

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 813 380**

51 Int. Cl.:

**G01N 3/20** (2006.01)

**G01N 33/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2018 PCT/EP2018/058190**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2018 WO18178288**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2018 E 18716181 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 3601999**

54 Título: **Dispositivo para la realización de ensayos de flexión en muestras en forma de placa o barra**

30 Prioridad:

**29.03.2017 DE 102017205362**

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

**23.03.2021**

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastraße 27c  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**SANDER, CHRISTOPH;  
GALL, MARTIN;  
MACHER, FRANK;  
CLAUSNER, ANDRÉ y  
ZSCHECH, EHRENFRIED**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 813 380 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

Dispositivo para la realización de ensayos de flexión en muestras en forma de placa o barra

- 5 La invención se refiere a un dispositivo para la realización de ensayos de flexión en muestras en forma de placa o barra. A este respecto, las muestras se pueden doblar en dos direcciones opuestas con momentos de flexión homogéneos o no homogéneos, de modo que en las superficies de la respectiva muestra actúan tensiones de tracción o compresión según la dirección de flexión. Con la invención también se pueden realizar entre otros exámenes de tracción o delaminación de las muestras.
- 10 Una de las geometrías experimentales posibles es el así denominado test de flexión de cuatro puntos (4PB). A este respecto se pueden determinar la resistencia a la fractura y en el caso de muestras de tipo composite la adherencia de capas, que están configuradas en una capa límite de una muestra tipo sándwich. Durante un test de flexión de cuatro puntos semejante se doblan las muestras en forma de barra con geometría y dimensionado definidos.
- 15 La respectiva muestra en forma de barra se deforma con ayuda de cuatro pines, en los que al menos dos pines sirven como apoyos. A este respecto, dos pares de pines están dispuestos respectivamente en el lado inferior y en el lado superior de la muestra y orientados en paralelo entre sí. Para tensiones de tracción en el lado superior de muestra, los pines dispuestos en el lado inferior tienen una distancia menor entre sí que el par de pines dispuestos en el lado superior (para tensiones de compresión en la superficie de muestra, el par de pines está dispuesto a distancia menor
- 20 en el lado superior). Durante la flexión de la muestra se mueve al menos un par de pines perpendicularmente (por medio de la rotación de las recepciones de pin) respecto a la superficie de muestra y, a este respecto, las fuerzas de compresión actúan sobre la superficie, que provocan una flexión de la muestra. A este respecto, los momentos de flexión entre el par de pines menores son homogéneos sobre la longitud de muestra. A través de un control separado, no paralelo de los movimientos de pines también se pueden contrarrestar las asimetrías que aparecen durante un
- 25 experimento o, en caso de necesidad, provocarlas.
- Con frecuencia también se realizan exámenes de la superficie doblada de la muestra en paralelo a la flexión. Así, la respectiva superficie se puede examinar con un aparato de medición, p. ej. un microscopio, en particular un microscopio electrónico de barrido, durante la flexión. Así, se requiere una pequeña altura constructiva y una
- 30 accesibilidad, a fin de permitir una buena calidad de imagen con una pequeña distancia de trabajo del microscopio. En el caso de remoción de material simultánea con un haz de iones focalizado se debe observar a este respecto el punto eucéntrico de la columna de iones y electrones. Este es específico al aparato y requiere la observación de la altura de muestra máxima admisible. Pero esto solo se puede realizar de forma difícil y con elevado coste en los dispositivos conocidos según el microscopio electrónico y, no obstante, de forma sencilla con el dispositivo propuesto.
- 35 La solicitud de patente US2003/0192385 A1 da a conocer un dispositivo para la realización de ensayos de flexión en muestras en forma de placa según el preámbulo de la reivindicación 1.
- Además, en una superficie de la muestra se puede implementar un cambio entre la tensión de compresión y tracción
- 40 con flexión correspondiente, sin tener que retirar la muestra y modificar la estructura de test. En los dispositivos conocidos, esto solo es posible con medidas de remodelación inclusive de una interrupción posible del vacío. A este respecto, para el uso de un microscopio electrónico de barrido, la muestra se debe sacar por esclusa de la cámara de vacío con el dispositivo. Así no se pueden implementar las solicitudes mutuas en el caso de examen simultáneo y sin interrupción del vacío.
- 45 El accionamiento utilizado para el movimiento de traslación de los pines para el doblado de la muestra es costoso en su estructura, cuando se deben tener en cuenta los recorridos o diferencias de recorridos muy pequeños en la flexión y se debe observar una altura constructiva pequeña.
- 50 Por ello, el objeto de la invención es elevar la flexibilidad en la realización de ensayos de flexión con inversión de carga en muestras en forma de placa o barra (eventualmente también con solicitación asimétrica) observando una altura constructiva pequeña y mejorar la accesibilidad para exámenes y manipulaciones, en particular bajo condiciones limitadas respecto al espacio constructivo de una cámara de vacío en superficies de muestra dobladas.
- 55 Según la invención este objeto se consigue con un dispositivo que presenta las características de la reivindicación 1. Configuraciones y perfeccionamientos ventajosos de la invención se pueden realizar con las características designadas en las reivindicaciones dependientes.
- En el dispositivo según la invención están dispuestos dos accionamientos de giro a una distancia entre sí. Una brida
- 60 está fijada respectivamente en los árboles de accionamiento orientados en paralelo entre sí de los accionamientos de giro. En las bridas están presentes respectivamente al menos dos pines orientados en paralelo respecto al eje de rotación del respectivo árbol de accionamiento, dispuestos a una distancia del eje de rotación y a una distancia entre

sí como elementos de flexión en forma de varilla, donde la muestra en forma de placa o barra se puede introducir respectivamente entre los dos elementos de flexión en forma de varilla en las dos bridas y durante un giro de los accionamientos de giro con dirección de giro opuesta se ejercen fuerzas de flexión sobre la muestra. Los dos accionamientos de giro se pueden excitar respectivamente individualmente y están conectados con una unidad de control o regulación electrónica.

La introducción de la muestra entre los elementos de flexión en forma de varilla se debería realizar preferiblemente cuando se ha ajustado un ángulo de giro de las bridas, en el que los elementos de flexión en forma de varilla están dispuestos sobre un eje que no está orientado horizontalmente.

Para estados de tensión homogéneos sobre la superficie de muestra y momentos de flexión homogéneos, los accionamientos de giro se tienen que poder girar con respectivamente el mismo ángulo de giro absoluto en dirección opuesta, de modo que se puede conseguir una flexión uniforme de la muestra entre los elementos de flexión en forma de varilla.

Con una forma de realización semejante del dispositivo según la invención es posible generar tensiones de tracción y compresión en alternancia en las superficies dispuestas y dobladas de forma opuesta de la muestra, sin que se deba introducir una pausa.

Gracias al movimiento desacoplado de los dos accionamientos de giro se posibilita y es especialmente ventajoso un giro asíncrono y asimétrico de los accionamientos de giro, en el que las bridas pueden presentar en un mismo instante diferentes ángulos de giro.

Mediante un giro asíncrono y simétrico, los gradientes de tensión se pueden ajustar de forma dirigida sobre la superficie de muestra entre los respectivos elementos de flexión interiores en forma de varilla, que están dispuestos en la respectiva brida. De este modo, las diferencias de tensión graduales sobre la superficie de muestra pueden conducir a efectos dependientes de la tensión, según es posible esto p. ej. para una formación de grietas definida de forma preferida. Las influencias exteriores modificadas, como p. ej. temperatura o atmósferas, se pueden examinar sobre una muestra mediante estos gradientes de momento de flexión ajustados con una pluralidad de estados de tensión simultáneos y reconocerse las tensiones críticas (fig. 7 y fig. 8).

El desacoplamiento de los accionamientos de giro permite una calibración sencilla del dispositivo y una alta precisión en la realización de ensayos de flexión. Así, se puede realizar un reajuste dirigido, p. ej. en el caso de pérdidas de paso de motores paso a paso como accionamiento de giro o en el caso de juego de engranaje.

La unidad de control o regulación electrónica puede estar conectada con al menos un sensor, que está configurado para la determinación de pares de giro o fuerzas, que actúan en al menos una brida o al menos un elemento de flexión en forma de varilla y/o la muestra, y cuyas señales de medición se pueden utilizar para la regulación del movimiento de giro de las bridas con los elementos de flexión en forma de varilla.

Ventajosamente están presentes al menos dos sensores, que están configurados para la determinación de la fuerza que actúa entre un pin como elemento de flexión en forma de varilla y la superficie de muestra o de un par de giro que actúa en una brida o elemento de flexión en forma de varilla, durante el contacto del respectivo elemento de flexión en forma de varilla con la superficie de muestra, y están dispuestos correspondientemente en el respectivo elemento de flexión en forma de varilla, brida y/o dispositivo de accionamiento, así como están conectados con la unidad de regulación electrónica. La unidad de accionamiento electrónica debería estar configurada para la realización de una calibración y/o descubrimiento del contacto de punto cero.

Para la evaluación mejorada de ensayos de flexión para el examen dependiente de la tensión del lado superior de muestra y también test de adhesión de 4PB en muestras tipo sándwich, se puede realizar una medición de las diferencias de pares de giro en los elementos de flexión en forma de varilla y/o bridas. También es posible un reajuste en el caso de desequilibrios de momentos debido a las pérdidas de paso de los accionamientos de giro o juegos de engranaje. En combinación con bridas giratorias independientemente entre sí, con la ayuda de captadores de par de giro, como sensores apropiados para la determinación de pares de giro, se puede determinar, por ejemplo, el punto cero/punto de contacto de la superficie de la respectiva brida en la superficie de la muestra. Una calibración se puede realizar de forma automatizada.

Se puede realizar una calibración con determinación del punto cero, de modo que una muestra se mete en elementos de flexión en forma de varilla orientados perpendicularmente en sus superficies (fig. 1). Según el modo de sollicitación deseado (tensión de compresión o tracción en el lado superior de muestra) se pueden girar las bridas con elementos de flexión en forma de varilla, hasta que todos los cuatro elementos de flexión tienen contacto con la muestra y debido a las fuerzas de contacto que actúan en los sensores de fuerzas o de pares de giro entre las bridas o elementos de

flexión en forma de varilla y accionamiento se mide un valor umbral de par de giro pequeño ajustado anteriormente (fig. 2). Entonces las bridas se giran un poco de vuelta, de modo que el par de giro se vuelve cero de nuevo. Esta posición se establece como posición cero o posición de contacto. Las dos bridas se pueden girar a este respecto individualmente. De este modo se puede prescindir de una determinación y calibración de posición absoluta.

5

En el ensayo 4PB con muestras tipo sándwich se parte de que una grieta, que se inicia en el centro de la muestra, se propaga a través del momento de flexión homogéneo entre los puntos de apoyo en los elementos de flexión en forma de varilla, dispuestos interiormente en las bridas, en dos frentes de grieta simultáneamente en la capa límite entre las dos barras pegadas de una muestra en la dirección de estos elementos de flexión en forma de varilla, dispuestos interiormente. En este caso se puede medir una meseta de fuerza con la que se calcula la tasa de liberación de energía. No obstante, con frecuencia ocurre que una grieta se propaga del centro de muestra en solo una dirección, lo que conduce a que el momento de flexión ya no esté distribuido de forma homogénea y la curva de fuerza - recorrido no presente ninguna meseta aprovechable. Los momentos, que se pueden medir en las dos bridas, o fuerzas y/o momentos, que se pueden medir en los elementos de flexión en forma de varilla, ya no son entonces del mismo tamaño. De este modo se pueden medir indirectamente las longitudes de grieta. En este caso se puede reajustar de forma dirigida uno o ambos ángulos de giro de brida, de modo que se ajusta una intensidad de fuerza más alta en la grieta más corta y se continúa el crecimiento de grieta en esta parte preferiblemente, de modo que se restablece la suposición de un crecimiento de grieta síncrono. Alternativamente se pueden evaluar directamente las longitudes de grieta medidas y determinarse por consiguiente la tasa de liberación de energía. Para ello se requiere otro método de cálculo que engloba las longitudes de grieta asimétricas.

Ventajosamente, los elementos de flexión en forma de varilla deberían estar configurados de forma curvada convexa al menos en las zonas de superficie, que están en contacto físico con la superficie de la muestra. De este modo, las fuerzas de fricción que actúan entre la superficie de muestra y los elementos de flexión en forma de varilla se pueden reducir mediante la superficie de apoyo alcanzable, más pequeña y en forma de línea. Los elementos de flexión en forma de varilla pueden presentar para ello, por ejemplo, una sección transversal simétrica en rotación.

Las fuerzas de fricción que actúan se pueden reducir aún más en tanto que los elementos de flexión en forma de varilla están formados con un vástago conectado de forma rígida con la respectiva brida, sobre el que está dispuesto un cilindro hueco de forma giratoria. Durante la flexión de la muestra se puede girar el cilindro hueco, por lo que se puede registrar un efecto de fuerza de fricción más pequeño.

La distancia de los elementos de flexión en forma de varilla entre sí se tendría que poder modificar en las respectivas bridas. De este modo se puede lograr una modificación de las fuerzas o momentos de flexión que actúan. Los elementos de flexión en forma de varilla se pueden mover para ello en una guía correspondiente, que puede estar configurada, por ejemplo, en forma de un agujero oblongo, y fijarse en una posición deseada. La fijación se puede implementar, por ejemplo, con un dispositivo de apriete. El movimiento de los elementos de flexión en forma de varilla en una respectiva guía se puede implementar con un accionamiento apropiado y eventualmente adicionalmente con un engranaje. De este modo también es posible una influencia controlada de los procesos de flexión. Se pueden modificar así las fuerzas de compresión, tracción, momentos y radios de flexión que actúan.

También es posible una adaptación de la distancia de los árboles de accionamiento de los accionamientos de giro, cuando en particular se deben examinar muestras dimensionadas de forma diferente o condiciones de ensayo diferentes.

45

Los elementos de flexión en forma de varilla deberían presentar en su dirección axial longitudinal, que están orientados en paralelo a los ejes de rotación, una longitud, que se corresponde al menos con el 110% de la extensión de la muestra en esta dirección axial. De este modo se puede garantizar que se puede observar una flexión uniforme de la muestra sobre toda su anchura en esta dirección axial.

50

En al menos un lado del dispositivo debería estar presente un tope que impide el desplazamiento de la muestra en una dirección axial, que está orientada en paralelo a la dirección axial longitudinal de la muestra no deformada. De forma especialmente preferida se debe evitar un desplazamiento de la muestra en una dirección axial orientada perpendicularmente a los ejes de rotación de los accionamientos de giro. Para ello es apropiada la sujeción de los elementos de flexión en forma de varilla, en la dirección de accionamiento. En el otro lado se pueden asegurar contra desplazamiento las muestras después de meterse con una chapa en los pines o un ángulo rígido en la carcasa.

Como accionamientos de giro se pueden usar motores paso a paso de reluctancia o imán permanente, motores paso a paso híbridos o motores con engranaje reductor.

60

Ventajosamente en las bridas pueden estar colocados respectivamente cuatro elementos de flexión en forma de varilla y así estar dispuestos entre sí de modo que la muestra se puede introducir respectivamente entre dos elementos de

flexión en forma de varilla, que forman un par. Los dos pares de elementos de flexión en forma de varilla, que están fijados conjuntamente en una brida, deberían estar dispuestos a este respecto en dos lados opuestos del eje de rotación de la respectiva brida a una distancia del eje de rotación y los elementos de flexión en forma de varilla de un par en dos superficies opuestas de la muestra.

5

Si los cuatro elementos de flexión en forma de varilla están dispuestos sobre las bridas de forma rectangular entre sí, pero no cuadrada, las diferentes distancias conducen a otras posibilidades de variación, figuras 10, 11, 12.

10 En comparación al estado de la técnica son ventajosos los diferentes modos de flexión, los momentos de flexión ajustables de forma variable para los estados de tensión graduales, la altura constructiva comparablemente pequeña y la accesibilidad para los aparatos de medición, con los que se deben realizar los exámenes de la superficie doblada de las muestras. Una muestra también se puede tratar de este modo simultáneamente con un haz de iones y supervisarse con haz de electrones, a fin de poder determinar, por ejemplo, un efecto de relajación acontecido.

15 Con la invención se puede posibilitar una inversión de la dirección de flexión, con la que se obtienen tensiones de compresión y tracción en una superficie de una muestra, sin medidas de remodelación, mediante la inversión de dirección de giro sencilla de los accionamientos de giro. Se pueden introducir así tensiones mecánicas en el material de muestra, cuyos efectos se pueden examinar, por ejemplo, con un microscópico (microscópico electrónico de barrido).

20

Se pueden examinar diferentes muestras, lo que también se refiere a su grosor, sin que se requieran remodelaciones o al menos solo ligeras adaptaciones en el dispositivo.

25 La estructura se puede escalar muy bien y es apropiada para muestras macroscópicas, como también para ensayos *in situ* en microscopios o en aparatos de medición analíticos.

En la cámara de vacío de un microscopio electrónico de barrido se puede minimizar ante todo la altura constructiva. Además, se pueden evitar los lubricantes y metales magnetizables, lo que se puede lograr con la invención.

30 Así, debido a la pequeña altura constructiva requerida se puede alcanzar el punto eucéntrico de la columna de iones y electrones de un sistema REM/FIB.

35 En el caso de la colocación de recepciones de muestras apropiadas se pueden realizar ensayos a tracción, en tanto que en las bridas orientadas verticalmente, respectivamente en el elemento de flexión superior en forma de varilla o en los elementos de flexión en forma de varilla, dispuestos lo más lejos entre sí en dos bridas se fija una muestra, y la muestra se solicita entonces a tracción durante el giro opuesto de las bridas, figura 13. A este respecto, la fijación de una muestra se puede lograr en arrastre de forma por medio de extremos frontales doblados en dos pines, mediante una conexión de apriete o mediante conexiones por adherencia de materiales (pegado, soldadura) en los lados frontales, a fin de poder realizar ensayos a tracción con el dispositivo.

40

45 Con soportes especiales se puede obtener una flexión de 3 puntos, figura 9. A este respecto, las bridas se pueden realizar de modo que la brida, que no se debe mover, solo presenta un elemento de flexión en forma de varilla. La otra brida se puede realizar de modo que un elemento de flexión en forma de varilla se sitúa en el eje de giro. El segundo elemento de flexión en forma de varilla se debe posicionar en esta realización a una distancia respecto al primero, que se corresponde con la mitad de la distancia de los ejes de giro.

A continuación, se debe explicar la invención más en detalle a modo de ejemplo.

A este respecto muestran:

50

Figura 1 en forma esquemática un ejemplo de un dispositivo según la invención en una vista y una posición en la que se puede introducir una muestra entre elementos de flexión en forma de varilla;

55

Figura 2 el ejemplo según la figura 1 en una posición en la que los elementos de flexión en forma de varilla están posicionados de modo que en la superficie dirigida hacia arriba de la muestra doblada actúan tensiones de tracción;

60

Figura 3 el ejemplo según la figura 1 en una posición en la que los elementos de flexión en forma de varilla están posicionados de modo que en la superficie dirigida hacia arriba de la muestra doblada actúan tensiones de compresión;

Figura 4 un ejemplo en el que están dispuestos respectivamente cuatro elementos de flexión en forma de varilla en una brida;

Figuras 5 y 6 respectivamente un ejemplo en el que los elementos de flexión en forma de varilla están dispuestos en una brida de forma asimétrica en referencia al eje de rotación de la respectiva brida, en dos posiciones de las bridas;

5

Figura 7 un ejemplo en el que las dos bridas están giradas como en la figura 3 de forma contrario, no obstante, con diferente ángulo de giro;

Figura 8 un ejemplo en el que los accionamientos de giro se han girado en la misma dirección de giro;

10

Figura 9 un ejemplo en el que una brida individual está sujeta de forma fijada y con un accionamiento de giro y dos elementos de flexión en forma de varilla, dispuestos a una distancia entre sí se puede conseguir una flexión de una muestra y la brida individual fijada constituye un contrasoporte para la muestra;

15

Figura 10 el ejemplo según la figura 4 en el que la muestra se ha guiado entre respectivamente dos de los cuatro elementos de flexión en forma de varilla y mediante el giro de los accionamientos de giro en la dirección opuesta se ha conseguido una flexión de una muestra;

20

Figura 11 un ejemplo según la figura 4, con distancias de elementos de flexión modificados, en el que la muestra está dispuesta entre las dos bridas giratorias con respectivamente un accionamiento de giro en otra posición y con los accionamientos de giro se ha conseguido un giro en la respectiva dirección de giro opuesta;

Figura 12 el ejemplo según la figura 4 y 11 con dirección de giro opuesta de las bridas y accionamientos de giro;

25

Figura 13 una muestra doblada en los lados frontales exteriores, en la que los lados frontales doblados están doblados en arrastre de forma alrededor de respectivamente un elemento de flexión en forma de varilla, que está dispuesto en respectivamente una brida, de modo que durante el giro de las bridas con dirección de giro opuesta se puede realizar un ensayo de tracción y

30

Figura 14 en forma esquemática una muestra para la realización de un ensayo de flexión de cuatro puntos para la medición de las propiedades de adhesión de muestras tipo sándwich, en las que se puede influir en el avance de grietas, o se puede contrarrestar una abertura de grieta asimétrica con la invención, así como las fuerzas y momentos que actúan correspondiente y las fuerzas que aparecen en el caso de deformaciones por flexión de una muestra en el caso de una grieta simétrica y una asimétrica.

35

En el ejemplo mostrado en la figura 1 se muestran dos bridas 3, que están conectadas con respectivamente un árbol de accionamiento de un accionamiento de giro no representado, en una posición en la que las bridas 3 están giradas de modo que los dos elementos de flexión 2 fijados en las bridas 3 están dispuestos en un eje orientado verticalmente a una distancia entre sí. Para ello, los accionamientos de giro se han activado de modo que las bridas se han girado a esta posición.

40

El eje de rotación está dispuesto en el centro de gravedad de la superficie de las bridas 3, en el que se cortan las líneas de puntos dibujadas. El eje de los elementos de flexión no debe discurrir forzosamente a través del eje de rotación.

45

En esta posición de las bridas 3, una muestra en forma de placa o barra 1 se puede colocar de forma muy sencilla sobre los elementos de flexión 2 dispuestos aquí verticalmente abajo en las bridas 3, que están orientados en paralelo al eje de rotación.

50

En el borde derecho e izquierdo aquí mostrado está presente respectivamente un tope 4, en el que se puede apoyar la superficie frontal correspondiente de la muestra 1, a fin de impedir un desplazamiento de la muestra 1 a lo largo de su eje longitudinal.

55

Con la representación de la figura 2 se clarifica como se puede lograr una flexión de la muestra 1, en la que en la superficie de la muestra dirigida hacia arriba actúan tensiones de tracción y la muestra 1 se ha doblado en esta dirección de forma convexa con fuerzas de compresión, que actúan en las superficies de la muestra 1, introducidas con los elementos en forma de varilla 2. Para ello, las bridas 3 se han girado tal y como se clarifica esto con las flechas. Mediante el giro de las bridas 3 con la dirección de giro opuesta entre sí, la flexión de la muestra 1 se realiza por medio de los cuatro elementos de flexión 2.

60

En la posición de flexión mostrada en la figura 3, las bridas 3 con los respectivos elementos de flexión 2 se han girado en la dirección de giro opuesta, de modo que la muestra 1 se ha deformado de forma cóncava visto desde arriba y en

la superficie dirigida hacia arriba actúan tensiones de compresión en el material de la muestra. Esto se puede conseguir con fuerzas de compresión, que se ejercen con los elementos de flexión girados 2 sobre la muestra 1.

Así es suficiente solo una inversión de dirección de giro para permitir que actúen en alternancia tensiones de compresión y luego de tracción o a la inversa en las superficies de las muestras 1. Para ello no se requiere una remodelación del dispositivo.

La figura 4 muestra un ejemplo con respectivamente cuatro elementos de flexión 2, que están dispuestos en una brida 3. A este respecto, por encima y por debajo de la muestra 1 están dispuestos respectivamente dos elementos de flexión 2 a una distancia entre sí y a una distancia respecto al eje de rotación de la respectiva brida 3. Las distancias pueden ser respectivamente del mismo tamaño en el lado superior e inferior.

Con un ejemplo así configurado, mediante un giro en sentido contrario de las bridas 3 en respectivamente una dirección se puede conseguir una flexión cóncava de la muestra 1 en la superficie dirigida verticalmente hacia arriba, con flexión convexa correspondiente de la superficie de muestra inferior verticalmente, lo que conduce a tensiones de compresión en la zona de la superficie de la muestra 1 superior verticalmente y a tensiones de tracción en la superficie de la muestra inferior verticalmente.

Si las bridas se giran entonces en la respectiva dirección de giro opuesta, se realizan exactamente a la inversa la flexión y el efecto de fuerza.

En una disposición de los elementos de flexión 2 verticalmente por encima y por debajo de la muestra 1, en la que la muestra 1 se puede disponer con pequeño juego entre los elementos de flexión 2 dispuestos verticalmente arriba y abajo, se pueden conseguir efectos de tensión que cambian de forma muy sencilla y rápida en las superficies de la muestra 1, cuando la dirección de giro de las bridas 3 se cambia correspondientemente de forma rápida y síncrona en las dos bridas 3.

Las figuras 5 y 6 deben clarificar que también es posible una disposición correspondiente no simétrica de elementos de flexión 2 en una brida 3 en referencia al eje de rotación, que está dispuesto en este ejemplo en el centro de gravedad de la superficie de la respectiva brida 3, es decir, en la representación en la intersección de las líneas de puntos, a fin de poder ejercer los efectos de fuerza y flexión correspondientes sobre la muestra 1.

Con las figuras 7 y 8 se deben clarificar las posibilidades de como con diferente giro de las bridas 3 se puede doblar una muestra 1 con elementos de flexión en forma de varilla 2 durante el giro de las bridas 3.

La figura 9 muestra un ejemplo para la realización de un ensayo de flexión de 3 puntos, en el que en una brida 3 está dispuesto solo un elemento de flexión en forma de varilla 2, que puede constituir un contrafuerte durante el giro de la respectiva otra brida 3. En esta otra brida están dispuestos entonces al menos dos elementos de flexión en forma de varilla 2 a una distancia entre sí, entre los que se puede guiar la muestra 1 y con los que se puede conseguir una flexión de la muestra 1, donde un elemento de flexión 2 se sitúa en el eje de giro de la brida 3.

Las figuras 10 a 12 muestran ejemplos en los que en las bridas 3 están presentes respectivamente cuatro elementos en forma de varilla 2 y que se pueden utilizar de diferente forma durante el giro de las bridas 3 para la flexión de una muestra 1.

La figura 13 muestra un ejemplo para la realización de un ensayo de tracción. A este respecto, los lados frontales de la muestra 1 están doblados de modo que asen por detrás los elementos de flexión en forma de varilla 2 en dos bridas 3 y así se puede lograr una conexión en arrastre de forma. Si las bridas 3 se giran con la dirección de giro opuesta, se puede realizar un ensayo de tracción. Para ello, en las bridas 3 y/o elementos en forma de varilla 2 se pueden utilizar fuerzas y/o momentos medidos con sensores configurados y dispuestos correspondientemente.

En la figura 14 se muestra una muestra 1, que está configurada como muestra tipo sándwich con dos plaquitas de silicio 1.1 y 1.2 conectadas con un film adhesivo 10, que se somete a un ensayo de flexión de cuatro puntos 4PB. En la plaquita de silicio superior 1.1 está configurada una grieta delantera 11. En esta zona se puede configurar una propagación de grieta 12 a lo largo de la superficie de conexión entre las plaquitas de silicio 1.1 y 1.2 conectadas con el film adhesivo 10 durante la flexión de la muestra 1.

Se puede partir de que una grieta 12, que se inicia en el centro de la muestra 1, se propaga debido al momento de flexión homogéneo entre los elementos de flexión interiores en forma de varilla 2 durante su giro y flexión de la muestra 1, en dos frentes de grieta simultáneamente en la capa límite entre las dos plaquitas de silicio pegadas 1.1 y 1.2 en la dirección de los elementos de flexión en forma de varilla 2 dispuestos más interiormente en la muestra 1. En este caso se puede medir una meseta de fuerza con la que se calcula la tasa de liberación de energía. No obstante, con

frecuencia ocurre que solo se desgarran un lado, lo que conduce a que el momento de flexión no esté distribuido de forma muy homogénea y la curva de fuerza - recorrido no presente ninguna meseta aprovechable. Los momentos, que se pueden medir en elementos de flexión en forma de varilla 2 o las bridas 3 correspondientes, ya no son de igual tamaño. Las longitudes de grieta se pueden medir así de forma indirecta. En este caso se pueden regular 5 posteriormente una o ambas bridas 3 de forma dirigida, de modo que se ajusta una intensidad de fuerza más alta en la punta de grieta de la grieta más corta y se continúa el crecimiento de grieta en esta parte preferiblemente, de modo que se puede restablecer la suposición de un crecimiento de grieta síncrono. Las longitudes de grieta medidas se pueden evaluar de forma directa. Dado que la suposición previa de simetría ya no se da más, considerando las diferentes longitudes de grieta, se requiere otro cálculo de la tasa de liberación de energía.



**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para la realización de ensayos de flexión en muestras en forma de placa o barra (1), en el que están dispuestos dos accionamientos de giro a una distancia entre sí y en los árboles de accionamiento orientados en paralelo entre sí de los accionamientos de giro está fijada respectivamente una brida (3) y en las bridas (3) están presentes respectivamente al menos dos elementos de flexión en forma de varilla (2) orientados en paralelo respecto al eje de rotación del respectivo árbol de accionamiento, dispuestos a una distancia del eje de rotación y a una distancia entre sí, donde una muestra en forma de placa o barra (1) se puede introducir respectivamente entre los dos elementos de flexión en forma de varilla (2) en las dos bridas (3) y durante un giro de los accionamientos de giro con dirección de giro opuesta se ejercen fuerzas de flexión sobre la muestra (1), **caracterizado porque** cada uno de los dos accionamientos de giro se puede excitar individualmente y está conectado con una unidad de control o regulación electrónica.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los accionamientos de giro se pueden girar de forma síncrona con respectivamente el mismo ángulo de giro.
3. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los accionamientos de giro se pueden girar de forma asíncrona con respectivamente un ángulo de giro propio.
4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad de control o regulación electrónica está conectada con al menos un sensor, que está configurado para la determinación de pares de giro o fuerzas, que actúan en al menos una brida (3), en al menos un elemento de flexión en forma de varilla (2) y/o la muestra (1), y cuyas señales de medición se pueden utilizar para la regulación del movimiento de giro de las bridas (3).
5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** están presentes al menos dos sensores, que están configurados para la determinación de la fuerza que actúa entre una brida (3) y/o elementos de flexión en forma de varilla (2) y la superficie de muestra o un par de giro que actúa en una brida (3) durante el contacto de un elemento de flexión en forma de varilla (2) con la superficie de muestra y están dispuestos correspondientemente en la respectiva brida (3), elemento en forma de varilla (2) y/o accionamiento de giro, así como están conectados con la unidad de regulación electrónica.
6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad de regulación electrónica está configurada para la realización de una calibración y/o descubrimiento del contacto de punto cero.
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los elementos de flexión en forma de varilla (2) están configurados de forma curvada convexa al menos en las zonas de superficie que están en contacto físico con la superficie de la muestra (1).
8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la distancia de los elementos de flexión en forma de varilla (2) entre sí se puede modificar en las respectivas bridas (3).
9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los elementos de flexión en forma de varilla (2) están formados con un vástago conectado de forma rígida con la respectiva brida (3), sobre el que está dispuesto un cilindro hueco de forma giratoria.
10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en al menos un lado del dispositivo está presente un tope (4) que impide el desplazamiento de la muestra (1) en una dirección axial, que está orientada en paralelo a la dirección axial longitudinal de la muestra (1) no deformada.
11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los accionamientos de giro están configurados como motores paso a paso de reluctancia o imán permanente, motores paso a paso híbridos o motores con engranaje reductor.
12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en las bridas (3) están colocados respectivamente cuatro elementos de flexión en forma de varilla (2) y están dispuestos entre sí de modo que la muestra (1) se puede introducir respectivamente entre dos elementos de flexión (3) que forman un par y los dos pares de elementos de flexión (2), que están fijados conjuntamente en una brida (3), están dispuestos en dos lados opuestos del eje de rotación de la respectiva brida (3) a una distancia del eje de rotación y los elementos de flexión (2) de un par están dispuestos en dos superficies opuestas de la muestra (1).

13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en las bridas (3) están colocados dos elementos de flexión en forma de varilla (2) y están dispuestos de modo que el eje de rotación de las bridas (3) no se sitúa sobre la línea de conexión de los elementos de flexión (2).

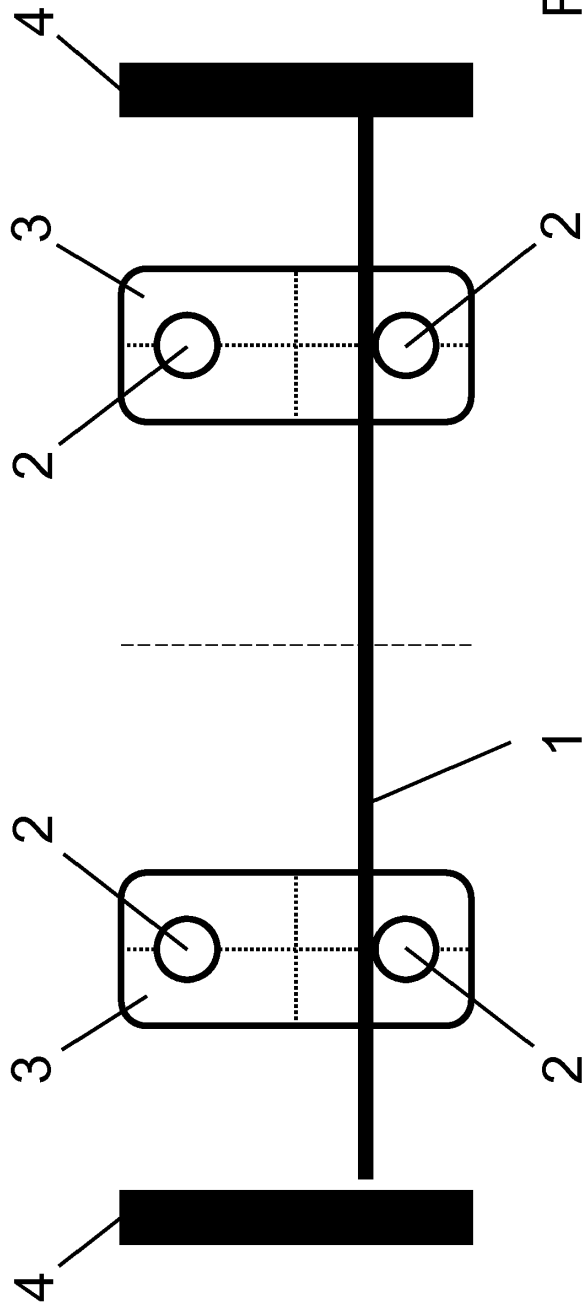


Fig. 1

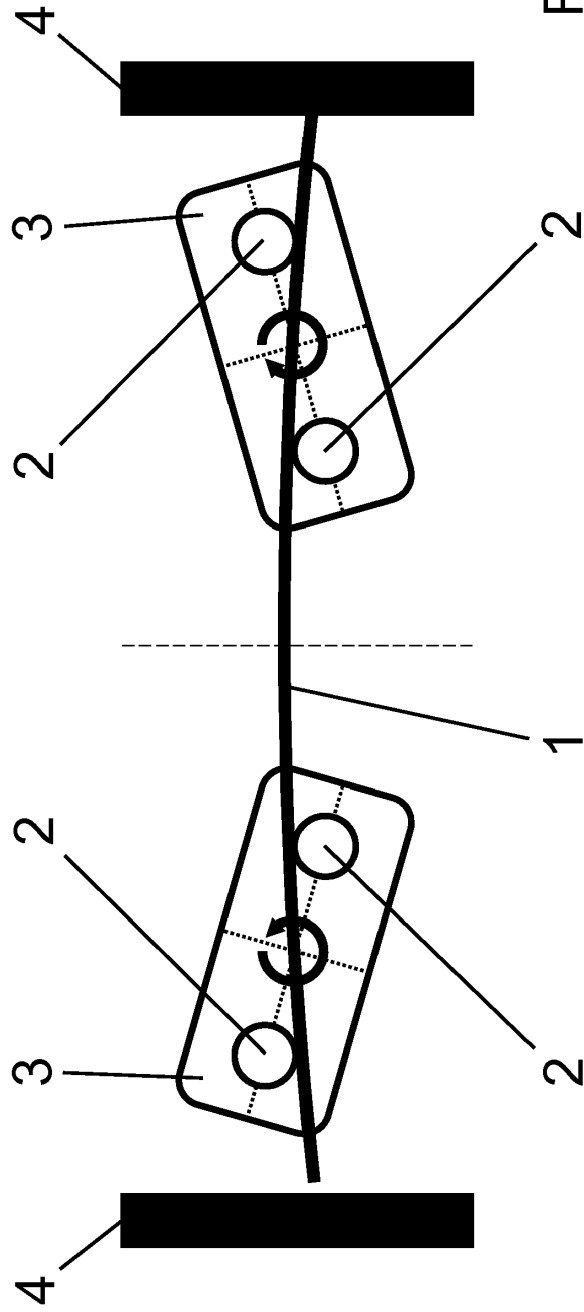


Fig. 2

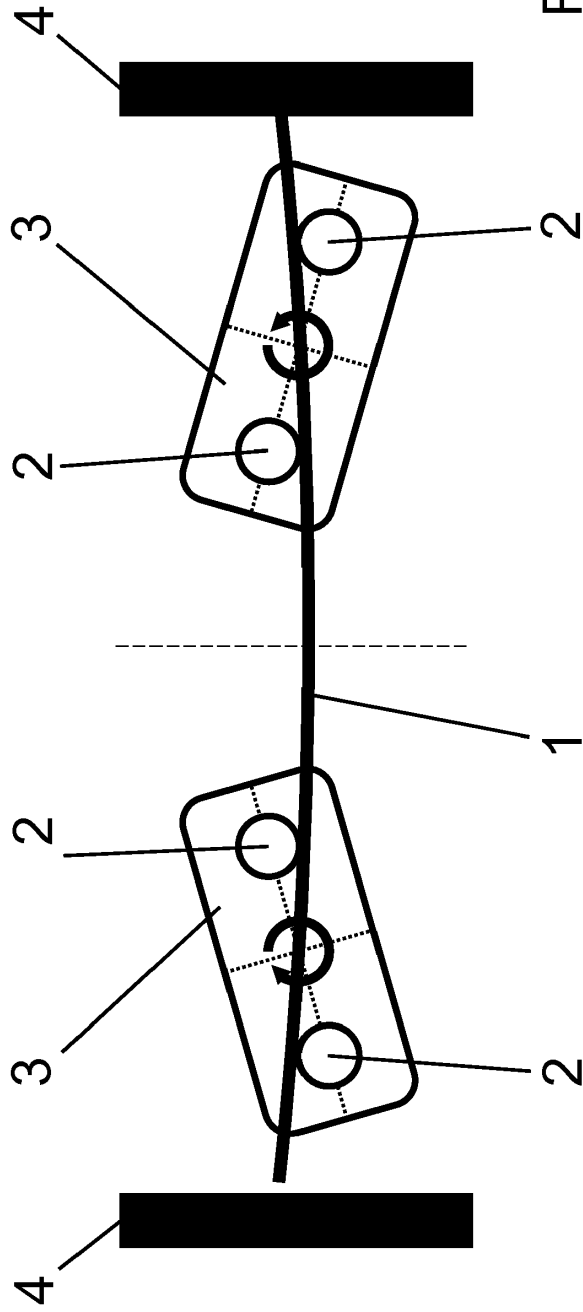


Fig. 3

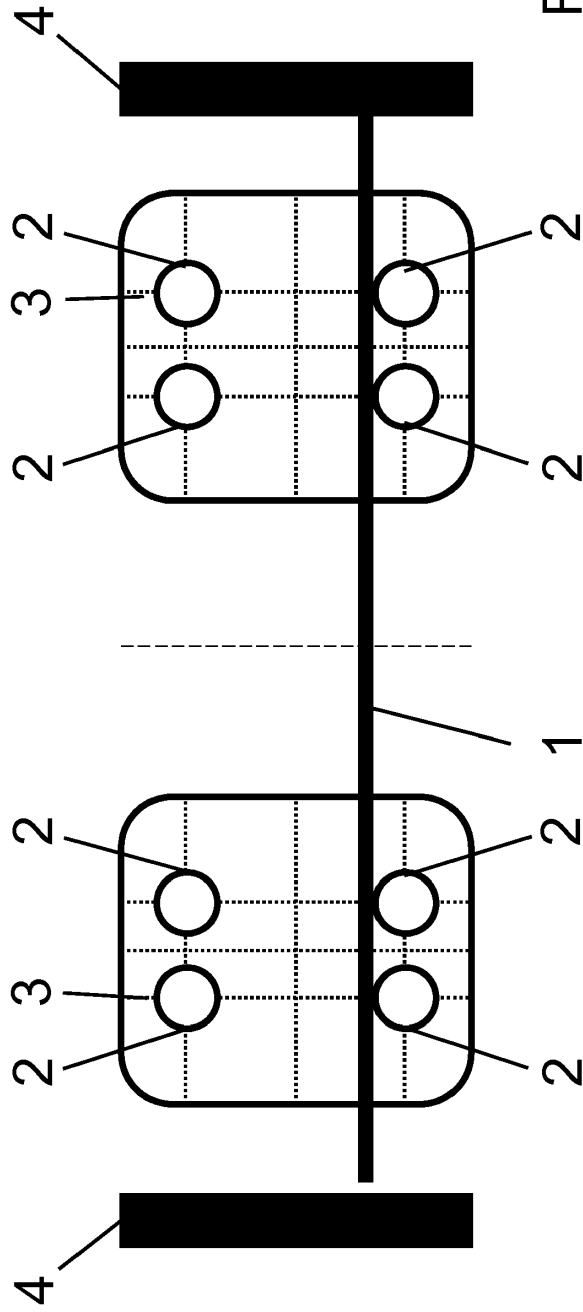


Fig. 4

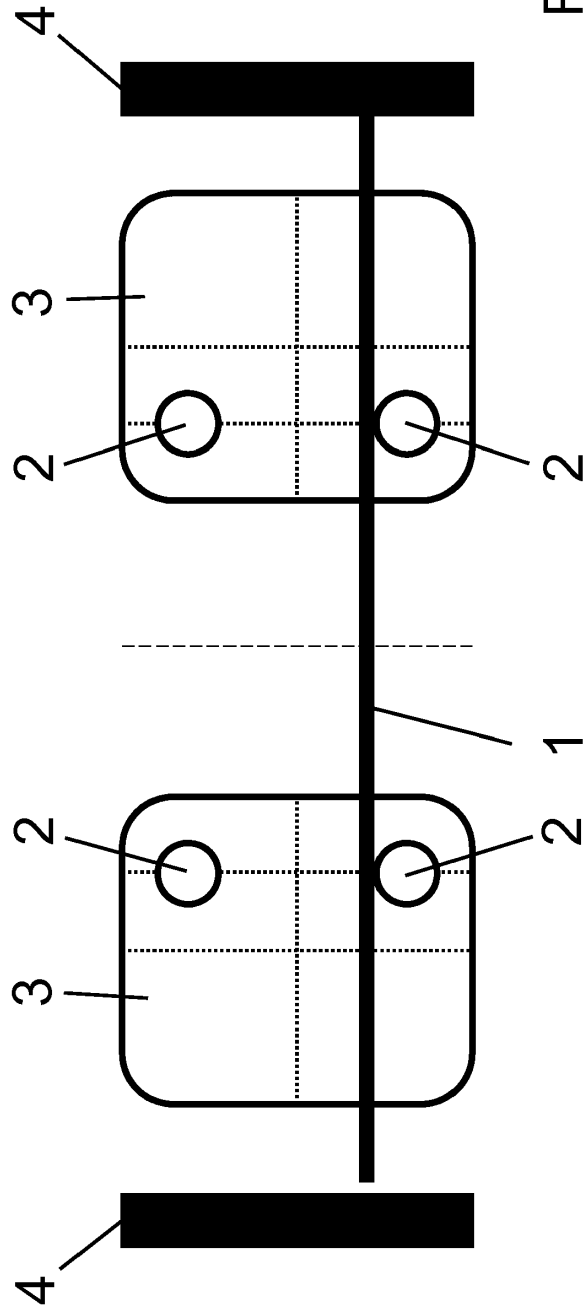


Fig. 5

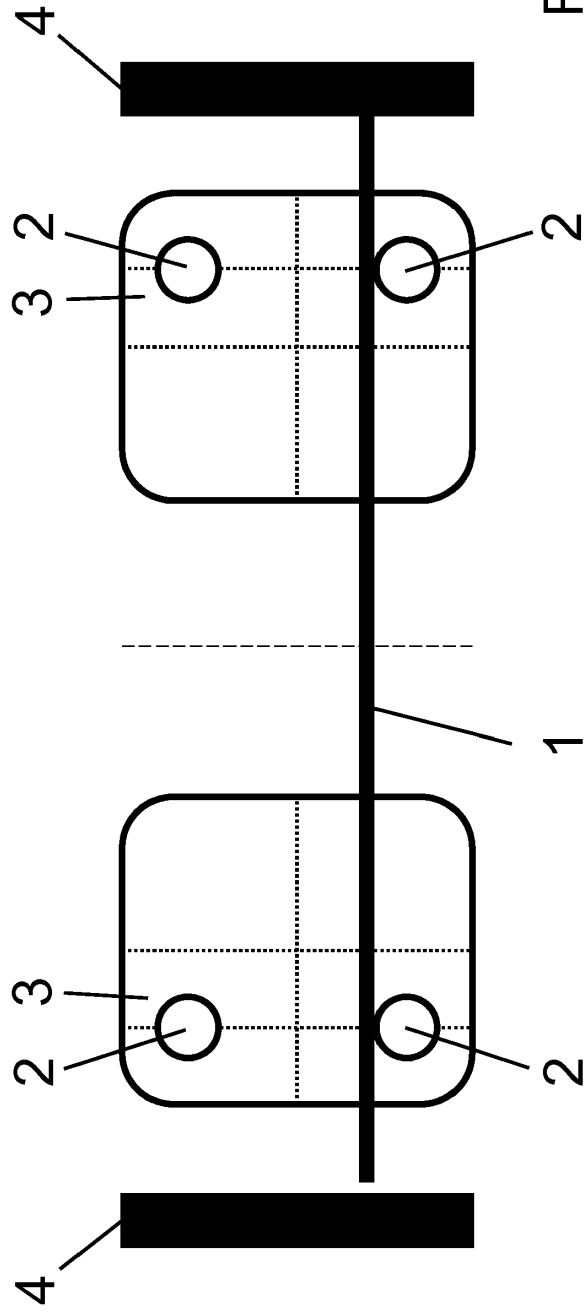


Fig. 6



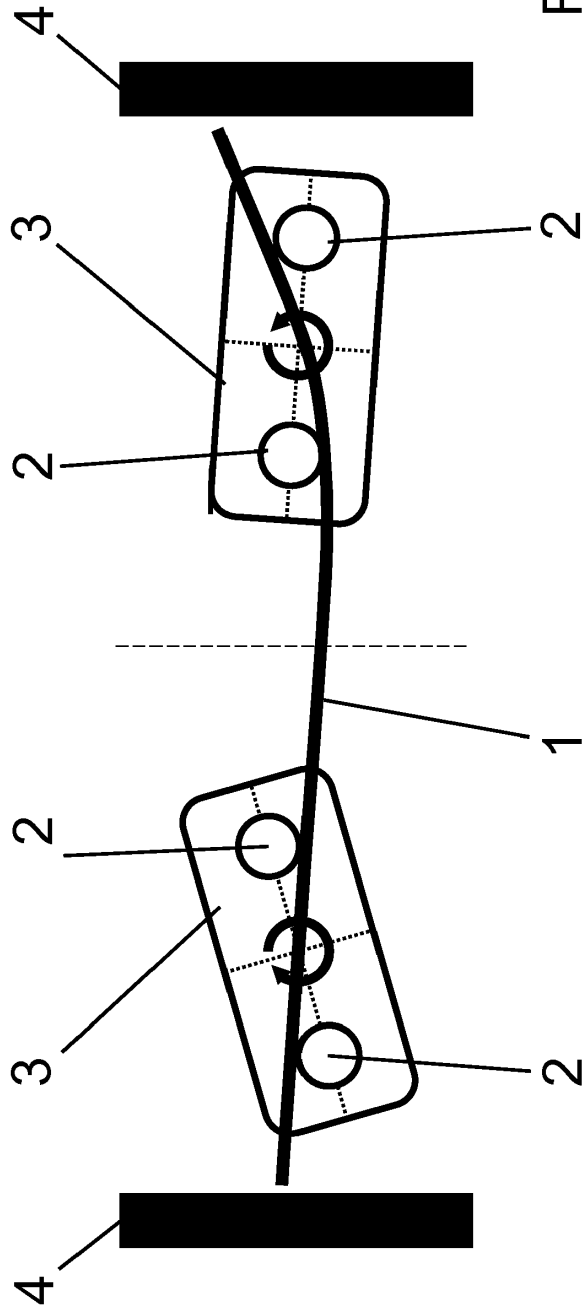


Fig. 7

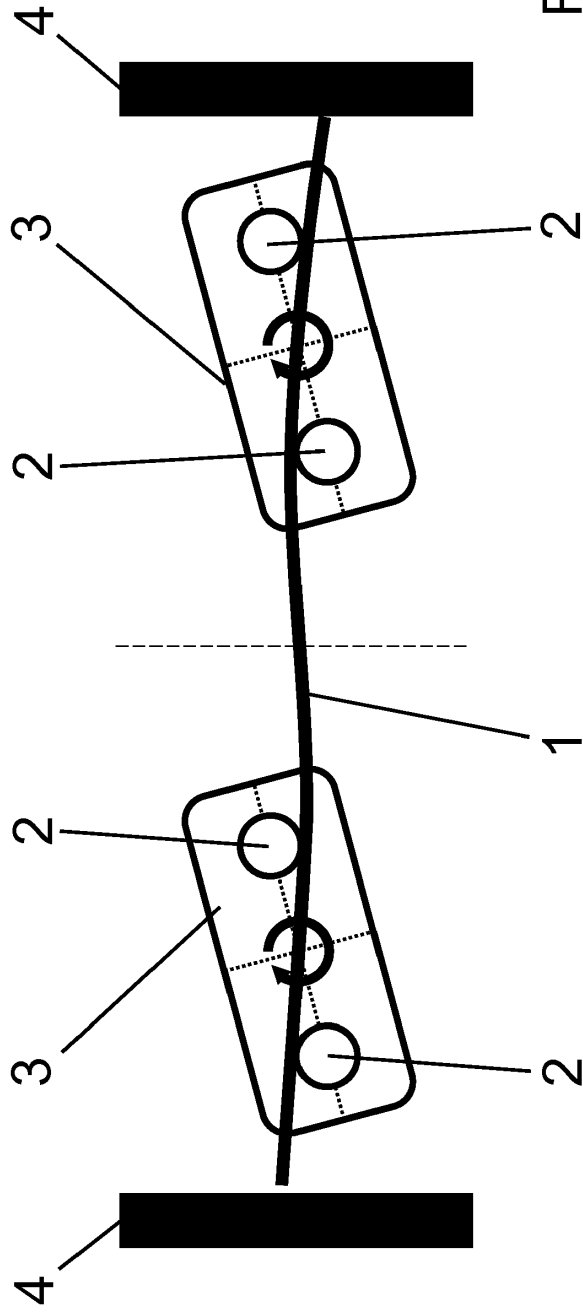


Fig. 8

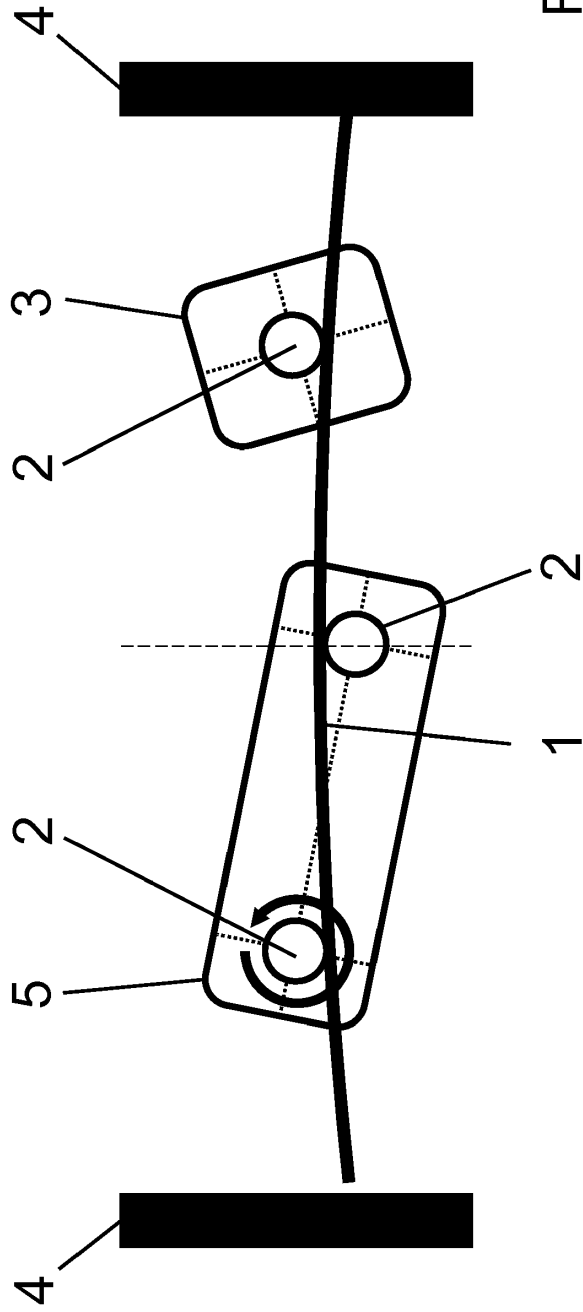


Fig. 9

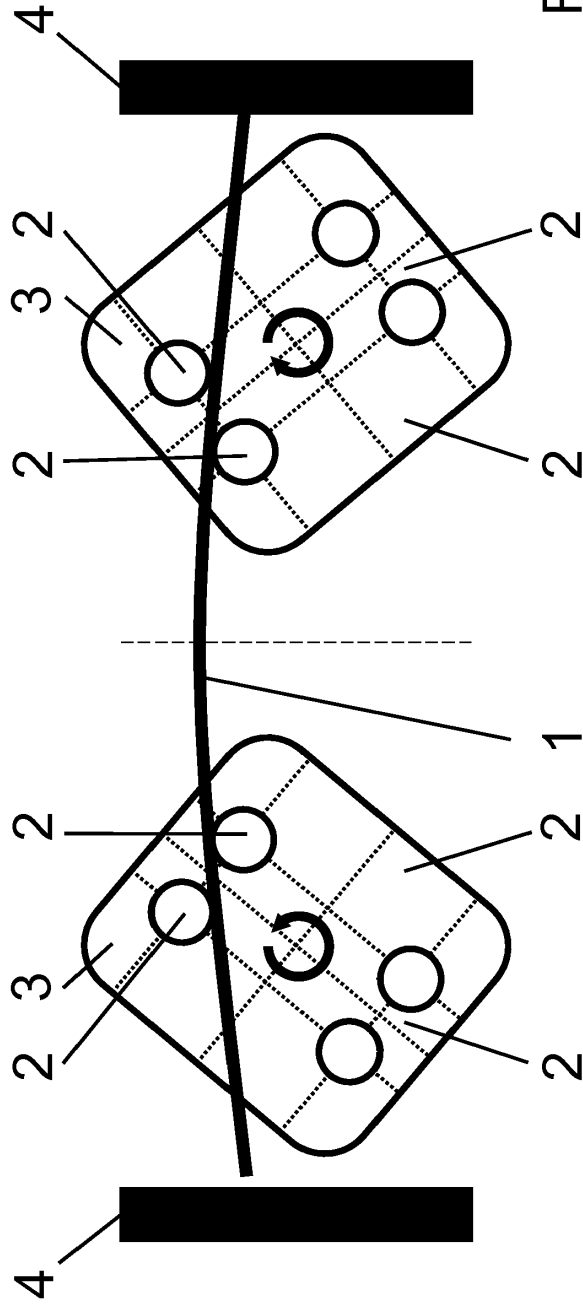


Fig. 10

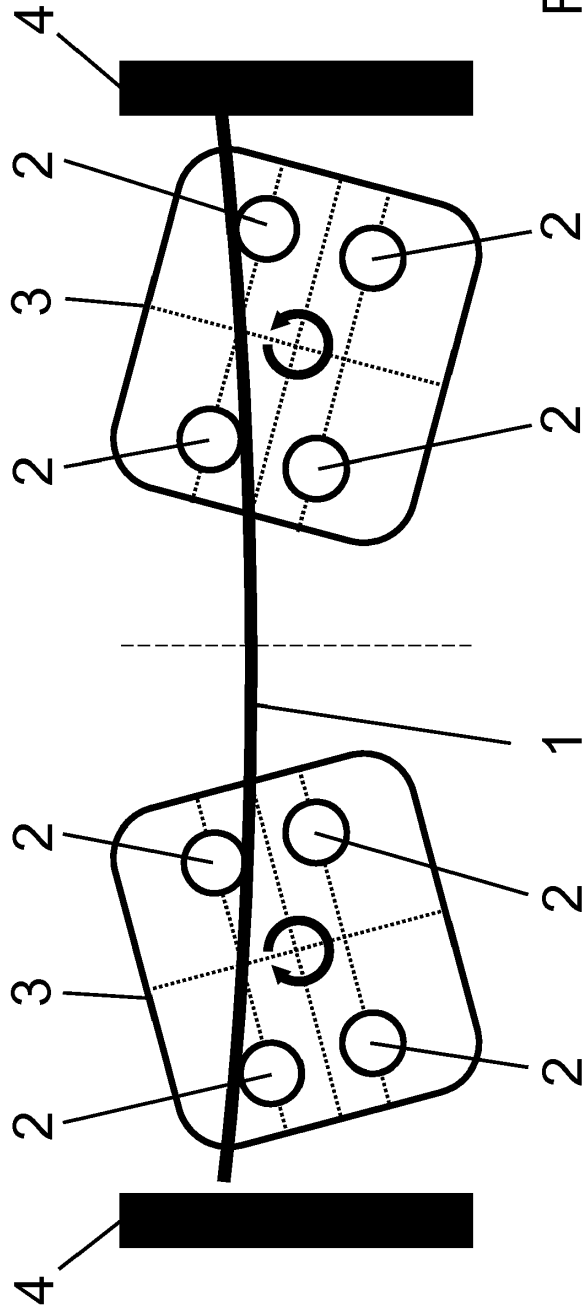


Fig. 11

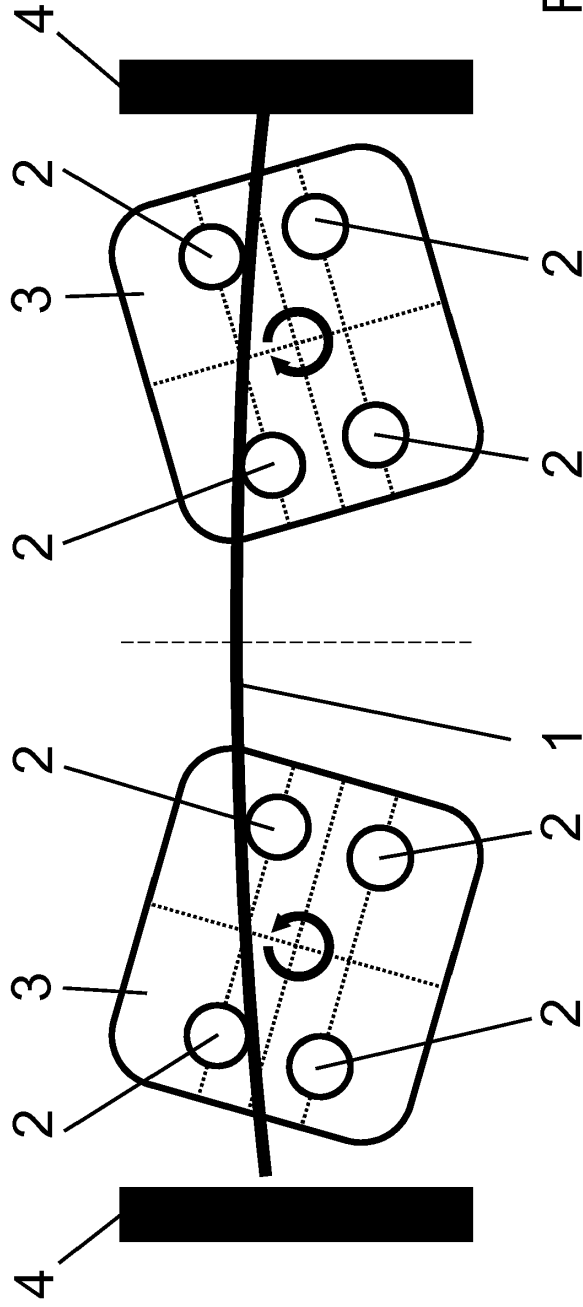


Fig. 12

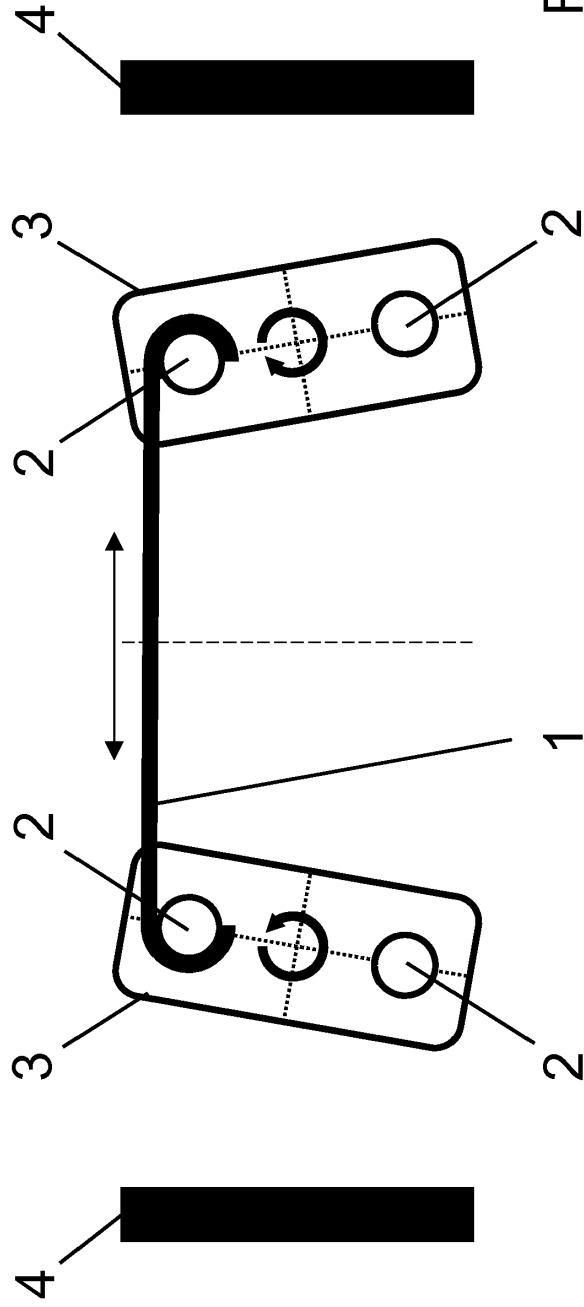


Fig. 13

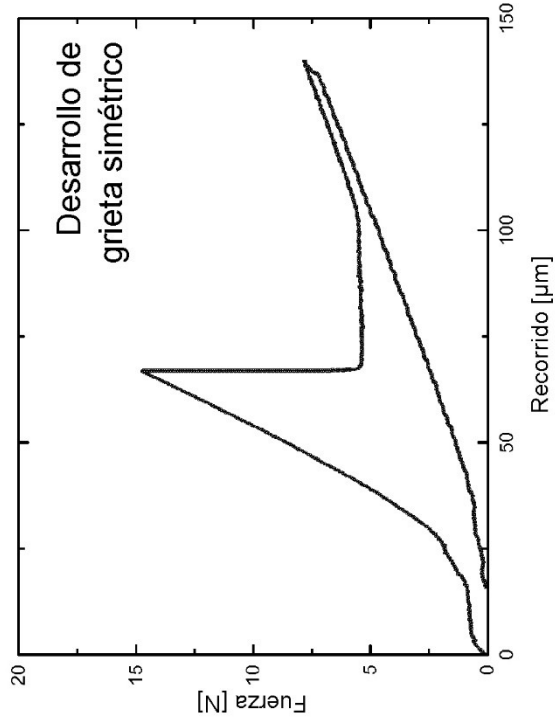
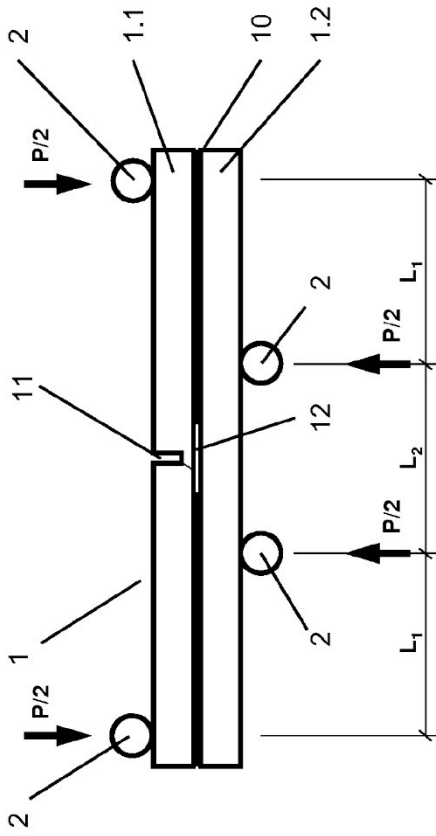
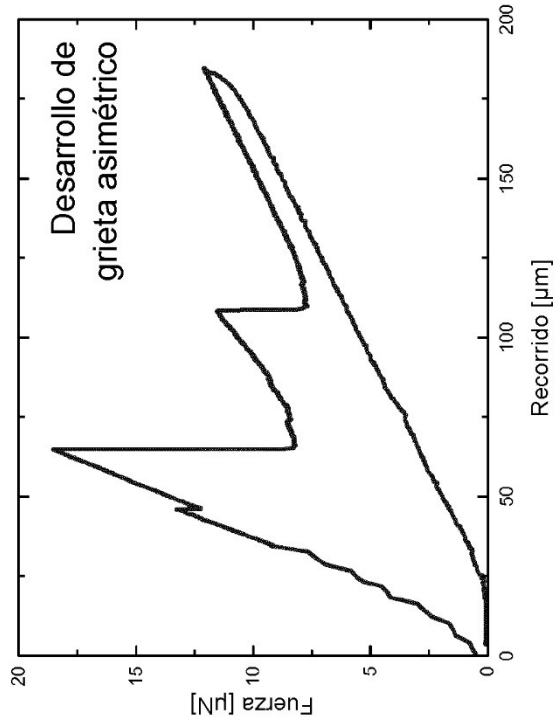
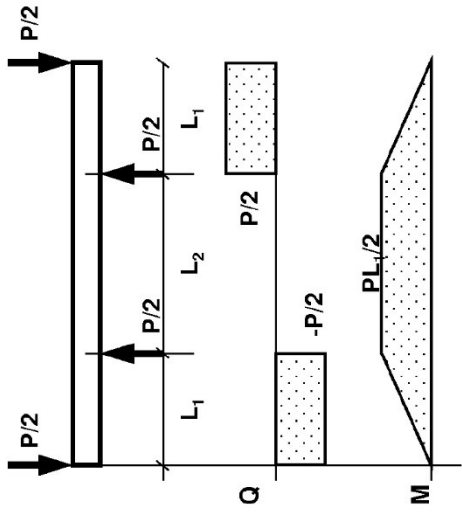


Fig. 14