

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 050**

51 Int. Cl.:

B23P 19/02 (2006.01)

B30B 15/14 (2006.01)

B30B 15/26 (2006.01)

G01L 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2015 E 15177634 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022 EP 2977196**

54 Título: **Procedimiento de prensado con compensación de errores de posicionamiento durante un proceso de prensado y prensa para la realización de tal procedimiento**

30 Prioridad:

25.07.2014 DE 102014110507

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

31.01.2023

73 Titular/es:

IEF WERNER GMBH (100.0%)

Wendelhofstr. 6

78120 Furtwangen, DE

72 Inventor/es:

BÄR, MANFRED y

MEYER, ANDREAS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 933 050 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 de prensado con compensación de errores de posicionamiento durante un proceso de prensado y prensa para la realización de tal procedimiento

5 La invención se refiere a un procedimiento de prensado con una compensación de errores de posicionamiento durante un proceso de prensado y a una prensa para la realización de tal procedimiento.

10 Las prensas y los procesos de prensado pertenecen a las herramientas básicas o los procesos básicos de la fabricación industrial y, por tanto, se han extendido ampliamente desde hace muchas décadas. No obstante, sigue siendo un problema ajustar el recorrido de prensado cubierto por el anillo de prensado durante el proceso de prensado, en particular durante el prensado de un componente, como por ejemplo un anillo de prensado, sobre otro componente, como por ejemplo un eje, de manera reproducible con alta precisión hasta el rango de los micrómetros, como es necesario por ejemplo para disponer un manguito sobre un eje con una holgura definida exactamente por medio de un anillo de prensado.

15 En última instancia, la causa de este problema reside en el hecho de que las fuerzas de prensado que se producen durante el proceso de prensado varían y concretamente por razones que no se pueden controlar o que no se pueden controlar por completo. Así, las tolerancias de los componentes y la calidad de la superficie de los componentes individuales contribuyen a la variación de las fuerzas de prensado, al igual que parámetros del proceso, por ejemplo la lubricación y la respectiva velocidad de prensado, y parámetros ambientales como la temperatura o la humedad.

20 Las fuerzas de prensado durante el prensado de componentes entre sí provocan diferentes fuerzas de reacción que afectan a los componentes de la prensa que transmiten la fuerza en forma de una deformación o compresión de resorte dependiente de la fuerza, generalmente elástica y sujeta a la ley de Hooke, y comprimen elásticamente el componente. La variación de las fuerzas de prensado, que se debe por ejemplo a las tolerancias de los componentes de un lote de componentes, conduce correspondientemente a diferentes grados de deformación o compresión y, por lo tanto, a una imprecisión en el recorrido de prensado y a errores de posicionamiento que resultan de ello, que no pueden ser subsanados por factores de corrección constantes.

25 Por el documento DE 197 05 462 A1 es conocido un procedimiento de prensado para una prensa con una herramienta inferior y un punzón de prensado accionado por un motor o un casquillo accionado por un motor, en el que la prensa presenta además un sistema de medición de posición para la medición directa o indirecta de la posición del punzón de prensado o del casquillo y un sistema de medición de fuerza para la medición de la fuerza ejercida por la prensa, de modo que el sistema de medición de posición y el sistema de medición de fuerza están en comunicación de señales con una electrónica de control para controlar la prensa, con las etapas: inserción de los componentes a ser prensados en la herramienta inferior, prensado de los componentes a ser prensados y retirada de los componentes prensados, en que durante el prensado de los componentes se realiza el registro de puntos de datos para un diagrama fuerza-recorrido para los componentes insertados en cada caso por medio del sistema de posición y el sistema de medición de fuerza, en el que, dependiendo del curso de la fuerza de prensado respecto al recorrido del punzón de prensado son ajustados dinámicamente parámetros que muestran un curso exitoso y/o la finalización del proceso de prensado.

30 Por el documento US 5,813,263 es conocido un procedimiento de doblado con una prensa, en el que mediante la utilización de un calibre extensométrico, que está dispuesto en la parte intermedia del bastidor de la prensa, son determinadas propiedades del material a ser doblado, y son usadas para el ajuste del control de la prensa.

Por el documento US 6,276,050 B1 es conocido un procedimiento de prensado según el preámbulo de la reivindicación 1.

40 El objeto de la invención consiste en indicar un procedimiento de prensado que sea capaz de compensar en gran medida tales errores de posicionamiento, o al menos reducirlos significativamente, y proporcionar una prensa para llevar a cabo el procedimiento de prensado. Este objeto se logra mediante un procedimiento de prensado con las características de la reivindicación 1 y una prensa con las las características de la reivindicación 9.

45 El procedimiento de prensado según la invención es operado en una prensa con una herramienta inferior y un punzón de prensado accionado por un motor o un casquillo accionado por un motor, que forma o lleva el alojamiento para el punzón de prensado. La prensa presenta además un sistema de medición de posición para la medición directa o indirecta de la posición del punzón de prensado o del casquillo y un sistema de medición de fuerza para medir la fuerza ejercida por la prensa.

50 El sistema de medición de posición, que puede estar realizado en particular como una cinta métrica dispuesta en el punzón o en el casquillo y una cabeza de lectura dispuesta en una pared lateral de la prensa, y el sistema de medición de fuerza, que puede ser en particular una celda de carga integrada en la parte de pie de la prensa, pero esencialmente también podría estar implementado por ejemplo por una monitorización electrónica de las corrientes del motor que mueve el punzón de prensado o el casquillo, están en comunicación de señales con una electrónica de control para controlar la prensa. Esta puede estar integrada en la prensa, pero también puede ser implementada por ejemplo mediante un PC de control separado.

55 Como es habitual en los procedimientos de prensado, el procedimiento de prensado presenta las etapas: inserción de

los componentes a ser prensados en la herramienta inferior, prensado de los componentes a ser prensados y retirada de los componentes prensados. En general, el prensado de los componentes a ser prensados se puede ajustar de tal manera que el punzón de prensado o el casquillo entre en contacto con los componentes insertados y desde este punto de partida sea desplazado un cierto recorrido en la dirección de prensado.

5 La idea central de la invención consiste en estandarizar este recorrido de prensado para mejorar la reproducibilidad de la disposición de los componentes entre sí, en particular la reproducibilidad de la posición de un anillo de prensado sobre un eje conseguida de esta forma. Para hacer esto posible, el procedimiento según la invención prevé que durante el prensado de los componentes se realice el registro de puntos de datos para un diagrama fuerza-recorrido para los componentes insertados en cada caso mediante el sistema de medición de posición y el sistema de medición de fuerza, de manera que aún durante el prensado de los componentes, para los que fueron registrados los puntos de datos, se realice una evaluación de los puntos de datos para determinar al menos un valor de corrección para el recorrido de prensado, y que aún durante el prensado de los componentes, para los que fueron registrados los puntos de datos, se realice una corrección del recorrido de prensado para estos componentes utilizando al menos un valor de corrección obtenido de esta manera.

10 En particular, la determinación de un recorrido de corrección para el recorrido de prensado implica que por la electrónica de control es predeterminado un recorrido de prensado que es monitorizado por ella. Esto difiere esencialmente de los procedimientos de prensado en los que el proceso de prensado continúa hasta que se alcanza o supera una fuerza límite, siendo un criterio común para finalizar el proceso de prensado por ejemplo cuando se alcanza un tope o cuando se prensa sobre un bloque.

15 Esencialmente es deseable que la curva fuerza-recorrido se haga visible para el usuario en una pantalla de la prensa o en la pantalla del PC de control, pero una evaluación de la curva solo es posible sobre la base de los datos medidos.

20 Como se explica en detalle a continuación, mediante el diagrama fuerza-recorrido se pueden identificar las desviaciones entre el movimiento del punzón o del casquillo por un lado y del componente o anillo de prensado a ser prensado por otro lado, y se pueden calcular y aplicar de inmediato factores de corrección individuales correspondientes para cada emparejamiento de componentes, por ejemplo anillo de prensado y eje.

25 Una corrección que hay realizar resulta del hecho de que para desarrollar la fuerza que hace que el componente a ser prensado o el anillo de prensado comience a moverse realmente, ya es realizado un desplazamiento del punzón de prensado o del casquillo. Solo cuando se ha alcanzado esta fuerza de arranque, el componente que va a ser prensado comienza realmente a moverse. Por consiguiente, según la invención, la evaluación de los puntos de datos para el diagrama fuerza-recorrido comprende una determinación, al menos aproximada, de la posición en la que se alcanzó la fuerza de arranque. Esto se puede realizar de dos maneras usando puntos de datos del diagrama fuerza-recorrido, concretamente por evaluación del aumento de fuerza entre puntos de medición adyacentes respectivos que cambia su signo después de que se ha excedido el máximo y/o por determinación de que se ha alcanzado el máximo de la fuerza comprobando cuál de los pares de datos medidos presenta el valor de fuerza máximo.

30 Una posibilidad de uso de esta información para corregir este error consiste en que la posición en la que se alcanzó la fuerza de arranque es utilizada como la posición inicial del recorrido de prensado, es decir, como el punto de partida para la medición o la monitorización, por parte del control, del recorrido de prensado cubierto. Sin embargo, esto presupone un reconocimiento rápido del máximo y puede ser problemático en procesos de prensado rápidos.

35 Por lo tanto, una posibilidad de corrección preferida para este error prevé que al recorrido de prensado para el proceso de presando en curso se le añada la distancia de recorrido entre la posición en la que el punzón de prensado entró en contacto con uno de los componentes y la posición en la que se alcanzó la fuerza de arranque, es decir, la condición de fin para el movimiento del casquillo o del punzón de prensado que es monitorizado por el control, es modificada durante el proceso de prensado en curso.

40 Puesto que, como se describirá a continuación, del diagrama fuerza-recorrido se pueden derivar también otros factores de corrección, las dos correcciones descritas anteriormente, que deben realizarse alternativamente entre sí, generalmente representan solo una parte de la corrección total y son combinadas con otras correcciones para otros efectos.

45 En particular, como se describirá con más precisión a continuación en la discusión de la figura 4, se puede ver que hasta el arranque del componente a ser prensado se forma una deformación elástica de la prensa que está parcialmente reducida en la fase en que el componente a ser prensado está desplazado. El cambio de posición correspondiente debe ser corregido. Para que esto sea posible, es conveniente que el prensado de los componentes se realice en al menos dos subetapas, esto es, en primer lugar es prensada una parte del recorrido de prensado deseado y luego una segunda parte después de que el punzón de prensado se haya detenido entretanto y el componente a ser prensado se haya asentado. Retirar entremedias la pieza compuesta prensada parcialmente es tan innecesario como la retracción del punzón de prensado y la descarga de la pieza compuesta prensada, en este sentido no hay dos procesos de prensado, sino un proceso de prensado, durante el cual el punzón de prensado o el casquillo se detienen una vez y, como máximo, opcionalmente son retraídos hasta que descarguen la pieza compuesta prensada. Es esencial que el componente que se va a prensar se asiente una vez y luego sea arrancado de nuevo

para volver a asentarse al final de la última subetapa del proceso de prensado.

La razón para preferir tal división del proceso de prensado consiste en que para la corrección de errores es necesario el análisis de un diagrama fuerza-recorrido que depende de las condiciones ambientales actuales y de las propiedades del respectivo par de componentes, tales como sus dimensiones reales dentro del rango predeterminado por las tolerancias de los componentes. Por tanto, se puede usar una primera subetapa para determinar tal diagrama para el emparejamiento respectivo de componentes bajo las condiciones ambientales actuales, para derivar a partir del mismo las correcciones y con ellas corregir el recorrido de prensado a cubrir en una subetapa siguiente.

5

Es especialmente preferido si la evaluación de los puntos de datos da como resultado una determinación al menos aproximada de la fuerza de ajuste, ya que esta determina decisivamente la medida del retroceso elástico.

10 Una primera posibilidad concreta consiste en que la evaluación de los puntos de datos comprenda además determinar la diferencia entre la fuerza de arranque y la fuerza de ajuste y que la corrección consista, al menos parcialmente, en reducir el recorrido de prensado para la segunda subetapa de prensado de la pieza compuesta prensada en un recorrido asociado a esta diferencia de fuerza almacenado en una tabla de datos. Este forma de proceder presupone que la respuesta elástica de la prensa a una descarga parcial, que depende de las propiedades de la prensa, haya sido examinada previamente en una serie de pruebas para generar la tabla de datos. Su ventaja consiste en que se puede lograr así un nivel relativamente alto de precisión.

15

Una segunda posibilidad concreta consiste en que la evaluación de los puntos de datos comprenda además que se determinen los valores de posición de los dos primeros puntos del diagrama fuerza-recorrido en los que prevalece la fuerza de ajuste (S), y que sea determinada la diferencia con respecto al valor de posición del segundo punto del diagrama fuerza-recorrido en el que prevalece la fuerza de ajuste y al valor de posición del primer punto del diagrama fuerza-recorrido en el que prevalece la fuerza de ajuste, y que la corrección consista, al menos parcialmente, en reducir el recorrido de prensado para la segunda subetapa de prensado de los componentes con esta diferencia. Esta posibilidad permite que el valor de corrección sea extraído directamente de los valores de datos del diagrama de fuerza-recorrido registrado, aunque en muchos casos es necesaria una interpolación, que en particular cuando el número de puntos de datos disponibles para la descripción del desarrollo de fuerza hasta el arranque del componente a ser prensado y la distensión brusca después de su arranque sea pequeño, limita la precisión que se puede conseguir con el valor de corrección así determinado.

20

25

El procedimiento de prensado según la invención es un procedimiento para procesos de prensado en los que los componentes a ser prensados comprenden al menos un primer y un segundo componente y el procedimiento de prensado es un procedimiento de prensado para el posicionamiento sin tope del primer componente en una posición predeterminada del segundo componente, como es el caso en particular en un proceso de prensado en el que un anillo de prensado es prensado sobre un eje para asegurar un manguito empujado sobre el eje con una holgura axial predeterminada. Este tipo de procesos de prensado se diferencia esencialmente de los procesos de prensado en los que las piezas son prensadas entre sí contra un tope o bloque, ya que en estos últimos la posición objetivo está definida por el tope y que se ha alcanzado una posición objetivo así definida puede determinarse simplemente por el aumento en las fuerzas que actúan. Entonces es innecesaria una especificación muy precisa del recorrido de prensado.

30

35

Una prensa según la invención para llevar a cabo un procedimiento según la invención presenta un bastidor en C con una parte de pie, una parte intermedia y una parte de cabezal, un sistema de medición de fuerza dispuesto en la parte de pie y una guía lineal que conduce un casquillo que puede ser movido por un motor, un control para llevar a cabo un procedimiento según la invención, que controla el motor. A ambos lados del bastidor en C está colocada, respectivamente, una pared lateral, estando la primera pared lateral sujeta fijamente al bastidor en C, mientras que la otra pared lateral está fijada únicamente en la zona de la parte de pie del bastidor en C y en la zona de la parte intermedia y la parte de cabezal está conectada únicamente con unión positiva de fuerza. La prensa presenta además un sistema de medición de posición para la posición del casquillo o de un punzón de prensado dispuesto en este, donde el sistema de medición de fuerza y el sistema de medición de posición pueden ponerse en comunicación de señales con un control.

40

45

La invención se explicará con más detalle a continuación con referencia a figuras que ilustran ejemplos de realización de la invención. Muestran:

- Figura 1: un alzado lateral de una prensa para la realización del procedimiento según la invención,
- 50 Figura 2: una vista frontal de la prensa de la figura 1,
- Figuras 3a-e: estadios de un proceso de prensado a modo de ejemplo,
- Figura 4: un ejemplo de una curva característica fuerza-recorrido, como resulta a partir de datos de medición de un proceso de prensado registrados por la prensa de la figura 1,
- Figura 5: una curva característica fuerza-recorrido para un proceso de prensado sin compensación,
- 55 Figura 6: una curva característica fuerza-recorrido para un proceso de prensado con una compensación de

recorrido muerto,

Figura 7: una curva característica fuerza-recorrido para un proceso de prensado con una compensación de recorrido muerto y una primera variante de una compensación adicional de una variación de la tensión previa en el sistema, y

5 Figura 8: una curva característica fuerza-recorrido para un proceso de prensado con una compensación de recorrido muerto y una segunda variante de una compensación adicional de una variación de la tensión previa en el sistema.

10 Las figuras 1 y 2 muestran diferentes vistas de una prensa 100 para la realización del procedimiento según la invención. A la prensa 100 pertenece un control no representado en las figuras que controla el motor, que puede leer y evaluar los sensores dispuestos en la prensa y descritos a continuación, así como almacenar valores medidos de los sensores y parámetros de funcionamiento, como por ejemplo un recorrido de prensado deseado, esto es, contiene en particular una CPU y una memoria, que también puede estar integrada en la CPU. El control puede ser implementado en forma de una electrónica de control integrada en la prensa 100, pero también puede ser implementado externamente, por ejemplo como un PC de control.

15 La base de la prensa 100 es un bastidor en C 101 macizo que consta de una parte de pie 101a, una parte intermedia 101b y una parte de cabezal 101c y que preferiblemente está hecho de acero macizo para herramientas. En la parte de pie 101a está integrada una celda de carga 102 de alta precisión, que puede estar formada por ejemplo por un transductor de fuerza piezoeléctrico disponible comercialmente. Además, en la parte de pie 101a está dispuesta una herramienta inferior 115 que, al igual que el punzón de prensado 116, depende de los componentes a ser prensados y, por lo tanto, no se muestra en las figuras 1 y 2.

20 En la parte intermedia 101b está atornillada una guía lineal 103, que conduce con exactitud a través de todo el recorrido de prensado al casquillo 104, es decir al alojamiento de punzón de prensado para el punzón de prensado 116, que depende de los componentes a ser prensados y por tanto es intercambiable. Por esta solución constructiva se consigue la máxima rigidez en toda la zona de prensado.

25 El casquillo 104 es movido por la tuerca de husillo, no representada, del husillo de accionamiento 106. En la parte de cabezal 101c se encuentran el cojinete axial, no visible en la figura, para el husillo de accionamiento 106 y un motor 108, preferentemente realizado como servomotor, que está conectado al husillo de accionamiento 106 a través de un acoplamiento no visible en las figuras.

30 Como se puede reconocer particularmente bien en la representación según la figura 2, a ambos lados del batidor en C 101 está colocada, respectivamente, una placa lateral 109, 110. La pared lateral 109 izquierda en la representación de la figura 2 está fijamente atornillada al bastidor en C 101 mediante manguitos de centrado 111. La conexión con unión positiva de forma de la pared lateral 109 al bastidor en C que se logra de esta manera mejora considerablemente su rigidez total.

35 Por el contrario, la pared lateral 110 derecha en la representación de la figura 2 está atornillada únicamente en la zona de la parte de pie 101a del bastidor en C 101 con manguitos de centrado 111. No obstante, en la zona de la parte intermedia 101b y la parte de cabezal 101c, la pared lateral 110 está unida únicamente con unión positiva de fuerza - en este ejemplo de realización por medio de cojinetes de deslizamiento 112 de plástico. Como consecuencia de esta configuración, en estas zonas el bastidor en C 101 puede moverse con respecto a la pared lateral 110, y la pared lateral 110 está montada en el bastidor en C 101 de manera flotante, por así decirlo.

40 Esta configuración especial de la prensa es la base para el sistema de medición de posición particularmente ventajoso utilizado en este ejemplo de realización, que tiene una cinta métrica 113 dispuesta directamente en el casquillo 104 móvil y una cabeza de lectura 114 dispuesta en la pared lateral 110. Estos componentes están configurados preferiblemente, de tal manera que se consiga una resolución de 0,001 μm . Con el sistema de medición de posición construido de esta manera se dispone de un sistema de medición de valor absoluto para obtener informaciones de recorrido absolutas sin cualquier tipo de trayectorias de referencia para la determinación del punto cero.

45 Dado que la cabeza de lectura 114 está montada de forma flotante en la pared lateral 110, las deformaciones del sistema de la prensa 100 dependientes de la fuerza son detectadas por ella durante el proceso de prensado y, por tanto, corregidas automáticamente por regulación de la posición.

50 Dado que la prensa 100 descrita anteriormente tiene por un lado medios para medir la posición actual del punzón de prensado 116 por determinación de la posición del casquillo 104 en forma de cinta métrica 113 y cabeza de lectura 114, y por otro lado medios para medir la fuerza que actúa actualmente en forma de la celda de carga 102, a partir de los datos registrados por estos medios durante la medición se puede determinar una curva característica fuerza-recorrido, esto es un diagrama fuerza-recorrido, cuyo curso es explicado a continuación en virtud de un ejemplo mostrado en la figura 4, en el que en el eje Y del diagrama fuerza-recorrido está representada la fuerza y en el eje X el recorrido.

55 No obstante, en primer lugar es ilustrada con referencia a las figuras 3a a 3e una tarea típica que puede ser realizada con tal prensa 100. Se describe el principio básico de un proceso de prensado, en el que un anillo de prensado 10 es

comprimido sobre un eje 20 para asegurar un manguito 30 empujado sobre el eje 20 con una holgura axial a predeterminedada, es decir, para producir una pieza compuesta prensada como se muestra en la figura 3e como producto final.

5 La figura 3a muestra la inserción del eje 20 en la herramienta inferior 115 de la prensa 100. El punzón de prensado 116 está desplazado hacia arriba para facilitar la inserción del eje 20.

10 En la figura 3b, además el manguito 30 está empujado sobre el eje 20, que debe ser asegurado con el anillo de prensado 10. Para ello, el anillo de prensado 10 es colocado por el lado frontal sobre el eje 20 y el proceso de prensado, que en este ejemplo es realizado dividido en dos etapas parciales, es iniciado para posibilitar una corrección para el retroceso elástico de la prensa 100 cuando el anillo de prensado 10 arranca. En primer lugar, el anillo de prensado 10 entra en contacto con el punzón de prensado 116, con lo cual es definida, al menos provisionalmente, la posición cero del recorrido de prensado, a la que el control debe desplazar el punzón de prensado 116 en la primera subetapa. Luego comienza la primera subetapa y el anillo de prensado 10 es presionado a una posición previa V. El estado alcanzado después de estas etapas está representado en la figura 3c.

15 Por la ejecución de la primera subetapa se dispone de un diagrama fuerza-recorrido que es utilizado para la corrección del recorrido de prensado en función de parámetros de este proceso de prensado. Ahora se puede determinar la holgura axial actual del manguito por desplazamiento sobre el eje. Esta medición de la holgura axial puede ser determinada por unos medios de medición integrados en la prensa o retirando el componente compuesto. A continuación, el casquillo 104 o el punzón de prensado 116 es desplazado el "recorrido de prensado restante" que resulta en al menos otra subetapa, al final de la cual el punzón de prensado 116 también es retrocedido. El estado alcanzado después de estas etapas está representado en la figura 3d.

20 Al retirar los componentes ahora prensados se obtiene la pieza compuesta prensada 40 mostrada en la figura 3e formada por el eje 20, el manguito 30 y el anillo de prensado 10 con holgura axial E bien definida.

25 El curso esencial de la curva característica fuerza-recorrido descrita en la figura 4 no es específico para este proceso especial de prensado. Por tanto, el término "anillo de prensado" puede ser generalizado en la descripción a "componente a ser prensado", mientras que el término "eje" puede generalizarse a "componente sobre el que se debe pensar el componente a ser prensado".

30 Como está indicado en la figura 4, el proceso de prensado se puede dividir en cinco fases. La fase 1 comienza cuando el anillo de prensado 10 entra en contacto con el punzón de prensado 116 insertado en el casquillo 104. A partir de este momento se forma continuamente una fuerza que conduce a la deformación de todos los componentes que se encuentran en la cadena de transmisión. Estos son, por un lado, los componentes de la prensa 100 exigidos por el sistema, esto es, el husillo 106, el cojinete axial, el acoplamiento del motor, la célula de carga 102 y el bastidor en C 101 y, por otro lado, los componentes que se van a prensar entre sí. En esta fase, el recorrido s1 es cubierto por el punzón de prensado - y por tanto también por el casquillo 104. Sin embargo, en la pieza compuesta prensada 40 formada por el anillo de prensado 10 y el eje 20 o el componente a ser prensado y el componente sobre el que va a ser prensado el componente a ser prensado, todavía no hay ningún movimiento porque las fuerzas aplicadas por la prensa 100 todavía no son suficientes para superar las fuerzas de retención del anillo de prensado 10 sobre el eje 20, en particular su fricción estática.

35 La fase 2 comienza tan pronto como la fuerza con la que opera la prensa 100 es suficiente para vencer estas fuerzas de retención. Cuando se alcanza esta fuerza, denominada fuerza de arranque L, se produce el arranque del anillo de prensado 10, lo que significa que comienza a moverse y por tanto se opone al movimiento su fricción de deslizamiento, en lugar de su fricción estática. Como consecuencia, se produce una caída abrupta de la fuerza en la pieza compuesta prensada, en la que el anillo de prensado 10 va temporalmente por delante del punzón de prensado 116 o del casquillo 104 que mueve este. En esta fase, el punzón de prensado 116 cubre el recorrido s2.

40 La fase 3 comienza cuando el punzón de prensado 116 alcanza de nuevo al anillo de prensado 10. La fuerza que actúa comienza a aumentar hasta que se alcanza una velocidad de deslizamiento constante, en la que la fuerza que actúa se encuentra en equilibrio con la fuerza de fricción de deslizamiento. En la fase 3 se cubre la distancia s3.

45 La fase 4 comienza cuando el control de la prensa 100 frena el punzón de prensado 116 o el casquillo 104 controlando el motor 108 realizado como servomotor, de tal manera que la velocidad del proceso de prensado se reduce a cero. En consecuencia, la velocidad del punzón de prensado 116 o del casquillo 104 se reduce hasta que se detiene. El anillo de prensado 10 se encuentra ahora en su posición final y está unido al eje 20 mediante fuerzas de retención, en particular fuerzas de fricción estáticas. En esta posición, sin embargo, todavía actúa una fuerza sobre la pieza compuesta prensada 40, concretamente, la fuerza de ajuste S.

50 Todavía es necesario volver a retroceder el punzón de prensado 116 para liberar la pieza compuesta prensada 40 formada por el anillo de prensado 10 y el eje 20 con el manguito 30. Esto sucede en la fase 5. El casquillo 104 con el punzón de prensado 116 dispuesto sobre el mismo cambia su dirección de avance y comienza a retirarse del anillo de prensado 10. La deformación elástica formada al comienzo del proceso de prensado se reduce de nuevo hasta que finalmente el punzón de prensado 116 está separado del anillo de prensado 10 y ya no ejerce ninguna fuerza. En particular, debe señalarse en este punto que la forma de la curva característica fuerza-recorrido es idéntica durante la

fase 1 y la fase 5 siempre que únicamente se haya producido una deformación elástica.

En virtud del curso de acuerdo con el principio del diagrama fuerza-recorrido representado en la figura 4, en primer lugar se puede imaginar en general cómo esto depende de las tolerancias de los componentes y de parámetros ambientales.

5 El punto de partida para estas consideraciones es el hecho de que los recorridos en el diagrama fuerza-recorrido son siempre recorridos que cubre el casquillo 104 con el punzón 116 insertado en él. Estos recorridos no se corresponden directamente con los recorridos cubiertos por el anillo de prensado 10 sobre el eje 20, y precisamente esta es una causa importante para la falta de precisión de posicionamiento en los procedimientos convencionales.

10 Durante la fase 1, solo se mueve el punzón de prensado 116, pero no el anillo de prensado 10. En consecuencia, debe ser corregido el recorrido de desplazamiento del casquillo 104 predeterminado como variable de regulación. Mediante un valor de corrección fijo, idéntico para todos los procesos de prensado de una serie de componentes, esto no se puede lograr con precisión como consecuencia de las tolerancias de los componentes. Es evidente de inmediato que, por ejemplo, un anillo de prensado 10 con un tamaño en exceso sobre un eje 20 con un tamaño en defecto requerirá una fuerza de arranque L significativamente menor que un anillo de prensado 10 con un tamaño en defecto sobre un eje 20 con un tamaño en exceso.

15 El problema se puede reducir con un gran esfuerzo mediante la clasificación previa de los componentes, de modo que los anillos de prensado 10 con tamaño en defecto y los ejes 20 con el tamaño en exceso correspondiente sean asociados entre sí. Sin embargo, dado que las distancias de recorrido correspondientes pueden ser determinadas fácilmente a partir del diagrama fuerza-recorrido, es adecuado el registro y la evaluación de estos datos según la invención durante los procesos de prensado individuales. Esto es tanto más cierto cuanto que, además de las tolerancias de los componentes, también juegan un papel otras variables, como la temperatura ambiente, la lubricación y la velocidad de prensado.

20 Sin embargo, incluso después de esta corrección, todavía quedan desviaciones entre el movimiento del casquillo 104 o de un punzón de prensado 116 insertado en él y el movimiento del anillo de prensado 10 sobre el eje. Esto se muestra en el hecho de que en la práctica se determina que la distancia s6, que se puede ver en el diagrama fuerza-recorrido y que teóricamente indica la distancia entre el punto en el que el anillo de prensado 10 arranca y el punto en el que se asienta de nuevo, se desvía notablemente del recorrido que ha cubierto el anillo de prensado 10 sobre el eje 20. La explicación de esto es la siguiente:

25 Mientras que la fuerza de arranque L es generada por la prensa 100, se produce una deformación de la prensa 100. Dado que las fuerzas de fricción por deslizamiento que deben ser superadas en la fase 3 son significativamente menores que la fuerza de arranque L, con el arranque del anillo de prensado 10 se produce también una distensión parcial de la prensa 100, que conduce a un movimiento relativo que no puede detectar la cabeza de lectura 114 montada de forma flotante, por lo que el recorrido de prensado restante es sobreestimado. Para compensar este error puede ser calculada la distancia marcada en la figura 4 como distancia s7 a partir del diagrama fuerza-recorrido determinando la fuerza de ajuste S, y o bien se obtiene directamente a partir de los puntos del diagrama fuerza-recorrido durante las fases 1 y 2 del movimiento en las que se alcanza la fuerza de ajuste, o bien es determinada la diferencia entre la fuerza de arranque L y la fuerza de ajuste S y utilizada para seleccionar una distancia de corrección almacenada en una tabla de datos.

30 Para poder realizar estas correcciones en el curso del proceso de prensado, el proceso de prensado es subdividido en dos subetapas. Para ello se pueden extraer los parámetros relevantes de la curva característica fuerza-recorrido de la primera subetapa, y luego se puede hacer la corrección en la segunda subetapa.

A continuación, con referencia a las curvas características fuerza-recorrido según las figuras 5 a 8, se describen en detalle las secuencias de ejemplos de procesos de prensado, teniendo en cuenta diferentes correcciones, para contribuir a una mejor comprensión de la invención.

35 45 En primer lugar se describe un proceso de prensado con la curva característica fuerza-recorrido según la figura 5. En el prensado realizado por este proceso de prensado de dos componentes se debe conseguir un desplazamiento de los componentes entre sí de 80 µm. Es predeterminada en el punzón de prensado una especificación de recorrido (recorrido de prensado predeterminado PW_{vor}) de 80 µm.

40 50 En la ejecución del proceso de prensado resulta entonces la siguiente secuencia: El punzón incide sobre el anillo de prensado e intenta desplazar el anillo de prensado. Así se forma continuamente una fuerza hasta que se alcanza la fuerza de arranque L. Durante la formación de la fuerza se cubre una distancia de recorrido que provoca una deformación elástica dentro de la prensa, así como en el componente compuesto, denominado en lo sucesivo sistema de prensa. Esta deformación elástica no se convierte en un movimiento del anillo de prensado. Esta distancia de recorrido es denominada recorrido muerto T.

55 Después del arranque del anillo de prensado se produce una caída abrupta de la fuerza de prensado. El anillo de prensado ha vencido la fricción estática y experimenta la fuerza de la fricción de deslizamiento durante el desplazamiento.

El punzón de prensado se mueve a la posición predeterminada que corresponde al recorrido de prensado predeterminado de 80 µm. Después de alcanzar la posición final, el punzón retrocede. Aquí, tanto la prensa como el componente compuesto son descargados continuamente. La curva característica durante la descarga presenta la misma pendiente que durante la formación de fuerza.

5 En la práctica, el proceso de prensado que se acaba de describir en detalle conduce al siguiente resultado: la especificación de recorrido (el recorrido de prensado predeterminado PW_{vor}) era de 80 µm. El recorrido muerto T era de 15 µm. El recorrido de prensado calculado y controlado por el control fue de 80 µm, sin embargo el recorrido de prensado efectivo de la prensa PW_{eff} determinado en el componente, fue de solo 70 µm. Dado que la distancia de recorrido efectiva del desplazamiento del componente es de 70 µm, en este procedimiento de prensado no se alcanzó la posición objetivo por 10 µm. El recorrido de prensado efectivo PW_{eff} es menor en 10 µm.

10 Lo siguiente es una descripción de un proceso de prensado con la curva característica fuerza-recorrido según la figura 6, en el que se tiene en cuenta una compensación del recorrido muerto. De nuevo, en el prensado de dos componentes debe lograrse un desplazamiento de los componentes entre sí de 80 µm. Pero en el punzón de prensado es predeterminada una especificación de recorrido (un recorrido de prensado predeterminado PW_{vor}) que, además del desplazamiento deseado de los componentes de 80 µm, tiene aquí también en cuenta una distancia de recorrido que corresponde al recorrido muerto T.

15 La secuencia corresponde esencialmente a la secuencia descrita en relación con la figura 5. Después del arranque del anillo de presión se produce una caída brusca de la fuerza de prensado. Esta caída de fuerza es reconocida por el control de la prensa y calculada la distancia de recorrido que corresponde al recorrido muerto T. Este recorrido muerto T es descrito por la fuerza de arranque y el origen de la curva característica fuerza-recorrido. Este recorrido muerto T es agregado una vez durante el proceso de prensado mientras dura.

20 En la práctica, el proceso de prensado que se acaba de describir en detalle conduce al siguiente resultado: La especificación de recorrido para el punzón de prensado era de 80 µm. El recorrido muerto era de 15 µm, que el control de prensa reconoció y tuvo en cuenta. Así, el recorrido de prensado predeterminado por el control es $PW_{vor} = 80 \mu\text{m} + \text{recorrido muerto T} (15 \mu\text{m}) = 95 \mu\text{m}$. En la práctica, esto da como resultado para el recorrido de prensado efectivo PW_{eff} medido en el componente un valor de 85 µm. De la evaluación resulta que la distancia de recorrido efectiva del desplazamiento del componente es 85 µm, que con el procedimiento de prensado con compensación dinámica del recorrido muerto, consiguió una mejora de la desviación en comparación con el proceso de prensado sin compensación del valor muerto, pero la posición objetivo fue superada en 5 µm. El recorrido de prensado efectivo PW_{eff} tiene un exceso de 5 µm.

25 A continuación se realiza la descripción de un proceso de prensado con la curva característica fuerza-recorrido según la figura 7, en el que se tienen en cuenta una compensación del recorrido muerto y una primera variante de una compensación adicional de una variación de la tensión previa en el sistema.

De nuevo en el prensado de dos componentes debe lograrse un desplazamiento de los componentes entre sí de 80 µm.

35 Aquí, el proceso de prensado se divide en dos subetapas, concretamente un prensado previo y un prensado final EP. Sobre la base del prensado previo VP, los valores característicos "fuerza de arranque" L y "fuerza de ajuste" S son determinados a partir de la curva característica fuerza-recorrido generada. La fuerza diferencial ΔF se calcula a partir de la fuerza de arranque L y la fuerza de ajuste S.

$$\Delta F = \text{fuerza de arranque L} - \text{fuerza de ajuste S}$$

40 Un valor de corrección asociado a la fuerza diferencial ΔF calculada es determinado a partir de una tabla de consulta.

Ejemplo de tabla de consulta:

Fuerza diferencial ΔF [N]	Valor de corrección dependiente de la fuerza [µm]	
$\geq -175 < -150$	-6	Fuerza de ajuste mayor que fuerza de arranque
$\geq -150 < -125$	-5	
$\geq -125 < -100$	-4	
$\geq -100 < -75$	-3	
$\geq -75 < -50$	-2	
$\geq -50 < -25$	-1	
$\geq -25 < 0$	-0,5	
$\geq 0 < 25$	0,5	Fuerza de ajuste mayor que fuerza de arranque
$\geq 25 < 50$	1	

Fuerza diferencial ΔF [N]	Valor de corrección dependiente de la fuerza [μm]	
$\geq 50 < 75$	2	Fuerza de ajuste menor que fuerza de arranque
$\geq 75 < 100$	3	
$\geq 100 < 125$	4	
$\geq 125 < 150$	5	
$\geq 150 < 175$	6	

5 En una segunda etapa de prensado (prensado final EP), en la que los componentes deben ser desplazados exactamente $80 \mu\text{m}$ entre sí, se utiliza para la compensación del recorrido muerto además la compensación con un valor de corrección dependiente de la fuerza que fue determinado por la fuerza diferencial ΔF de la fuerza de arranque L y la fuerza de ajuste S.

La fuerza diferencial ΔF (fuerza de arranque L - fuerza de ajuste S) es la causa de una variación de la tensión previa en el sistema de prensa. Si la fuerza de ajuste S es menor que la fuerza de arranque L, esto hace que el sistema de prensa retroceda elásticamente. Si la fuerza de ajuste S es mayor que la fuerza de arranque L, la tensión previa en el sistema de prensa aumenta. Esto provoca, por ejemplo, una mayor flexión del bastidor en C.

- 10 La especificación de recorrido del punzón ahora incluye:
- el recorrido de prensado en altura deseado de $80 \mu\text{m}$
 - la compensación dinámica del recorrido muerto
 - la consideración del valor de corrección dependiente de la fuerza.

15 Con esto se consigue como resultado que a partir de la especificación de recorrido para el punzón de prensado: $80 \mu\text{m}$ y el recorrido muerto T: $15 \mu\text{m}$, teniendo en cuenta el valor de corrección dependiente de la fuerza: $5 \mu\text{m}$, el recorrido de prensado predeterminado calculado por el control sea: $PW_{\text{vor}} = 80 \mu\text{m} + 15 \mu\text{m}$ (recorrido muerto T) - $5 \mu\text{m}$ (valor de corrección) = $90 \mu\text{m}$, que corresponde entonces a un recorrido de prensado efectivo $PW_{\text{eff}} = 80 \mu\text{m}$ que se puede medir realmente en el componente. En la evaluación resulta que, dado que la distancia de recorrido efectiva del desplazamiento del componente es de $80 \mu\text{m}$, en el proceso de prensado con compensación dinámica del recorrido muerto y valor de corrección dependiente de la fuerza se consiguió la posición objetivo exactamente.

20 Cabe señalar que los valores para la tabla de búsqueda pueden ser determinados o bien mediante la evaluación gráfica de las curvas características fuerza-recorrido, o bien mediante valores empíricos que fueron alcanzados durante prensados de prueba.

25 Finalmente, se describe aún un proceso de prensado con la curva característica fuerza-recorrido según la figura 8, en el que se tiene en cuenta una compensación de recorrido muerto y una segunda variante de una compensación adicional de una variación de la tensión previa en el sistema.

También aquí en el prensado de dos componentes debe conseguirse un desplazamiento de los componentes entre sí de $80 \mu\text{m}$, siendo dividido el proceso de prensado en dos subetapas, concretamente un prensado previo VP y un prensado final EP.

30 Con base en un prensado previo VP es determinada la "fuerza de ajuste" S a partir de la curva característica fuerza-recorrido generada. La curva característica de fuerza es analizada en el flanco de fuerza ascendente y descendente respecto a la fuerza de arranque L, de tal manera que son determinadas las informaciones de recorrido correspondientes que corresponden al nivel de fuerza de la fuerza de ajuste S. A partir de estas informaciones de recorrido es calculado el recorrido diferencial Δs .

35 Este recorrido diferencial corresponde a la distensión parcial (retroceso elástico) del sistema de prensa, así como del componente compuesto, provocada por diferentes niveles de fuerza durante el arranque o el ajuste del componente.

En una segunda etapa de prensado (prensado final EP), en la que los componentes deben ser desplazados entre sí exactamente $80 \mu\text{m}$, se utiliza para la compensación de recorrido muerto además la compensación con el recorrido diferencial Δs , que es producido por una distensión parcial del sistema de prensa.

40 La especificación de recorrido del punzón incluye el recorrido de prensado deseado en altura de $80 \mu\text{m}$, la compensación dinámica de recorrido muerto, así como la compensación del recorrido diferencial Δs .

También con esta variante del procedimiento se consigue el resultado de que a partir de la especificación de recorrido para el punzón de prensado: $80 \mu\text{m}$ y el recorrido muerto T: $15 \mu\text{m}$, teniendo en cuenta el valor de corrección dependiente de la fuerza: $5 \mu\text{m}$, el recorrido de prensado predeterminado calculado por el control es $PW_{\text{vor}} = 80 \mu\text{m} +$

5 15 μm (recorrido muerto) - 5 μm (valor de corrección) = 90 μm , lo que da como resultado un recorrido de prensado efectivo que se puede medir realmente en el componente PW_{eff} : 80 μm . En la evaluación resulta que, dado que la distancia de recorrido efectiva del desplazamiento del componente es de 80 μm , la posición objetivo se alcanzó exactamente en el proceso de prensado con compensación dinámica del recorrido muerto y el valor de corrección dependiente de la fuerza.

Hay que señalar que este procedimiento no requiere la creación de una tabla de búsqueda. El recorrido diferencial Δs es determinado a partir de la curva característica fuerza-recorrido del prensado previo y se aplica automáticamente al prensado final.

Lista de símbolos de referencia

10	10	anillo de prensado
	20	eje
	30	manguito
	40	pieza compuesta prensada
	100	prensa
15	101	bastidor en C
	101a	parte de pie
	101b	parte intermedia
	101c	parte de cabezal
	102	celda de carga
20	103	guía lineal
	104	casquillo
	106	husillo de accionamiento
	108	motor
	109,110	placas laterales
25	111	manguito de centrado
	112	cojinete de deslizamiento de plástico
	113	cinta métrica
	114	cabeza de lectura
	115	herramienta inferior
30	116	punzón de prensado
	s1-s7	distancias
	Δs	recorrido diferencial
	ΔF	fuerza diferencial
	L	fuerza de arranque
35	S	fuerza de ajuste
	E	holgura axial
	V	posición previa
	T	recorrido muerto
	PW_{vor}	recorrido de prensado predeterminado
40	PW_{eff}	recorrido de prensado efectivo
	VP	prensado previo
	EP	prensado final

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de prensado para una prensa (100) con una herramienta inferior (111) y un punzón de prensado accionado por un motor (108), o un casquillo (104) accionado por un motor (108), en el que la prensa (100) presenta además un sistema de medición de posición para la medición directa o indirecta de la posición del punzón de prensado o del casquillo (104) y un sistema de medición de fuerza para medir la fuerza ejercida por la prensa (100) y en el que el sistema de medición de posición y el sistema de medición de fuerza están en comunicación de señales con una electrónica de control para controlar la prensa (100), con las etapas
- inserción de los componentes a ser prensados en la herramienta inferior (111),
 - prensado de los componentes a ser prensados, y
- 10 - retirada de los componentes prensados,
- en el que
- durante el prensado de los componentes es realizado el registro de puntos de datos para un diagrama fuerza-recorrido para los componentes insertados en cada caso por medio del sistema de medición de posición y del sistema de medición de fuerza,
- 15 - aún durante el prensado de los componentes, para los cuales fueron registrados los puntos de datos, es realizada una evaluación de los puntos de datos para determinar al menos un valor de corrección para el recorrido de prensado, y
- aún durante el prensado de los componentes, para los cuales fueron registrados los puntos de datos, es realizada una corrección del recorrido de prensado para estos componentes utilizando al menos uno de los valores de corrección obtenidos de esta manera, comprendiendo los componentes a ser prensados al menos un primer y un segundo componente,
- 20 caracterizado por que el procedimiento de prensado es un procedimiento de prensado para el posicionamiento sin tope del primer componente en una posición predeterminada del segundo componente, y por que la evaluación de los puntos de datos para el diagrama fuerza-recorrido comprende una determinación, al menos aproximada, de la posición en la que fue alcanzada la fuerza de arranque (L).
- 25
2. Procedimiento de prensado según la reivindicación 1, caracterizado por que la determinación de la posición en la que se alcanzó la fuerza de arranque (L), obtenida al menos de forma aproximada, es realizada por evaluación del aumento de fuerza entre puntos de medición adyacentes respectivos y/o por determinación de que se ha alcanzado un máximo de la fuerza.
- 30
3. Procedimiento de prensado según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la corrección consiste, al menos parcialmente, en que sea utilizada la posición en la que fue alcanzada la fuerza de arranque (L) como posición inicial del recorrido de prensado.
- 35
4. Procedimiento de prensado según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la corrección consiste, al menos parcialmente, en añadir al recorrido de prensado para el proceso de prensado en curso la distancia de recorrido entre la posición en la que el punzón de prensado entra en contacto con uno de los componentes y la posición en la que fue alcanzada la fuerza de arranque (L).
- 40
5. Procedimiento de prensado según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el prensado de los componentes se lleva a cabo en al menos dos subetapas.
- 40
6. Procedimiento de prensado según la reivindicación 5, caracterizado por que la evaluación de los puntos de datos comprende que después del final de la primera subetapa sea determinada la fuerza de ajuste (S) al menos de forma aproximada.
- 45
7. Procedimiento de prensado según la reivindicación 6, caracterizado por que la evaluación de los puntos de datos comprende además determinar la diferencia entre la fuerza de arranque (L) y la fuerza de ajuste (S) y por que la corrección consiste, al menos parcialmente, en reducir el recorrido de prensado para la segunda subetapa de prensado de la pieza compuesta prensada en un recorrido asociado a esta diferencia de fuerza que está almacenado en una tabla de datos.
- 45
8. Procedimiento de prensado según la reivindicación 6, caracterizado
- por que la evaluación de los puntos de datos comprende además determinar los valores de posición de los dos primeros puntos del diagrama fuerza-recorrido en los que prevalece la fuerza de ajuste (S) y por que es determinada la diferencia del valor de posición del segundo punto del diagrama fuerza-recorrido en el que prevalece la fuerza de ajuste (S) y el valor de posición del primer punto del diagrama fuerza-recorrido en el que prevalece la fuerza de ajuste (S), y
- 50

- por que la corrección consiste, al menos parcialmente, en reducir el recorrido de prensado para la segunda subetapa de prensado de los componentes mediante esta diferencia.

- 5 9. Prensa (100) para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, con un bastidor en C (101) con una parte de pie (101a), una parte intermedia (101b) y una parte de cabezal (101c), un sistema de medición de fuerza dispuesto en la parte de pie (101a), una guía lineal (103) que conduce a un casquillo (104) y que es movable por medio de un motor (108), un control que controla el motor (29), de modo que a ambos lados del bastidor en C (101) está colocada, respectivamente, una pared lateral (109, 110), estando la pared lateral (109) sujeta fijamente al bastidor en C (101), mientras que la otra pared lateral (110) está fijada únicamente en la zona de la parte de pie (101a) del bastidor en C (101) y está conectada solo con unión positiva de fuerza en la zona de la parte intermedia (101b) y la parte de cabezal (101c), presentando la prensa además un sistema de medición de posición para la posición del casquillo (104) o de un punzón de prensado dispuesto en el mismo, de modo que al menos el sistema de medición de fuerza y el sistema de medición de posición pueden ser llevados en comunicación de señales con el control, y en el que el control es adecuado para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.
- 10

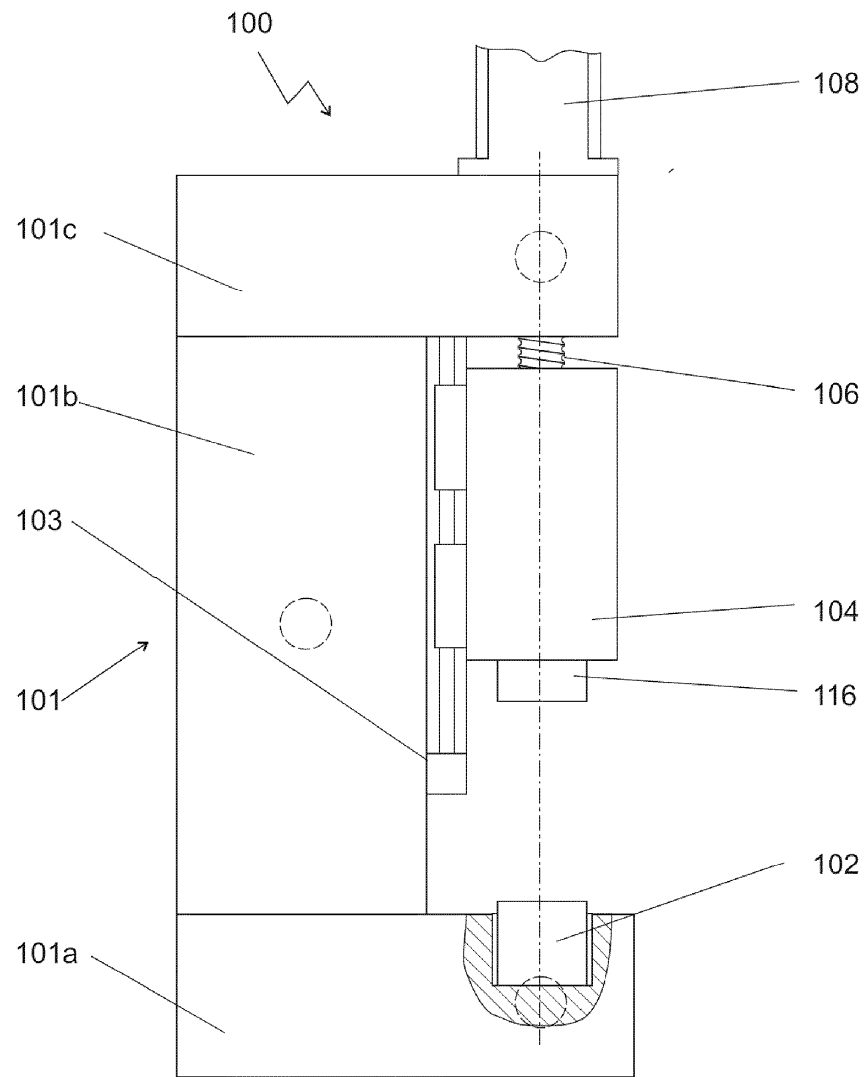


Fig. 1

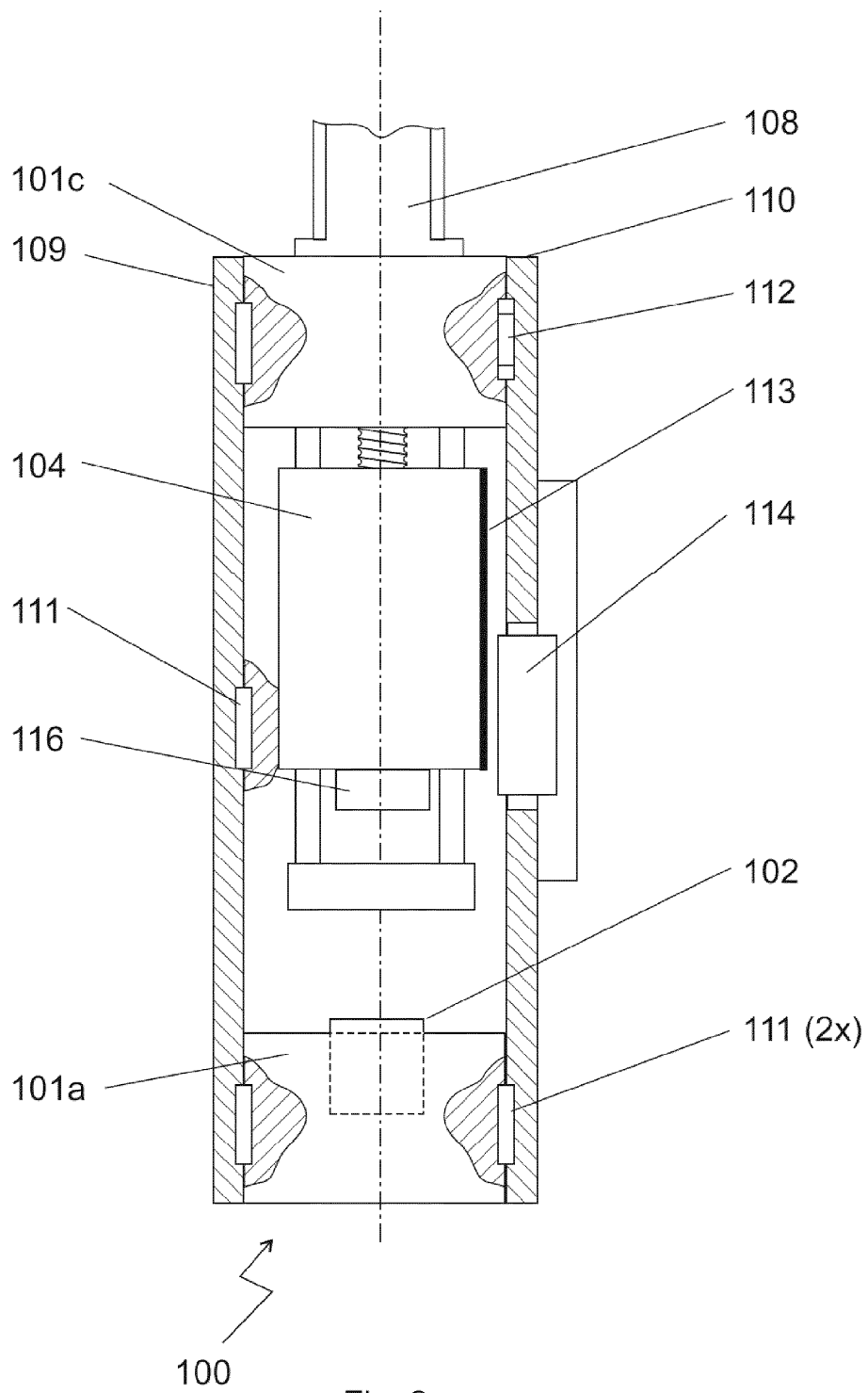


Fig. 2

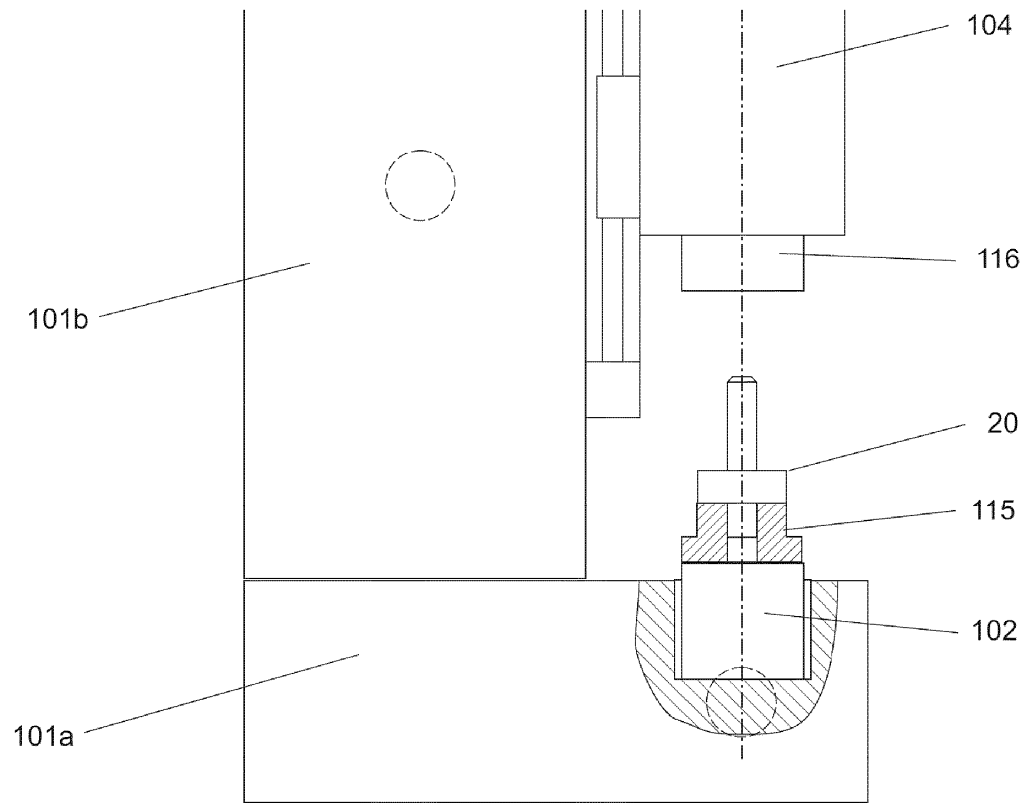


Fig. 3a

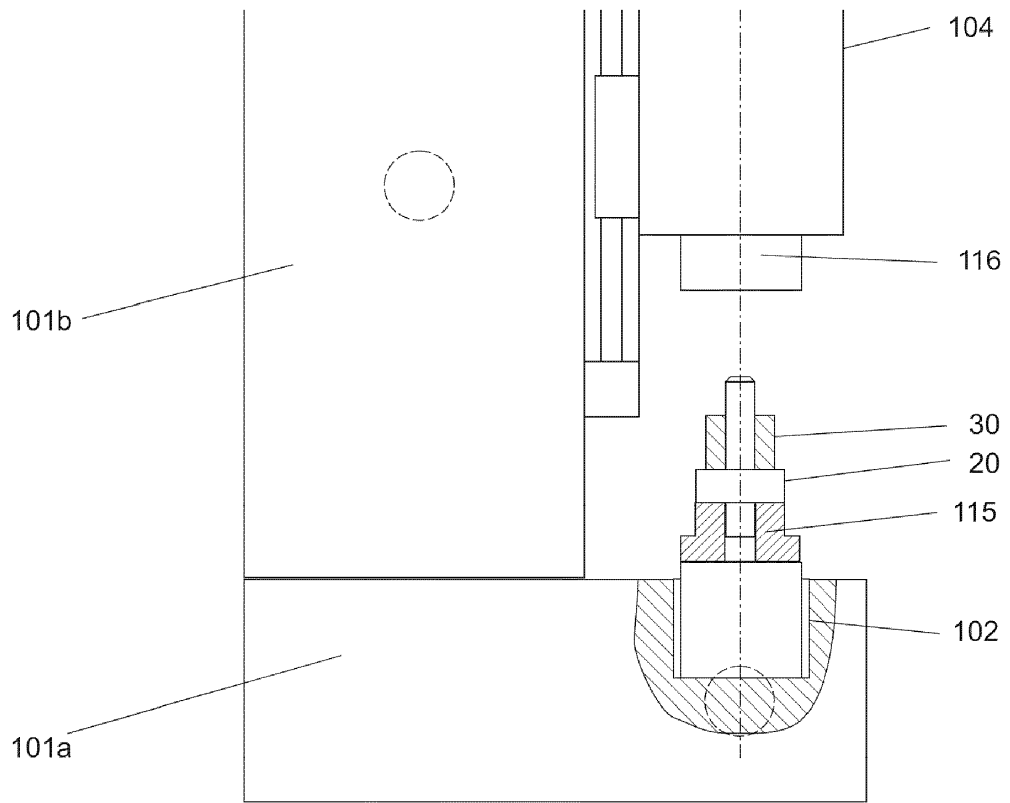


Fig. 3b

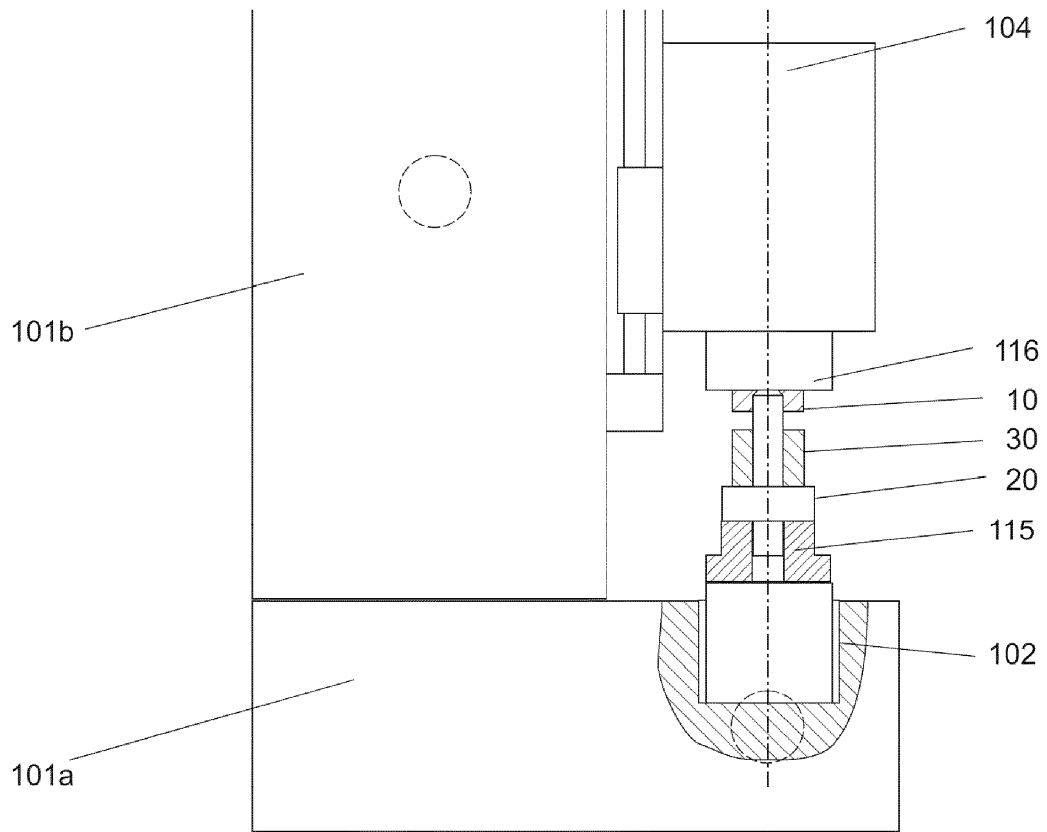


Fig. 3c

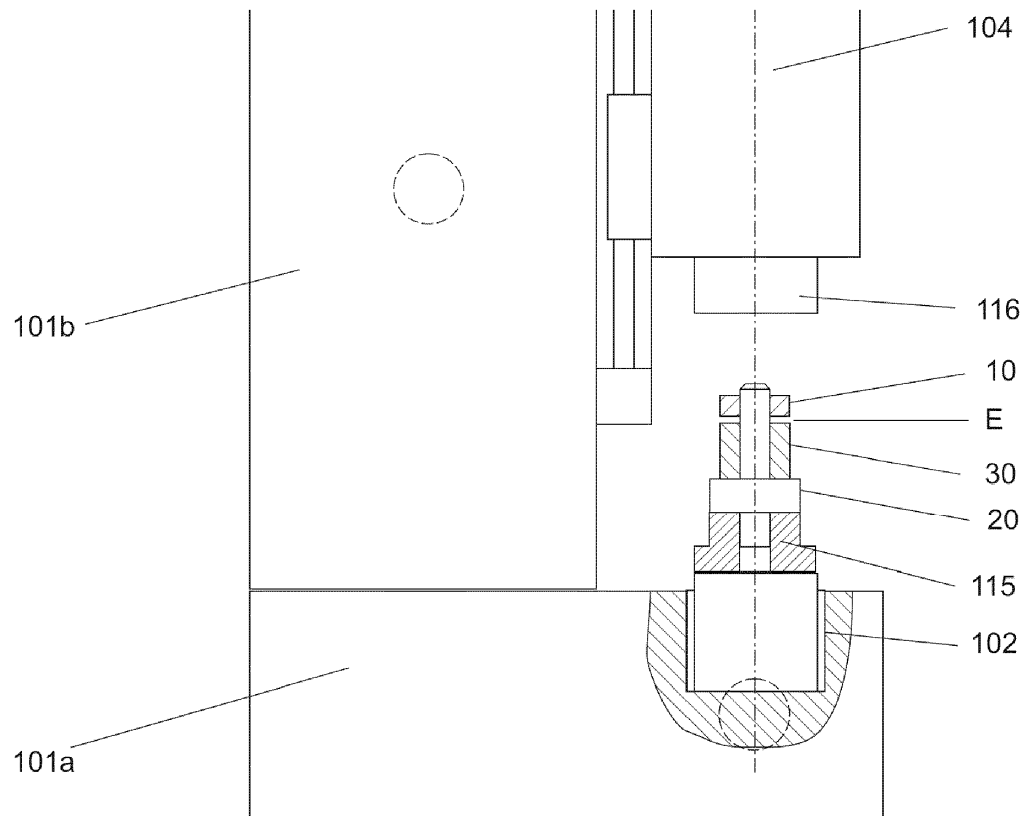


Fig. 3d

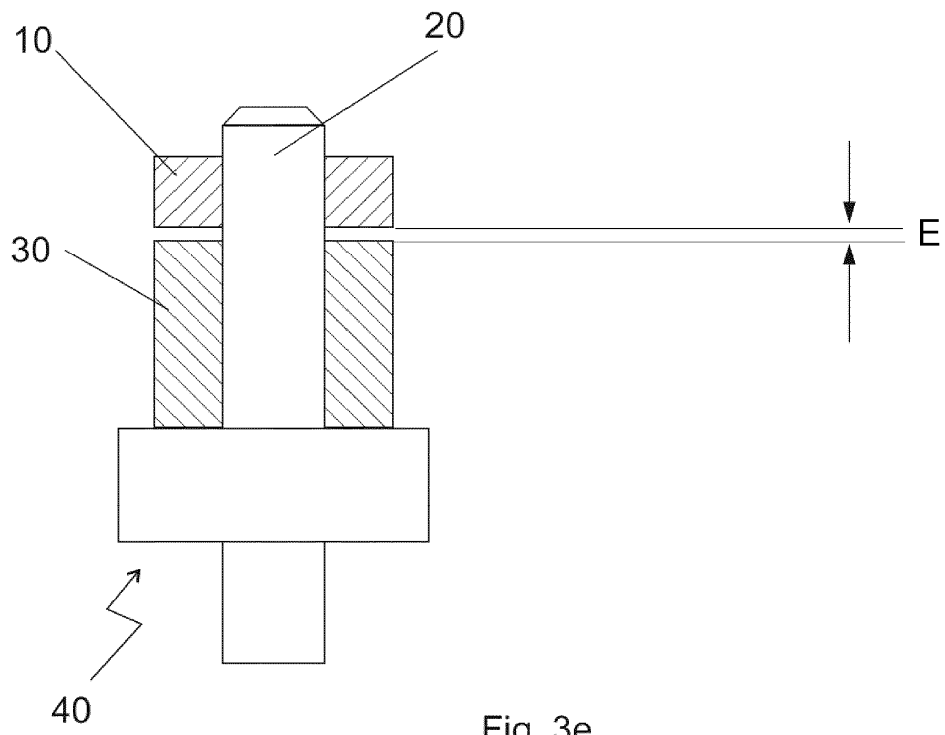


Fig. 3e

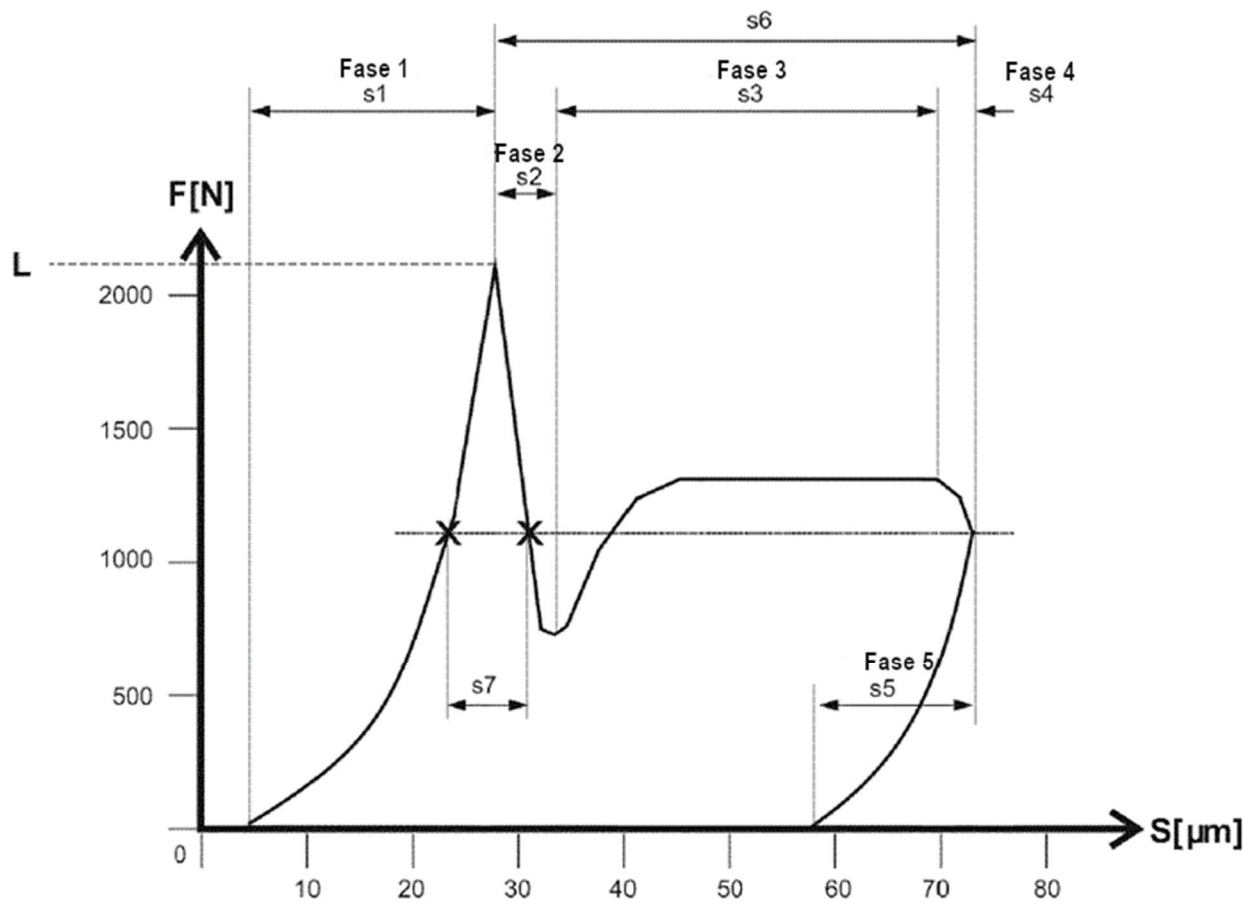


Fig. 4

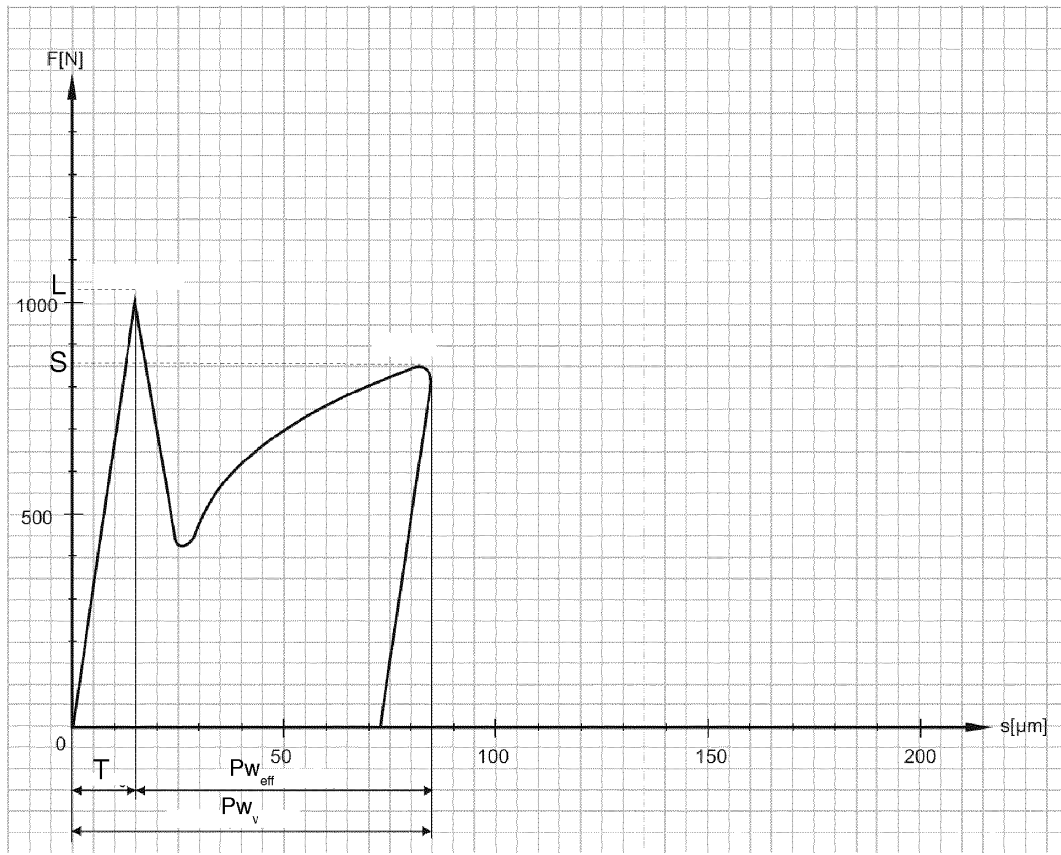


Fig. 5

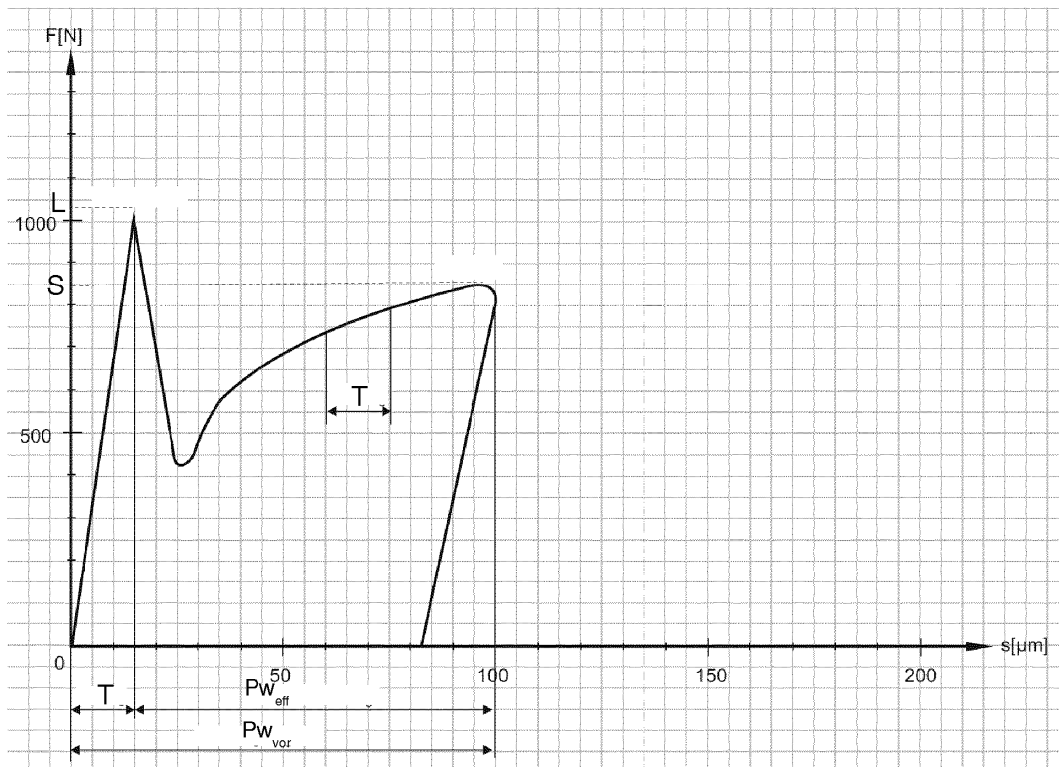


Fig. 6

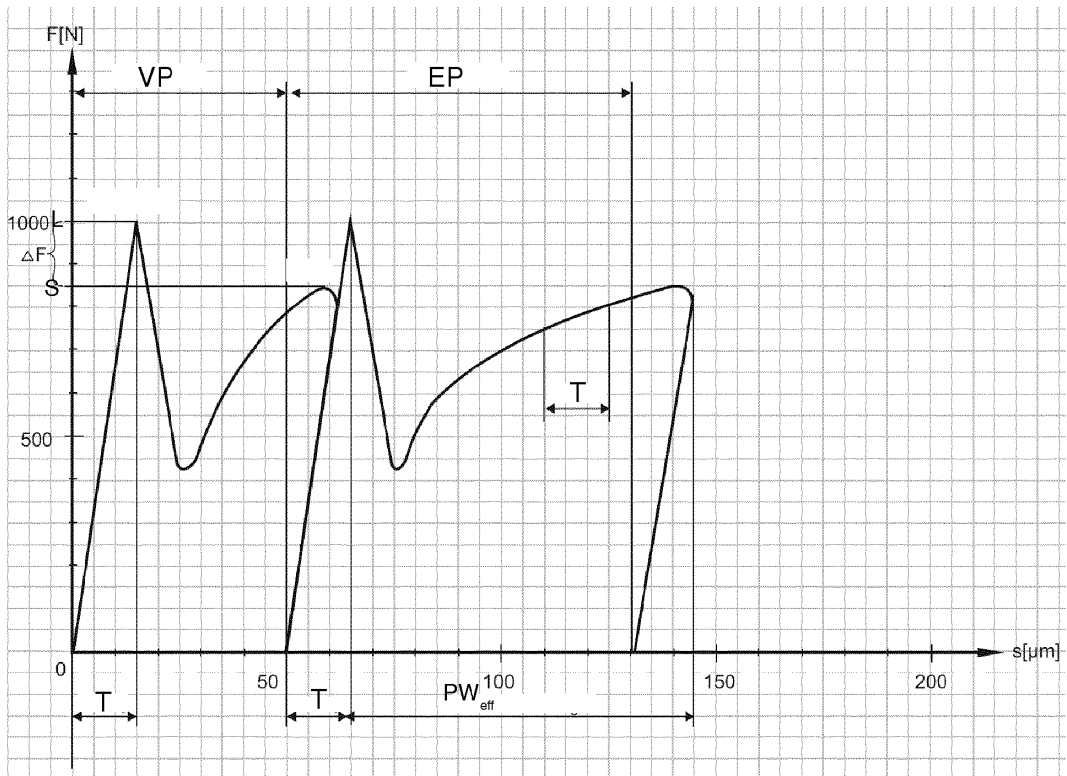


Fig. 7

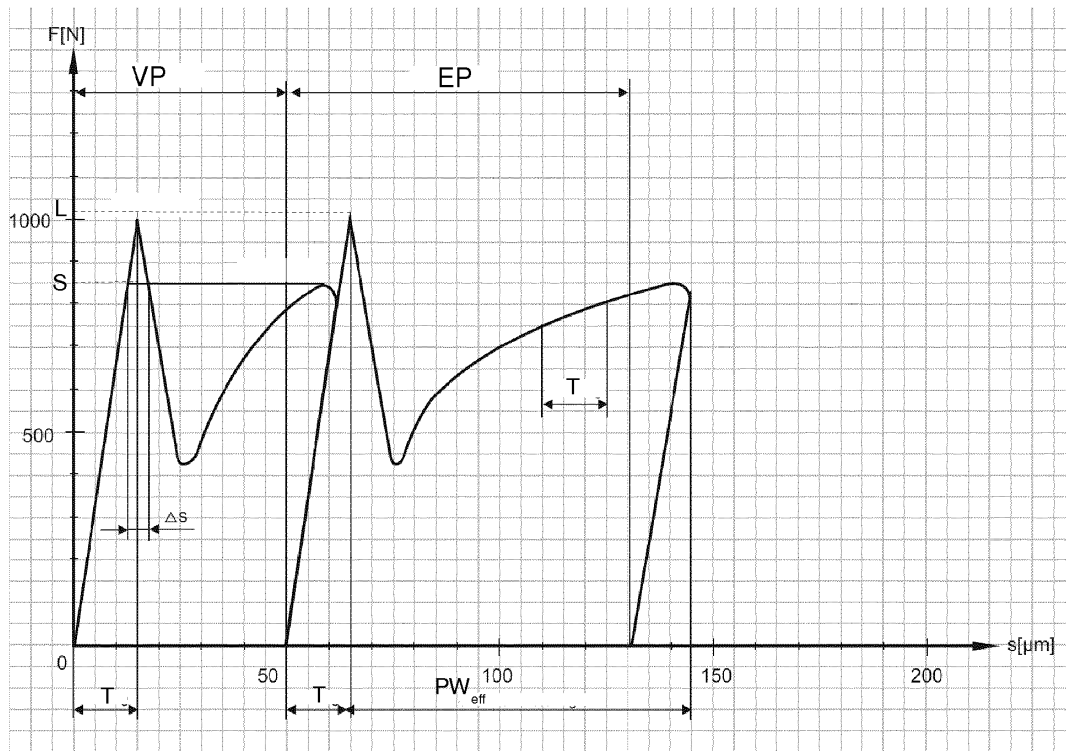


Fig. 8