

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 922**

51 Int. Cl.:

B29C 47/08 (2006.01)

B29C 47/40 (2006.01)

B29C 47/60 (2006.01)

B29B 7/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2014 PCT/EP2014/062981**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14206865**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2014 E 14733133 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 3013551**

54 Título: **Elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles y procedimiento para su fabricación**

30 Prioridad:

24.06.2013 EP 13173337

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

26.06.2018

73 Titular/es:

**COVESTRO DEUTSCHLAND AG (100.0%)
Kaiser-Wilhelm-Allee 60
51373 Leverkusen, DE**

72 Inventor/es:

KÖNIG, THOMAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 673 922 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

Elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles y procedimiento para su fabricación

La invención se refiere a elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin que giran en el mismo sentido por parejas, al uso de los elementos de tornillo sin fin en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles, al procedimiento para la extrusión de masas plásticas usando estos elementos de tornillo sin fin así como a un procedimiento para generar los elementos de tornillo sin fin.

Las máquinas de dos o, dado el caso, de varios árboles que giran en el mismo sentido, cuyos rotores se rozan con precisión de manera recíproca, ya se conocen desde hace mucho tiempo (véase, por ejemplo, el documento DE 862 668 C). En la producción y el procesamiento de polímeros, las máquinas de tornillo sin fin que se basan en el principio de perfiles que se rozan con precisión han experimentado un aprovechamiento polifacético. Esto se basa sobre todo en que las masas fundidas de polímeros se adhieren a superficies y se degradan con el tiempo bajo temperaturas de procesamiento habituales, lo cual se inhibe por el efecto autolimpiador de los tornillos sin fin que se rozan con precisión. Las reglas para generar perfiles de tornillo sin fin que se rozan con precisión están representadas, por ejemplo, en [1] ([1] = Klemens Kohlgrüber: «Der gleichläufige Doppelschneckenextruder», editorial Hanser, Múnich, 2007, páginas 96 - 109). En este caso, también se describe que un perfil de tornillo sin fin predefinido en el primer árbol de una extrusora de doble husillo determina el perfil de tornillo sin fin en el segundo árbol de la extrusora de doble husillo ([1], página 97). Por eso, el perfil de tornillo sin fin en el primer árbol se denomina el perfil de tornillo sin fin que va a generarse. El perfil de tornillo sin fin en el segundo árbol se deriva del perfil de tornillo sin fin del primer árbol de la extrusora de doble husillo y, por eso, se denomina el perfil de tornillo sin fin generado. En el caso de una extrusora de varios husillos, el perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el perfil de tornillo sin fin generado se utilizan siempre alternativamente en árboles adyacentes. Las extrusoras de doble husillo modernas disponen de un sistema de construcción modular en el que pueden colocarse distintos elementos de tornillo sin fin sobre un núcleo de árbol. Con esto, el experto puede adaptar la extrusora de doble husillo al respectivo objetivo de procedimiento.

En el estado de la técnica se conocen elementos de tornillo sin fin en los cuales aparece un pandeo en el perfil de sección transversal en la cresta del tornillo sin fin y forma una transición abrupta con el flanco de rosca, constando la cresta de un arco de círculo con radio = diámetro exterior del perfil, con el punto de giro del perfil como punto central. Este pandeo en la transición al flanco del perfil forma un borde en el elemento de tornillo sin fin. 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 sustancias sólidas en masas fundidas de polímeros. Por la bibliografía técnica se conoce (véase, por ejemplo, Chang Dae Han: «Multiphase Flow in Polymer Processing», Academic Press, Nueva York, 1981) que una combinación de flujo de cizallamiento y flujo de extensión es óptima para tareas de dispersión difíciles. Una tal forma de flujo está presente en un canal de tornillo sin fin, donde la masa, por una parte, se cizalla por la rotación de los árboles y, por otra parte, se extiende simultáneamente por la convergencia del canal de tornillo sin fin hacia la cresta. No obstante, en el área de la cresta de tornillo sin fin, está presente un flujo de cizallamiento puro que apenas contribuye a la dispersión en el caso de tareas de dispersión difíciles. Por otra parte, en el intersticio entre la cresta de tornillo sin fin y la carcasa o el árbol contiguo se disipa la mayor parte de la energía introducida. Por este motivo, esta área contribuye de manera decisiva al calentamiento de la masa polimérica y, con ello, potencialmente al daño térmico, sin contribuir al objetivo de procedimiento de la dispersión. Son una excepción los discos circulares dispuestos excéntricamente, que, como es sabido, pueden disponerse de manera que rocen con precisión. No presentan ninguna área de cresta con flujo de cizallamiento puro. Se conocen por su excelente efecto de dispersión, pero presentan asimismo una alta introducción de energía, porque generan un intersticio muy estrecho a través de una gran área periférica. Aparte de eso, están limitados a un número de pasos $Z = 1$.

Las solicitudes de patente internacionales WO 2009/152968 A1 y WO 2011/069896 A1, cuyo contenido íntegro está incluido con esto por referencia en la presente solicitud, también describen elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin en el mismo sentido por parejas. Estos elementos de tornillo sin fin se han desarrollado para que presenten perfiles en la sección transversal axial, que pueden representarse por curvas de perfil continuamente diferenciables, para afrontar la problemática anterior. No obstante, con ello aún no se ha logrado un rendimiento óptimo de los elementos de tornillo sin fin en todos los ámbitos de aplicación.

La solicitud de patente europea EP 1093905 A2, que revela, entre otras cosas, extrusoras de doble husillo, se ocupa ya del problema de evitar el calentamiento disipativo del material que va a extrudirse con un alto efecto de mezcla dispersivo y distributivo, pero solo ofrece una solución insuficiente.

La solicitud de patente alemana DE 102008026862 A1 también se ocupa de la mejora del efecto de mezcla dispersivo y distributivo en el caso de extrusoras de varios husillos, pero no se ocupa del problema del calentamiento disipativo del material que va a extrudirse.

Aunque en la solicitud de patente europea EP 0875356 A2 se alude, por una parte, a una mejora del efecto de mezcla dispersivo y distributivo en el caso de extrusoras de varios husillos y, por otra parte, a un procesamiento cuidadoso, no se alude a una mejora del efecto de mezcla dispersivo y distributivo junto con un procesamiento cuidadoso.

La solicitud de patente europea EP 0002131 A1 revela extrusoras de varios husillos con efecto de amasado mejorado en plásticos. Sin embargo, esta solicitud de patente se ocupa de la mejora del efecto de mezcla dispersivo o distributivo, pero no se ocupa del problema del calentamiento disipativo del material que va a extrudirse.

5 La solicitud de patente internacional WO 2001/006516 A1 revela extrusoras de varios husillos con efecto de mezcla dispersivo mejorado. Sin embargo, esta solicitud de patente no se ocupa del problema del calentamiento disipativo del material que va a extrudirse. La solicitud de patente alemana DE102008029303 revela elementos de tornillo sin fin con alto efecto de dispersión y bajo aporte de energía. Por eso, a partir del estado de la técnica, se plantea el objetivo de facilitar máquinas de tornillo sin fin de varios árboles que presenten un efecto de dispersión mejorado en comparación con el estado de la técnica con la menor introducción de energía posible.

10 De acuerdo con la invención, la solución del objetivo se realiza por elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con las características de la reivindicación 1 y por un procedimiento para generar estos elementos de tornillo sin fin con las características de la reivindicación 10. Configuraciones y aplicaciones preferentes de la invención están indicadas en las reivindicaciones secundarias y otras reivindicaciones independientes.

15 Sorprendentemente, se ha descubierto que el objetivo se resuelve por elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin que giran en el mismo sentido por parejas, estando rozados estos elementos de tornillo sin fin con precisión por parejas y presentando árboles de tornillo sin fin compuestos por estos elementos de tornillo sin fin dos o más pasos de rosca helicoidal, y pudiendo representarse el perfil de los elementos de tornillo sin fin por toda la sección transversal por una curva de perfil, que no es continuamente diferenciable, sino que presenta un pandeo en su transcurso, que se encuentra dentro de un radio exterior de la curva de perfil, ascendiendo la relación de un radio de curvatura del perfil de tornillo sin fin respecto al radio exterior del perfil en el punto P_A , que limpia la carcasa, de 0,2 a 0,8, y ascendiendo la relación del radio exterior r_a del elemento de tornillo sin fin a la distancia entre ejes a para elementos de tornillo sin fin de dos pasos entre 0,54 y 0,7, para elementos de tornillo sin fin de tres pasos, entre 0,53 y 0,57, así como para elementos de
20 tornillo sin fin de cuatro pasos, entre 0,515 y 0,535. El pandeo se considera como un punto de la modificación de pendiente abrupta o de la discontinuidad geométrica en la pendiente de la curva de perfil. Aparte de eso, el término «dentro de un radio exterior de la curva de perfil» significa que el pandeo no se encuentra en el radio exterior de la curva de perfil, sino en un punto con un radio que, desde el punto de giro o desde el eje giratorio del respectivo elemento de tornillo sin fin, es menor que el radio exterior de la curva de perfil.

30 En una forma de realización preferente de la invención, la relación del radio de curvatura del perfil de tornillo sin fin respecto al radio exterior del perfil asciende de 0,3 a 0,7, especialmente de 0,35 a 0,65. Esto se aplica especialmente en el punto P_A que limpia la carcasa. En caso de que la curva de perfil esté compuesta por secciones de distintas funciones, el radio de curvatura puede discurrir, dado el caso, discontinuamente, es decir, los valores límite del radio de curva para valores en el caso de aproximación a un punto en una dirección de giro son diferentes
35 que en el caso de la aproximación a un punto en la dirección de giro opuesta. Si una tal transición está precisamente en el radio exterior del perfil, entonces los intervalos preferentes se aplican preferentemente para al menos uno de los dos valores límite.

Por eso, el objeto de la invención son elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin que giran en el mismo sentido por parejas, estando rozados estos elementos de tornillo
40 sin fin con precisión por parejas y presentando árboles de tornillo sin fin compuestos por estos elementos de tornillo sin fin dos o varios pasos de rosca helicoidal, pudiendo representarse el perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el generado por toda la sección transversal respectivamente por una curva de perfil, que presenta al menos un pandeo o una discontinuidad geométrica en la pendiente de la curva de perfil, caracterizada porque presenta al menos un punto de pandeo en su transcurso que se encuentra dentro de un radio exterior de la curva de perfil, ascendiendo la relación de un radio de curvatura del perfil de tornillo sin fin respecto al radio exterior del perfil en el punto P_A , que limpia la carcasa, de 0,2 a 0,8, y ascendiendo la relación del radio exterior r_a del elemento de tornillo sin fin a la distancia entre ejes a para elementos de tornillo sin fin de dos pasos entre 0,54 y 0,7, para elementos de tornillo sin fin de tres pasos, entre 0,53 y 0,57, así como para elementos de tornillo sin fin de cuatro pasos, entre 0,515 y 0,535. Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención siempre deberían tocarse en al menos
45 un punto durante la rotación en el mismo sentido a la misma velocidad de giro alrededor de dos ejes giratorios dispuestos paralelamente entre sí a una distancia a .

A este respecto, la invención no está limitada a elementos de tornillo sin fin del tipo de construcción modular habitual hoy en día de un tornillo sin fin formado por elementos de tornillo sin fin y árboles de núcleo, sino que también puede aplicarse a tornillos sin fin en un tipo de construcción maciza. Por eso, por el término elementos de tornillo sin fin
55 término deben entenderse tornillos sin fin en un tipo de construcción maciza. Aunque el al menos un pandeo forma un borde en el perfil del elemento de tornillo sin fin, no se encuentra en la cresta de tornillo sin fin, sino que está desplazado radialmente hacia dentro, de manera que puede contribuir a la dispersión de la masa polimérica sin contribuir considerablemente a su calentamiento.

60 En una forma de realización preferente de la invención, los perfiles de sección transversal (en lo sucesivo, denominados de manera abreviada perfiles o incluso perfiles de tornillo sin fin) de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se pueden representar por todo su transcurso, a excepción del al menos un pandeo indicado, por una curva continuamente diferenciable. Preferentemente, las secciones de las curvas de perfil continuamente diferenciables se generan por el procedimiento descrito en el documento WO 2011/069896 A1.

Como ya se ha mencionado anteriormente con referencia al perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el generado, puede predefinirse el perfil de sección transversal de un elemento de tornillo sin fin, pudiéndose derivar fácilmente el perfil de sección transversal del otro elemento de tornillo sin fin de este perfil predefinido. En este caso, para simplificar, los perfiles de tornillo sin fin o elementos de tornillo sin fin también se denominan perfiles o elementos correspondientes. A este respecto, el perfil que va a generarse o que va a predefinirse solo tiene que cumplir pocos criterios sencillos de realizar. La derivación o la generación del perfil del elemento de tornillo sin fin correspondiente se realiza de manera sencilla o bien gráficamente o bien aritméticamente. Esto posibilita la construcción de una extraordinaria diversidad de elementos de tornillo sin fin correspondientes. Una curva que describe el perfil de sección transversal de un elemento de tornillo sin fin tiene que cumplir los siguientes criterios para que de la curva se pueda generar un perfil de sección transversal de un elemento de tornillo sin fin correspondiente: la curva tiene que estar cerrada, la curva tiene que ser continua, la curva tiene que ser convexa, la curva tiene que ser continuamente diferenciable por secciones y la curva tiene que presentar en cada punto un radio de curvatura que es menor o igual a la distancia entre ejes a entre los elementos de tornillo sin fin.

En una forma de realización preferente de la invención, el perfil de sección transversal que va a generarse del un elemento de tornillo sin fin se forma en un plano por una curva \vec{p} continua, continuamente diferenciable por secciones, cerrada y convexa, y el otro perfil de sección transversal generado del otro elemento de tornillo sin fin se forma por la curva \vec{q} de acuerdo con la siguiente relación (1):

$$\vec{q} = \vec{p} + a \cdot \vec{n}(\vec{p}) + \vec{a} \quad (1),$$

en la que

- la curva \vec{p} presenta en cada punto un radio de curvatura ρ que es menor o igual a la distancia entre ejes a de los elementos de tornillo sin fin,
- para cada punto de la curva \vec{p} dentro de una sección continuamente diferenciable existe un vector normal normalizado $\vec{n}(\vec{p})$ con la longitud 1 que en el respectivo punto está perpendicular a la tangente respecto a la curva \vec{p} y señala en la dirección del punto central del círculo osculador que pertenece al respectivo punto de la curva \vec{p} ,
- \vec{a} es un vector que guía en la dirección del punto de giro del perfil que va a generarse respecto al punto de giro del perfil generado en el plano de sección transversal y tiene la longitud a .

En este contexto, la curva \vec{p} puede describirse por secciones por una única función matemática. Como ejemplos deben mencionarse funciones conocidas para el experto como funciones circulares o funciones elípticas, funciones parabólicas o funciones hiperbólicas. Por ejemplo, también es posible representar funciones en la forma:

$$\vec{p} = (r_0 - f(s)) \cdot \begin{pmatrix} \cos(s) \\ \sin(s) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$$

mediante lo cual, dependiendo del diseño de la función $f(s)$, en el caso de la realización de elementos de tornillo sin fin entre una carcasa con un radio r_0 y el elemento de tornillo sin fin que rota, se produce un intersticio de diseño libremente seleccionable. La función $f(s)$ puede ser, por ejemplo, una función lineal o función cuadrática de s , una función hiperbólica o una función exponencial.

Además, están mencionadas funciones cuyos valores se determinan por puntos de control como, por ejemplo, funciones B-spline, funciones de Bézier, funciones de Bézier racionales así como B-splines racionales no uniformes (NURBS, por sus siglas en inglés). Resultan preferentes las funciones de Bézier, las funciones de Bézier racionales y las NURBS, porque se utilizan frecuentemente en la construcción con sistemas de CAD (CAD = Computer Aided Design, diseño asistido por ordenador) y sirven sobre todo para definir formas arbitrarias en forma geoméricamente gráfica por desplazamiento de puntos de control. Resultan especialmente preferentes formas de Bézier cuadradas y cúbicas (es decir, con $n = 2$ y $n = 3$) y funciones de Bézier racionales cúbicas.

En este caso, como ejemplos deberían mencionarse funciones de Bézier. Como es sabido, las funciones de Bézier tienen la forma

$$\vec{C}(t) = \sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) \vec{P}_i$$

siendo \vec{P}_i las coordenadas de los puntos de control y $B_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$ un polinomio de Bernstein.

Las funciones de Bézier racionales de grado n , que se describen, por ejemplo, en M. S. Floater: «Derivatives of Rational Bezier Curves», Comp. Aid. Geom. Design 9, 1992, 161-174, tienen, como es sabido, la forma

$$\vec{P}(t) = \frac{\sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) w_i \vec{P}_i}{\sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) \vec{P}_i}$$

representando \vec{P}_i las coordenadas de los puntos de control de la función y representando w_i su ponderación.

Del mismo modo, la curva \vec{q} puede describirse por secciones por distintas funciones matemáticas, correspondiendo las funciones por secciones preferentemente a las funciones mencionadas en el párrafo anterior. Un caso especial de la descripción por secciones por funciones matemáticas representa la descripción por arcos de círculo. Es decir, es posible describir una parte o toda la curva \vec{q} (y, con ello, una parte o el perfil de sección transversal que va a generarse del un elemento de tornillo sin fin) por arcos de círculo. De la relación (1) anterior, a saber, $\vec{q} = \vec{p} + a \cdot \vec{n}(\vec{p}) + \vec{a}$, se deduce que en este caso la curva \vec{q} y, con ello, el perfil de sección transversal generado del otro elemento de tornillo sin fin también está compuesto por arcos de círculo.

La curva \vec{q} tiene que ser continuamente diferenciable al menos por secciones. Por lo tanto, en los límites de sección de una curva \vec{q} definida por secciones, las secciones individuales no tienen que transformarse una en otra de manera continuamente diferenciable. Si dos secciones de curva se encuentran entre sí en un punto de pandeo, entonces no está definido ningún vector de tangente ni ningún vector normal para el punto de pandeo o el lugar de pandeo. Correspondientemente, la sección correspondiente de la curva \vec{q} del otro elemento de tornillo sin fin no se deduce directamente de la relación (1) anterior para el lugar de pandeo del perfil del un elemento de tornillo sin fin. A cada pandeo en el perfil de sección transversal del un elemento de tornillo sin fin corresponde un arco de círculo en el perfil del otro elemento de tornillo sin fin. El tamaño del un arco de círculo está dado por la indicación de su ángulo central y su radio. En lo sucesivo, el ángulo central de un arco de círculo se denomina de manera abreviada el ángulo de un arco de círculo. La posición de un arco de círculo está dada por la posición de su punto central y por la posición de sus dos puntos finales. Un arco de círculo correspondiente a un pandeo en el perfil de sección transversal del un elemento de tornillo sin fin en el perfil de sección transversal del otro elemento de tornillo sin fin tiene siempre un radio cuyo tamaño se corresponde con la distancia entre ejes a . Aparte de eso, un arco de círculo correspondiente a un pandeo tiene siempre un ángulo que se corresponde con aquel ángulo en el que las tangentes en las secciones de curva se encuentran en el punto de pandeo. A la inversa, se aplica correspondientemente que una sección de perfil correspondiente de la curva \vec{q} es un «pandeo» si una sección de perfil de la curva \vec{p} es un arco de círculo con el radio a .

En este sentido, resulta ventajoso describir un pandeo por un arco de círculo cuyo radio es igual a 0. En un pandeo, se realiza una transición de una primera sección de curva a una segunda sección de curva por el giro alrededor del ángulo del arco de círculo con radio cero. Una tangente en la primera sección de curva en el punto central del arco de círculo con el radio cero intersecta una tangente en la segunda sección de curva asimismo en el punto central del arco de círculo en un ángulo que se corresponde con el ángulo del arco de círculo. Teniendo en cuenta el arco de círculo, todas las secciones de curva adyacentes (primera sección de curva → arco de círculo con radio cero → segunda sección de curva) se transforman tangencialmente una en otra. De manera conveniente, un arco de círculo con un radio cero se trata como un arco de círculo cuyo radio es igual a ϵ , siendo ϵ un número real positivo muy pequeño que tiende a 0 ($\epsilon \ll 1$, $\epsilon \rightarrow 0$). Por el perfil de sección transversal correspondiente se produce un arco de círculo con el mismo ángulo y un radio = distancia entre ejes. Esta circunstancia se aclara en el documento WO2011/069896 A1 (documento WO2011/069896 A1, página 8, líneas 5 - 11).

Por eso, en formas de realización de la invención, también se pueden describir los perfiles de los elementos de tornillo sin fin exclusivamente por una disposición de arcos de círculo. El perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el generado de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se compone en su totalidad de n arcos de círculo, siendo n mayor o igual a cuatro. Cada uno de los n arcos de círculo posee un punto inicial y un punto final. Algunos de los arcos de círculo pueden transformarse tangencialmente uno en otro en sus puntos iniciales y finales, de manera que forman parcialmente una curva de perfil continuamente diferenciable. Sin embargo, en el punto del pandeo o de la modificación de pendiente abrupta o de la discontinuidad geométrica en la pendiente de la curva de perfil, los respectivos arcos de círculo no se transforman tangencialmente uno en otro sino que se encuentran entre sí en un ángulo, preferentemente en un ángulo de 90° a 180°, más preferentemente entre 120° y 180°, y aún más preferentemente entre 140° y 180°.

La posición de cada uno de los arcos de círculo j ($j = 1$ a n) puede establecerse inequívocamente por la indicación de dos puntos distintos. De manera conveniente, la posición de un arco de círculo se establece por la indicación del punto central y/o del punto inicial o final. El tamaño de un arco de círculo j individual está establecido por el radio r_j y el ángulo α_j alrededor del punto central 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 siendo el ángulo α_j en la medida de arco mayor o igual a 0 y menor o igual a 2π , siendo π el número pi.

En una forma de realización preferente de la invención, los elementos de tornillo sin fin están caracterizados porque

- el perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el generado se encuentran en un plano,

- el eje giratorio del perfil de tornillo sin fin que va a generarse y el eje giratorio del perfil de tornillo sin fin generado están a una distancia a (distancia entre ejes) respectivamente perpendicular al plano indicado de los perfiles de tornillo sin fin, denominándose el punto de intersección del eje giratorio del perfil de tornillo sin fin que va a generarse con el plano indicado punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse y denominándose el punto de intersección del eje giratorio del perfil de tornillo sin fin generado con el plano indicado punto de giro del perfil de tornillo sin fin generado,
- el número de arcos de círculo de todo el perfil de tornillo sin fin que va a generarse n es mayor o igual a cuatro ($n \geq 4$),
- el radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es mayor que cero ($r_a > 0$) y menor que la distancia entre ejes a ($r_a < a$),
- el radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es mayor que cero ($r_i > 0$) y menor o igual al radio exterior r_a ($r_i \leq r_a$),
- los arcos de círculo forman un perfil de tornillo sin fin cerrado, es decir, la suma de los ángulos α_j de todos los arcos de círculo j es igual a 2π , siendo π el número pi ($\pi \approx 3,14159$),
- los arcos de círculo forman un perfil de tornillo sin fin convexo,
- cada uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse se encuentra dentro de o en los límites de una corona circular con el radio exterior r_a y el radio del núcleo r_i , cuyo punto central se encuentra en el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse,
- al menos uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse toca el radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin que va a generarse en un punto P_A ,
- al menos uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse toca el radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse en un punto P_i ,
- el número de los arcos de círculo n' del perfil de tornillo sin fin generado es igual al número de los arcos de círculo n del perfil de tornillo sin fin que va a generarse,
- el radio exterior r_a' del perfil de tornillo sin fin generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse ($r_a' = a - r_i$),
- el radio del núcleo r_i' del perfil de tornillo sin fin generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes y el radio exterior del perfil de tornillo sin fin que va a generarse ($r_i' = a - r_a$),
- el ángulo α_j' del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado es igual al ángulo α_j del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
- la suma del radio r_j' del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado y del radio r_j del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es igual a la distancia entre ejes a , siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
- el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado posee una distancia desde el punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse que es igual a la distancia entre ejes a , y el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado posee una distancia desde el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse que es igual a la distancia del punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse desde el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, y la línea de unión entre el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado y el punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es una paralela respecto a una línea de unión entre el punto de giro del perfil de tornillo sin fin generado y el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
- un punto inicial del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado se encuentra en una dirección con respecto al punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado que es opuesta a aquella dirección que posee un punto inicial del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse con respecto al punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' .

En una forma de realización preferente de la invención, los perfiles de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención están caracterizados porque pueden construirse con regla de escuadra y compás. Una transición tangencial entre el arco de círculo j -ésimo y el $(j+1)$ -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse puede construirse al trazar alrededor del punto final del arco de círculo j -ésimo un círculo con el radio r_{j+1} , y el punto de intersección situado más próximo al punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse de este círculo con la recta que está definida por el punto central y el punto final del arco de círculo j -ésimo es el punto central del arco de círculo $(j+1)$ -ésimo. De manera práctica, en lugar de la regla de escuadra y el compás, se usa un programa informático para la construcción de los perfiles de tornillo sin fin.

Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden ser simétricos o asimétricos; preferentemente, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención son simétricos. Los elementos de tornillo sin fin simétricos pueden ser axialmente simétricos o de simetría puntual; preferentemente, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención son axialmente simétricos. Preferentemente, los elementos de tornillo sin fin tienen en cada caso dos puntos de la discontinuidad en el transcurso de curva de perfil dentro de un radio exterior de la curva de perfil, por ejemplo, desplazados uno de otro en un ángulo de 180° o π en la medida de arco alrededor de la curva de perfil. Preferentemente, cada uno de estos puntos se encuentra en un lado de salida de rosca de una cresta de la curva de perfil.

En una forma de realización preferente de la invención, el número de pasos Z de tales elementos de tornillo sin fin axialmente simétricos de acuerdo con la invención asciende en el intervalo de 2 a 8, más preferentemente de 2 a 4. La curva de perfil de la sección transversal de elementos de tornillo sin fin simétricos de acuerdo con la invención se puede subdividir con ello en secciones de perfil que pueden transformarse una en otra por reflexión puntual o axial en los centros o ejes de simetría del perfil. El número de los arcos de círculo n que forman una de las secciones de perfil se encuentra preferentemente en el intervalo de 2 a 8, más preferentemente en el intervalo del 3 a 6.

Preferentemente, la curva de perfil de la sección transversal de elementos de tornillo sin fin axialmente simétricos de acuerdo con la invención se puede subdividir en $2 \cdot Z$ secciones de perfil que pueden transformarse una en otra por reflexión axial en los ejes de simetría del perfil. A causa de su simetría, el perfil de un elemento de tornillo sin fin con simetría axial con un número de pasos Z se puede definir así completamente por una sección de perfil en un fragmento de $360^\circ / (2 \cdot Z)$ que se encuentra entre dos ejes de simetría del perfil. El perfil restante se produce por la reflexión de la sección de perfil en los ejes de simetría Z que se intersectan en el punto de giro y subdividen el ángulo de 360° alrededor del punto de giro en ángulos $2 \cdot Z$ de tamaño $360^\circ / 2 \cdot Z$. Aparte de eso, en el caso de elementos de tornillo sin fin con simetría axial, los perfiles de tornillo sin fin correspondientes sobre árboles adyacentes (perfil que va a generarse y generado) son iguales o se pueden hacer coincidir por rotación. Lo mismo se aplica para perfiles de tornillo sin fin con simetría puntual, en la que las partes simétricas se pueden transformar una en otra respectivamente entre sí por reflexión puntual en el centro de simetría.

En una forma de realización preferente de la invención, la sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin con simetría axial de acuerdo con 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 del núcleo del perfil, está compuesta por arcos de círculo. Los arcos de círculo se transforman uno en otro y forman por la mayor parte de la sección de perfil una curva continuamente diferenciable, pero la sección de perfil comprende al menos un punto en el que los arcos de círculo no se transforman tangencialmente uno en otro sino que forman un pandeo o se encuentran en un ángulo entre 90° y 180° . En una forma de realización especialmente preferente, una sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de acuerdo con la invención entre los puntos P_A y P_i se compone de precisamente tres arcos de círculo. Con tres arcos de círculo, el perfil en el área del punto P_A , que limpia la pared de cilindro, puede diseñarse más delgado por la elección de un radio pequeño, mediante lo cual se sigue reduciendo la disipación de energía.

En otra forma de realización de la invención, un perfil de tornillo sin fin con simetría puntual con números de pasos Z puede dividirse en Z partes simétricas, pudiendo transformarse una en otra las partes simétricas por reflexión puntual en el centro de simetría o en el punto de giro del perfil. En el caso de elementos de tornillo sin fin con simetría puntual, los perfiles de tornillo sin fin correspondientes sobre árboles adyacentes (perfil que va a generarse y generado) son iguales o se pueden hacer coincidir por rotación.

En una forma de realización preferente de la invención, la sección de perfil de un elemento de tornillo sin fin de acuerdo con la invención está caracterizada porque se compone de varios arcos de círculo que se transforman tangencialmente uno en otro y forman una curva continuamente diferenciable entre dos puntos en los que los respectivos arcos de círculo no se transforman tangencialmente en la sección de perfil adyacente, sino que se encuentran en un ángulo, preferentemente en un ángulo de 90° a 180° , más preferentemente en un ángulo entre aproximadamente 120° y 180° , y aún más preferentemente en un ángulo entre aproximadamente 140° y 180° . En otras palabras, los puntos finales de cada sección de perfil en esta forma de realización forman los puntos de pandeo en la curva de perfil.

Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden estar conformados como elementos de transporte o elementos de amasado o elementos de mezcla.

Como es sabido, un elemento de transporte se caracteriza (véase, por ejemplo, [1], páginas 234 - 237) porque el perfil de tornillo sin fin se torsiona en dirección axial continuamente en forma helicoidal y se prolonga. A este respecto, el elemento de transporte puede ser de paso derecho o izquierdo. La pendiente t del elemento de transporte puede adoptar, por ejemplo, valores de 0,1 veces a 10 veces el diámetro exterior, entendiéndose por la pendiente la longitud axial que es necesaria para un giro completo del perfil de tornillo sin fin. Preferentemente, la

pendiente 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 razones prácticas preferentemente en múltiplos de números enteros de t/Z .

5 Como es sabido, un elemento de amasado se caracteriza (véase, por ejemplo, [1], páginas 237 - 240) porque el perfil de tornillo sin fin se continúa en dirección axial de manera intermitente en forma de discos de amasado. La disposición de los discos de amasado puede realizarse de paso derecho o izquierdo o de modo neutro. 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 adyacentes se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,001 veces a 0,1 veces el diámetro exterior.

10 Como es sabido, los elementos de mezcla se forman (véase, por ejemplo, [1], páginas 242-244) porque se realizan elementos de transporte con aberturas en las crestas de tornillo sin fin. Los elementos de mezcla pueden ser de paso derecho o izquierdo. Su pendiente 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 a partir de un elemento con actividad de transporte, entonces las ranuras se disponen preferentemente en contra del transporte o paralelamente al eje.

Además, el objeto de la presente invención es un procedimiento para generar los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, siempre se tocan en al menos un punto durante la rotación en el mismo sentido a la misma velocidad de giro alrededor de dos ejes giratorios dispuestos paralelamente entre sí a una distancia a .

20 En una forma de realización preferente del procedimiento, el perfil de sección transversal (que va a generarse) del otro elemento de tornillo sin fin se forma, en un plano E perpendicular a los ejes giratorios, por una curva \vec{p} continua, continuamente diferenciable por secciones, cerrada y convexa, y el otro perfil de sección transversal (generado) del otro elemento de tornillo sin fin se forma por la curva \vec{q} de acuerdo con la siguiente relación (1): $\vec{q} = p + a \cdot \vec{n}(\vec{p}) + \vec{a}$ (1), en la que

- 25 - la curva \vec{p} presenta en cada punto un radio de curvatura p que es menor o igual a la distancia entre ejes a de los elementos de tornillo sin fin,
- para cada punto de la curva \vec{p} dentro de una sección continuamente diferenciable existe un vector normal normalizado $\vec{n}(\vec{p})$ con la longitud 1 que en el respectivo punto está perpendicular a la tangente respecto a la curva \vec{p} y señala en la dirección del punto central del círculo osculador que pertenece al respectivo punto de la curva \vec{p} ,
- 30 - \vec{a} es un vector que guía en la dirección del punto de intersección del eje giratorio del perfil que va a generarse con el plano E respecto al punto de intersección del eje giratorio del perfil generado con el plano E y posee la longitud a .

La generación de los respectivos perfiles según la fórmula anterior puede representarse mediante un punto en una curva \vec{p} . Las curvas de perfil \vec{p}, \vec{q} se generan en un plano perpendicularmente a los ejes giratorios de los elementos de tornillo sin fin. Los ejes giratorios están a una distancia a uno de otro. El vector \vec{a} tiene la longitud a y señala en la dirección de un eje giratorio respecto al otro. De cada punto de la curva de perfil \vec{p} del un perfil (que va a generarse), se puede generar un punto en la curva \vec{q} correspondiente del otro perfil (generado). El punto en la curva \vec{q} correspondiente se produce al colocar en el punto de la curva \vec{p} una tangente $\vec{t}(\vec{p})$ en la curva, formarse vectores normales $\vec{n}(\vec{p})$ normalizados respecto a esta tangente y prologarlos por el factor a {así, $a \cdot \vec{n}(\vec{p})$ } y finalmente añadirse a este vector $a \cdot \vec{n}(\vec{p})$ el vector \vec{a} .

45 Como ya se ha explicado anteriormente, en una formas de realización preferente de la invención, los elementos de tornillo sin fin se caracterizan por un perfil que se compone de arcos de círculo para formar una curva que presenta al menos un punto de pandeo o un punto de discontinuidad de la pendiente en su transcurso, encontrándose este al menos un punto dentro de un radio exterior de la curva de perfil. Preferentemente, el procedimiento de acuerdo con la invención para generar elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin en el mismo sentido por parejas y que rozan con precisión por parejas con una distancia entre ejes a con dos o más pasos de rosca helicoidal presentan, por este motivo, perfiles de tornillo sin fin que se forman en toda la sección transversal por n arcos de círculo, siendo n un número entero mayor o igual a 4.

50 El procedimiento de acuerdo con la invención para generar perfiles de tornillo sin fin de acuerdo con la invención está caracterizado preferentemente porque

- se elige un radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin que va a generarse mayor que 0 ($r_a > 0$) y menor que la distancia entre ejes a ($r_a < a$),
- se elige un radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse mayor que 0 ($r_i > 0$) y menor o igual al radio exterior r_a ($r_i \leq r_a$),

- los arcos de círculo se disponen uno detrás de otro por la fijación de su posición y tamaño de manera que los arcos de círculo forman un perfil de tornillo sin fin cerrado y convexo, encontrándose cada uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse dentro de o en los límites de una corona circular con el radio exterior r_a y el radio del núcleo r_i , cuyos puntos centrales se encuentran en el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, al menos uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse toca el radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin que va a generarse en un punto P_A y al menos uno de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse toca el radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse en un punto P_1 ,
- los n' arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin generado se deducen de los n arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse porque
 - el número de los arcos de círculo n' del perfil de tornillo sin fin generado es igual al número de los arcos de círculo n del perfil de tornillo sin fin que va a generarse,
 - el radio exterior r_a' del perfil de tornillo sin fin generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes a y el radio del núcleo r_i del perfil de tornillo sin fin que va a generarse ($r_a' = a - r_i$),
 - el radio del núcleo r_i' del perfil de tornillo sin fin generado es igual a la diferencia entre la distancia entre ejes a y el radio exterior r_a del perfil de tornillo sin fin que va a generarse ($r_i' = a - r_a$),
 - el ángulo α_j' del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado es igual al ángulo α_j del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
 - la suma del radio r_j' del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado y del radio r_j del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es igual a la distancia entre ejes a , siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
 - el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado posee una distancia desde el punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse que es igual a la distancia entre ejes a , y el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado posee una distancia desde el punto de giro C' del perfil de tornillo sin fin que va a generarse que es igual a la distancia del punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse desde el punto de giro C del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, y la línea de unión entre el punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado y el punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse es una paralela respecto a una línea de unión entre el punto de giro del perfil de tornillo sin fin generado y el punto de giro del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' ,
 - un punto inicial del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado se encuentra en una dirección con respecto al punto central del arco de círculo j' -ésimo del perfil de tornillo sin fin generado que es opuesta a aquella dirección que posee un punto inicial del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse con respecto al punto central del arco de círculo j -ésimo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse, siendo j y j' números enteros, pasando conjuntamente por todos los valores en el intervalo de 1 al número de los arcos de círculo n o n' .

El procedimiento de acuerdo con la invención, en la variante preferente en la que el perfil de tornillo sin fin está compuesto por arcos de círculo, se puede realizar sorprendentemente solo con regla de escuadra y compás sobre papel. Con ello, en principio, es incluso posible generar el perfil de sección transversal de un elemento de tornillo sin fin solo a mano y derivar gráficamente el perfil de sección transversal del elemento de tornillo sin fin correspondiente del perfil predefinido gráficamente.

Sin embargo, se recomienda llevar a cabo el procedimiento para generar perfiles de tornillo sin fin en un ordenador. Resulta ventajosa la realización del procedimiento de acuerdo con la invención en un sistema informático, puesto que las coordenadas y dimensiones de los perfiles están presentes en una forma que puede seguir procesándose por un ordenador. Aparte de eso, las dimensiones de los elementos de tornillo sin fin también están presentes entonces en una forma en la que pueden suministrarse a una fresadora CAD para generar los elementos de tornillo sin fin.

Por eso, el objeto de la presente invención también es un sistema informático para realizar el procedimiento de acuerdo con la invención para generar perfiles de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en un ordenador. Preferentemente, el sistema informático presenta una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés), que permite a un usuario insertar de manera sencilla los tamaños libremente seleccionables para generar perfiles a través de periféricos de entrada como, por ejemplo, ratón y/o teclado. De manera especialmente preferente, el sistema informático presenta una posibilidad de indicar contornos de perfiles con ayuda de puntos de control y, dado el caso, ponderaciones en el caso de funciones cuyos valores se definen por puntos de control, funciones cuyos valores se determinan por puntos de control como, por ejemplo, funciones B-spline, funciones de Bézier, funciones de Bézier racionales así como B-splines racionales no uniformes (NURBS), pudiendo realizarse esto en forma de números (coordenadas), gráficamente o con una combinación de entrada gráfica y numérica. Además, el sistema informático presenta preferentemente una salida gráfica mediante la cual los perfiles calculados pueden visualizarse

en un periférico de salida gráfico como, por ejemplo, pantalla y/o impresora.

Preferentemente, el sistema informático presenta la posibilidad de exportar perfiles calculados, es decir, en forma de registros de datos almacenables, que comprenden las medidas geométricas de los elementos de tornillo sin fin calculados, o bien almacenarlos en un soporte de datos o bien transmitirlos a un aparato conectado para otras finalidades de uso. El sistema informático está diseñado preferentemente de manera que puede calcular tanto perfiles de sección transversal como elementos de tornillo sin fin generados de los perfiles de sección transversal y puede emitir las geometrías calculadas en un formato que puede usarse por una máquina para producir tales cuerpos, por ejemplo, una máquina-herramienta, por ejemplo, una fresadora, para producir elementos de tornillo sin fin reales. El experto conoce tales formatos.

5 Aparte de eso, el objeto de la presente invención es un producto de programa informático con medios de código de programa para realizar el procedimiento de acuerdo con la invención para generar perfiles de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en un ordenador.

En una forma de realización preferente de la invención, está a disposición de un usuario del producto de programa informático una interfaz gráfica de usuario con cuya ayuda puede insertar los parámetros que van a elegirse (número de los arcos de círculo del perfil de tornillo sin fin que va a generarse y del generado, radios, ángulos). A este respecto, obtiene preferentemente apoyo del sistema informático, que indica al usuario cuándo, por la elección de los valores de parámetro, se producen perfiles de tornillo sin fin que no rozan con precisión por parejas. Preferentemente, este se apoya en la entrada de los valores de parámetro en la manera que se indican intervalos de valores de parámetros permitidos. Por valores de parámetros permitidos se entienden aquellas combinaciones de valores de parámetros que guían perfiles de tornillos sin fin que rozan con precisión por parejas.

En una forma de realización preferente de la invención, se construyen virtualmente en el ordenador no solo los perfiles sino todos los elementos de tornillo sin fin. El resultado de la construcción se emite preferentemente en forma de dibujos de construcción en una pantalla o en una impresora. De igual modo, es concebible emitir el resultado como fichero electrónico que, en una forma de realización preferente, puede transmitirse a una fresadora CAD para generar los elementos de tornillo sin fin correspondientes.

Después de que se hayan generado los perfiles tridimensionales de la manera descrita, los elementos de tornillo sin fin pueden generarse, por ejemplo, con una fresadora, un torno o una bobinadora. Materiales preferentes para generar tales cuerpos son aceros, especialmente aceros nitrurados, aceros al cromo, aceros para herramientas y aceros inoxidable, materiales compuestos metálicos producidos por pulvimetalurgia a base de hierro, níquel o cobalto, así como materiales de ingeniería cerámica como, por ejemplo, óxido de circonio o carburo de silicio, en caso de que los cuerpos sean husillos de extrusora.

El procedimiento de acuerdo con la invención para generar perfiles de tornillo sin fin de acuerdo con la invención permite diseñar el perfil de un tornillo sin fin desde el principio de manera que sea óptimamente adecuado para un objetivo predefinido. Los elementos de tornillo sin fin conocidos según el estado de la técnica no están diseñados óptimamente en su mayor parte para un objetivo concreto. Más bien, los fabricantes proveen elementos de tornillo sin fin (elementos de transporte, de amasado y de mezcla) a partir de un sistema de construcción modular fijo independientemente de un objetivo concreto. Por el procedimiento de acuerdo con la invención para generar perfiles de tornillo sin fin de acuerdo con la invención es posible diseñar de manera casi completamente libre el perfil de elementos de tornillo sin fin autolimpiadores y, por lo tanto, optimizar en relación a una aplicación por la mínima variación de parámetros para la respectiva aplicación. En este contexto, cabe señalar que el número de los arcos de círculo para generar perfiles de tornillo sin fin no está limitado. Con ello, es posible aproximar perfiles de tornillo sin fin que no están constituidos por arcos de círculo y, con ello, no son autolimpiadores, con una precisión deseada por un número suficientemente alto de arcos de círculo. A este respecto, naturalmente, el perfil aproximado mediante arcos de círculo es autolimpiador.

También cabe señalar que a partir de un perfil de tornillo sin fin (que va a generarse o generado) se puede calcular el perfil de sección longitudinal correspondiente. Preferentemente, cada arco de círculo de un perfil de tornillo sin fin se aprovecha para calcular una parte, perteneciente a este arco de círculo, de la sección longitudinal mediante una función explícita. Para calcular la distancia s de un punto de un arco de círculo de un perfil de tornillo sin fin, en una primera etapa el punto de intersección (S_x, S_y) de una recta g se caracteriza porque dicha recta se encuentra en el plano del perfil de tornillo sin fin, va a través del punto de giro del perfil de tornillo sin fin y la orientación de la recta se da por el ángulo φ , determinado con un arco de círculo k_b , caracterizado por su radio r y la posición de su punto central (M_x, M_y) . En una segunda etapa, se calcula la distancia del punto de intersección (S_x, S_y) desde el punto de giro del perfil de tornillo sin fin. El cálculo de un punto de intersección de una recta con un arco de círculo se puede representar por una función explícita. Lo mismo se aplica para el cálculo de la distancia. Por eso, para la distancia se aplica $s = s(\varphi, r, M_x, M_y)$. El ángulo φ se puede convertir con la inclinación t conocida de un elemento de tornillo sin fin a través de $\varphi/2\pi*t$ en una posición axial z_{ax} , de manera que para la distancia se aplica $s = s(z_{ax}, r, M_x, M_y) = s(\varphi/2\pi*t, r, M_x, M_y)$. La función $s(z_{ax}, r, M_x, M_y)$ describe la sección longitudinal buscado para un arco de círculo del perfil de tornillo sin fin.

Aparte de eso, el objeto de la presente invención es el uso de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles. Preferentemente, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se utilizan en máquinas de tornillo sin fin de doble husillo. Los elementos de tornillo sin fin pueden estar presentes en las máquinas de tornillo sin fin de varios árboles en forma de elementos de amasado, de transporte o de mezcla. Del mismo modo, es posible combinar entre sí elementos de amasado, de transporte y de mezcla en una máquina de tornillo sin fin. Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención también pueden combinarse con otros elementos de tornillo sin fin que se conocen, por ejemplo, según el estado de la técnica.

En máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin en el mismo sentido por parejas y que rozan con precisión por parejas, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención forman un canal que corre por todo su perímetro. A este respecto, el canal presenta una anchura de canal alternativamente creciente y decreciente. En este caso, un tal canal se denomina canal convergente-divergente. En un tal canal convergente-divergente, se presenta durante el funcionamiento por toda su longitud una combinación de flujo de cizallamiento y flujo de extensión que tiene un efecto de dispersión muy bueno. La introducción de energía está reducida en comparación con elementos de tornillo sin fin conocidos y convencionales según el estado de la técnica. Los discos circulares dispuestos excéntricamente forman asimismo un canal convergente-divergente. Sin embargo, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención presentan una área periférica más pequeña, en la que está presente un intersticio muy estrecho, que los discos circulares dispuestos excéntricamente. Por eso, la introducción de energía durante el uso de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles está reducida en comparación con el uso de discos circulares dispuestos excéntricamente. Preferentemente, los perfiles de los elementos de tornillo sin fin están desplazados por parejas relativamente al punto de giro situado céntricamente en la perforación de carcasa.

Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención son apropiados para la extrusión de masas plásticas y viscoelásticas, por ejemplo, suspensiones, pastas, vidrio, masas cerámicas, metales en forma de una masa fundida, plásticos, masas fundidas plásticas, soluciones poliméricas, masas elastoméricas y masas de caucho.

Por una masa plástica se entiende una masa deformable. Ejemplos de masas plásticas son masas fundidas de polímeros, sobre todo de termoplásticos, así como elastómeros, mezclas de masas fundidas de polímeros o dispersiones de masas fundidas de polímeros con sustancias sólidas, líquidos o gases.

Preferentemente, se utilizan polímeros termoplásticos o mezclas de polímeros de la siguiente serie: policarbonato, poliamida, poliésteres, especialmente tereftalato de polibutileno y tereftalato de polietileno, así como poliéteres, poliuretano termoplástico, poliacetil, fluoropolímeros, especialmente fluoruro de polivinilideno, así como sulfonas de poliéter, poliolefina, especialmente polietileno y polipropileno, así como poliimida, poliacrilato, especialmente poli(metil)metacrilato, así como óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, polietercetona, poliariletercetona, polímeros de estireno, especialmente poliestireno y copolímeros de estireno, especialmente copolímeros de estireno-acrilonitrilo y copolímeros en bloque de acrilonitrilo-butadieno-estireno así como cloruro de polivinilo. Del mismo modo, se utilizan así las denominadas combinaciones (*blends*) de los plásticos enumerados, entre las cuales el experto entiende una combinación de dos o varios plásticos.

Por masas viscoelásticas se entienden aquellos materiales y mezclas que presentan una elasticidad que depende del tiempo, de la temperatura y de la frecuencia. La viscoelasticidad está caracterizada por un comportamiento parcialmente elástico y parcialmente viscoso. El material se relaja solo de manera incompleta tras la eliminación de la fuerza externa; la energía restante se disipa en forma de procesos de flujo (retardación).

Ejemplos de materiales viscoelásticos son 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-polietileno. Naturalmente, también es posible una combinación de dos o varios de los cauchos enumerados, o una combinación de uno o varios cauchos con uno o varios plásticos.

Los polímeros plásticos o viscoelásticos que van a extrudirse pueden utilizarse en forma pura o como mezclas con cargas y sustancias de refuerzo, como en especial fibras de vidrio, como especialmente fibras de vidrio, como mezclas entre sí o con otros polímeros o como mezclas con aditivos de polímeros habituales.

Los aditivos pueden añadirse en la extrusora como sustancias sólidas, líquidos o soluciones junto con el polímero o, por el contrario, se suministra al menos una parte de los aditivos o todos los aditivos a la extrusora a través de una corriente lateral.

Los aditivos pueden otorgar múltiples propiedades a un polímero. Estos pueden ser, por ejemplo, plastificantes, colorantes, pigmentos, agentes auxiliares de procesamiento, cargas, antioxidantes, sustancias de refuerzo, absorbentes de UV y estabilizadores de la luz, aceites diluyentes, desactivadores de metales, captadores de peróxido, estabilizadores básicos, agentes de nucleación, benzofuranos e indolinonas eficaces como estabilizadores

o antioxidantes, agentes de desmoldeo, aditivos ignífugos, agentes antiestáticos, colorantes y estabilizadores de masas fundidas. Ejemplos de cargas y sustancias de refuerzo son negro de humo, fibra de vidrio, arcilla, biotita, fibra de grafito, dióxido de titanio, fibras de carbono, nanotubos de carbono, líquidos iónicos y fibras naturales.

5 Como se ha expuesto anteriormente, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención son apropiados especialmente para la extrusión de masas viscoelásticas. Las etapas de procedimiento que pueden llevarse a cabo con ayuda de estos elementos son, por ejemplo, la mezcla o dispersión de sustancias sólidas o líquidos o gases. Las sustancias sólidas pueden ser, por ejemplo, los aditivos sólidos anteriormente mencionados. Los líquidos pueden ser, por ejemplo, los aditivos anteriormente mencionados en forma líquida, pero también, por ejemplo, agua. Los gases pueden ser, por ejemplo, nitrógeno o dióxido de carbono. Por eso, el objeto de la presente invención es además un procedimiento para la extrusión de masas viscoelásticas en una extrusora de doble husillo o de varios husillos usando elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención.

A continuación, se explica de manera ejemplar la invención con referencia a los dibujos adjuntos mediante ejemplos de realización preferentes, pudiendo representar las características representadas a continuación un aspecto de la invención tanto respectivamente de manera individual como en combinación. Muestran:

- 15 fig. 1 curvas de perfil de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en una máquina de tornillo sin fin de varios árboles de acuerdo con un ejemplo de realización de la invención;
- fig. 2 curvas de perfil de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en una máquina de tornillo sin fin de varios árboles de acuerdo con otro ejemplo de realización de la invención;
- 20 fig. 3 curvas de perfil de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en una máquina de tornillo sin fin de varios árboles de acuerdo con una modificación del ejemplo de realización en la fig. 2.

Por razones prácticas, la posterior descripción debería basarse en un sistema de coordenadas cartesiano cuyo origen se forma por el punto de giro C 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 C. En la figura 1 está mostrado un tal sistema de coordenadas.

25 Lógicamente, se trabaja con características adimensionales para simplificar la transferibilidad a diferentes tamaños constructivos de extrusora. Como magnitud de referencia para magnitudes geométricas como, por ejemplo, longitudes o radios, se propone la distancia entre ejes a, puesto que esta magnitud no puede modificarse en una extrusora.

30 Para las figuras se aplican las siguientes convenciones: las coordenadas x e y tienen su origen en el punto de giro de uno de los árboles. Todas las indicaciones de ángulo se realizan en la medida de arco. Todas las indicaciones dimensionales restantes están normalizadas con respecto a la distancia entre ejes y se representan con letras mayúsculas: A = a/a; R_i = r_i/a; RA = ra/a; RI = ri/a T = t/a, etc. M_x y M_y son las coordenadas x e y del punto central del círculo de un arco de círculo que genera perfil, R es el radio normalizado con respecto a la distancia entre ejes a y α es el ángulo de arco del arco de círculo. Además, significan RG = radio de la carcasa normalizado, RV = radio virtual normalizado de la carcasa, RA = radio exterior normalizado del perfil que roza con precisión, RF = radio exterior normalizado del tornillo sin fin a que va a fabricarse, S = huelgo normalizado de los tornillos sin fin entre sí (intersticio), D = huelgo normalizado del tornillo sin fin respecto a la carcasa, VPR = valor absoluto normalizado del desplazamiento de perfil, VPW = ángulo del desplazamiento de perfil en medida de arco, VLR = valor absoluto normalizado del desplazamiento del árbol izquierdo, VLW = ángulo del desplazamiento del árbol izquierdo, VRR = valor absoluto normalizado del desplazamiento del árbol derecho, VRW = ángulo del desplazamiento del árbol derecho.

35 La figura 1 muestra en la sección transversal dos elementos de tornillo sin fin 10, 10' de acuerdo con la invención de dos pasos que rozan con precisión dispuestos a una distancia A entre sí, los cuales presentan respectivamente un perfil que va a generarse y uno generado 11, 11'. Los puntos caracterizados con C y C' indican los puntos de giro de los perfiles 11, 11' o los ejes giratorios de los árboles W, W' en los que están dispuestos los elementos de tornillo sin fin. El punto de giro C del elemento de tornillo sin fin 10 que va a generarse se encuentra en la distancia A del punto de giro C' del elemento de tornillo sin fin 10' (generado) correspondiente. El origen de coordenadas marca en esta y en todas las demás figuras el punto de giro C del árbol W. Alrededor del punto de giro C puede trazarse un círculo (círculo interior) con el radio de núcleo RI y un círculo (círculo exterior) con el radio exterior RA del elemento de tornillo sin fin 10. El círculo interior y el círculo exterior forman una corona circular. Con el radio exterior RA puede dibujarse un círculo alrededor del perfil. La perforación de carcasa 12 se representa por un círculo concéntrico a esto con un radio RG aumentado en el huelgo D con respecto al radio exterior RA (así, RG = RA + D).

40 El elemento de tornillo sin fin 10 tiene un número de pasos Z = 2 y una curva de perfil 11 convexa que se forma a partir de varios arcos de círculo. La curva de perfil 11 se puede subdividir en 2·Z, así, cuatro secciones de perfil, que pueden transformarse una en otra por reflexión axial en los ejes de simetría del perfil. Por lo tanto, el perfil 11 del elemento de tornillo sin fin 10 se puede definir completamente por una sección de perfil en un fragmento de 360°/(2·Z), así, 90°, que se encuentra entre dos ejes de simetría del perfil. El perfil 11 que se genera mostrado en la figura 1 tiene simetría axial respecto al eje x e y, de manera que todo el perfil 11 se produciría por reflexión del

cuarto entre los puntos P_A y P_I en el eje x e y . Todos los puntos de la sección de perfil entre los puntos P_A y P_I así como de todo el perfil 11 que se produce de ello del elemento de tornillo sin fin 10 se encuentran en la corona circular entre el radio del núcleo R_I y el radio exterior R_A . El perfil 11 se destaca porque dentro de una sección de perfil en un fragmento de 90° solo hay un único punto P_A que tiene una distancia del punto de giro C que se corresponde con el radio exterior R_A del elemento de tornillo sin fin 10. Dicho de otra manera, solo hay un punto P_A en la sección de perfil que se encuentra en un círculo alrededor del punto de giro C con el radio exterior R_A (círculo exterior). Por la reflexión continua de la sección de perfil entre P_A y P_I en una recta que discurre por los puntos C y P_A (así, el eje x) y en una recta que discurre por los puntos C y P_I (así, el eje y), se puede construir todo el perfil 11 del elemento de tornillo sin fin 10 (que va a generarse). El perfil 11' del elemento de tornillo sin fin 10' (generado) correspondiente se produce entonces por el giro del perfil 11 del elemento de tornillo sin fin 10 alrededor de un ángulo de 90° .

Para generar la sección de perfil entre los puntos P_A y P_I , el punto P_A señala un punto inicial de un primer arco de círculo 1 con un radio $R_1 < R_A$ y un punto central M_1 que se encuentra en el tramo de unión C - P_A . El punto P_A se encuentra en el círculo exterior. El punto P_I señala un punto inicial de un primer arco de círculo 3 con un radio $R_3 = A - R_1$. Su punto central M_3 se encuentra en el tramo C - P_I . Entre el arco de círculo 1 y el arco de círculo 3 se une un arco de círculo 2 con radio $R_2 = A$ y un punto central M_2 de tal manera que el arco de círculo 2 se transforma tangencialmente en el arco de círculo 3 pero forma un punto de pandeo K en un ángulo θ con el arco de círculo 1, de manera que el punto de pandeo K representa una discontinuidad geométrica en la pendiente de la curva de perfil 11. El ángulo θ se encuentra preferentemente en el ángulo entre 140° y 180° .

Con referencia ahora a la figura 2, en la sección transversal están mostrados dos elementos de tornillo sin fin 10, 10' de acuerdo con la invención de dos pasos que rozan con precisión dispuestos a una distancia A entre sí, en los que las secciones de perfil no se pueden hacer coincidir por reflexión axial sino en los que las secciones de perfil tienen simetría puntual respecto a los puntos de giro C, C' , de manera que todo el perfil de tornillo sin fin 11, 11' se produce por reflexión de una mitad en el punto de giro C o C' . Por lo tanto, los elementos de tornillo sin fin 10, 10' disponen del mismo perfil de tornillo sin fin 11, 11' de simetría puntual en la forma de un perfil que va a generarse y de un generado. El elemento de tornillo sin fin derecho 10' está girado 90° con respecto al elemento de tornillo sin fin izquierdo 10. Cada uno de los perfiles de tornillo sin fin 11, 11' mostrados se compone de dos secciones de perfil simétricas y en las transiciones de las secciones se presentan pandeos K, K' , que están caracterizados por una flecha.

Para generar la sección de perfil, el punto P_A puede señalar un punto inicial de un primer arco de círculo 1 con un radio $R_1 < R_A$ y un punto central M_1 que se encuentra en el tramo de unión C - P_A . El punto P_A se encuentra en el círculo exterior. El punto P_I señala un punto inicial de un arco de círculo 2 con un radio R_2 y un punto central M_2 , que se encuentra en el tramo C - P_I . El arco de círculo 2 se une al arco de círculo 1 de tal manera que los arcos de círculo 1, 2 se encuentran en un ángulo θ y forman un punto de pandeo que representa una discontinuidad geométrica en la pendiente de la curva de perfil 11. El ángulo θ se encuentra preferentemente entre 140° y 180° . Aparte de eso, el punto P_I señala un punto inicial de un arco de círculo 3 con un radio $R_3 = A - R_1$ y un punto central M_3 , que se encuentra asimismo en el tramo C - P_I , de manera que el arco de círculo 2 se transforma tangencialmente en el arco de círculo 3. El arco de círculo 3 se transforma tangencialmente entonces en otro arco de círculo 4 con un radio $R_4 = A$ y un punto central M_4 y la mitad de la curva de perfil 11 se complementa por un último arco de círculo 5 respecto al punto P_A opuesto en el círculo exterior. El arco de círculo 5 tiene un radio $R_5 = A - R_2$ y un punto central M_5 que se encuentra en el tramo P_A - C , y discurre tangencialmente desde el arcos de círculo 4 hacia fuera del punto P_A .

La mitad superior de la curva de perfil 11, que discurre entre los puntos P_A - P_A y está formada por la serie de arcos de círculo 1-2-3-4-5, se corresponde con la mitad inferior de la curva de perfil 11, que puede generarse por una reflexión puntual de la mitad superior en el punto de giro C . No obstante, los perfiles de tornillo sin fin 11, 11' en este ejemplo de realización pueden imaginarse de manera que las curvas de perfil comprenden dos mitades continuamente diferenciables que constan respectivamente de una serie de arcos de círculo 2-3-4-5-1 que se transforman tangencialmente una en otra y se encuentran en los respectivos puntos de pandeo K, K' . Es decir, los puntos de pandeo K, K' también pueden verse como los puntos finales de las respectivas secciones de perfil. Esto se puede imaginar mejor en la figura 2 por la línea discontinua por los puntos de pandeo K' y el punto de giro C' del perfil de tornillo sin fin 11' generado. Como tal, cada sección de perfil puede componerse de varios arcos de círculo 1-5 que se transforman tangencialmente uno en otro y forman curvas continuamente diferenciables entre dos puntos de pandeo K, K' . En los puntos de pandeo K, K' , los respectivos arcos de círculo no se transforman tangencialmente en la sección de perfil adyacente, sino que están en el ángulo θ .

En la figura 3 está representada a modo de ejemplo otra forma de realización de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención. Es una modificación del ejemplo de realización en la figura 2 con medidas ligeramente diferentes, pero en principio tiene la misma estructura de simetría puntual con cinco arcos de círculo 1-5 y dos puntos de pandeo K, K' .

Habitualmente, los elementos de tornillo sin fin para una máquina de tornillo sin fin para una extrusora de doble husillo o de varios husillos están introducidos en una carcasa. A este respecto, los elementos de tornillo sin fin y la carcasa están realizados de manera que por la rotación de los elementos de tornillo sin fin no solo se realiza un roce

por parejas de elementos de tornillo sin fin adyacentes, sino también se da una limpieza de las paredes interiores de carcasa por la rotación de los elementos de tornillo sin fin. Hasta aquí, solo se han tratado perfiles de tornillo sin fin que rozan con precisión. Sin embargo, en el caso de máquinas realizadas técnicamente, es necesario apartarse de la geometría de roce con precisión en el sentido de que se mantienen huelgos S o D definidos con precisión durante la limpieza, usándose en el contexto de la presente invención los términos limpieza/limpiar como sinónimos de roce/rozar. Esto es necesario para evitar «agarrotamientos» metálicos, para compensar tolerancias de fabricación y para evitar disipaciones de energía excesivas en los intersticios.

Como se expone, por ejemplo, en la publicación [1] en las páginas 27 a 30, las disposiciones de elementos de tornillo sin fin y carcasa siempre presentan en la práctica denominados huelgos. Los huelgos, como es sabido por el experto, entre el tornillo sin fin y la carcasa y entre el tornillo sin fin y el tornillo sin fin pueden ser de diferente tamaño o del mismo tamaño. El huelgo entre el tornillo sin fin y la carcasa se denomina «δ», y el huelgo entre el tornillo sin fin y el tornillo sin fin se denomina «s». Los huelgos también pueden ser constantes o, en los límites indicados, variables. También es posible desplazar un perfil de tornillo sin fin dentro de los huelgos. Para ello, a causa de los presentes huelgos, los elementos de tornillo sin fin utilizados en la práctica no presentan en sentido estricto la propiedad de que se tocan en al menos un punto durante la rotación en el mismo sentido a la misma velocidad de giro alrededor de ejes dispuestos en paralelo. No obstante, como está expuesto en [1], para generar elementos de tornillo sin fin en la práctica se parte de los contornos (perfiles) que rozan con precisión habitualmente, y se introducen entonces huelgos. Por consiguiente, de acuerdo con la invención, primero se generan preferentemente de manera virtual elementos de tornillo sin fin siempre se tocan en al menos un punto durante la rotación en el mismo sentido a la misma velocidad de giro alrededor de ejes dispuestos paralelamente. A partir de estas geometrías preferentemente virtuales, se prevén huelgos que evitan que los elementos de tornillo sin fin utilizados en la práctica se «agarroten», es decir, que los elementos de tornillo sin fin se rocen mutuamente destruyendo su superficie.

El experto conoce procedimientos para derivar un perfil de tornillo sin fin con huelgos a partir de un perfil de tornillo sin fin predefinido y que roza con precisión. Procedimientos conocidos para ello son, por ejemplo, la posibilidad descrita en [1] en la página 28 y ss. del aumento de la distancia entre ejes, los equidistantes de sección longitudinal y los equidistantes espaciales. En el caso del aumento de la distancia entre ejes, se construye un perfil de tornillo sin fin de menor diámetro y se separa por el total del huelgo entre los tornillos sin fin. En el caso del procedimiento de los equidistantes de sección longitudinal, la curva de perfil de sección longitudinal (en paralelo al eje giratorio del respectivo elemento) se desplaza hacia dentro perpendicularmente a la curva de perfil, en la dirección hacia el eje giratorio, por la mitad del huelgo tornillo sin fin-tornillo sin fin. En el caso del procedimiento de los equidistantes espaciales, a partir de la curva espacial en la que los elementos de tornillo sin fin se limpian mutuamente, el elemento de tornillo sin fin se reduce en la dirección perpendicularmente a las superficies del perfil que roza con precisión por la mitad del huelgo entre tornillo sin fin y tornillo sin fin. El experto en la técnica de extrusión también conoce un posicionamiento excéntrico de elementos de tornillo sin fin en una carcasa manteniendo el roce de carcasa y el roce por parejas (véase, por ejemplo, [1], páginas 108, 246 y 249). Las reglas para generar perfiles de tornillo sin fin con intersticios S definidos así como el uso de carcasas, huelgos y/o posicionamiento excéntrico pueden aplicarse de manera correspondiente a elementos de tornillo sin fin 10, 10' de acuerdo con la invención que se rozan durante la rotación en el mismo sentido alrededor de dos ejes dispuestos en paralelo de manera que siempre se tocan en al menos un punto.

En las figuras 1 a 3 se han tratado exclusivamente elementos de tornillo sin fin 10, 10' de dos pasos. Sin embargo, los mismos principios también se pueden emplear en elementos de tornillo sin fin con tres y más pasos. La manera de procedimiento en el caso de elementos de tornillo sin fin con tres pasos es análoga a la manera de procedimiento en el caso de perfiles de dos pasos. El radio exterior del perfil se reduce en comparación con el radio de carcasa y el perfil se desplaza por parejas, manteniéndose el punto de giro céntricamente respecto a la carcasa. Para los perfiles de tres pasos también se pueden construir perfiles que rotan excéntricamente. Resultan especialmente interesantes perfiles de tornillo sin fin en los que los tornillos sin fin se limpian completamente de manera recíproca y donde la carcasa se limpia con solo una de tres crestas. La generación de intersticios en el caso de la limpieza recíproca de los perfiles y en el caso de la limpieza de la carcasa se realiza de modo completamente acorde con la manera de procedimiento en el caso de los perfiles de dos pasos. Los perfiles de tres pasos pueden utilizarse de acuerdo con la invención como roscas de transporte continuas o como discos de amasado.

Los perfiles de tornillo sin fin de cuatro pasos con simetría axial pueden definirse completamente por una sección de 45° del perfil de tornillo sin fin. La generación de perfiles excéntricos y la generación de intersticios en el caso de la limpieza se realiza de modo similar a los perfiles de dos y de tres pasos y no se muestra en este caso. Los perfiles de cuatro pasos pueden utilizarse asimismo como roscas de transporte continuas o como discos de amasado. Los perfiles de acuerdo con la invención con más de cuatro pasos pueden prepararse de manera análoga. Del mismo modo, los intersticios pueden variarse y los perfiles excéntricos pueden generarse de manera análoga.

REIVINDICACIONES

1. Elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin que giran en el mismo sentido por parejas, siendo rozados estos elementos de tornillo sin fin con precisión por parejas, y presentando árboles de tornillo sin fin, compuestos por estos elementos de tornillo sin fin, dos o más pasos de rosca helicoidal, pudiendo representarse los perfiles de tornillo sin fin por toda la sección transversal mediante respectivas curvas de perfil, **caracterizados porque** cada curva de perfil presenta al menos un punto de pandeo en su transcurso, que se encuentra dentro de un radio exterior de la curva de perfil, ascendiendo la relación entre un radio de curvatura del perfil de tornillo sin fin y el radio exterior del perfil en el punto P_A, que limpia la carcasa, a de 0,2 a 0,8, y ascendiendo la relación entre el radio exterior r_a del elemento de tornillo sin fin y la distancia entre ejes a para elementos de tornillo sin fin de dos pasos a entre 0,54 y 0,7, para elementos de tornillo sin fin de tres pasos a entre 0,53 y 0,57, así como para elementos de tornillo sin fin de cuatro pasos a entre 0,515 y 0,535.

2. Elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 1, **caracterizados porque** cada curva de perfil es una curva continua, cerrada y convexa que, a excepción del al menos un punto de pandeo, también puede diferenciarse continuamente.

3. Elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 2, **caracterizados porque** el perfil del un elemento de tornillo sin fin lo forma una curva \vec{p} y el perfil del otro elemento de tornillo sin fin se forma a partir de la curva \vec{q} de acuerdo con la siguiente relación (1):

$$\vec{q} = \vec{p} + a \cdot \vec{n}(\vec{p}) + \vec{a} \quad (1),$$

en la que

- la curva \vec{p} presenta en cada punto un radio de curvatura p que es menor o igual a una distancia entre ejes a de los elementos de tornillo sin fin, para cada punto de la curva \vec{p} dentro de una sección continuamente diferenciable existe un vector normal normalizado $\vec{n}(\vec{p})$ con la longitud 1 que en el respectivo punto está perpendicular a la tangente respecto a la curva \vec{p} y señala en la dirección del punto central del círculo de curvatura que pertenece al respectivo punto de la curva \vec{p} , \vec{a} es un vector que conduce en la dirección del punto de giro del perfil que va a generarse al punto de giro del perfil generado y tiene la longitud a.

4. Elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizados porque** cada perfil de tornillo sin fin o cada curva de perfil se componen de varios arcos de círculo, estando los respectivos arcos de círculo en el al menos un punto de pandeo en un ángulo entre 90° y 180°, preferentemente entre 140° y 180°, entre sí.

5. Elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizados porque** cada perfil de tornillo sin fin o cada curva de perfil se pueden subdividir en secciones de perfil que pueden transformarse una en otra por una reflexión puntual o axial.

6. Elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 5, componiéndose cada sección de perfil de varios arcos de círculo, **caracterizados porque** el número de arcos de círculo que forman una de las secciones de perfil asciende preferentemente a de 2 a 8, más preferentemente a de 3 a 6.

7. Elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, **caracterizados porque** una de las secciones de perfil se extiende entre un punto (P_A, P_{A'}) que se encuentra en el radio exterior del perfil y un punto que se encuentra en el radio del núcleo del perfil, y comprende el al menos un punto de pandeo.

8. Elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, **caracterizados por que** cada sección de perfil comprende una curva continuamente diferenciable entre dos puntos de pandeo.

9. Elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizados porque** la relación entre un radio de curvatura del perfil de tornillo sin fin y el radio exterior del perfil asciende a de 0,3 a 0,7, preferentemente a de 0,35 a 0,65, preferentemente en el punto P_A que limpia la carcasa.

10. Procedimiento para generar elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 9, generándose para la configuración de los perfiles de tornillo sin fin una curva de perfil en un plano perpendicularmente al eje giratorio, curva de perfil que presenta al menos un punto de pandeo o un punto de discontinuidad en la pendiente de la curva en su transcurso, encontrándose este punto dentro de un radio exterior de la curva de perfil.

11. Procedimiento para generar elementos de tornillo sin fin según la reivindicación 10, **caracterizado porque**, en una primera etapa, para la configuración de los perfiles de tornillo sin fin se genera una curva de perfil en un plano perpendicularmente al eje giratorio, curva de perfil que presenta al menos un punto de pandeo o un punto de discontinuidad en la pendiente de la curva en su transcurso, encontrándose este punto dentro de un radio exterior de la curva de perfil, e introduciéndose huecos en una segunda etapa.

12. Uso de elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 9 o generados según las reivindicaciones 10 u 11 en una máquina de tornillo sin fin.

5 13. Uso según la reivindicación 12, **caracterizado porque** los elementos de tornillo sin fin se limpian por parejas en todo su perímetro con intersticio constante, o limpiándose los elementos de tornillo sin fin por parejas con un intersticio que no es constante por todo el perímetro.

14. Máquina de tornillo sin fin, en particular extrusora, con árboles de tornillo sin fin que giran en el mismo sentido por parejas, **caracterizada porque** los árboles de tornillo sin fin presentan elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 9 o generados según las reivindicaciones 10 u 11.

10 15. Procedimiento para la extrusión de masas plásticas, **caracterizado porque** se usan elementos de tornillo sin fin según una de las reivindicaciones 1 a 9 o generados según las reivindicaciones 13 o 14 o una máquina de tornillo sin fin según la reivindicación 14.

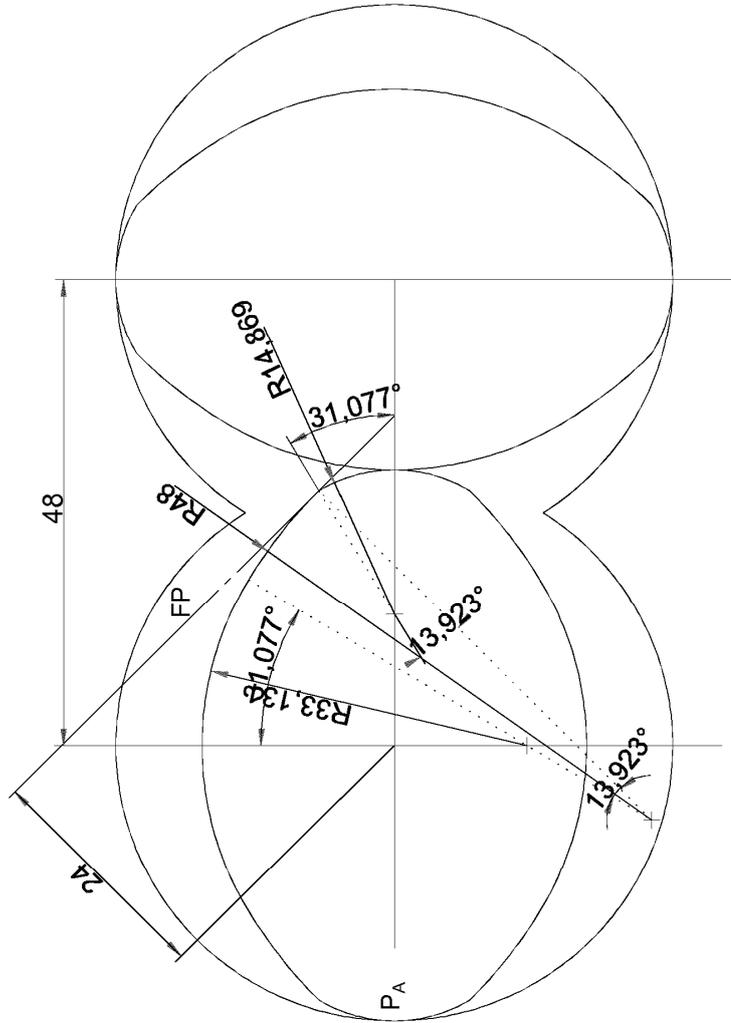


Fig. 1

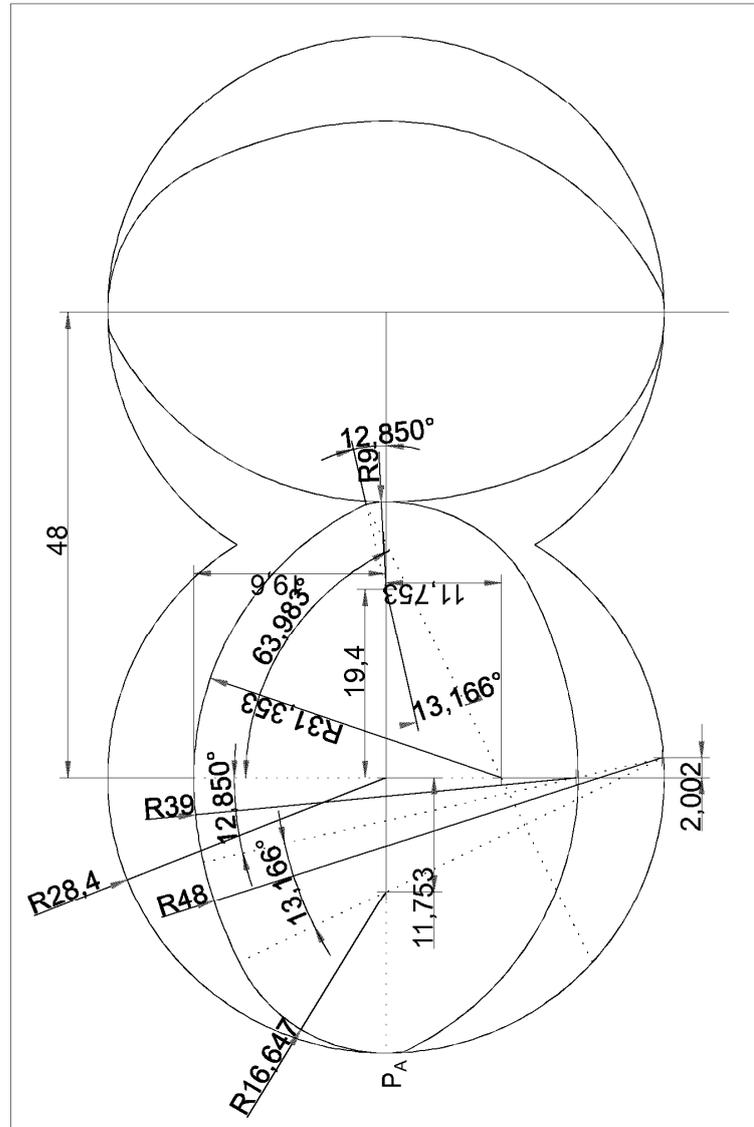


Fig. 3