de giro del perfil de tornillo sin fin. Los arcos circulares del perfil de tornillo sin fin están marcados con líneas gruesas de trazo continuo que están provistas de los números correspondientes de los arcos circulares. Los centros de los arcos circulares se representan con círculos pequeños. Los centros de los arcos circulares están unidos con líneas finas de trazo continuo tanto con el punto inicial como también con el punto final del arco circular correspondientes al mismo. La recta FP se representa con una línea fina de puntos. El radio exterior adimensional RA del tornillo sin fin se caracteriza por una línea fina de trazos cuyo valor numérico se indica a la derecha abajo en la figura en cuatro puntos significativos. A la derecha junto a la figura se indican en cada arco circular el radio R, el ángulo α y las coordenadas x e y del centro del arco circular M_x y M_y en respectivamente cuatro puntos significativos. Mediante estos datos el perfil de tornillo sin fin está unívocamente definido. El perfil de tornillo sin fin tiene simetría especular respecto a los ejes x e y, de modo que el perfil de tornillo sin fin completo resulta por reflexión del cuarto indicado en los ejes x e y.

Los perfiles de tornillo sin fin en los que un cuarto del perfil de tornillo consta en total de n arcos circulares se designan en lo que sigue como perfiles de tornillo n-circulares.

La numeración de los arcos circulares de un perfil de tornillo n-circular se realiza en la Figura 17a de modo que los primeros n/2 arcos circulares se numeran en secuencia creciente de 1 a n/2 y los últimos n/2 arcos circulares se

5 numeran en secuencia decreciente de $(n/2)'$ a $1'$. Los $n/2$ arcos circulares y los $(n/2)'$ arcos circulares son respectivamente tangentes a la recta FP. Cada arco circular i del perfil de tornillo sin fin se corresponde con un arco circular i' del perfil de tornillo sin fin. El radio de un arco circular i' se calcula a partir de la diferencia de la distancia entre ejes menos el radio del arco circular i , es decir $R_{i'} = A - R_i$. El ángulo de un arco circular i' es igual al ángulo de un arco circular i , es decir $\alpha_{i'} = \alpha_i$. De esto resulta que una zona de cresta con un arco circular j es igual a una zona de surco con un arco circular j' . De esto resulta además que una zona de surco con un arco circular j es igual a una zona de cresta con un arco circular j' .

10 La Figura 17a muestra un cuarto de un perfil de tornillo sin fin de Erdmenger de dos entradas conforme al estado de la técnica que está constituido por 4 arcos circulares. Es característico de los perfiles de tornillo sin fin de Erdmenger que el radio $R_1 = RA$, el radio $R_2 = 0$, el radio $R_2' = A = 1$ y el radio $R_1' = A - RA = RI$. El ángulo α_1 , α_2 , α_2' y α_1' dependen del radio exterior del tornillo sin fin y de la distancia entre ejes ab . El ángulo α_1 es igual a la mitad del ángulo de cresta de un perfil de tornillo sin fin de Erdmenger de dos entradas. El perfil de tornillo sin fin de Erdmenger presenta en lugar del radio R_2 un acodamiento. La "magnitud del acodamiento" viene dada por el ángulo α_2 , es decir la transición del arco circular 1 al arco circular 2' se produce por giro en el ángulo α_2 .

15 En la Figura 17a el radio exterior adimensional del tornillo sin fin asciende a $RA = 0,6069$. La mitad del ángulo de cresta es $\alpha_1 = 0,1829$.

20 La Figura 17b muestra un par de elementos de tornillo sin fin configurado como elemento de transporte cuyo perfil de tornillo se basa en la Figura 17a. La distancia entre ejes de ambos elementos de transporte asciende dimensionalmente a $a = 26,2$ mm y adimensionalmente a $A = a/a = 1$. El huelgo entre ambos elementos de transporte asciende dimensionalmente a $s = 0,2$ mm y adimensionalmente a $S = s/a = 0,0076$. El huelgo entre ambos elementos de transporte y la carcasa asciende dimensionalmente a $d = 0,1$ mm y adimensionalmente a $D = d/a = 0,0038$. El paso de los elementos de transporte asciende dimensionalmente a $t = 28,0$ mm y adimensionalmente a $T = t/a = 1,0687$. La longitud de los elementos de transporte asciende dimensionalmente a $l = 14,0$ mm y adimensionalmente a $L = l/a = 0,5344$, lo que corresponde a un giro de los perfiles de tornillo sin fin de un ángulo de π . La carcasa se representa mediante líneas finas de trazo continuo a izquierda y derecha de los dos elementos de transporte. El diámetro de la carcasa asciende dimensionalmente a $dg = 31,8$ mm y adimensionalmente a $DG = dg/a = 2*RA = 1,2137$. En las superficies de los dos elementos de transporte está representada además una posible cuadrícula de cálculo que puede utilizarse para el cálculo del flujo en extrusoras de dos y más árboles. El número de los elementos de la cuadrícula en dirección periférica es igual a 180 y en dirección axial igual a 90.

25 La Figura 17c muestra una vista en planta desde arriba sobre el par de elementos de tornillo sin fin de la Figura 17b. El volumen libre entre los elementos de transporte y la carcasa está provisto de una posible cuadrícula de cálculo que puede utilizarse para el cálculo del flujo en extrusoras de dos y más árboles. El número de los elementos de la cuadrícula en dirección periférica es igual a 180 y en dirección axial igual a 10. Los ejes de giro de los dos elementos de tornillo sin fin están marcados con círculos pequeños.

30 En contraposición a las cuadrículas de cálculo mostradas en las Figuras 17b y 17c, para el cálculo de la característica de diferencia de presión-rendimiento y la característica de potencia-rendimiento se utiliza una cuadrícula de cálculo que presenta 320 elementos de cuadrícula en dirección periférica, 160 elementos de cuadrícula en dirección axial y 12 elementos de cuadrícula en dirección radial. Las secciones de eje de la característica de diferencia de presión-rendimiento se calcularon como sigue: $A1 = 0,263$ y $A2 = 4250$. Las secciones de eje de la característica de potencia-rendimiento se calcularon como sigue: $B1 = 1,033$ y $B2 = 4390$. El grado de eficiencia máximo en el establecimiento de presión resulta el 7,32%.

35 Para el cálculo del aumento máximo de la temperatura se utilizó la cuadrícula de cálculo de las Figuras 17 b y 17c. El campo de velocidad y de presión se inicializó con un vector cero. El gradiente de presión a lo largo de los ejes de giro se puso en 0, de modo que se ajustase como rendimiento el rendimiento propio A1. El campo de temperatura se inicializó con 300°C. Tanto la pared de la carcasa como también la superficie de los dos elementos de transporte se consideraron como adiabáticas. El desarrollo del campo de temperaturas se siguió durante dos revoluciones de la extrusora. La amplitud de los pasos de tiempo ascendió a 0,000925926 s. El número de revoluciones de la extrusora de doble husillo ascendió a 360 rpm.

40 Después de dos revoluciones se alcanzó la temperatura máxima en el campo de cálculo. La temperatura máxima se encuentra en prácticamente el mismo aumento de temperatura en las superficies de los dos elementos de transporte, o sea en las zonas de cresta que justamente limpian la carcasa. La temperatura máxima asciende según cálculo a aproximadamente 400°C.

Ejemplo 2

La geometría de un elemento de transporte utilizado conforme a la invención puede verse en las Figuras 18a a 18c.

La Figura 18a muestra en sección transversal un cuarto de un perfil de tornillo sin fin de un elemento de tornillo sin fin utilizado conforme a la invención. La estructura de la Figura es análoga a la de la Figura 17a y se describió ahí detalladamente. En la Figura 18a el cuarto del perfil de tornillo sin fin consta de 2 arcos circulares. Es característico de este perfil de tornillo además que el perfil de tornillo no contiene ningún acodamiento y que el ángulo de cresta de la zona de cresta, es decir una zona que se encuentra en el radio exterior del tornillo sin fin, es igual a 0. El radio exterior adimensional del tornillo sin fin asciende a $RA = 0,6069$.

La Figura 18b muestra un par de elementos de tornillo sin fin configurados como elementos de transporte cuyo perfil de tornillo se basa en la Figura 18a. La distancia entre ejes de ambos elementos de transporte asciende dimensionalmente a $a = 26,2$ mm y adimensionalmente a $A = a/a = 1$. El huelgo entre ambos elementos de transporte asciende dimensionalmente a $s = 0,2$ mm y adimensionalmente a $S = s/a = 0,0076$. El huelgo entre los dos elementos de transporte y la carcasa asciende dimensionalmente a $d = 0,1$ mm y adimensionalmente a $D = d/a = 0,0038$. El paso de los elementos de transporte asciende dimensionalmente a $t = 28,0$ mm y adimensionalmente a $T = t/a = 1,0687$. La longitud de los elementos de transporte asciende dimensionalmente a $l = 14,0$ mm y adimensionalmente a $L = l/a = 0,5344$, lo que corresponde a un giro de los perfiles de tornillo sin fin de un ángulo de π . La carcasa se representa mediante líneas finas de trazo continuo a izquierda y derecha de los dos elementos de transporte. El diámetro de la carcasa asciende dimensionalmente a $dg = 31,8$ mm y adimensionalmente a $DG = dg/a = 2*RA = 1,2137$. En las superficies de los dos elementos de transporte está representada además una posible cuadrícula de cálculo que puede utilizarse para el cálculo del flujo en extrusoras de dos y más árboles. El número de los elementos de la cuadrícula en dirección periférica es igual a 180 y en dirección axial igual a 90.

La Figura 18c muestra una vista en planta desde arriba sobre el par de elementos de tornillo sin fin de la Figura 18b. El volumen libre entre los elementos de transporte y la carcasa está provisto de una posible cuadrícula de cálculo que puede utilizarse para el cálculo del flujo en extrusoras de dos y más árboles. El número de los elementos de la cuadrícula en dirección periférica es igual a 180 y en dirección axial igual a 10. Los ejes de giro de los dos elementos de tornillo sin fin están marcados con círculos pequeños.

En contraposición a las cuadrículas de cálculo mostradas en las Figuras 18b y 18c, para el cálculo de la característica de diferencia de presión-rendimiento y la característica de potencia-rendimiento se utiliza una cuadrícula de cálculo que presenta 320 elementos de cuadrícula en dirección periférica, 160 elementos de cuadrícula en dirección axial y 12 elementos de cuadrícula en dirección radial. Las secciones de eje de la característica de diferencia de presión-rendimiento se calcularon como sigue: $A1 = 0,245$ y $A2 = 4530$. Las secciones de eje de la característica de potencia-rendimiento se calcularon como sigue: $B1 = 0,803$ y $B2 = 3640$. El grado de eficiencia máximo en el establecimiento de presión resulta el 9,05%.

Sorprendentemente resulta que el comportamiento de establecimiento de presión del elemento de transporte utilizado conforme a la invención, a pesar de las zonas de cresta minimizadas en forma tridimensionalmente solo lineal, es aproximadamente un 6,6% mayor que en un elemento de transporte con perfil de tornillo sin fin de Erdmenger con dos entradas conforme al estado de la técnica del Ejemplo 1. Con un elemento de transporte utilizado conforme a la invención puede llevarse a cabo por consiguiente un establecimiento de presión deseado o necesario en una zona de establecimiento de presión más corta, con lo que la estructura de la extrusora o bien se acorta o a longitud de la extrusora constante se alargan otras zonas de procedimiento como por ejemplo una zona de desgasificación o una zona de mezcla y con ello se mejora su acción sobre la masa plástica.

Además resulta que el parámetro de potencia $B2$ en el elemento de transporte utilizado conforme a la invención es aproximadamente un 17% inferior al de un elemento de transporte con perfil de tornillo sin fin de Erdmenger con dos entradas conforme al estado de la técnica del Ejemplo 1. Una aplicación de energía más baja reduce el aumento de temperatura y en consecuencia también el deterioro no deseado del polímero.

Para el cálculo del aumento máximo de la temperatura se utilizó la cuadrícula de cálculo de las Figuras 17b y 17c. El campo de velocidad y de presión se inicializó con un vector cero. El gradiente de presión a lo largo de los ejes de giro se puso en 0, de modo que se ajustase como rendimiento el rendimiento propio $A1$. El campo de temperatura se inicializó con 300°C. Tanto la pared de la carcasa como también la superficie de los dos elementos de transporte se consideraron como adiabáticas. El desarrollo del campo de temperaturas se siguió durante dos revoluciones de la extrusora. La amplitud de los pasos de tiempo ascendió a 0,000925926 s. El número de revoluciones de la extrusora de doble husillo ascendió a 360 rpm.

Después de dos revoluciones se buscó la temperatura máxima en el campo de cálculo. La temperatura máxima se encuentra en prácticamente el mismo aumento de temperatura en las superficies de los dos elementos de

transporte, o sea en una superficie muy próxima a las zonas de cresta minimizadas que justamente se encuentran en la zona de cuña, es decir en la zona en la que se interpenetran los dos taladros de carcasa. La temperatura máxima asciende según cálculos a aproximadamente 365°C. La temperatura máxima de la superficie en las zonas de cresta minimizadas que justamente limpian la carcasa asciende según cálculos a aproximadamente 340°C.

- 5 En comparación con el elemento de transporte conforme al estado de la técnica del Ejemplo 1, con el elemento de transporte utilizado conforme a la invención del Ejemplo 2 se alcanza una temperatura máxima inferior en aproximadamente 35°C. Respecto a las zonas de cresta resulta incluso una diferencia de temperatura de aproximadamente 60°C. Suponiendo que la constante de velocidad de la reacción de una reacción de deterioro de polímero se duplique por 10°C de aumento de la temperatura, resulta en la zona de las crestas del tornillo del elemento de transporte conforme al Ejemplo 1 un deterioro del polímero 50 veces más rápido que en la zona de las crestas del tornillo del elemento de transporte conforme al Ejemplo 2.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la extrusión de masas plásticas usando elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo que giran por pares en el mismo sentido y se rozan por pares exactamente, con dos o más entradas de tornillo, en los que los perfiles de tornillo sin fin en sección transversal completa pueden representarse respectivamente mediante una curva de perfil constantemente diferenciable y entre los elementos de tornillo sin fin y la carcasa y/o entre los elementos de tornillo sin fin contiguos están presentes huecos en el intervalo de 0,1 a 0,001 referido al diámetro del perfil del tornillo sin fin y el perfil del tornillo sin fin en sección transversal completa está compuesto por cuatro o más arcos circulares, deviniendo los arcos circulares entre sí tangenciales en sus puntos inicial y final, **caracterizado porque**
- 5
- 10
- un perfil de tornillo sin fin generatriz y uno generado tienen una distancia entre ejes a entre sí,
 - el número de los arcos circulares del perfil de tornillo sin fin generatriz es n ,
 - el radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin generatriz es mayor que 0 ($r_a > 0$) y menor que la distancia entre ejes ($r_a < a$),
 - el radio central r_i del perfil de tornillo sin fin generatriz es mayor que 0 ($r_i > 0$) y menor que o igual a r_a ($r_i \leq r_a$),
- 15
- todos los arcos circulares del perfil de tornillo sin fin generatriz devienen tangenciales entre sí,
 - los arcos circulares forman un perfil de tornillo sin fin cerrado, es decir la suma de los ángulos α_j de todos los j arcos circulares es igual a 2π siendo π el número pi ($\pi \approx 3,14159$),
 - los arcos circulares forman un perfil de tornillo convexo,
 - cada uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz se encuentra dentro de o en los límites de una corona circular con el radio exterior r_a y el radio central r_i , cuyo centro se encuentra en el punto de giro del perfil de tornillo generatriz,
- 20
- al menos uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz es tangente al radio exterior r_a del perfil de tornillo generatriz en un punto P_A
 - al menos uno de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz es tangente al radio central r_i del perfil de tornillo generatriz en un punto P_1
- 25
- el número n' de los arcos circulares del perfil de tornillo generado es igual al número n de los arcos circulares del perfil de tornillo generatriz,
 - el radio exterior r_a' del perfil de tornillo generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio central r_i del perfil de tornillo generatriz ($r_a' = a - r_i$),
- 30
- el radio central r_i' del perfil de tornillo generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio exterior r_a del perfil de tornillo generatriz ($r_i' = a - r_a$),
 - el ángulo α_j' del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado es igual al ángulo α_j del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
- 35
- la suma del radio r_j' del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado y del radio r_j del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz es igual a la distancia entre ejes a , siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
 - el centro del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado presenta una distancia al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz que es igual a la distancia entre ejes a , y el centro del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado presenta una distancia al punto de giro del perfil de tornillo generado que es igual a la distancia del centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz al punto de giro del perfil de tornillo generatriz, y la línea de unión entre el centro del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado y el centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz es una paralela a una línea de unión entre el punto de giro del perfil de tornillo generado y el punto de giro del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares,
- 40
- 45
- un punto inicial del arco circular $j'^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado se encuentra en una dirección referida al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generado que es opuesta a aquella dirección que presenta un

punto inicial del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz referida al centro del arco circular $j^{\text{ésimo}}$ del perfil de tornillo generatriz, siendo j y j' números enteros, extendiéndose todos los valores en común en el intervalo de 1 al número de los n ó n' arcos circulares.

- 5 2. Procedimiento conforme a la reivindicación 1, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin tienen simetría puntual y la curva de perfil en una sección de $364^\circ/(2 \cdot Z)$ se compone de al menos dos arcos circulares, siendo Z el número de entradas de los elementos de tornillo sin fin.
3. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** estos tienen simetría axial y la curva de perfil en una sección de $360^\circ/(2 \cdot Z)$ se compone de al menos dos arcos circulares, siendo Z el número de entradas de los elementos de tornillo sin fin.
- 10 4. Procedimiento conforme a la reivindicación 3, **caracterizado porque** la curva de perfil en la sección se compone de dos arcos circulares, deviniendo los arcos circulares entre sí en un punto P_{FP} constantemente diferenciables, encontrándose el punto P_{FP} en una recta FP , discurriendo su ortogonal en el punto P_{FP} por los centros de los dos arcos circulares
- 15 5. Procedimiento conforme a la reivindicación 4, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin con un punto de giro D , un punto P_A que se encuentra en un círculo alrededor del punto de giro con el radio exterior r_a del elemento de tornillo, un punto P_1 que se encuentra en un círculo alrededor del punto de giro con el radio interior r_i del elemento de tornillo, una recta DP_A que discurre por los puntos P_A y D y una recta DP_1 que discurre por los puntos P_1 y D , que cuando se usa un sistema de coordenadas cartesianas con el punto D en el origen y el punto P_A en el eje x **está caracterizado porque** la ortogonal corta la recta DP_A en el centro de uno de los arcos circulares y la recta DP_1 en el centro del otro arco circular, y **porque** la recta FP presenta una distancia al punto de giro correspondiente a la mitad de la distancia entre ejes a y una pendiente en medida de arco de $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$.
- 20 6. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin están configurados como elementos de mezcla o elementos de transporte.
7. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin están configurados como elementos de amasado.
- 25 8. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin se utilizan en una zona de desgasificación o de transporte.
9. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** las masas plásticas son termoplásticas o elastómeros.
- 30 10. Procedimiento conforme a la reivindicación 9, **caracterizado porque** como termoplástico se utiliza policarbonato, poliamida, poliésteres, en especial poli(tereftalato de butileno) y poli(tereftalato de etileno), poliéteres, poliuretano termoplástico, poliacetil, fluoropolímeros, en especial poli(fluoruro de vinilideno), polietersulfonas, poliolefina, en especial polietileno y polipropileno, poliimida, poliacrilato, en especial poli(metacrilato de metilo), poli(óxido de fenileno), poli(sulfuro de fenileno), polietercetona, poliariletercetona, polímeros de estireno, en especial poliestireno, copolímeros de estireno, en especial copolímero de estireno-acrilonitrilo, copolímeros de bloque de acrilonitrilo-butadieno-estireno, poli(cloruro de vinilo) o una mezcla (blend) de al menos dos de los termoplásticos indicados.
- 35 11. Procedimiento conforme a la reivindicación 10, **caracterizado porque** como termoplástico se utiliza policarbonato o una mezcla de policarbonato con otros polímeros.
- 40 12. Procedimiento conforme a la reivindicación 11, **caracterizado porque** el policarbonato ha sido fabricado por el procedimiento de interfase o el procedimiento de transesterificación en masa fundida.
13. Procedimiento conforme a la reivindicación 9, **caracterizado porque** como elastómero se utiliza caucho de estireno-butadieno, caucho natural, caucho de butadieno, caucho de isopreno, caucho de etileno-propileno-dieno, caucho de etileno-propileno, caucho de butadieno-acrilonitrilo, caucho de nitrilo hidrogenado, caucho de butilo, caucho de halobutilo, caucho de cloropreno, caucho de etileno-acetato de vinilo, caucho de poliuretano, poliuretano termoplástico, gutapercha, caucho de arilato, caucho fluorado, caucho de silicona, caucho sulfurado, caucho de clorosulfonil-poli(etileno) o una combinación de al menos dos de los elastómeros indicados.
- 45 14. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** al polímero se le añaden cargas o substancias de refuerzo o aditivos de polímeros o pigmentos orgánicos o inorgánicos o mezclas de los mismos.
- 50

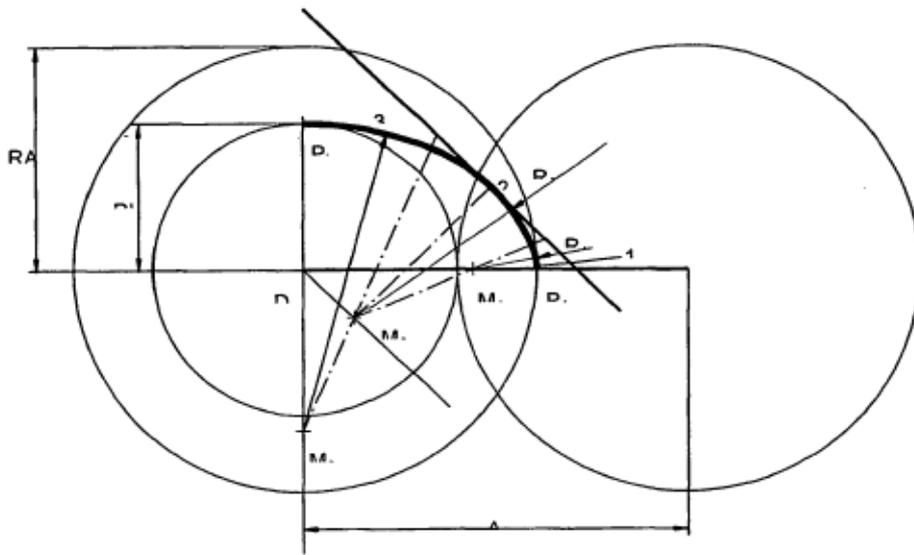


Fig. 2b

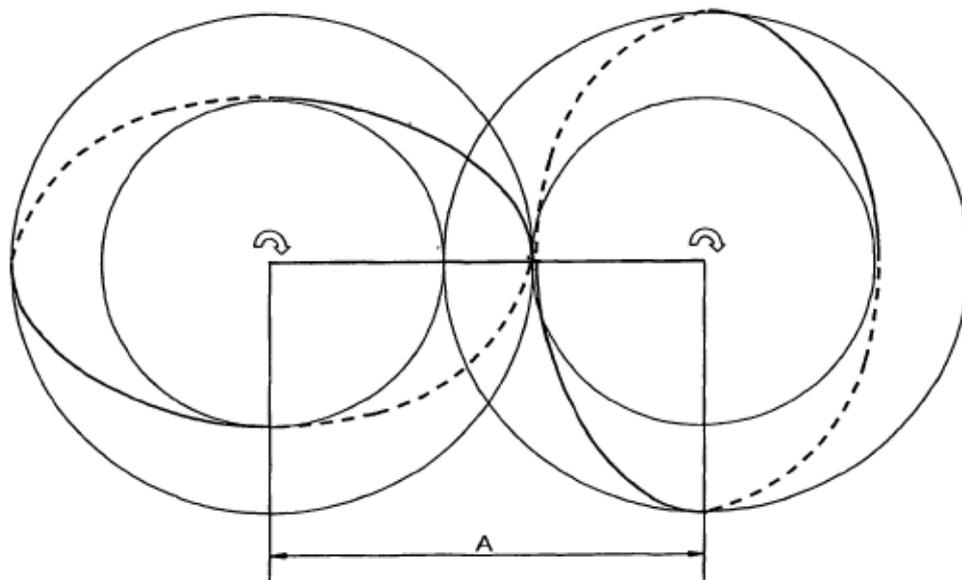


Fig. 2c

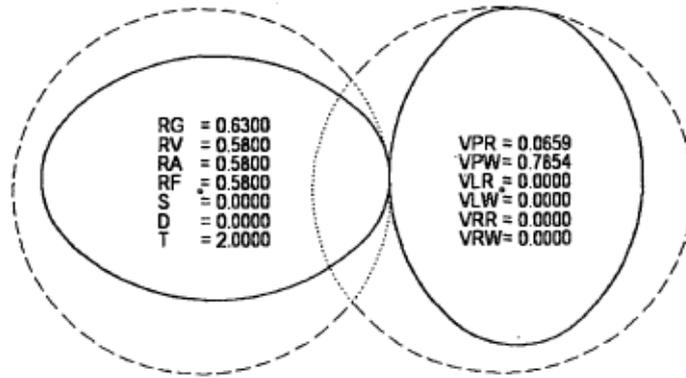


Fig. 3

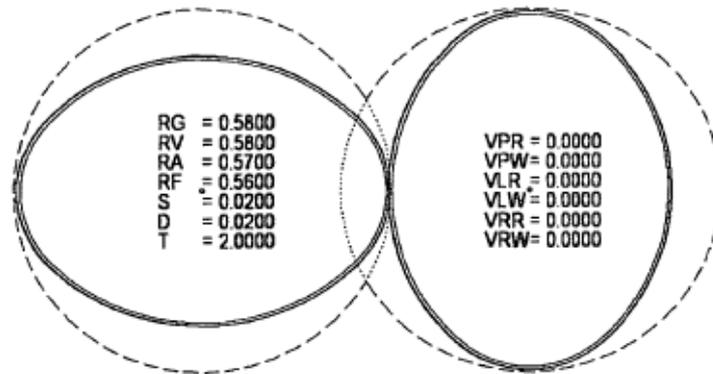


Fig. 4a

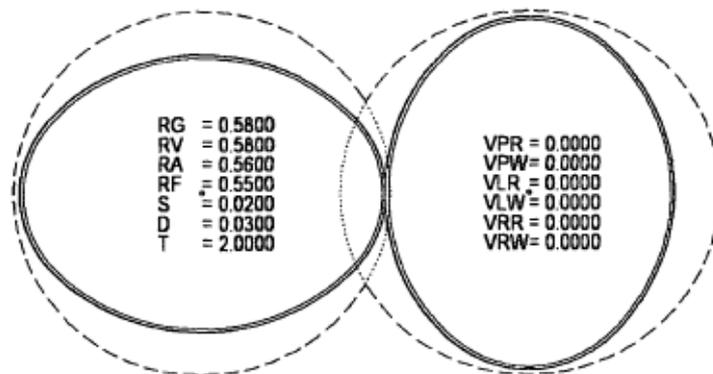


Fig. 4b

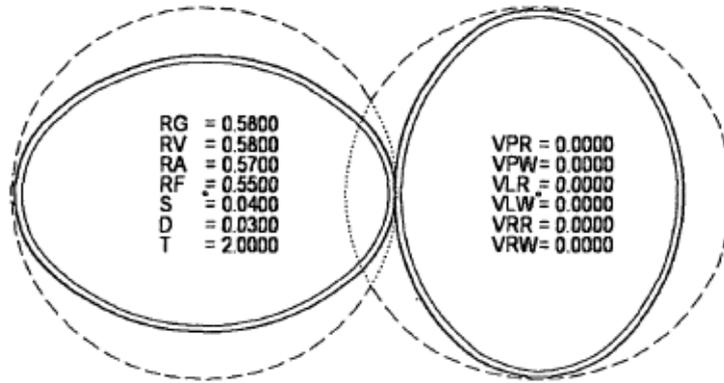


Fig. 4c

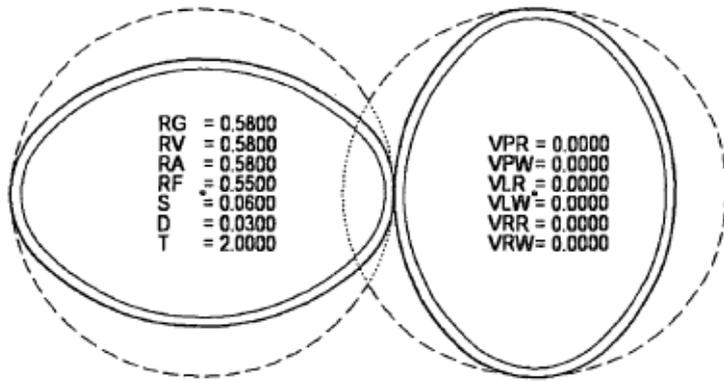


Fig. 4d

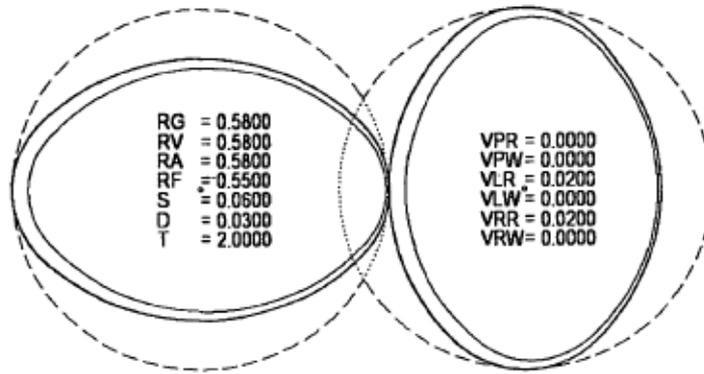


Fig. 5a

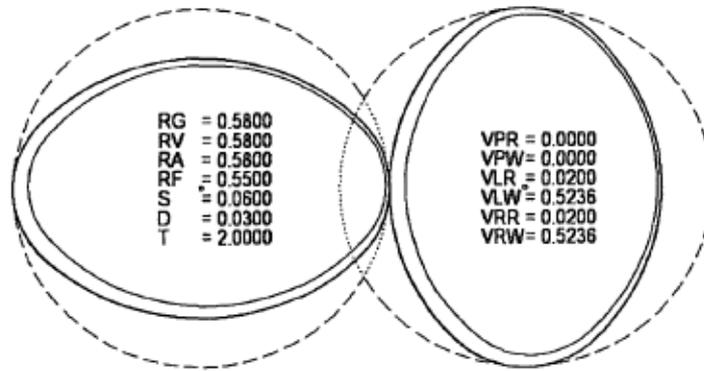


Fig. 5b

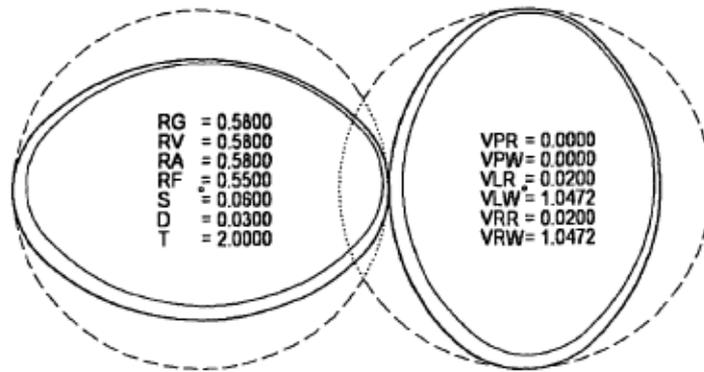


Fig. 5c

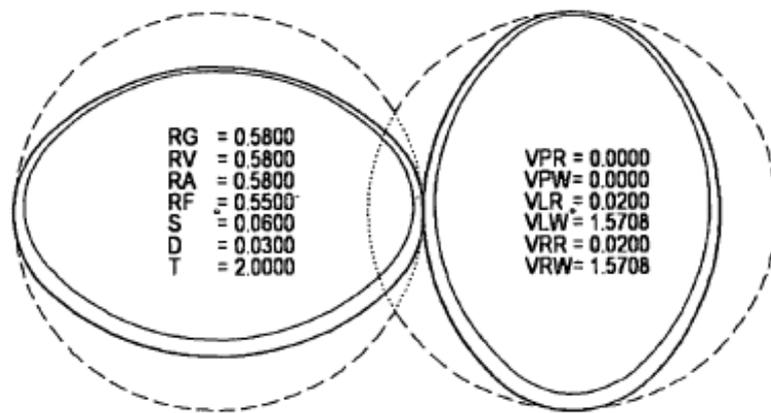


Fig. 5d

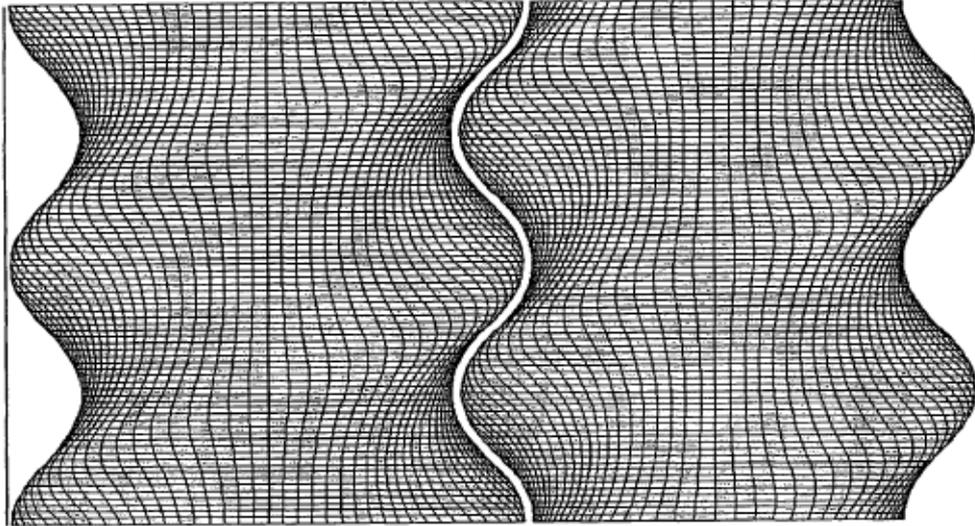


Fig. 6a

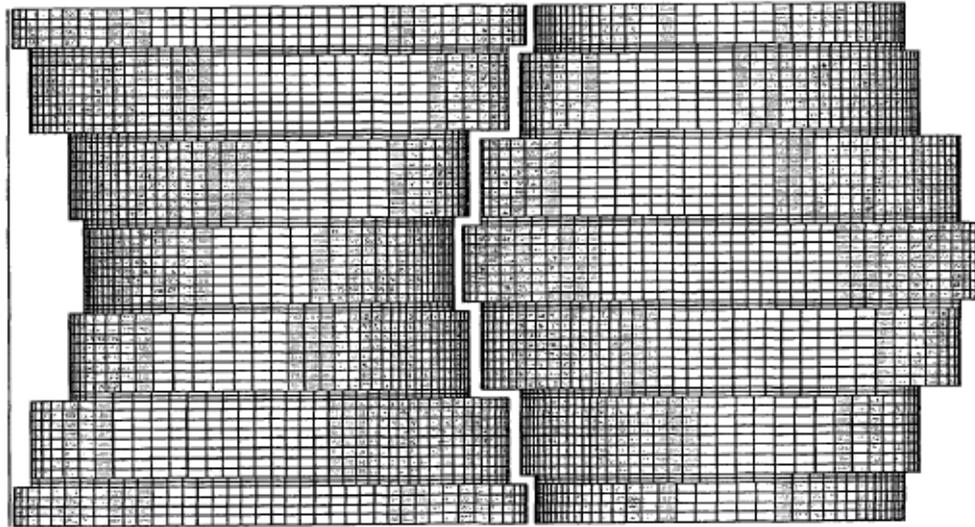


Fig. 6b

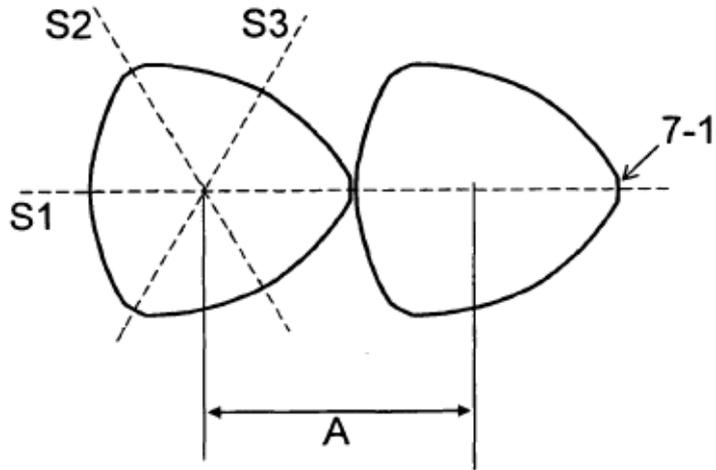


Fig. 7

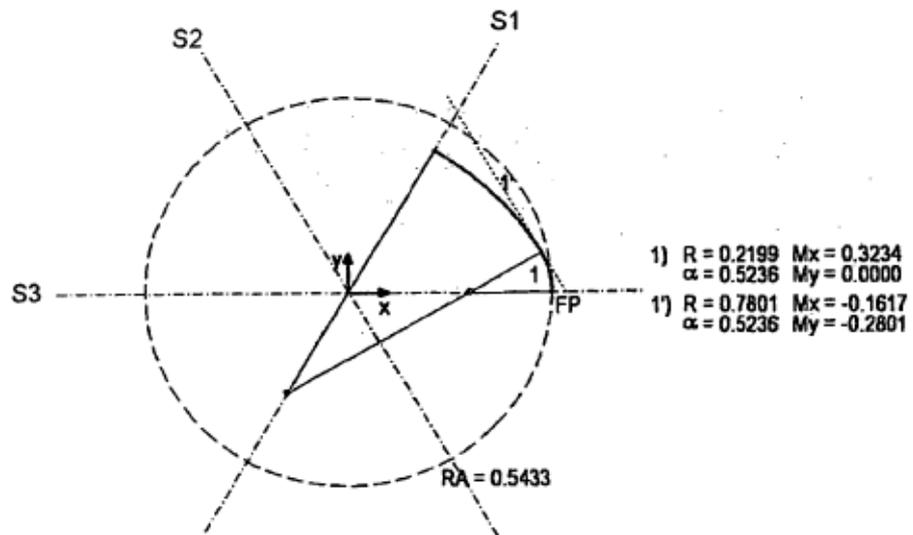


Fig. 8

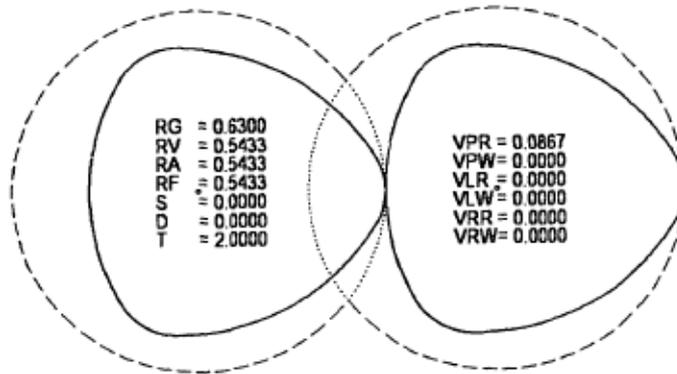


Fig. 9a

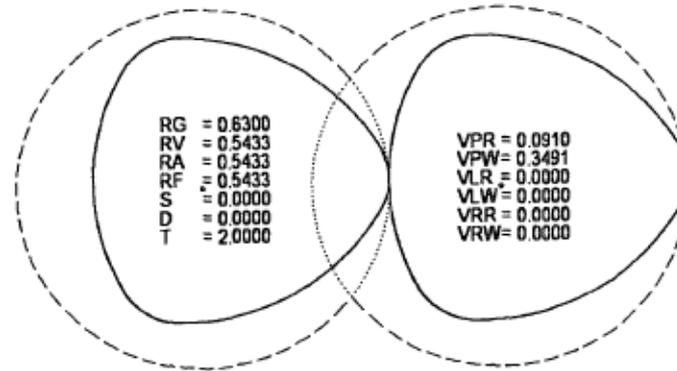


Fig. 9b

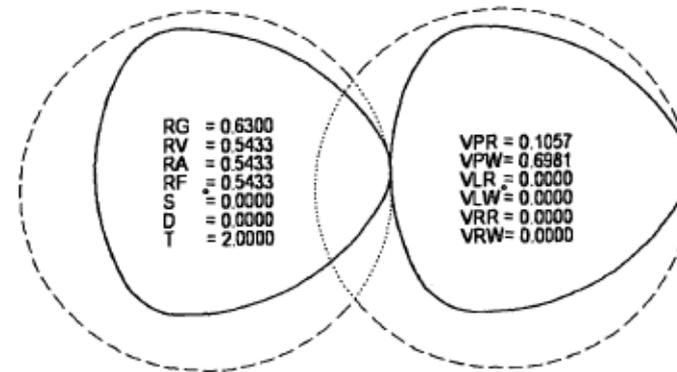


Fig. 9c

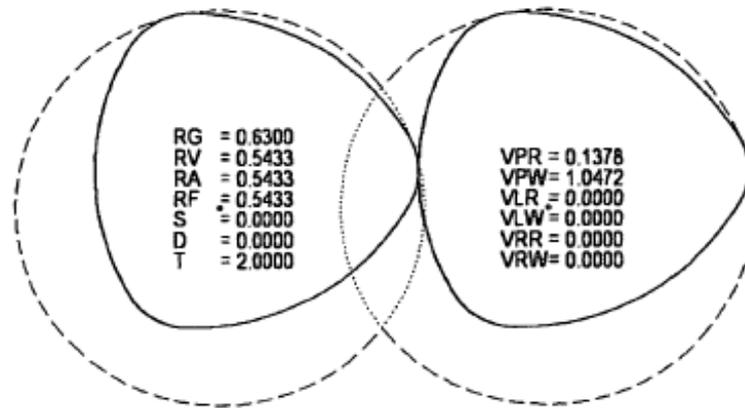


Fig. 9d

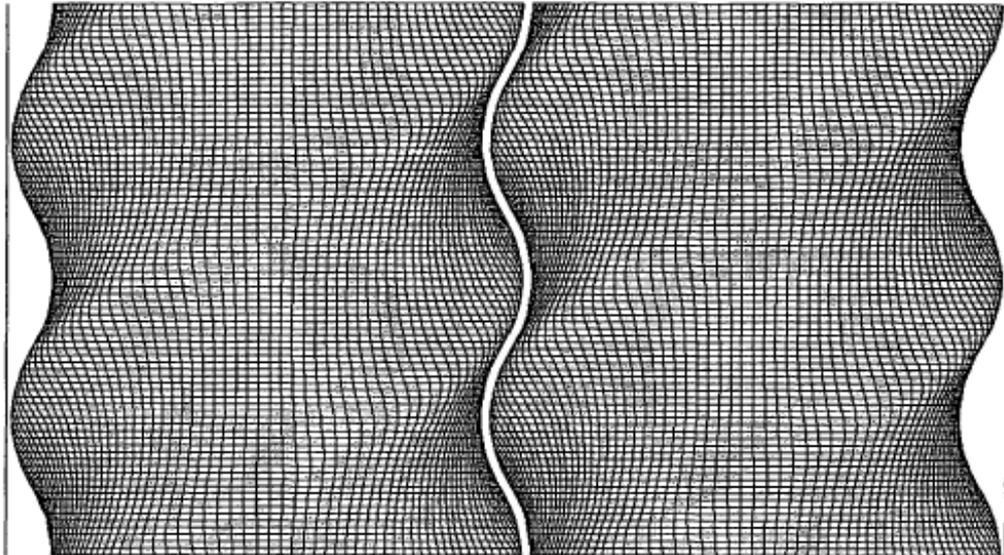


Fig. 10a

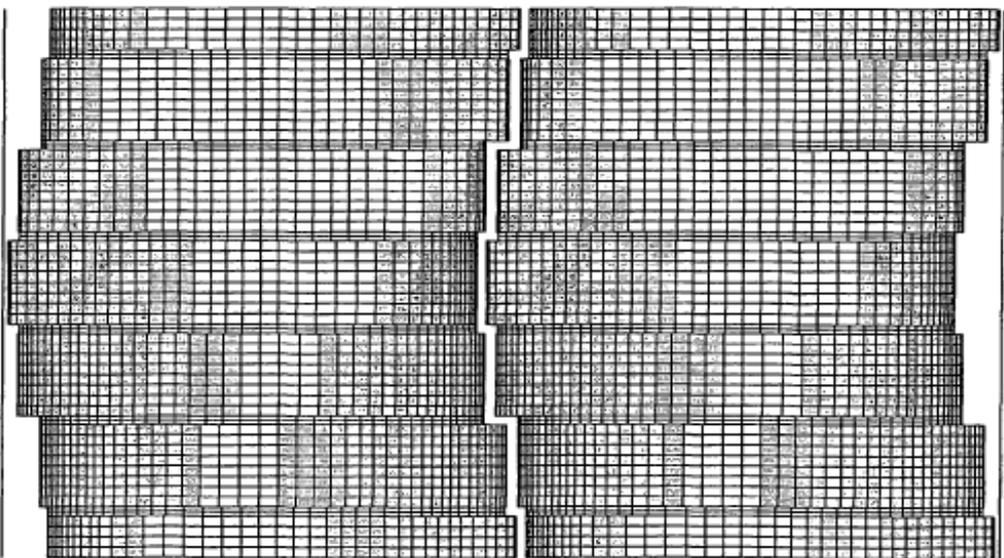


Fig. 10b

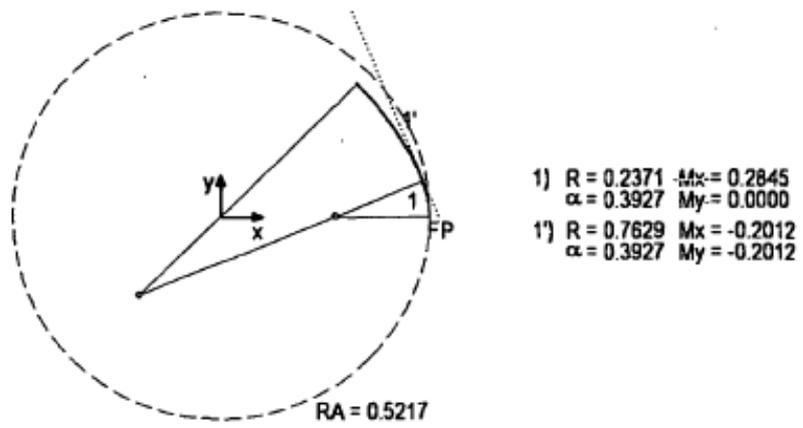


Fig. 11

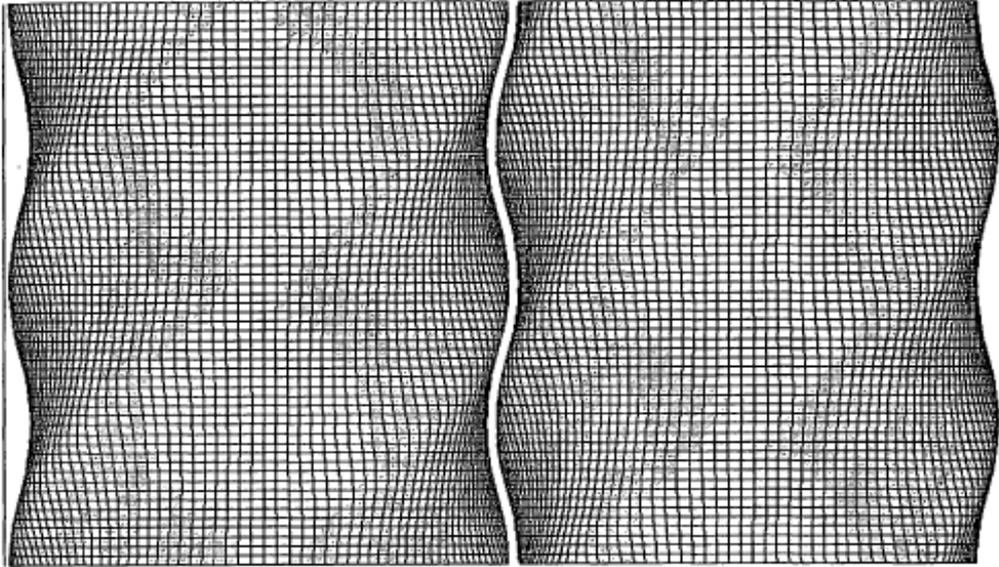


Fig. 12a

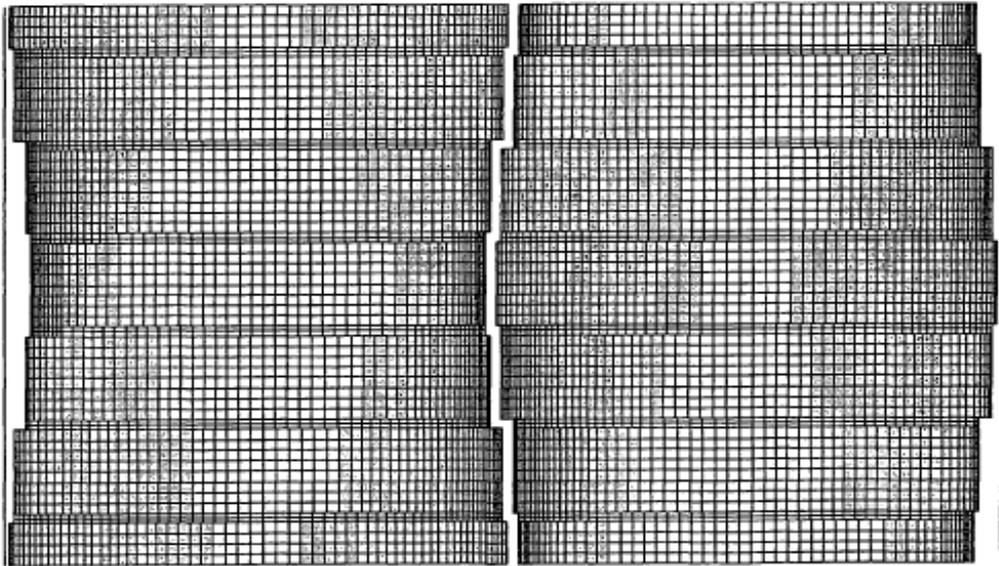


Fig. 12b

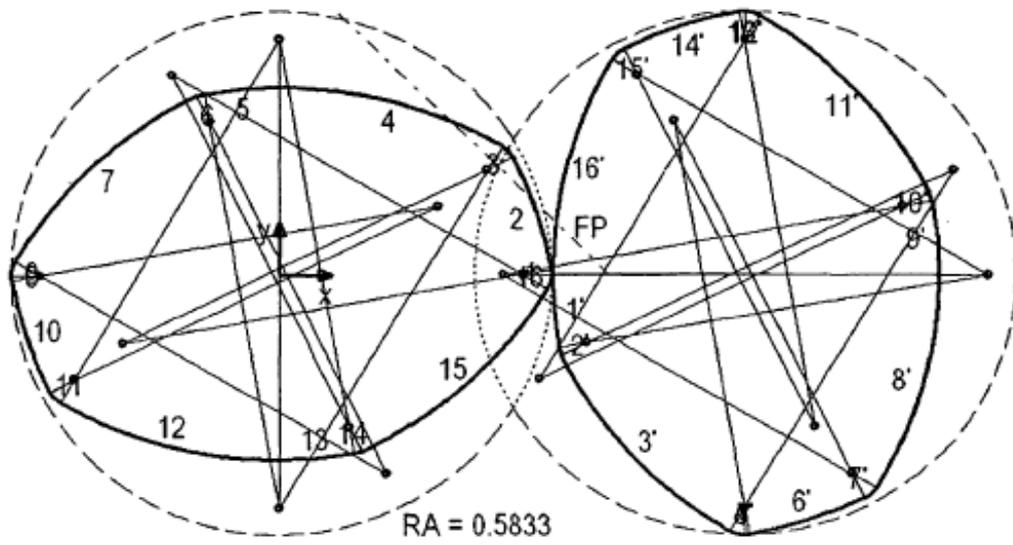


Fig. 13a

1) $R = 0.0625$ $M_x = 0.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.0000$	1') $R = 0.9375$ $M_x = 1.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$
2) $R = 0.9375$ $M_x = -0.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.1519$	2') $R = 0.0625$ $M_x = 0.6591$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.1519$
3) $R = 0.0625$ $M_x = 0.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.2325$	3') $R = 0.9375$ $M_x = 1.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.2325$
4) $R = 0.9375$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.5208$	4') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.5208$
5) $R = 0.9375$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.5208$	5') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.5208$
6) $R = 0.0625$ $M_x = -0.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.3409$	6') $R = 0.9375$ $M_x = 0.8481$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.3409$
7) $R = 0.9375$ $M_x = 0.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.4452$	7') $R = 0.0625$ $M_x = 1.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.4452$
8) $R = 0.0625$ $M_x = -0.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$	8') $R = 0.9375$ $M_x = 0.4792$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$
9) $R = 0.0625$ $M_x = -0.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$	9') $R = 0.9375$ $M_x = 0.4792$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$
10) $R = 0.9375$ $M_x = 0.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.1519$	10') $R = 0.0625$ $M_x = 1.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.1519$
11) $R = 0.0625$ $M_x = -0.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.2325$	11') $R = 0.9375$ $M_x = 0.5548$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.2325$
12) $R = 0.9375$ $M_x = -0.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = 0.5208$	12') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = 0.5208$
13) $R = 0.9375$ $M_x = -0.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.5208$	13') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.5208$
14) $R = 0.0625$ $M_x = 0.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.3409$	14') $R = 0.9375$ $M_x = 1.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.3409$
15) $R = 0.9375$ $M_x = -0.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.4451$	15') $R = 0.0625$ $M_x = 0.7675$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.4451$
16) $R = 0.0625$ $M_x = 0.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$	16') $R = 0.9375$ $M_x = 1.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$

Fig. 13b

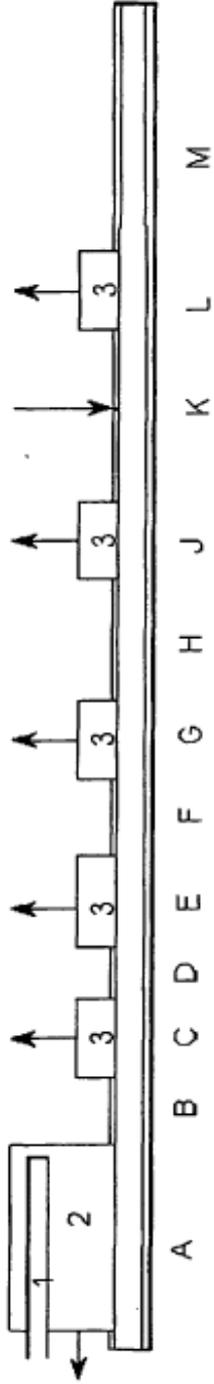


Fig. 14

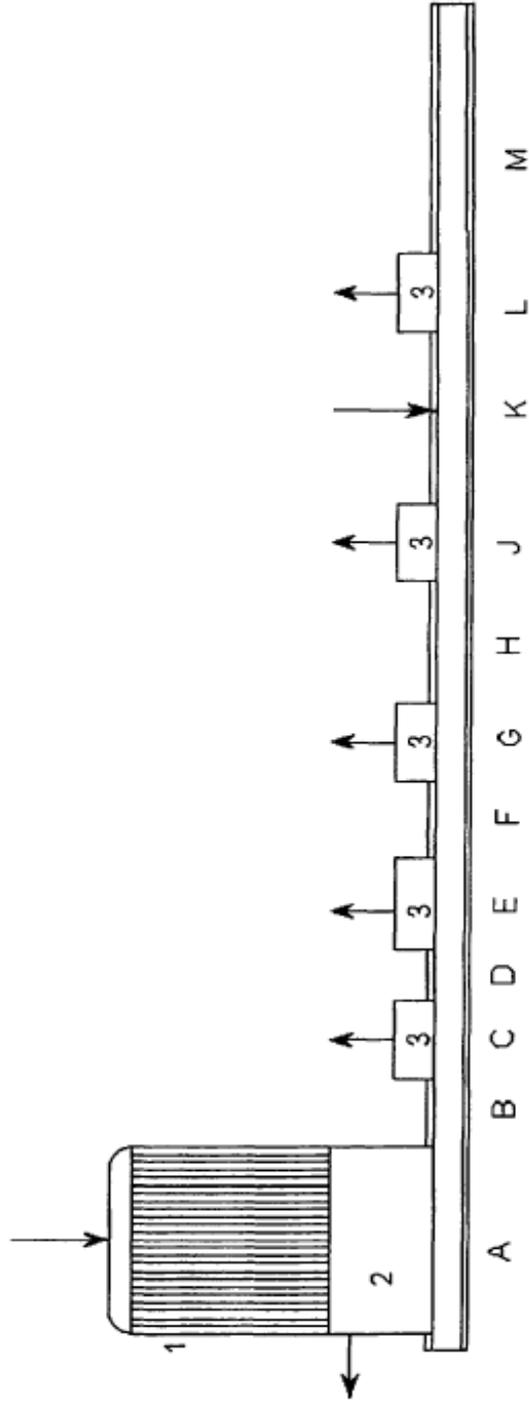


Fig. 15

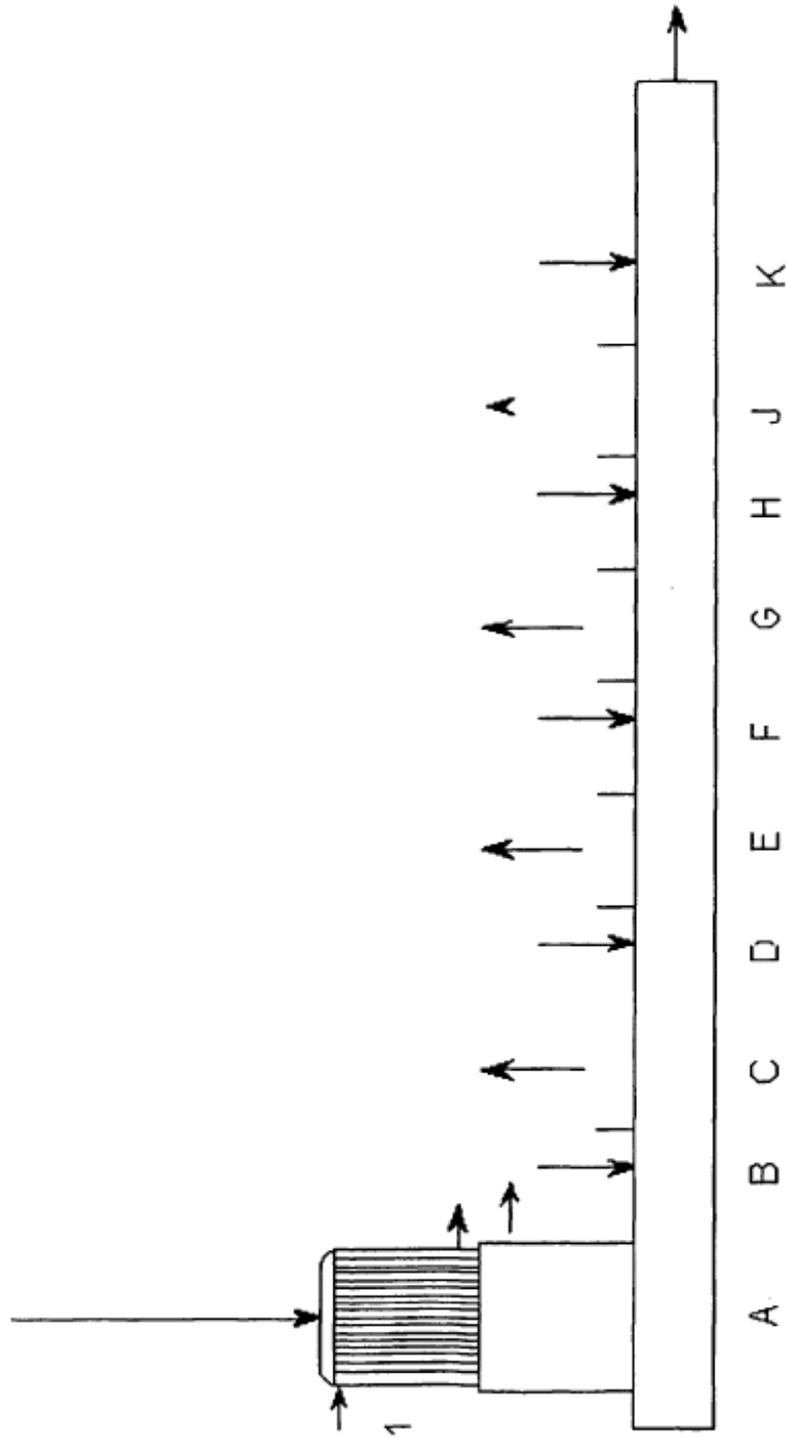


Fig. 16

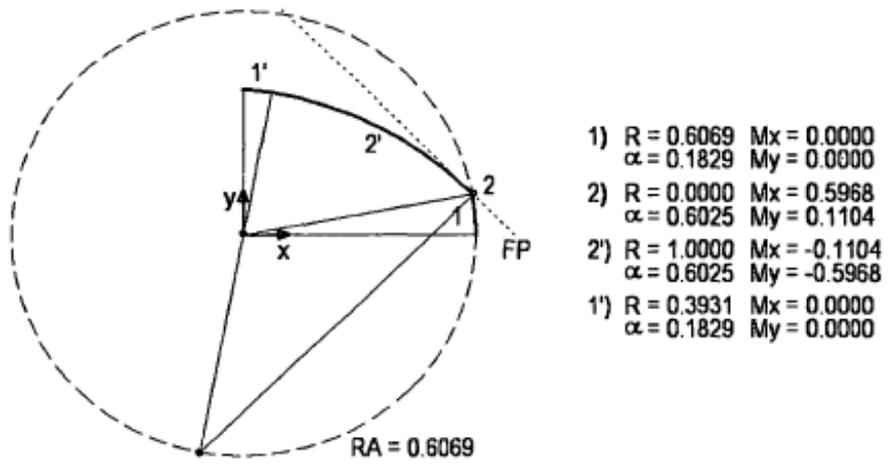


Fig. 17a

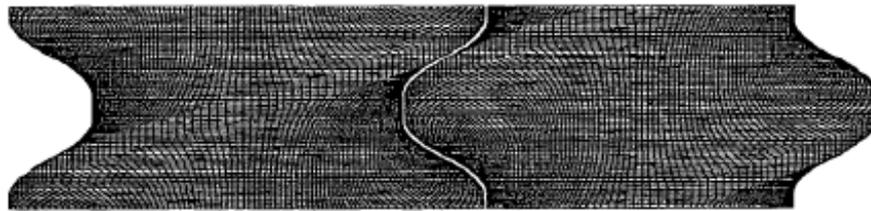


Fig. 17b

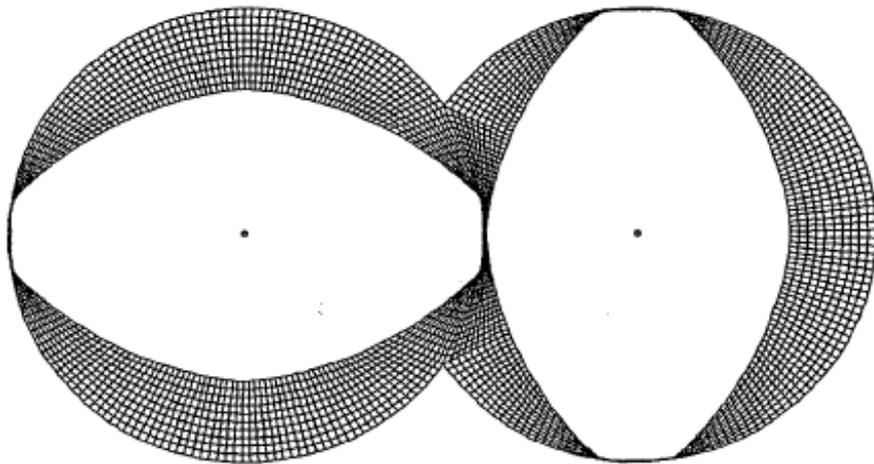


Fig. 17c

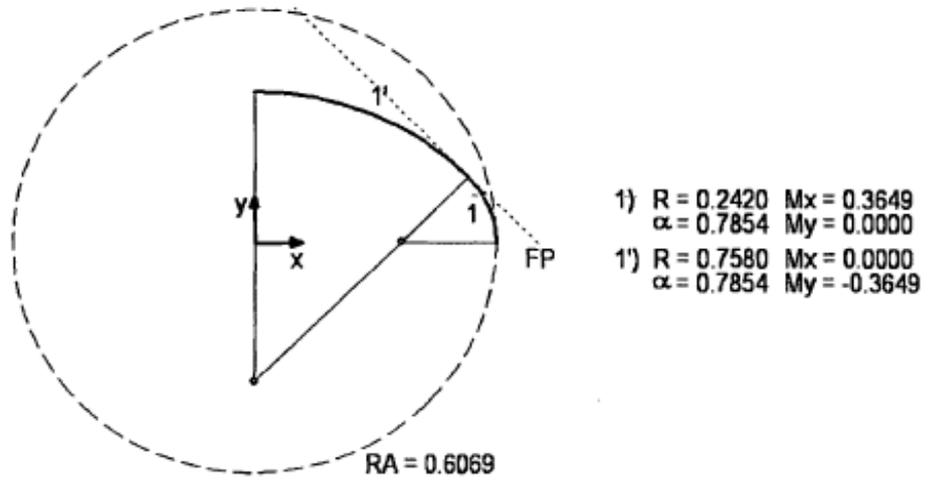


Fig. 18a

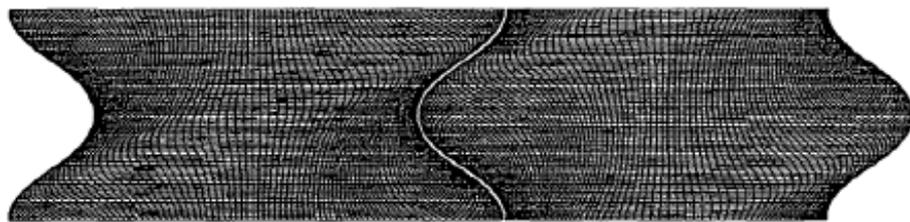


Fig. 18b

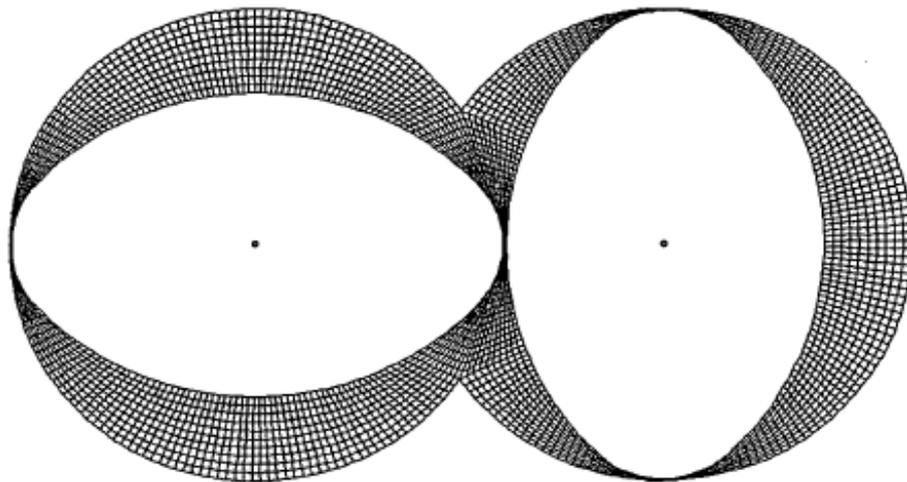


Fig. 18c