

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 387**

51 Int. Cl.:

B22D 13/10 (2006.01)
B22C 9/06 (2006.01)
B22D 17/22 (2006.01)
B22D 21/00 (2006.01)
B22D 17/26 (2006.01)
C22C 14/00 (2006.01)
C22C 30/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2017 E 17163410 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 3225330**

54 Título: **Coquilla para la fundición de un objeto metálico perfilado, especialmente de TiAl**

30 Prioridad:

30.03.2016 DE 102016105795

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

09.04.2019

73 Titular/es:

**ACCESS E.V. (100.0%)
Intzestraße 5
52072 Aachen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHIEVENBUSCH, ANDRE;
SCHIEVENBUSCH, JAN y
SALBER, ROLAND**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 708 387 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

Coquilla para la fundición de un objeto metálico perfilado, especialmente de TiAl

5 La invención se refiere a una coquilla para la fundición de un objeto metálico perfilado que comprende al menos dos piezas de coquilla que se pueden unir entre sí de forma separable con respectivamente al menos una cavidad, complementándose las cavidades con la coquilla cerrada para formar una cavidad con un volumen que varía a lo largo de un eje con uno o varios destalonamientos y pudiéndose separar una de otra a lo largo de un plano de separación liso o de un plano de separación de conformación libre.

10 Las coquillas se utilizan normalmente para fundir un objeto metálico a partir de una masa fundida. Éstas definen el contorno del objeto metálico fundido acabado mediante una cavidad que se define a través de las cavidades de las piezas de coquilla que se pueden unir entre sí de forma separable. La masa fundida se vierte en la coquilla y, a continuación, se solidifica. Aunque es posible procesar una pluralidad de diferentes metales o aleaciones metálicas por medio de una fundición de coquilla, existen grupos de materiales que presentan unas propiedades de fundición deficientes, resultando problemas especialmente cuando el objeto metálico perfilado presenta una distribución de volumen que varía a lo largo de su eje longitudinal con uno o varios destalonamientos.

15 Un ejemplo para un grupo de materiales que se pueden fundir de forma deficiente es el de los aluminuros de titanio. Debido a su baja densidad de unos 4 g/cm^3 y a sus buenas propiedades a altas temperaturas, el grupo de materiales de los aluminuros de titanio ofrece la posibilidad de sustituir a las superaleaciones en su campo de aplicación como material para componentes sometidos a cargas elevadas en motores de émbolos y en turbinas de gas, en especial
20 álabes, y conseguir al mismo tiempo una ventaja en cuanto al peso. Debido a las pobres propiedades de fundición de estos materiales, no es posible fabricar componentes de contorno complejo mediante la fundición de coquilla. Por este motivo, estos componentes se fabrican en la mayoría de los casos mediante una ruta combinada de fundición/forja. Ésta comprende la fundición de un semiproducto con una geometría rotacionalmente simétrica, en su mayor parte cilíndrica o cónica, en un molde metálico permanente, es decir, la fabricación de un semiproducto con
25 un diseño geométrico muy simple y que no presenta ningún destalonamiento o similar. A la fundición le sigue el conformado en varias etapas y un último tratamiento térmico y el tratamiento final para formar el componente acabado. A través de la forja es posible obtener unas buenas propiedades de los componentes, sin embargo esto conlleva un consumo de materiales y unos costes de proceso relativamente altos.

30 Éstos se podrían reducir si existiera una posibilidad de fabricar por medio de una fundición de coquilla semiproductos previamente perfilados que presentaran una distribución de volumen que ya variara de fábrica a lo largo del eje longitudinal con uno o varios destalonamientos. La utilización de una pieza bruta de este tipo en el proceso de forja o de tratamiento permitiría una reducción del número de pasos de conformado con el posterior tratamiento térmico y tratamiento final en comparación con el procedimiento conocido hasta ahora, o incluso ofrecería la posibilidad de fabricar el componente acabado directamente mediante una combinación de tratamiento
35 térmico y tratamiento final con una fundición lo más cercana posible al contorno final (forma de red).

Debido a las deficientes propiedades de fundición de las aleaciones de aluminuro de titanio, así como a su transición dúctil y frágil durante el enfriamiento, así como a su comportamiento extremadamente frágil a temperatura ambiente, no es posible fundir perfiles de semiproducto previamente perfilados en moldes permanentes, especialmente perfiles que presenten destalonamientos definidos en el molde de fundición. Esto se debe especialmente al comportamiento
40 de contracción y a la contracción sólida de la aleación de TiAl que se enfría, es decir, a la contracción volumétrica. Como consecuencia se produce una sollicitación elevada del material, especialmente en la zona de los destalonamientos, lo que puede dar lugar a un deterioro de la pieza fundida e incluso a la formación de grietas o a roturas.

45 Por el documento DE 693 27 195 T2 se conoce un procedimiento para la fabricación de un producto de fundición de aleación a base de aluminio mediante fundición, llevándose a cabo la fundición a presión mediante un molde de fundición a presión. En este caso, el material de fundición se introduce en el molde de fundición a través de una entrada, presentando aquí el material de fundición parámetros de propiedad determinados y llevándose a cabo la fundición también a una velocidad de fundición definida y a una presión definida.

50 El documento US 2 367 727 A revela un dispositivo de fundición con una pieza de molde fija y con una pieza de molde móvil que se unen entre sí firmemente durante la fundición. La mitad de molde móvil se puede mover de forma activa relativamente con respecto a la mitad de molde inmóvil mediante un dispositivo de movimiento. El dispositivo de movimiento comprende un dispositivo de generación de presión y un dispositivo de válvula correspondiente mediante los cuales se puede aplicar una presión correspondiente a las mitades de molde, de manera que se unan firmemente entre sí en la fundición. Durante el enfriamiento, la mitad de molde móvil se abre
55 por medio del dispositivo de movimiento.

60 El documento DE 103 29 530 A1 revela un procedimiento de fundición y de solidificación para componentes de aleaciones intermetálicas. Una característica especial de este procedimiento consiste en la implantación de un tiempo de mantenimiento a una temperatura superior a la temperatura de transición dúctil y frágil inmediatamente después del proceso de fundición. Este procedimiento permite evitar grietas calientes y grietas de tensión incluso en componentes más grandes a partir de aleaciones intermetálicas.

Finalmente, por el documento DE 690 01 761 T2 se conocen un procedimiento y un dispositivo para la fundición a presión de productos planos metálicos como, por ejemplo, desbastes, para lo cual se utiliza un molde de fundición a presión con dos semicoquillas, previéndose el volumen dentro de las semicoquillas para la recepción del metal líquido que forma un alimentador de producto plano metálico fundido, y previéndose a cada lado al menos un elemento de prensado elástico para las semicoquillas. A los elementos de prensado elásticos se les asignan dispositivos adecuados para reducir la fuerza de presión después de la fundición y al comienzo de la solidificación.

La invención se basa, por lo tanto, en el problema de proponer una coquilla que permita la fundición de materiales con propiedades de fundición deficientes, especialmente de aleaciones de aluminio de titanio, para la fabricación de objetos metálicos de perfilado complejo.

Para resolver el problema se prevé una coquilla según la reivindicación de patente 1.

Según la invención, para resolver este problema se prevé, en el caso de una coquilla del tipo citado al principio, disponer en al menos una pieza de coquilla al menos una superficie contra la que se puede generar directa o indirectamente presión como resultado de la contracción a través del objeto metálico que se contrae al enfriarse, disponiéndose la superficie de manera que las dos piezas de coquilla se puedan mover separándose una de otra debido a la presión y/o de manera que al menos un elemento de actuador que se puede activar en dependencia del comportamiento de contracción o de un parámetro físico establecido en el lado de la coquilla esté previsto para la apertura de la coquilla.

La coquilla según la invención se caracteriza por que se prevén elementos que permiten abrir la coquilla durante el enfriamiento del metal, a fin de reducir las tensiones en la pieza bruta producidas por el enfriamiento y la contracción, de manera que éstas no influyan negativamente en las propiedades del objeto metálico fundido. Con este objetivo se prevén diferentes mecanismos de apertura que pueden preverse de forma individual o acumulativa.

Según una primera alternativa de la invención, la apertura se consigue o se induce mediante el propio objeto metálico que se enfría y se contrae. Para que esto sea posible, al menos una cavidad de molde o una sección adicional de la cavidad de molde fuera de la propia cavidad se dota de al menos una superficie contra la que, debido a la contracción, el objeto metálico, que se contrae como consecuencia del enfriamiento, se presiona, bien directamente ajustándose directamente a la misma, o bien indirectamente transmitiéndose la presión generada a la superficie a través del objeto metálico de forma condicionada por la construcción. Al enfriarse, el objeto metálico modifica su tamaño y, concretamente, en cualquier dirección en el espacio. La superficie por el lado de la cavidad de molde se dispone, por consiguiente, de manera que el objeto metálico que se contrae presione directamente contra esta superficie debido a la contracción o de manera que una presión generada actúe contra esta superficie, presentando esta presión un componente de dirección o una parte que es prácticamente perpendicular al plano de separación entre las dos piezas de coquilla. Por medio de esta presión, las dos piezas de coquilla, que se colocan una encima de otra o una al lado de otra de forma fija para la propia fundición, se alejan una de otra, es decir, se abren, aunque pueden separarse debido a la presión. Cuanto mayor es la contracción volumétrica condicionada por la contracción del objeto metálico, es decir, su cambio de tamaño, mayor es la separación de las piezas de coquilla. Esta apertura de las piezas de coquilla ya no influye en la conformación del objeto metálico perfilado, dado que el objeto metálico ya se ha solidificado también en el volumen al menos por el lado del borde y con un enfriamiento creciente.

Mediante esta apertura de la coquilla en un paso o sucesivamente, provocada por el propio objeto metálico, se reducen o eliminan, como consecuencia, las tensiones que se producen entre el objeto metálico y la coquilla provocadas por la contracción, de manera que el objeto metálico pueda enfriarse y solidificarse en gran parte sin tensiones.

Una posibilidad alternativa, pero también acumulativa, que se puede prever en la coquilla para la apertura de la coquilla para una reducción de la tensión prevé, como se ha descrito, la utilización de un elemento de actuador que se puede controlar o activar para la apertura casi activa de la coquilla, llevándose a cabo esta apertura en función del comportamiento de contracción del objeto metálico o al menos de un parámetro físico establecido directamente en la coquilla, como una presión o una temperatura de coquilla determinadas. De acuerdo con esta alternativa de invención, las piezas de coquilla se separan prácticamente de forma activa a través de al menos un elemento de actuador o permiten un movimiento de separación, de manera que gracias a este movimiento de las piezas de coquilla sea posible, a su vez, una reducción de la tensión. Se puede prever sólo un elemento de actuador, pero también varios elementos de actuador repartidos que se pueden controlar en consecuencia o funcionar de forma conjunta. El control del elemento o de los elementos de actuador se lleva a cabo en dependencia del comportamiento de contracción activo a través de un dispositivo de control correspondiente que se tratará más adelante. También es posible imaginar una activación casi pasiva únicamente a través de los parámetros físicos, especialmente de la temperatura de coquilla. También mediante una apertura o descarga de la coquilla así conseguidas es posible obtener una reducción de la tensión en el objeto metálico.

Como se ha descrito, las dos variantes de apertura diferentes pueden preverse por separado o de forma acumulativa, es decir, de forma complementaria o de apoyo entre sí.

A continuación se explica más detalladamente la primera variante de apertura, es decir, la apertura de la coquilla por medio del propio objeto metálico solidificador. Esto sucede como se ha descrito gracias a que el objeto metálico solidificador "actúa" contra una superficie definida durante la solidificación y, por lo tanto, durante la contracción, ya

sea directa o indirectamente. Según un perfeccionamiento de la invención, esta superficie se realiza como una superficie inclinada situada en un ángulo $>0^\circ$ y $<90^\circ$ con respecto al plano de separación, debiendo ser el ángulo preferiblemente $\geq 15^\circ$, especialmente $\geq 30^\circ$ y $\leq 75^\circ$, especialmente $\leq 60^\circ$. Esta superficie inclinada, que dependiendo del contorno del objeto metálico o de la cavidad también puede ser ligeramente abombada, no se desarrolla ni paralela ni perpendicularmente al plano de separación, sino que está situada en un ángulo correspondiente, de manera que durante la solidificación y la contracción sólida del objeto metálico se cree, debido a la contracción, un componente de presión casi vertical con respecto al plano de separación, con el que el objeto metálico se presiona contra el plano de separación y, por consiguiente, contra la pieza de coquilla.

En este caso, la superficie representa una superficie de limitación de una cavidad de molde y, por lo tanto, del propio objeto metálico. Es decir, que el objeto metálico se perfila de manera que presente una superficie condicionada por el contorno que sirve como superficie de tope para el objeto metálico. Como se ha descrito antes, las piezas de coquilla se acoplan entre sí de manera que puedan separarse mediante una presión suficiente ejercida por el objeto metálico sobre una o ambas piezas de coquilla, es decir, que no se sujetan unas a otras de forma inmóvil. Alternativa o adicionalmente, la superficie también se puede configurar en la zona de una sección de cavidad de molde. La cavidad presenta, por consiguiente, una zona adicional limitada por al menos una superficie de este tipo, a través de la cual se ofrece la posibilidad de apertura. Una sección de cavidad de molde adicional como ésta puede estar formada, por ejemplo, por un así llamado alimentador, es decir, una zona de volumen o una sección de cavidad de molde rellena de masa fundida y que prácticamente ofrece un depósito de masa fundida desde el que, si es necesario, la masa fundida puede fluir a la "cavidad principal".

En los casos descritos anteriormente, el objeto metálico presiona directamente contra la superficie. Sin embargo, también es posible imaginar disponer al menos un inserto en la sección adicional de la cavidad de molde que presente una superficie complementaria y contra el cual el objeto metálico se presiona durante el enfriamiento de manera que el inserto ejerza presión contra la superficie. Aquí, el objeto metálico actúa contra el inserto, por ejemplo, en forma de cuña y lo presiona contra la superficie por el lado de la pieza de coquilla, de manera que las piezas de coquilla se sometan a presión separándose.

El plano de separación entre las al menos dos piezas de coquilla se desarrolla con preferencia fundamentalmente paralelo al eje longitudinal del objeto metálico. Como se ha descrito, la superficie o la superficie inclinada están situadas en un ángulo con respecto a este plano de separación. Dado que la contracción o la disminución de volumen en la dirección longitudinal es normalmente mayor que en una de las otras direcciones en el espacio, es posible generar la presión necesaria y establecer un grado de apertura suficiente.

En una configuración más sencilla sólo se prevén dos piezas de coquilla que presentan respectivamente una cavidad de molde, presentando al menos una de las cavidades de molde al menos una superficie o una superficie inclinada, pudiendo también preverse naturalmente varias superficies como éstas en una cavidad de molde o pudiendo realizarse una o varias superficies como éstas en cada cavidad de molde. No obstante, también es posible imaginar prever más de dos piezas de coquilla que presenten respectivamente una cavidad de molde y que complementen la cavidad, disponiéndose la al menos una superficie de manera que, debido a la contracción, al menos dos piezas de coquilla se alejen una de otra, siendo naturalmente posible prever también varias superficies de este tipo. La posición concreta y el número de superficies, de las cuales, como se ha descrito, también se pueden prever varias en una cavidad de molde o en las cavidades de molde que se complementan entre sí, dependen finalmente de la geometría y de la posición del destalonamiento o del número de destalonamientos del volumen definido por la cavidad, así como de la posición de los planos de separación.

En las formas de realización antes descritas de la coquilla, la superficie o varias superficies se dispone o disponen casi por el lado de la cavidad de molde o cerca de la cavidad de molde. Alternativamente, pero también adicionalmente, es posible imaginar que la superficie sea una superficie límite exterior de una pieza de coquilla, ajustándose las dos piezas de coquilla con sus superficies la una a la otra, de manera que puedan desplazarse una contra otra de forma condicionada por la presión. De este modo, las piezas de coquilla con superficies inclinadas complementarias se posicionan adyacentes entre sí. Si el objeto metálico se contrae debido a la contracción, se genera una presión que actúa sobre las piezas de coquilla, lo que provoca que las dos piezas de coquilla acopladas a través de las superficies inclinadas se deslicen una sobre otra, de manera que la pieza de coquilla móvil se aleje de la otra pieza de coquilla fija. Aquí, el objeto metálico actúa casi indirectamente contra las superficies.

En este caso se pueden prever al menos tres piezas de coquilla, presentando una primera pieza de coquilla dos superficies que se desarrollan en ángulo una respecto a otra y a las que se ajusta respectivamente otra pieza de coquilla con una superficie correspondiente, de manera que las dos piezas de coquilla adicionales puedan separarse y desplazarse relativamente con respecto a la primera pieza de coquilla de forma condicionada por la presión. Aquí, la primera pieza de coquilla está dotada por el borde de dos superficies que se desarrollan la una hacia la otra prácticamente en punta y a las que se ajusta respectivamente otra pieza de coquilla con su superficie inclinada. Debido a la presión, estas dos piezas de coquilla adicionales se deslizan sobre la primera pieza de coquilla, alejándose una de otra en direcciones opuestas y también relativamente con respecto a la primera pieza de coquilla. La primera pieza de coquilla se compone preferiblemente de dos piezas individuales unidas firmemente entre sí, por ejemplo, mediante tornillos de unión, para que el objeto metálico se pueda sacar del molde.

Resulta conveniente que las piezas de coquilla se puedan mover de forma guiada una al lado de otra a través de elementos de guiado. Las piezas de coquilla se pueden disponer y ser móviles relativamente una respecto a otra, de

manera que, durante una rotación de la coquilla, las otras dos piezas de coquilla se puedan desplazar partiendo de una posición abierta a una posición cerrada, de la que pueden salir de nuevo de forma condicionada por la presión. Por lo tanto, se prevé un mecanismo de cierre automático condicionado por la fuerza centrífuga. En caso de rotación, las piezas de coquilla móviles se mueven a la posición de cierre y cierran la coquilla, de manera que sea posible aportar la masa fundida. El objeto metálico actúa contra este mecanismo de cierre automático para su descarga, presionándose las piezas de coquilla, de forma condicionada por la contracción, contra la fuerza centrífuga para reducir la tensión y separándose. En este caso, los elementos de sujeción se pueden asignar a las otras piezas de coquilla que generan una fuerza de retroceso durante un movimiento a la posición de cierre inducido por la rotación. Los elementos de sujeción, por ejemplo, componentes de resorte correspondientes que comprenden resortes helicoidales o conjuntos de resortes de disco, actúan prácticamente de forma conjunta con el objeto metálico contra la fuerza centrífuga y apoyan la aplicación de presión de la coquilla.

Como ya se ha descrito, en la primera alternativa de invención, las piezas de coquilla se presionan y separan prácticamente a través del propio objeto metálico que se solidifica. Para que esto sea posible, las piezas de coquilla se unen entre sí en arrastre de forma a través de secciones de unión o de guías, o bien encajan la una en la otra en arrastre de forma, manteniéndose las piezas de coquilla en la posición de cierre, ya sea porque el peso propio de la pieza de coquilla superior o de las piezas de coquilla superiores es mayor que la presión de fundición y/o que la fuerza de empuje de la masa fundida, o bien mediante elementos de apriete o sujeción que generan una fuerza de retroceso, pudiéndose mover las piezas de coquilla contra esta fuerza de retroceso de la posición de cierre a una posición de apertura. Por consiguiente, las piezas de coquilla se disponen de forma definida relativamente una respecto a otra a través de las secciones de unión o de guías, de manera que resulte una coquilla cerrada definida con una cavidad cerrada. En la configuración más sencilla, las piezas de coquilla se pueden mantener en la posición de cierre a través de su propio peso. Esto es posible si la cavidad no presenta ninguna geometría demasiado compleja y no gira durante la fundición o el enfriamiento. Por lo tanto, la pieza de fundición que se enfría sólo debe actuar contra el peso propio de una pieza de coquilla prácticamente a elevar. Sin embargo, las piezas de coquilla se unen normalmente entre sí a través de elementos de apriete o sujeción adecuados. En el caso de la coquilla según la invención, éstos se configuran de manera que, por una parte, unan las piezas de coquilla entre sí con la suficiente firmeza, de modo que la coquilla también pueda girar con el número de revoluciones correspondiente, normalmente varios cientos (100) de rpm, por ejemplo, hasta 400 rpm. Por otra parte, los elementos de apriete o de sujeción se configuran de manera que generen una fuerza de retroceso contra la cual una o ambas piezas de coquilla pueden moverse fuera de la posición de cierre. Por consiguiente, el objeto metálico también "actúa" contra esta fuerza de retroceso, a fin de separar las piezas de coquilla una de otra. Para generar esta fuerza de retroceso, los elementos de apriete o de sujeción comprenden uno o varios elementos tensores, por ejemplo, resortes helicoidales o resortes de disco, conjuntos de resortes de disco, etc., por medio de los cuales las piezas de coquilla se sujetan entre sí.

La segunda alternativa de la invención prevé, como se ha descrito al principio, el uso de al menos un elemento de actuador por medio del cual las piezas de coquilla se puedan separar de forma activa. De acuerdo con un perfeccionamiento de la invención, un elemento de actuador como éste puede ser un elemento de actuador de longitud variable apoyado en dos piezas de coquilla que se mueven alejándose una de otra o en una pieza de coquilla y en un soporte fijo. Un elemento de actuador de este tipo es, por ejemplo, un cilindro de posicionamiento que funciona de forma eléctrica, hidráulica o neumática. Si el elemento de actuador o el cilindro de posicionamiento se accionan, éstos se extienden y presionan las piezas de coquilla separándolas. Naturalmente también es posible disponer varios elementos de actuador o cilindros de posicionamiento en posiciones repartidas, especialmente si la coquilla es de grandes dimensiones, a fin de realizar un movimiento de pieza de coquilla uniforme o de dejar al descubierto diferentes zonas de componente.

El elemento de actuador que, como ya se ha descrito, funciona de forma eléctrica, hidráulica o neumática, se puede controlar preferiblemente mediante un dispositivo de control para la apertura preferiblemente sucesiva de las piezas de coquilla en dependencia del comportamiento de contracción. Alternativamente a la apertura sucesiva existe la posibilidad de accionar sólo una vez el elemento de actuador o los elementos de actuador durante el proceso de solidificación y contracción para mover las piezas de coquilla de la posición de cierre a la posición de apertura mediante un único y corto proceso de movimiento y para conseguir una reducción de la tensión. El momento de apertura se elige en función del comportamiento de solidificación o de contracción que se determina previamente, por ejemplo, en el marco de una simulación. Si después de un tiempo determinado, el proceso de solidificación ha progresado en tal medida que se ha formado una lingotera marginal estable, el o los elementos de actuador pueden controlarse para abrir la coquilla y reducir posibles tensiones. La coquilla se abre preferiblemente con un recorrido definido en un solo paso, de manera que el componente pueda contraerse sin tensiones. No obstante, esta apertura también puede realizarse de forma intermitente, es decir, se producen movimientos de actuador relativamente cortos, de manera que en determinados momentos la coquilla se abra casi paso a paso. Sin embargo, el o los elementos de actuador se controlan preferiblemente a través del dispositivo de control para la apertura sucesiva de la coquilla en dependencia del comportamiento de contracción, es decir, se lleva a cabo un seguimiento controlado en función del comportamiento de contracción o de la reducción de tensión. Por lo tanto, la coquilla se abre lentamente para llevar a cabo la descarga o la reducción de tensión paralelamente al cambio de volumen o al proceso de contracción, de manera que se consiga un seguimiento controlado con respecto a las tensiones que se generan entre la pieza de fundición y la coquilla. Como consecuencia, el dispositivo de control asignado a la coquilla o que forma una parte de la coquilla o del dispositivo de coquilla, controla en cada caso todo el proceso de apertura.

Alternativamente a la separación activa de las piezas de coquilla a través de uno o varios elementos de actuador apoyados en ambas piezas de coquilla, es posible imaginar que el elemento de actuador, que se puede controlar a través de un dispositivo de control, accione un elemento de sujeción mediante el cual dos piezas de coquilla se sujetan firmemente entre sí para separar la sujeción de las piezas de coquilla. Según esta alternativa de la invención, la sujeción de las piezas de coquilla se separa bruscamente, de manera que se produzca una apertura de la coquilla a través de la elevada presión interior, es decir, en este caso la coquilla se abre a su vez por medio del propio objeto metálico que se contrae. Sin embargo, el inicio de esta apertura se lleva a cabo exclusivamente por medio del o de los elementos de actuador que separan o abren los elementos de sujeción, por ejemplo, resortes tensados o palancas de sujeción. Por consiguiente, aquí existe prácticamente una combinación entre las dos posibilidades diferentes, no sirviendo aquí el elemento de actuador para la apertura activa de la propia coquilla, sino para la separación activa de los elementos de sujeción y, por lo tanto, para el inicio del propio proceso de apertura. El momento de apertura se elige de manera que, a pesar de la tensión condicionada por la contracción entre el objeto metálico y la coquilla, no se influya negativamente en el objeto metálico.

Si se prevén varios elementos de sujeción, resulta preferible asignar a cada elemento de sujeción un elemento de actuador que se puede controlar por separado. Éstos se controlan preferiblemente de forma simultánea, a fin de separar los elementos de sujeción al mismo tiempo.

Como se ha descrito antes, el control del o de los elementos de actuador se realiza en dependencia del comportamiento de contracción del objeto metálico. Por lo tanto, en el control se incluyen la contracción del volumen o la resistencia de la capa marginal de la pieza de fundición. Dado que se conocen los parámetros de coquilla como el tamaño de la cavidad y, por consiguiente, el volumen de masa fundida, el material de coquilla y sus propiedades de conductividad térmica, así como el grosor de pared de coquilla, etc., es posible estimar el comportamiento de solidificación y contracción y accionar de forma temporizada el o cada elemento de actuador a través del dispositivo de control. Por lo tanto, se determina cómo se comporta el proceso de contracción a lo largo del tiempo para llevar a cabo un control basado en el tiempo por medio del desarrollo de contracción. Alternativamente, también es posible imaginar que el control del proceso de apertura se pueda realizar mediante sensores adecuados en la coquilla. Alternativa o adicionalmente, también es posible imaginar un control basado en la temperatura por medio de un termopar en el lado de la coquilla. De acuerdo con otra alternativa también es posible imaginar el control de los elementos de actuador en dependencia de una simulación del proceso de contracción o de solidificación. Por consiguiente, en el dispositivo de control se desarrolla una simulación del proceso de contracción o del proceso de solidificación de la masa fundida metálica basada en una serie de condiciones límite o parámetros de simulación. Esta simulación es ahora la base para el control del o de cada elemento de actuador, ya sea un elemento de actuador por medio del cual se separan activamente las piezas de coquilla, ya sea un elemento de actuador mediante el cual se activa un elemento de sujeción o similar.

El o cada elemento de actuador funciona, como ya se ha descrito, eléctrica, hidráulica o neumáticamente. El mismo se conecta a través de uno o varios conductos de alimentación correspondientes a un dispositivo de control en el caso de un elemento de actuador eléctrico, o a una bomba o a un dispositivo de transporte en el caso de un elemento de actuador hidráulico o neumático. Los conductos de alimentación deben dirigirse hacia el elemento de actuador o hacia la coquilla, de manera que sea posible una eventual rotación de la coquilla. Como se ha descrito, la fundición se realiza normalmente en vacío, a una temperatura correspondientemente alta y una rotación con varios cientos (100) de rpm, por ejemplo, ≤ 400 rpm.

Como se ha descrito antes, preferiblemente se utiliza un elemento de actuador de longitud variable o varios elementos de actuador de este tipo. Además de la utilización de un elemento de este tipo en forma de un cilindro de posicionamiento, también es posible imaginar alternativamente utilizar como elemento de actuador un elemento metálico que modifica su longitud en dependencia de la temperatura de la coquilla. Aquí la apertura también se produce en función de un parámetro establecido por el lado de la coquilla, concretamente la temperatura. Un elemento metálico como este se compone de un material con un coeficiente de dilatación térmica lo más alto posible, de manera que modifique su longitud de forma correspondiente con el aumento de la temperatura, es decir, que se alargue, con lo que las dos piezas de coquilla, en las que se fija el elemento metálico, se someten a presión y se separan. La temperatura se aplica directamente a través de la coquilla que se calienta durante la solidificación y el enfriamiento y en la que se dispone el elemento metálico, pudiéndose también prever naturalmente varios elementos metálicos repartidos. El grado de calentamiento de la coquilla es una medida del grado de solidificación del objeto metálico, de manera que también sea posible una apertura de la coquilla para reducir la tensión. El elemento metálico, por ejemplo, se dispone en las dos piezas de coquilla, a mover relativamente una respecto a otra, en asientos o huecos correspondientes preferiblemente compatibles con la forma, de manera que sea posible una buena transferencia de calor de la coquilla al elemento metálico. El elemento metálico presenta, por ejemplo, la forma de una espiga o de un perno.

En un perfeccionamiento de la invención se puede prever en una o varias piezas de coquilla un canal de refrigerante que conduce el refrigerante. Por medio de este canal de refrigerante es posible una refrigeración selectiva de la coquilla y, por lo tanto, una disipación de calor específica. Como consecuencia, es posible influir en la solidificación y el enfriamiento. Así también es posible precalentar o atemperar la coquilla. Como refrigerante se utiliza normalmente un fluido, por ejemplo, aceite, agua o aire comprimido. Si se prevén varios canales de refrigerante, éstos pueden atemperarse o utilizarse de forma diferente, a fin de obtener diferentes condiciones de refrigeración en distintas zonas de la coquilla. El canal de refrigerante, siendo naturalmente también posible prever varios canales de

refrigerante, se puede guiar de manera que se enfríen de forma específica zonas parciales determinadas de la coquilla para, por ejemplo, enfriar unas zonas del objeto metálico con un volumen elevado con más intensidad que otras zonas o similares. Si se prevé uno o si se prevén varios canales de refrigeración de este tipo, el efecto de refrigeración se incluye en la determinación de los parámetros de control para el control del o de los elementos de actuador, por ejemplo, los parámetros de refrigeración correspondientes se tienen en cuenta en el marco de la simulación. Para controlar adicionalmente el enfriamiento y, por consiguiente, para influir así en la solidificación y el enfriamiento, se pueden insertar en una o en varias piezas de coquilla uno o más insertos metálicos, por ejemplo, de cobre, con una conductividad térmica superior o inferior al material de coquilla, y/o se pueden ensanchar o reducir localmente una o varias piezas de coquilla por el lado exterior para la modificación del grosor de coquilla. La colocación o la integración de uno o de varios insertos metálicos dan lugar a una mejor disipación del calor del interior de la coquilla al exterior que en el caso del material de coquilla. Si, alternativa o adicionalmente, el grosor de coquilla se reduce localmente, también resulta una mejora, dado que el calor se puede disipar más rápidamente. La propia coquilla es preferiblemente un molde permanente metálico. Dicho molde se compone de un material metálico como, por ejemplo, hierro fundido, acero, cobre, niobio o molibdeno, así como cualquier aleación formada a partir de los mismos. En principio, es posible utilizar todos los materiales metálicos que se pueden usar en virtud de sus propiedades físicas y de su resistencia química frente a la masa fundida metálica, preferiblemente frente a la masa fundida de TiAl.

Además de la propia coquilla, se describe un procedimiento para la fundición de un objeto metálico perfilado mediante el uso de una coquilla que comprende al menos dos piezas de coquilla que se pueden unir entre sí de forma separable con respectivamente al menos una cavidad de molde, complementándose las cavidades de molde entre sí con la coquilla cerrada para formar una cavidad con al menos un destalonamiento y pudiendo separarse una de otra a lo largo de un plano de separación liso o conformado libremente, en especial, de una coquilla del tipo antes descrito. El procedimiento prevé que, tras la introducción de una masa fundida en la cavidad, la coquilla se abra para reducir una presión que se genera en el interior inducida por la contracción, abriéndose la propia coquilla mediante la presión que se genera en el interior y/o abriéndose mediante uno o varios elementos de actuador que se pueden controlar o activar en dependencia del comportamiento de contracción o de un parámetro físico establecido por el lado de la coquilla.

Según la invención, el objeto metálico que se contrae por enfriamiento, especialmente a lo largo de su eje longitudinal, ejerce presión, debido al encogimiento o a la contracción, directa o indirectamente contra una superficie dispuesta de manera que las dos piezas de coquilla se alejen una de otra de forma condicionada por la presión.

El o cada elemento de actuador puede accionarse a través del dispositivo de control de forma controlada por tiempo, por presión, por temperatura o en dependencia de una simulación del proceso de contracción o solidificación.

Los distintos mecanismos de apertura pueden utilizarse por separado o de forma acumulativa.

Según la invención, un objeto metálico se funde a partir de una aleación de aluminio de titanio, especialmente de una aleación de aluminio de titanio ($\alpha+\gamma$), es decir, a partir de un material que presenta unas propiedades de fundición deficientes y un comportamiento extremadamente frágil a temperatura ambiente. Como coquilla se utiliza un molde permanente metálico fabricado de un metal o de una aleación metálica que presenta unas propiedades físicas y químicas que permiten una fundición de TiAl o son suficientemente resistentes a este material.

Preferiblemente, pero no obligatoriamente, se utiliza una coquilla del tipo antes descrito.

Todas las explicaciones relativas a la coquilla se aplican de igual modo al procedimiento según la invención y viceversa.

De los ejemplos de realización que se describen a continuación, así como del dibujo, resultan otras ventajas y características de la invención. En este caso se muestra en la:

Figura 1 una representación conceptual de una coquilla en una vista seccionada,

Figura 2 una representación conceptual de un objeto metálico de una primera forma de realización, por ejemplo, para la fabricación de un álabe de baja presión,

Figura 3 una representación conceptual de una coquilla de una segunda forma de realización,

Figura 4 una representación conceptual de un objeto metálico de una segunda forma de realización, por ejemplo, para la fabricación de un álabe de baja presión, en una vista lateral a) y en una vista en planta b), que se puede fundir en la coquilla según la figura 3,

Figura 5 una coquilla según la invención de una primera forma de realización en tres vistas para la explicación del proceso de apertura de la coquilla,

Figura 6 una coquilla según la invención de una segunda forma de realización en tres vistas,

Figura 7 una coquilla según la invención de una tercera forma de realización en tres vistas,

Figura 8 una coquilla según la invención de una cuarta forma de realización en tres vistas,

Figura 9 una coquilla según la invención de una quinta forma de realización en tres vistas,

Figura 10 una coquilla según la invención de una sexta forma de realización con escotaduras por el lado del borde,

Figura 11 una coquilla según la invención de una séptima forma de realización en tres vistas,

Figura 12 una coquilla según la invención de una octava forma de realización en tres vistas,

Figura 13 una coquilla según la invención de una novena forma de realización en tres vistas,

5 Figura 14 una coquilla según la invención de una décima forma de realización en dos vistas,

Figura 15 la coquilla de la figura 14 en otras tres vistas, y

Figura 16 una coquilla según la invención de una undécima forma de realización en tres vistas.

10 La figura 1 muestra una coquilla 1 que se compone de dos piezas de coquilla 2a, 2b que presentan respectivamente una cavidad de molde 3a, 3b. En el molde compuesto, las dos cavidades de molde 3a, 3b se complementan y definen una cavidad 4 que debe rellenarse con masa fundida para la fundición de un objeto metálico perfilado.

Las dos piezas de coquilla 2a, 2b se pueden separar una de otra, en el ejemplo mostrado, a lo largo de un plano de separación 5 liso, a fin de poder retirar el objeto metálico endurecido de la cavidad 4.

15 En el ejemplo mostrado, la cavidad 4 se configura para fundir un objeto metálico para la fabricación de un álabe de baja presión. La cavidad 4 presenta un volumen que varía a lo largo de su eje longitudinal con dos zonas de volumen mayores 6a, 6b por el lado del borde, así como con una zona de volumen central más estrecha 6c. Se puede ver que las zonas de volumen 6a, 6b presentan respectivamente destalonamientos que resultan del aumento del diámetro. Éstos están delimitados por las superficies 7a, 7b u 8a, 8b que se desarrollan oblicuamente, extendiéndose estas superficies en un ángulo α o β con respecto al plano de separación 5. Las secciones de volumen 6a, 6b pueden ser rotacionalmente simétricas, es decir, redondas, pero también pueden conformarse
20 triangulares, cuadrangulares, poligonales o ser de conformación libre, dependiendo de la forma deseada.

La figura 2 muestra un ejemplo de un objeto metálico 9 que se puede fundir con una coquilla 1 según la figura 1. Como se ha descrito, este objeto metálico 9 sirve a modo de ejemplo para la fabricación de un álabe de baja presión. El mismo se caracteriza por un anillo de refuerzo 10 representado en la zona de volumen 6b, por una raíz de paleta 11 representada en la zona de volumen 6a, y por una hoja de paleta 12 representada en la zona de
25 volumen 6c. Su forma corresponde a la de la cavidad 4, presentando, debido a la contracción, un volumen ligeramente menor en comparación con el volumen de la cavidad 4. Esta cuestión se tratará más adelante.

La figura 4 muestra, en una vista lateral a) y en una vista en planta b), una segunda forma de realización de un objeto metálico 9 que resulta igualmente adecuado para la fabricación de un álabe de baja presión y que puede fundirse en una coquilla 1 de acuerdo con la figura 3. Este objeto metálico 9' también presenta un anillo de refuerzo 10', un pie de paleta 11' y una hoja de paleta 12'. Sin embargo, en éste se conforma, de manera que sobresalga lateralmente, un alimentador 13 que permite un flujo de material en el espacio real de la cavidad 4. Por consiguiente, este alimentador 13 sirve como depósito de material. La cavidad 4 presenta para ello, véase figura 3, una sección de cavidad de molde correspondiente 6d ampliada lateralmente. Como resultado de la geometría del alimentador, esta sección de cavidad de molde presenta forzosamente superficies inclinadas 15a, 15b para poder formar las superficies inclinadas 14a y 14b del alimentador 13. Estas superficies se muestran en la figura 3. En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo, en la parte superior a, una vista seccionada a través de las dos piezas de coquilla 2a, 2b, mientras que la figura 3 muestra en la parte b una vista en planta de la pieza de coquilla 2b, es decir, de la pieza de coquilla inferior.

35 Partiendo prácticamente de la forma básica según la figura 1, se realiza en el volumen de la cavidad 4 una zona de volumen adicional 6d que sirve para la formación del alimentador 13. Ésta se define a través de las correspondientes superficies inclinadas 15a y 15b. Como se puede ver, las superficies 15a, 15b también se encuentran en un ángulo y con respecto al plano de separación 5 de las piezas de coquilla 2a, 2b. El ángulo de las superficies 15a, 15b es aquí, a modo de ejemplo, el mismo, aunque también puede ser diferente.

40 Al fundir objetos metálicos 9, 9' de este tipo, como se muestra en las figuras 2 y 4, por ejemplo, a partir de una aleación de aluminio de titanio, se produce una contracción considerable del volumen de la pieza de fundición durante el enfriamiento que provocaría tensiones elevadas en el objeto metálico contenido en la cavidad 4, dado que la contracción del volumen se vería impedida por los destalonamientos en la zona de las secciones de volumen 6a, 6b o 6d. No obstante, para llevar a cabo una reducción de la tensión, como se muestra en las siguientes figuras 5-9, se ofrece una posibilidad de cómo la coquilla 1 se puede abrir de un modo definido para llevar a cabo una reducción
45 de la tensión.

La figura 5 muestra una primera forma de realización de una coquilla según la invención compuesta de las dos piezas de coquilla 2a, 2b. Éstas se colocan una encima de otra de forma guiada por medio de guías 17. En la zona de las guías 17 se prevén elementos de sujeción 18, por ejemplo, en forma de elementos tensores 26 mediante los cuales se sujetan las dos piezas de coquilla 2a, 2b la una contra la otra.

55 Partiendo de la sección de imagen a), la masa fundida se introduce en primer lugar en la cavidad de la coquilla 1 y a continuación se solidifica lentamente en la coquilla 1, de manera que se forme el objeto metálico 9 (el objeto metálico 9' también se puede formar del mismo modo).

Al aumentar la solidificación y el enfriamiento, el objeto metálico 9 se contrae, como se muestra en la parte de figura b). Las dos flechas 19 indican que el volumen se reduce especialmente de forma axial, es decir, que el objeto metálico prácticamente se acorta. Después de que el objeto metálico se ha solidificado por el lado del borde, en su caso ya en todo su volumen, el objeto metálico 9 presiona contra las superficies 7a, 7b u 8a, 8b. Dado que estas superficies están situadas en un ángulo α o β de $>0^\circ$ y $<90^\circ$ y preferiblemente en un rango de entre $20-70^\circ$, en especial de entre $30-60^\circ$, con respecto al plano de separación, resulta un componente de presión en la dirección de la flecha 20, como se muestra en la parte de figura b). Por consiguiente, se genera una presión interior. Debido a la posición inclinada de las superficies correspondientes 7a, 7b, 8a, 8b relativamente con respecto al plano de separación 5, la pieza de coquilla superior 2a se presiona alejándose de la pieza de coquilla inferior 2b. Esto sucede contra la fuerza de retroceso de los elementos tensores 26 que se comprimen durante el proceso. Según la figura parcial b), la pieza de coquilla superior 2a ya está ligeramente separada de la pieza de coquilla inferior 2b. Los ángulos de las superficies pueden ser iguales, pero también pueden variar en diferentes zonas de componente.

Si el enfriamiento y, por consiguiente, la contracción del volumen siguen aumentando, como se muestra en la figura parcial c) a través de las flechas 19, el objeto metálico 9 sigue presionando o actuando con más fuerza contra las superficies correspondientes 7a, 7b, u 8a, 8b, de manera que la coquilla se abra cada vez más. Los elementos tensores 26 se comprimen cada vez más. El grado de contracción y de apertura se representan de forma exagerada en las figuras (esto se aplica a todas las figuras), para poder representar el principio funcional.

Dado que en este caso la coquilla se abre sucesivamente a través del objeto metálico que se contrae sucesivamente, la tensión entre el objeto metálico y las piezas de coquilla 2a, 2b se reduce forzosamente. Estas tensiones reducidas ya no pueden influir negativamente en el objeto metálico. Aquí, la apertura de la coquilla se realiza únicamente a través del propio objeto metálico que se contrae.

La figura 6 muestra un ejemplo de realización de una segunda forma de realización de una coquilla 1 según la invención que, en el ejemplo mostrado, se compone de cuatro piezas de coquilla 2a, 2b, 2c y 2d que presentan cavidades de molde respectivas 3a, 3b, 3c y 3d que en conjunto forman a su vez la cavidad 4. Las piezas de coquilla 2a y 2c están separadas de las piezas de coquilla inferiores 2b, 2d, en el ejemplo mostrado, por un plano de separación horizontal 5. Por su parte, las piezas de coquilla 2a y 2b están separadas de las piezas de coquilla 2c y 2d por un plano de separación vertical 5'.

En el ejemplo mostrado, las piezas de coquilla 2a, 2b se unen de nuevo entre sí guiadas a través de guías correspondientes 17, asignándose a las guías 17 a su vez los correspondientes elementos de sujeción 18 en forma de elementos tensores 26. Se presupone que la forma de la cavidad corresponde a la descrita en la figura 5, es decir, a la del objeto metálico 9. Sin embargo, la cavidad 4 también podría presentar la forma que muestra el objeto metálico 9'.

Según la figura parcial 6a, aquí la masa fundida también se introduce en primer lugar en la cavidad 4 de la coquilla 1 y se solidifica para la formación del objeto metálico 9. Al aumentar la solidificación y el enfriamiento, se produce a su vez una contracción del volumen, como se representa a través de las flechas 19, fundamentalmente en la dirección longitudinal del objeto metálico 9. Aquí, el objeto metálico 9 también ejerce presión contra las superficies 7a, 7b u 8a, 8b que en este caso se realizan en las distintas piezas de coquilla 2a-2d. Como consecuencia de la presión, resulta a su vez un componente de presión en la dirección de las flechas 20. Esto da lugar a que las piezas de coquilla 2a, 2b se separen, como se muestra en la figura parcial b) y especialmente con el enfriamiento progresivo de la figura parcial c). La coquilla 1 se abre por secciones, produciéndose a su vez una reducción de la tensión, incluso si la coquilla sólo se abre por secciones.

Si se funde un objeto metálico 9', la cavidad tendría la forma mostrada en la figura 3. En este caso, el objeto metálico 9' no sólo presionaría o actuaría contra las superficies inclinadas 7a, 7b, 8a y 8b para la apertura, sino adicionalmente contra las superficies inclinadas 15a, 15b, es decir, que el alimentador que se solidifica 13 también serviría para conseguir la apertura de la coquilla contra la fuerza de retroceso de los elementos tensores 26.

La figura 7 muestra un ejemplo de realización de una coquilla 1 según la invención que a su vez se compone a modo de ejemplo de las dos piezas de coquilla 2a, 2b, previéndose en la coquilla 1 un elemento de actuador 21 por medio del cual es posible abrir activamente la coquilla 1.

En el ejemplo mostrado, el elemento de actuador 21 se apoya en las dos piezas de coquilla 2a, 2b en zonas de apoyo correspondientes 23a, 23b. Se trata, por ejemplo, de un cilindro de posicionamiento 22 que se activa eléctrica, hidráulica o neumáticamente, para lo cual se guían hacia el elemento de actuador 21 conductos de alimentación o de control correspondientes no mostrados aquí con mayor detalle.

Supuestamente se funde a su vez un objeto metálico 9, es decir, la cavidad 4 presenta la geometría descrita detalladamente con respecto a la figura 1. Del mismo modo, aquí también se podría fundir un objeto metálico 9' con una geometría de cavidad correspondiente.

Después de verter la masa fundida, el objeto metálico 9 se solidifica, como se muestra en la figura parcial a). Como se muestra en la figura parcial b) y se indica a través de las flechas 19, se produce una pérdida de volumen y, por lo tanto, una contracción en la dirección longitudinal del objeto metálico 9, generándose a su vez en el interior tensiones en el objeto metálico 9. Para compensarlas, el elemento de actuador 21 o el cilindro de posicionamiento 22 se controlan a través de un dispositivo de control no mostrado con mayor detalle, de manera que separen las

piezas de coquilla 2a, 2b, como se representa en las figuras parciales b, c a través de las flechas 20. Aunque en este caso, el objeto metálico 9 también actúa contra las superficies inclinadas correspondientes 7a, 7b, 8a, 8b, esta transferencia de carga a la coquilla no es o no es la única responsable de la apertura de la coquilla. La apertura de la coquilla sólo puede llevarse a cabo bien por medio del elemento de actuador 21 o bien por medio del elemento de actuador 21 apoyado por la "actuación" del objeto metálico.

La figura 8 muestra otra forma de realización de una coquilla 1 según la invención que (en comparación con la figura 6) también se compone de cuatro piezas de coquilla 2a, 2b, 2c y 2d. Al igual que en la figura 7, las dos piezas de coquilla 2a, 2b también se acoplan aquí a través de un elemento de actuador 21, preferiblemente un cilindro de posicionamiento 22, que se apoya en las correspondientes secciones de apoyo 23a, 23b.

Como se muestra claramente en la figura 8, con la cada vez mayor contracción del objeto metálico 9, que también se funde aquí a modo de ejemplo, las piezas de coquilla 2a, 2b se separan a través del elemento de actuador 21, y la coquilla, véase especialmente la figura parcial c, se abre de manera que se produzca una reducción de la tensión. Aunque en este caso, como muestran las flechas 19, los flancos correspondientes del objeto metálico 9 también presionan contra las superficies inclinadas correspondientes 7a, 7b, 8a, 8b de las piezas de coquilla 2a, 2d, esta presión no es responsable o no es exclusivamente responsable de la apertura de la coquilla. La apertura de la coquilla o la separación de las piezas de coquilla 2a, 2b sólo se inicia por medio del elemento de actuador 21, actuando la presión del objeto metálico contra las superficies inclinadas correspondientes como máximo a modo de apoyo.

La figura 9 muestra una forma de realización de una coquilla 1 según la invención que se compone a su vez de sólo dos piezas de coquilla 2a, 2b que se sujetan entre sí a través de las guías correspondientes 17 con los elementos de sujeción asignados 18 que comprenden los elementos tensores 26. Se presupone de nuevo que un objeto metálico 9 se funde con la geometría correspondiente, es decir, que la cavidad 4 presenta la forma descrita con respecto a la figura 1. Aquí también se prevé un elemento de actuador 21, por ejemplo, un cilindro de posicionamiento 22, que se dispone en una sección de soporte 23a de la pieza de coquilla 2a, disponiéndose con su otro extremo en un soporte de posición fija 24.

Después de verter la masa fundida, también tienen lugar aquí una solidificación y un enfriamiento y, por consiguiente, una contracción del volumen por parte del objeto metálico 9. Dicho objeto metálico actúa a su vez, véase figura parcial 2b, contra las superficies inclinadas 7a, 7b, 8a, 8b. Esta presión da lugar a una apertura de la coquilla 1. El elemento de actuador 21 apoya este proceso de apertura, es decir, aleja la pieza de coquilla 2a de la pieza de coquilla 2b. Aquí, los dos mecanismos de apertura actúan conjuntamente, es decir, la apertura se consigue tanto mediante el objeto metálico 9 que se contrae y que ejerce presión sobre las piezas de coquilla 2a, 2b, como también mediante el cilindro de posicionamiento que se extiende 22. En la posición de apertura mostrada en la figura parcial c, las piezas de coquilla 2a, 2b están suficientemente separadas, obteniéndose una reducción de tensión completa correspondiente. Como se representa a través de las flechas 19 y 20, el objeto metálico 9, por una parte, se ha acortado en la dirección longitudinal, pero al mismo tiempo la pieza de coquilla 2a también se ha alejado relativamente de la pieza de coquilla 2b.

El control del elemento de actuador 21, es decir, por ejemplo, del cilindro de posicionamiento, se realiza por medio de un dispositivo de control 25, como se representa a modo de ejemplo sólo en la figura 9. El accionamiento puede llevarse a cabo de forma controlada por tiempo, es decir, una vez transcurrido un tiempo determinado después de la introducción de la masa fundida, el elemento de actuador 21 (independientemente de la forma de realización de coquilla que se observe) se activa de forma continua, a fin de separar sucesivamente la pieza de coquilla 2a de la pieza de coquilla 2b. Además de un control basado en el tiempo, también es posible imaginar un control basado en la presión o basado en la temperatura. Alternativamente es posible imaginar que el control se lleve a cabo en base a una simulación que simule el proceso de contracción y de solidificación del objeto metálico 9.

Además, en la figura 9 se representa a modo de ejemplo en cada pieza de coquilla 2a, 2b, un canal de refrigerante 27 que se alimenta de refrigerante a través de un suministro de refrigerante no mostrado aquí con más detalle. De este modo es posible enfriar las piezas de coquilla de forma correspondiente. Como refrigerante se utiliza, por ejemplo, aceite o agua o aire, o una combinación de al menos dos de estos refrigerantes. Este enfriamiento se incluye en la simulación si el dispositivo de control 25 funciona mediante una simulación.

Adicional o alternativamente, en las piezas de coquilla también se pueden prever insertos de material que influyen en la disipación del calor, es decir, que presenten una conductividad térmica superior o inferior a la del material de coquilla.

También existe la posibilidad de llevar a cabo en la coquilla, por el lado exterior, modificaciones del grosor de coquilla local, por ejemplo, mediante la eliminación de material o la aplicación de material, para influir en la disipación de calor local. En la figura 10 se muestra un ejemplo de principio, donde la coquilla 1 presenta escotaduras 28 en los lados.

La figura 11 muestra un ejemplo de realización de una coquilla 1 según la invención, en la que el propio objeto metálico no presenta superficies inclinadas correspondientes, aunque se prevén destalonamientos en la cavidad 4. En este caso, las superficies inclinadas se prevén en los lados de choque adyacentes unos a otros de las piezas de coquilla, de manera que, en caso de una contracción longitudinal del objeto metálico que se solidifica, las dos piezas

de coquilla móviles se deslicen sobre las superficies inclinadas de la pieza de coquilla fija, produciéndose así la apertura de la coquilla.

Se prevén tres piezas de coquilla 2a, 2b y 2c. La pieza de coquilla fija 2a, que se compone de dos piezas individuales atornilladas entre sí de forma separable (no mostradas más detalladamente) para permitir el desmoldeo del objeto metálico 9, presenta dos superficies inclinadas 7a, 7b que se estrechan la una hacia la otra a modo de cuña. Cada una de las piezas de coquilla móviles 2b, 2c presenta una superficie inclinada 8a u 8b, ajustándose en el molde cerrado las piezas de coquilla 2b, 2c la una a la otra en arrastre de forma y a las superficies 7a, 7b a través de las superficies inclinadas 8a, 8b.

Se muestra la masa fundida ya vertida para la formación del objeto metálico 9 que aquí se muestra prácticamente a modo de hueso en la representación conceptual, no previéndose ninguna superficie inclinada por el lado de la cavidad ni del objeto metálico. Para la sujeción de las piezas de coquilla 2b y 2c también se prevén aquí guías correspondientes 17 con elementos de sujeción 18 que comprenden los elementos tensores 26.

La figura parcial 11b muestra la coquilla 1 durante el proceso de fundición, por ejemplo, durante la rotación de la coquilla 1. Como se representa aquí también por medio de las flechas 19, el objeto metálico 9 se contrae especialmente a lo largo de su eje longitudinal de forma condicionada por la contracción. Debido a la contracción, la zona ensanchada 29 del objeto metálico 9 ejerce presión dentro de su cavidad parcial contra los flancos destalonados correspondientes en las piezas de coquilla 2b, 2c. Esto da lugar a que las dos piezas de coquilla 2b y 2c con sus superficies inclinadas 8a, 8b se deslicen sobre las superficies inclinadas 7a, 7b de la pieza de coquilla 2a, produciéndose de este modo una apertura sucesiva de la coquilla y, por consiguiente, una reducción de la tensión. La apertura de la coquilla se representa mediante las flechas 20. La coquilla abierta se representa en la figura parcial 2c, donde se puede ver que las piezas de coquilla 2b y 2c, por una parte, están desplazadas relativamente con respecto a la pieza de coquilla fija 2a y, por otra parte, también relativamente una respecto a otra.

Si la coquilla ya no gira después de la solidificación parcial y de la formación de una capa marginal estable, el proceso de apertura también puede llevarse a cabo fundamentalmente sólo mediante los elementos tensores tensados 2b que empujan las piezas de coquilla 2b, 2c a la posición abierta, casi a continuación de la contracción volumétrica.

La figura 12 muestra un ejemplo de realización comparable de una coquilla 1 de este tipo en la que se prevén a su vez tres piezas de coquilla 2a, 2b y 2c, siendo las piezas de coquilla 2b y 2c móviles relativamente con respecto a la pieza de coquilla fija 2a. Éstas se guían de forma móvil relativamente con respecto a la pieza de coquilla 2a a través de guías correspondientes 30.

Aquí, la cavidad 4 tampoco presenta a modo de ejemplo ninguna superficie inclinada, mientras que la cavidad presenta una especie de forma de hueso.

La figura 12a muestra el estado inicial del molde de fundición. En este estado inicial, las dos piezas de coquilla 2b y 2c están prácticamente abiertas. Por consiguiente, la coquilla 1 no está cerrada.

En este ejemplo de realización, el cierre sólo se produce si se hace girar la coquilla 1, dando lugar las fuerzas centrífugas que actúan a que las dos piezas de coquilla 2b, 2c se deslicen, guiadas a través de guías 30, con sus superficies inclinadas 8a, 8b sobre las superficies inclinadas 7a, 7b de la pieza de coquilla 2a y, como se representa mediante las flechas 31, se muevan a la posición de cierre. En esta posición se puede aportar la masa fundida, a fin de fundir el objeto metálico 9.

Aquí el objeto metálico también se solidifica y se contrae a lo largo de su eje longitudinal, como se representa a través de las flechas 19. Esta contracción longitudinal y la fuerza ejercida sobre las piezas de coquilla 2b, 2c que actúa en la dirección del eje longitudinal, contrarresta la fuerza centrífuga. Dado que la fuerza condicionada por la contracción es considerablemente mayor que la fuerza centrífuga, con una solidificación y, por consiguiente, contracción cada vez mayor del objeto metálico 19, se produce una separación de las piezas de coquilla 2b, 2c, como se representa mediante las flechas 20, deslizándose con sus superficies inclinadas 8a, 8b sobre las superficies inclinadas 7a, 7b de la pieza de coquilla fija. Por lo tanto, la reducción de la tensión también puede lograrse de este modo.

La figura 13 muestra otro ejemplo de realización de una coquilla 1 según la invención que se acerca al ejemplo de realización de la figura 12 en lo que se refiere a la estructura básica de la coquilla 1 y al principio funcional. A este respecto, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

A diferencia de la forma de realización según la figura 12, aquí se prevé para cada elemento de coquilla móvil 2b, 2c un elemento de retorno 32 compuesto por un elemento tensor 33 que se fija respectivamente en un soporte 34 y que se une con el otro extremo a la pieza de coquilla 2b o 2c.

En la posición inicial según la figura parcial 13a, las piezas de coquilla 2b, 2c también están abiertas y desplazadas relativamente con respecto a la pieza de coquilla 2a. Los elementos tensores 33 están relajados o contraídos.

El cierre de la coquilla 1 también se realiza aquí mediante la fuerza centrífuga durante la rotación, como se representa con las flechas 31. La fuerza centrífuga da lugar a que las piezas de coquilla 2b, 2c con sus superficies inclinadas 8a, 8b se deslicen sobre las superficies inclinadas 7a, 7b de la pieza de coquilla fija 2a, guiadas a través

de las guías 30. En este caso se produce un alargamiento del respectivo elemento tensor 33, de manera que éste genere una fuerza de retroceso. Esta fuerza de retroceso contrarresta así la fuerza centrífuga. La misma apoya el proceso de apertura inducido por el objeto metálico 9 que se solidifica, como se representa en la figura 13c. El objeto metálico que se contrae a lo largo de su eje longitudinal, véase la flecha 19, presiona, como ya se ha descrito en la figura 12, contra las piezas de coquilla 2b, 2c, de manera que éstas se deslicen a su vez sobre la pieza de coquilla 2a. Este movimiento de deslizamiento se apoya mediante los elementos tensores 33 que, en este caso, se contraen de nuevo.

Si la coquilla ya no gira después de la solidificación parcial y de la formación de una capa marginal estable, el proceso de apertura también puede llevarse a cabo fundamentalmente sólo mediante los elementos tensores 2b que empujan las piezas de coquilla 2b, 2c a la posición abierta, prácticamente a continuación de la contracción volumétrica.

La figura 14 muestra una forma de realización de una coquilla 1 que se compone, a modo de ejemplo, de dos piezas de coquilla 2a, 2b y concretamente en la figura parcial 14a en una vista lateral y en la figura parcial 14b en una vista en planta de la mitad de coquilla inferior 2b.

El proceso de apertura se realiza aquí a través de varios elementos de ajuste 35 que se pueden activar térmicamente en forma de espigas metálicas 36.

Aquí se muestra a su vez, a modo de ejemplo, una cavidad 4, cuya geometría corresponde a la cavidad 4 de las figuras 1-9, es decir, que dispone de las superficies inclinadas 7a, 7b y 8a, 8b correspondientes contra las que el objeto metálico 9 ejerce presión. El proceso de apertura puede apoyarse adicionalmente por medio de este mecanismo ya descrito anteriormente, aunque también se puede llevar a cabo sólo mediante los elementos de ajuste 35.

En el caso de los elementos de ajuste 35 o de los elementos metálicos 36, que tienen la forma de pernos o de espigas, se trata de elementos metálicos con el mayor coeficiente de dilatación térmica posible. Cada elemento metálico 36 se aloja en asientos correspondientes 37 en las dos piezas de coquilla 2a, 2b, correspondiendo la geometría de los asientos 37 preferiblemente a la geometría del elemento metálico 36, de manera que se obtenga una buena transferencia de calor de la coquilla al elemento metálico. Esto se debe a que el calentamiento de los elementos metálicos 36 se realiza exclusivamente a través de la coquilla 1. Después de verter la masa fundida, la coquilla 1 se calienta forzosamente durante el enfriamiento del objeto metálico 9. De este modo también se produce un calentamiento de los objetos metálicos 36. Éstos se diseñan de manera que se extiendan, es decir, que se alarguen en dirección longitudinal como consecuencia del calentamiento. Dado que éstos se apoyan por ambos lados en las piezas de coquilla 2a, 2b, un alargamiento da lugar inevitablemente a que las piezas de coquilla 2a, 2b se sometan a presión separándose, de manera que la coquilla 1 se abra. Esto se muestra a modo de ejemplo en la figura 15.

La figura parcial 15a muestra la situación después de la introducción de la masa fundida para la formación del objeto metálico 9. Al aumentar el enfriamiento y la solidificación, se produce una contracción longitudinal, como se indica mediante las flechas 19. Sin embargo, al mismo tiempo los elementos metálicos 36 también se extienden, de los que en la figura 15 sólo se muestra uno de forma limitada por la sección. Las piezas de coquilla 2a, 2b se someten a presión separándose y la coquilla 1 se abre, como se indica mediante la flecha 20. En el ejemplo mostrado, este proceso de apertura tiene lugar de nuevo contra la fuerza de retroceso de los elementos de sujeción 18, pudiéndose mover también aquí las piezas de coquilla unas respecto a otras de forma definida a través de las guías 17. El proceso de apertura puede lograrse fundamentalmente sólo mediante los elementos metálicos 36 o en interacción con el objeto metálico 9.

La figura 16 muestra una coquilla 1 con una estructura similar a la de la coquilla de la figura 3. Ésta se compone de dos piezas de coquilla 2a, 2b y presenta una sección de cavidad de molde lateral adicional que está limitada por las superficies inclinadas 15a, 15b. Esta sección de cavidad de molde permite la formación de un alimentador 13 en el objeto metálico 9, como se muestra en la figura parcial 16a. En la sección de cavidad de molde, sin embargo, se aloja adicionalmente un inserto 37 con forma de cuña que presenta las correspondientes superficies inclinadas 38a, 38b, con las que se ajusta a las superficies inclinadas 15a, 15b. El alimentador 13 se forma directamente a continuación del inserto 37. El alimentador 13 presenta a modo de ejemplo una geometría redonda, aunque también puede presentar una forma diferente.

Si la masa fundida se vierte y el objeto metálico 9 se solidifica, éste se contrae de nuevo a lo largo de su eje longitudinal, como se representa a través de las flechas 19. El alimentador 13 actúa contra el inserto 37 que, como se representa con la flecha 39, también se desplaza en la dirección del eje longitudinal. Éste presiona con sus superficies inclinadas 38a, 38b contra las superficies inclinadas 15a, 15b de las dos piezas de coquilla 2a, 2b, de manera que se produzca la apertura de la coquilla 1, como se representa por medio de la flecha 20. La figura parcial 16c muestra la coquilla 1 abierta. Aquí, el objeto metálico 9 presiona indirectamente contra las superficies de las piezas de coquilla 2a, 2b a través del inserto 37. El proceso de apertura sólo se puede realizar mediante esta presión ejercida a través del inserto 37, o bien con el apoyo del objeto metálico 9 que también presenta las superficies inclinadas correspondientes y que ejerce presión contra las superficies inclinadas correspondientes de las piezas de coquilla 2a, 2b.

ES 2 708 387 T3

- 5 La coquilla según la invención, independientemente de la forma de realización, se utiliza en especial para fabricar un objeto metálico o un semiproducto con una distribución de volumen que varía a lo largo del eje longitudinal para un procesamiento posterior mediante técnica de forjado y/o de tratamiento, formando la pieza acabada. La pieza acabada se puede prever especialmente, pero no exclusivamente, para su utilización en un motor de émbolos o en una turbina de gas, en especial, en motores de aviación.
- Como se ha descrito, se utiliza preferiblemente una aleación de aluminio de titanio para formar el objeto metálico 9 o 9'. Una aleación de este tipo puede presentar la siguiente composición (en % de átomos):
- 40-49% Al
 - 1-10% Nb
- 10 0,01-10% de al menos uno de los elementos Mo, Cr, Mn o B, así como un resto de Ti e impurezas condicionadas por la fundición.
- Resulta especialmente preferible una aleación de la siguiente composición (en % de átomos):
- 42-48,5% Al
 - 1,5-5,5% Nb
- 15 0,05-5% de al menos uno de los elementos Mo, Cr, Mn o B, así como un resto de Ti e impurezas condicionadas por la fundición.
- En la posterior concretización se utiliza preferiblemente una aleación de la siguiente composición (en % de átomos):
- 43,3-48,2% Al
 - 1,8-4,2% Nb
- 20 0,07-2,7% de al menos uno de los elementos Mo, Cr, Mn o B, así como un resto de Ti e impurezas condicionadas por la fundición.
- Como otros elementos de aleación pueden estar presentes Ta, Si, V o C. Esto se aplica a todas las composiciones antes citadas.
- 25 Durante el proceso de fundición, una aleación como ésta se funde, lo que puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante VIM (Vacuum Induction Melting), VAR (Vacuum Arc Remelting) o PAM (Plasma Arc Melting), fundiéndose a continuación en el molde de fundición en el que la masa fundida se solidifica del modo descrito. En este caso, el proceso de fundición se realiza de forma estática, de forma asistida por presión o en una combinación de ambas, aplicándose preferiblemente el proceso de fundición centrifugada. La masa fundida se vierte desde el crisol/recipiente de fundición en un sistema de fundición rotatorio compuesto por un distribuidor de masa fundida, un sistema de funcionamiento y la o las coquillas. La fusión de la aleación, así como la fundición se realizan preferiblemente en vacío, opcionalmente también en una atmósfera químicamente inerte bajo gas protector.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Coquilla para la fundición de un objeto metálico perfilado que comprende al menos dos piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) que se pueden unir entre sí de forma separable con respectivamente al menos una cavidad de molde (3a, 3b, 3c, 3d), complementándose las cavidades de molde (3a, 3b, 3c, 3d) con la coquilla (1) cerrada para formar una cavidad (4) con un volumen que varía a lo largo de un eje con uno o varios destalonamientos y pudiéndose separar una de otra a lo largo de un plano de separación (5) liso o de conformación libre, caracterizada por que en al menos una pieza de coquilla se prevé al menos una superficie (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) contra la que se puede generar directa o indirectamente presión como resultado de la contracción a través del objeto metálico (9, 9') que se contrae al enfriarse, disponiéndose la superficie (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) de manera que las dos piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) se puedan mover separándose una de otra de forma condicionada por la presión,
- previéndose elementos de apriete o de sujeción (18) que unen las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) en la posición de cierre y que están configurados para generar una fuerza de retroceso contra la que las piezas de coquilla se pueden presionar fuera de la posición de cierre mediante el objeto metálico que se contrae (9, 9'),
 - o pudiéndose mover las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) a la posición de cierre mediante rotación y previéndose elementos de sujeción (33) que, en caso de un movimiento a la posición de cierre, generan una fuerza de retroceso, pudiéndose presionar las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) fuera de la posición de cierre tanto mediante el objeto metálico que se contrae (9, 9'), como también mediante la fuerza de retroceso,
 - o previéndose elementos de sujeción que sujetan las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) entre sí de forma fija en la posición de cierre y que se pueden soltar por medio de un actuador (21) que se puede activar en dependencia del comportamiento de contracción o de un parámetro físico establecido por el lado de la coquilla y que se puede controlar por medio de un dispositivo de control (25), para la apertura de la coquilla (1), y pudiéndose presionar las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) fuera de la posición de cierre mediante el objeto metálico (9, 9') que se contrae.
2. Coquilla según la reivindicación 1, caracterizada por que la superficie (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) se realiza como una superficie inclinada situada en un ángulo (α , β , γ) $>0^\circ$ y $<90^\circ$ con respecto al plano de separación (5), debiendo ser el ángulo (α , β , γ) preferiblemente $\geq 15^\circ$, especialmente $\geq 30^\circ$ y $\leq 75^\circ$, especialmente $\leq 60^\circ$.
3. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la superficie (7a, 7b, 8a, 8b) se prevé en una cavidad de molde (3a, 3b), representando una superficie límite del objeto metálico (9) o por que la superficie (15a, 15b) se configura en la zona de una sección de cavidad de molde adicional (6d).
4. Coquilla según la reivindicación 3, caracterizada por que en la sección de cavidad de molde adicional (6d) se dispone al menos un inserto (37) que presenta una superficie complementaria (38a, 38b) y contra el cual el objeto metálico (9) ejerce presión al enfriarse, de manera que el inserto (37) ejerza presión contra la superficie (15a, 15b).
5. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el plano de separación (5) se desarrolla fundamentalmente paralelo al eje longitudinal del objeto metálico (9, 9').
6. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que se prevén más de dos piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) que presentan respectivamente una cavidad de molde (3a, 3b, 3c, 3d) que se complementan formando una cavidad (4), disponiéndose la al menos una superficie (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) de manera que al menos dos piezas de coquilla (2a, 2b) se muevan alejándose una de otra de forma condicionada por la contracción.
7. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que se prevén varias superficies (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) en una cavidad de molde (3a, 3b, 3c, 3d) o en las cavidades de molde (3a, 3b, 3c, 3d) que se complementan entre sí.
8. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la superficie (7a, 7b, 8a, 8b) es una superficie límite exterior de una pieza de coquilla (2a, 2b, 2c), ajustándose dos piezas de coquilla (2a, 2b, 2c) con sus superficies (7a, 7b, 8a, 8b) la una a la otra, de manera que, debido a la presión, se puedan desplazar una contra otra.
9. Coquilla según la reivindicación 8, caracterizada por que se prevén al menos tres piezas de coquilla (2a, 2b, 2c), presentando una primera pieza de coquilla (2a) dos superficies (7a, 7b) que se desarrollan en ángulo una respecto a otra, a las que se ajusta respectivamente otra pieza de coquilla (2b, 2c) con una superficie correspondiente (8a, 8b), de manera que las otras dos piezas de coquilla (2b, 2c) se puedan mover separándose una de otra de forma condicionada por la presión y relativamente con respecto a la primera pieza de coquilla.
10. Coquilla según la reivindicación 8 o 9, caracterizada por que las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c) se mueven de forma guiada unas al lado de otras a través de elementos de guiado (30).
11. Coquilla según la reivindicación 9 y 10, caracterizada por que las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c) se disponen y se pueden mover relativamente unas respecto a otras, de manera que las otras dos piezas de coquilla (2b, 2c) se

ES 2 708 387 T3

puedan mover, en caso de una rotación de la coquilla (1), partiendo de una posición de apertura a una posición de cierre de la que pueden salir de nuevo preferiblemente de forma condicionada por la presión.

5 12. Coquilla según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada por que las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d) encajan unas en otras en arrastre de forma a través de secciones de unión o de guías (17).

10 13. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los elementos de apriete o de sujeción (18) comprenden uno o varios elementos tensores (26) por medio de los cuales se sujetan entre sí las piezas de coquilla (2a, 2b, 2c, 2d).

14. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que se prevén varios elementos de sujeción a los que se les asigna respectivamente un elemento de actuador (21) que se puede activar por separado.

15 15. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el o cada elemento de actuador (21) puede activarse por medio del dispositivo de control (25) de forma controlada por tiempo, por presión o por temperatura o en dependencia de una simulación del proceso de contracción o de solidificación.

16. Coquilla según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el elemento de actuador (21) funciona eléctrica, hidráulica o neumáticamente.

FIG. 1

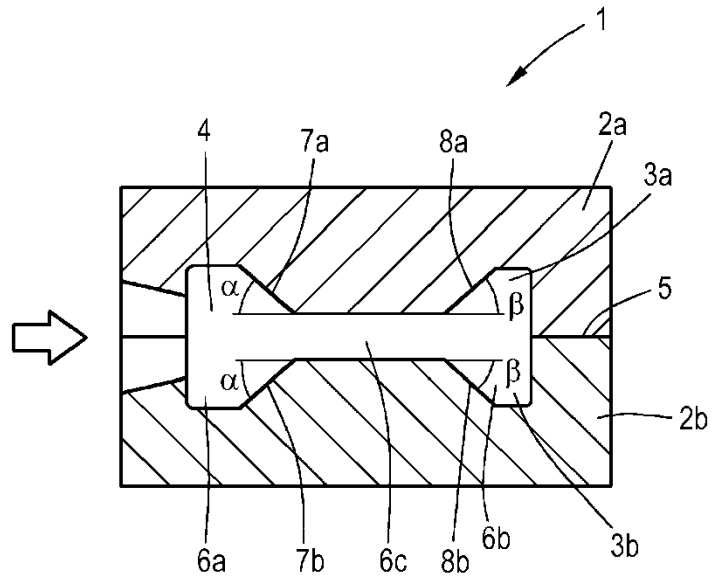


FIG. 2

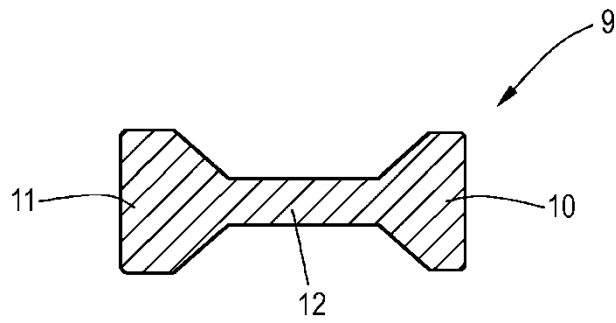


FIG. 3

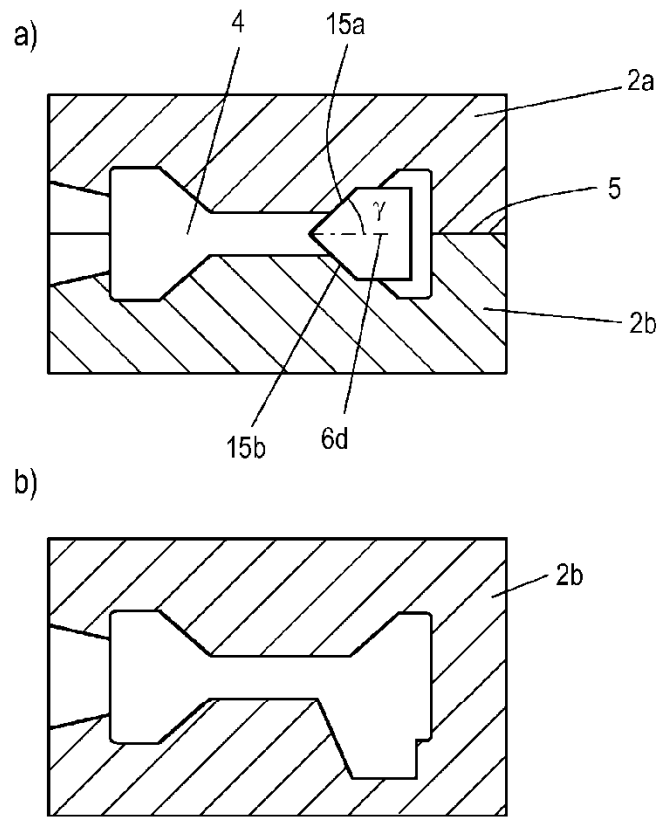


FIG. 4

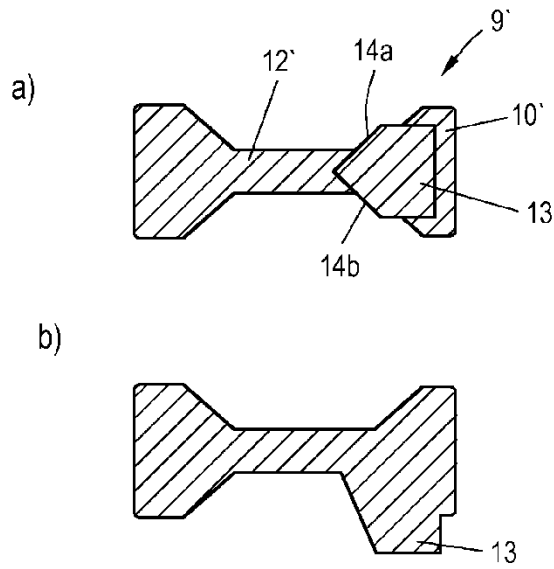


FIG. 5

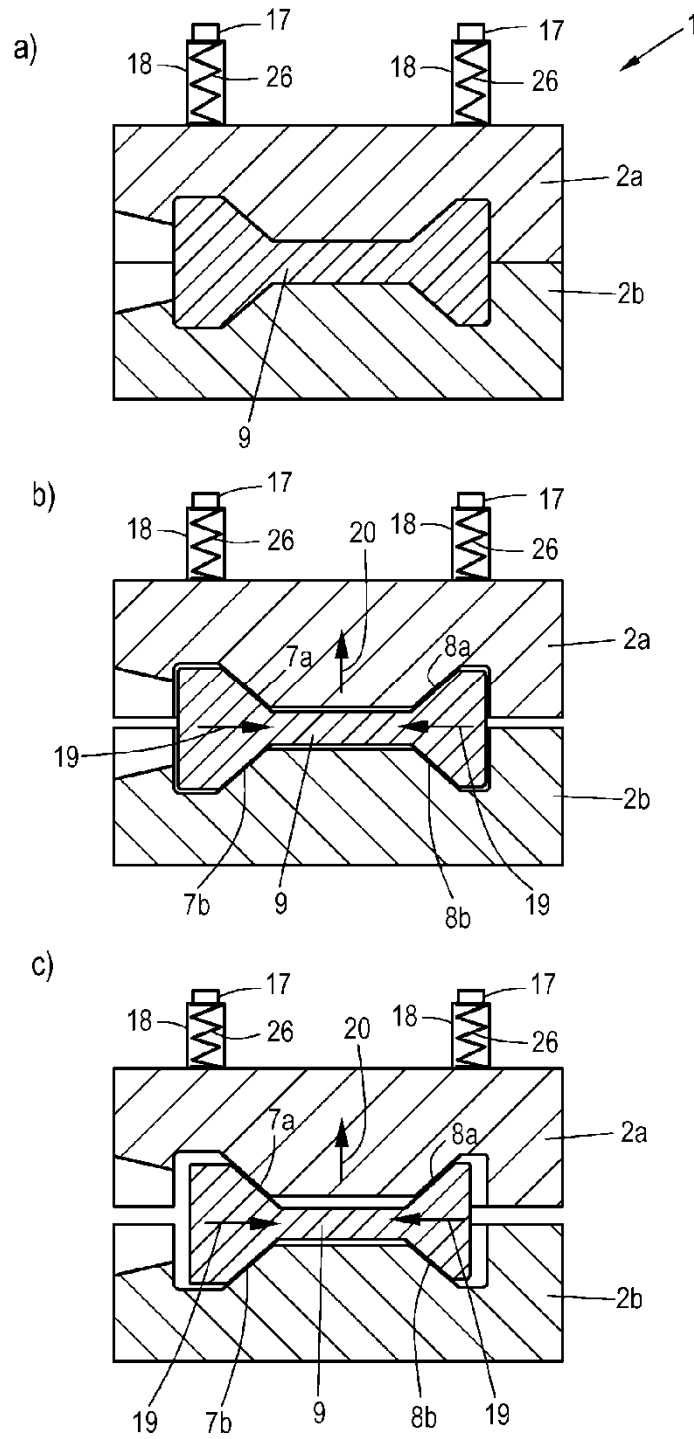


FIG. 6

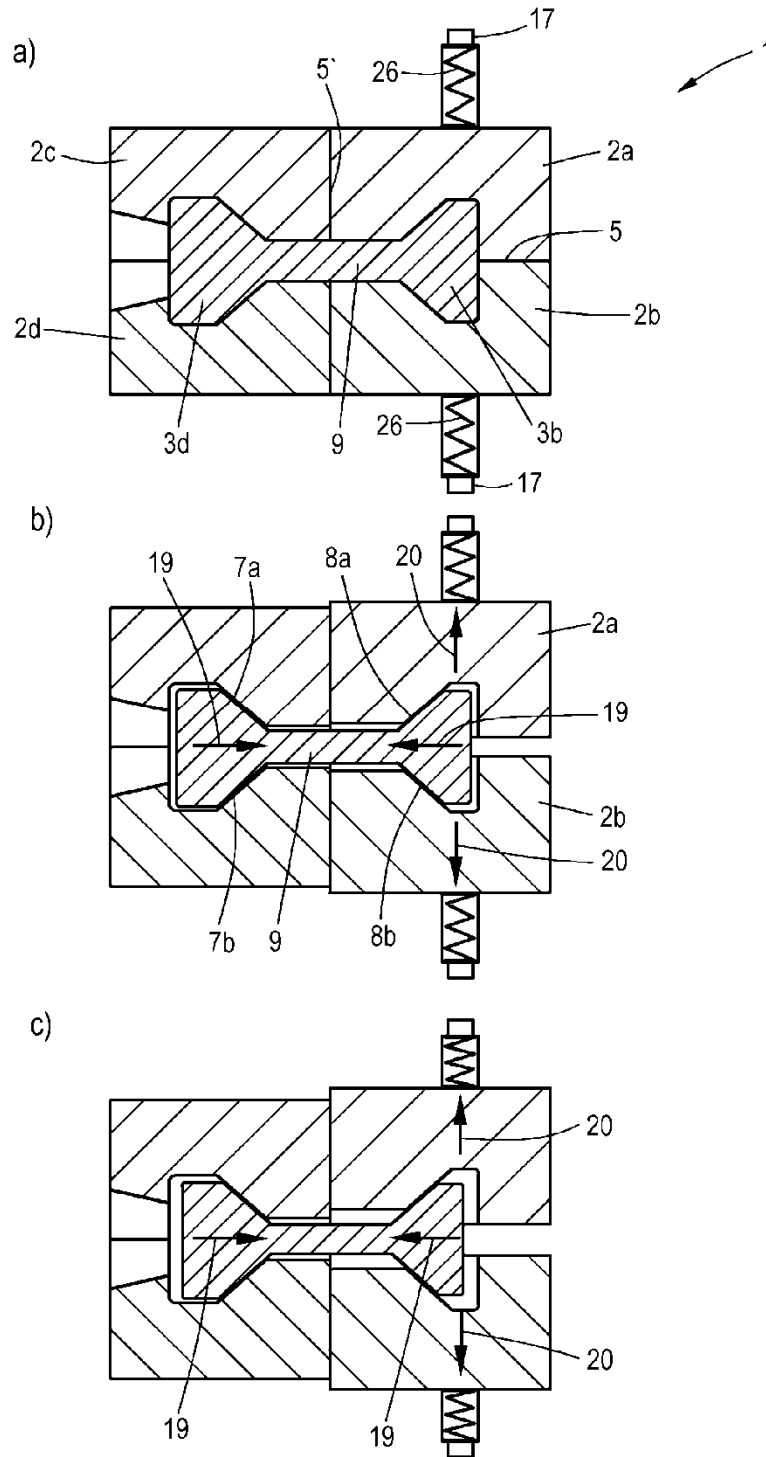


FIG. 7

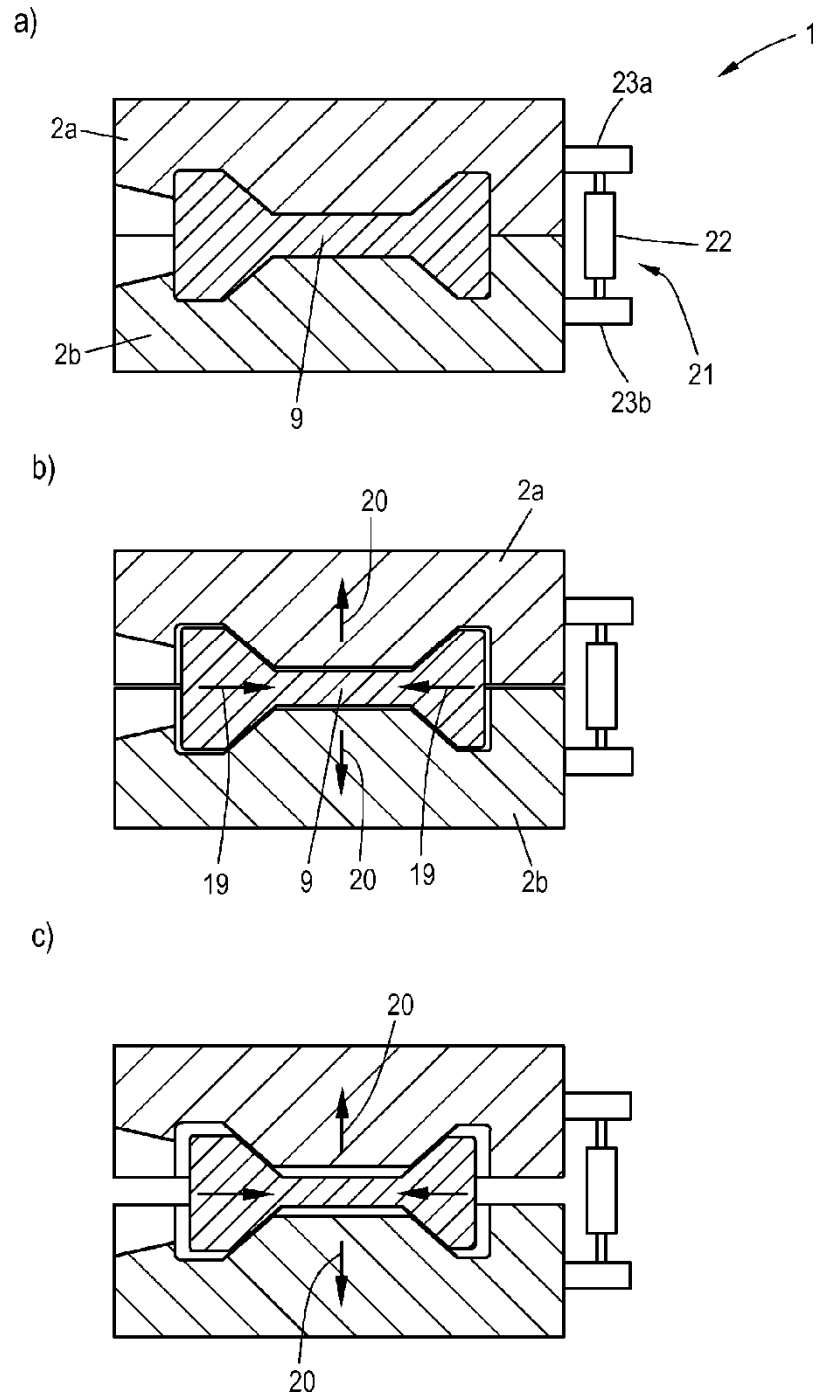


FIG. 8

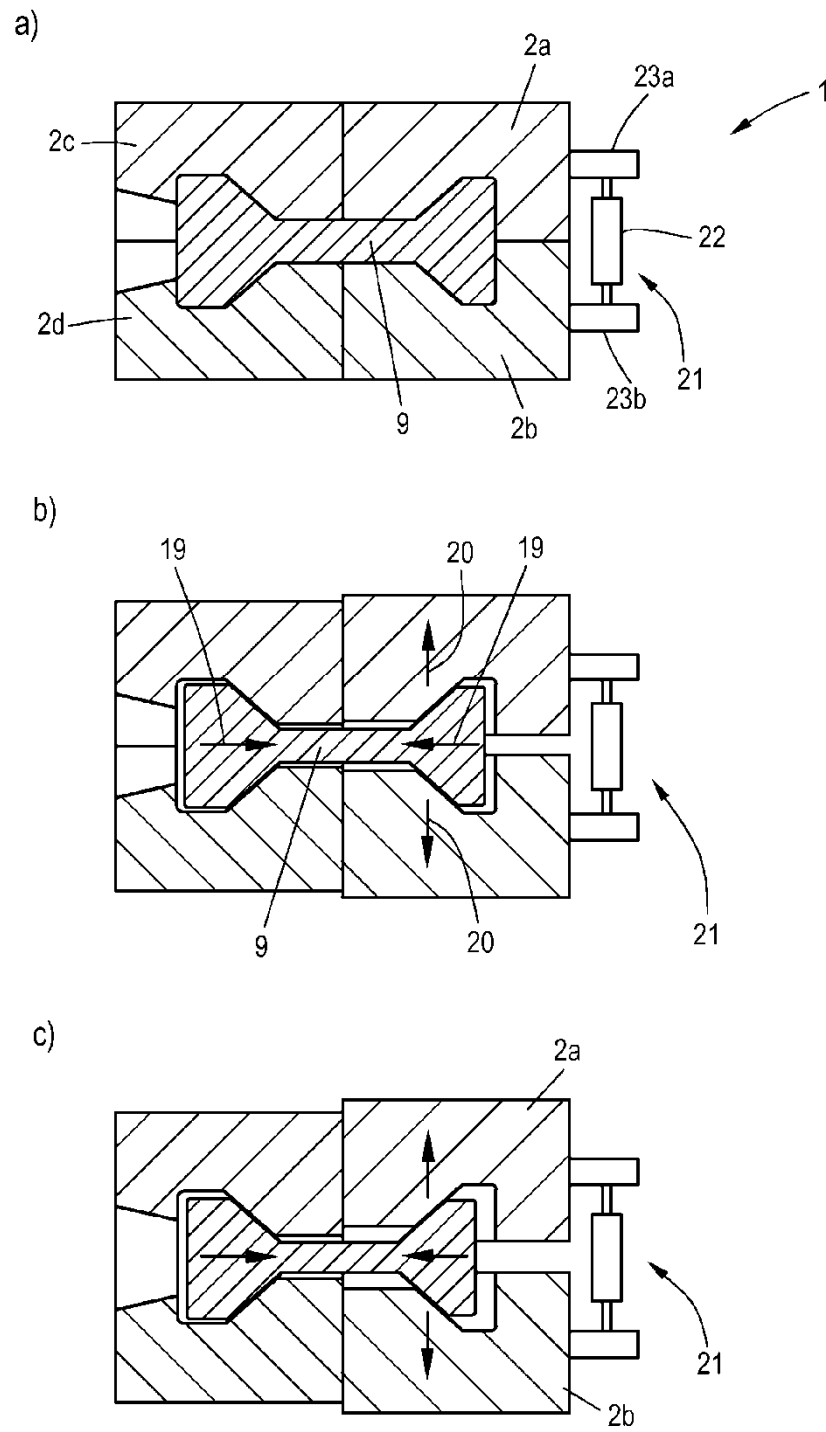


FIG. 9

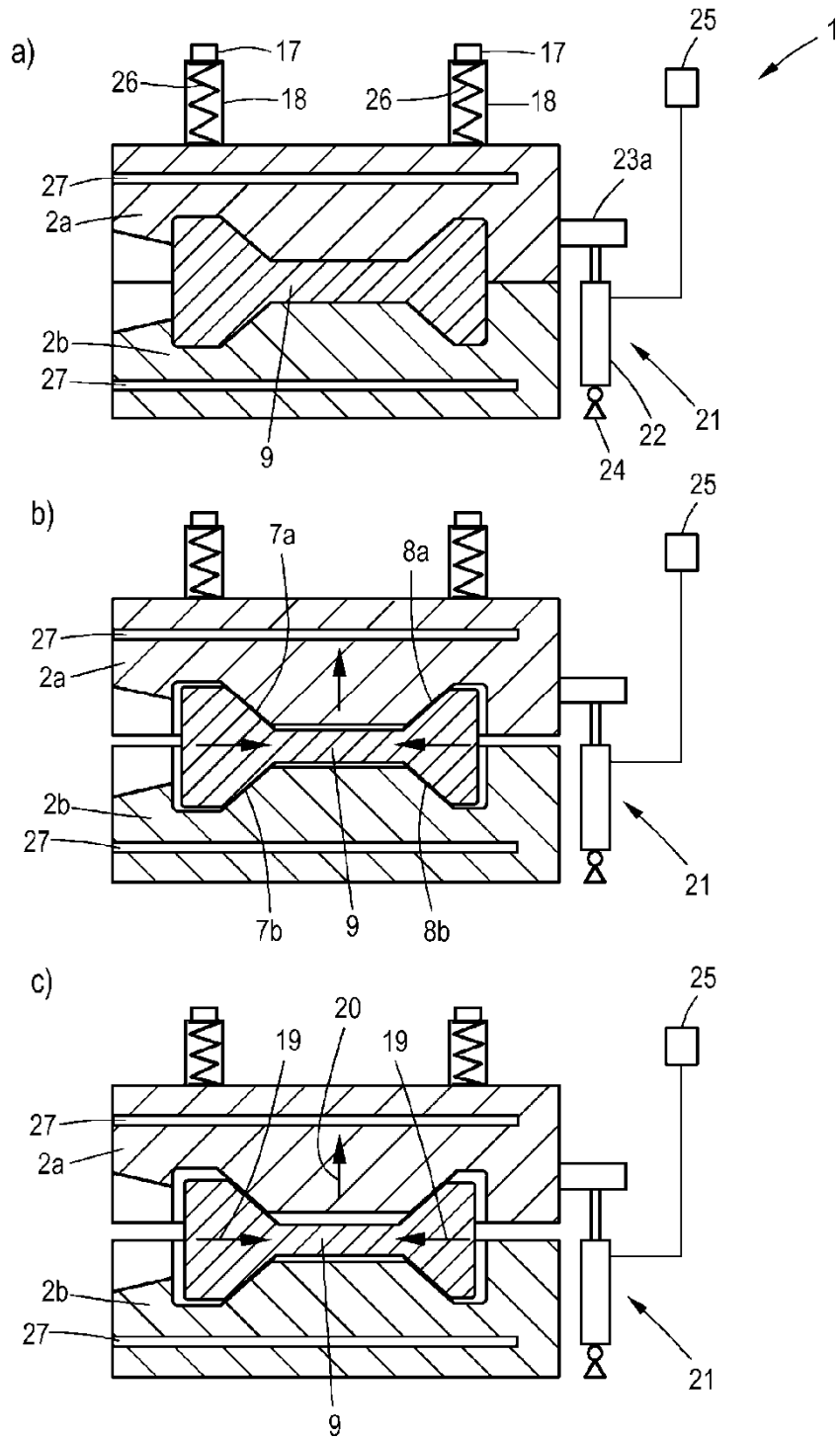


FIG. 10

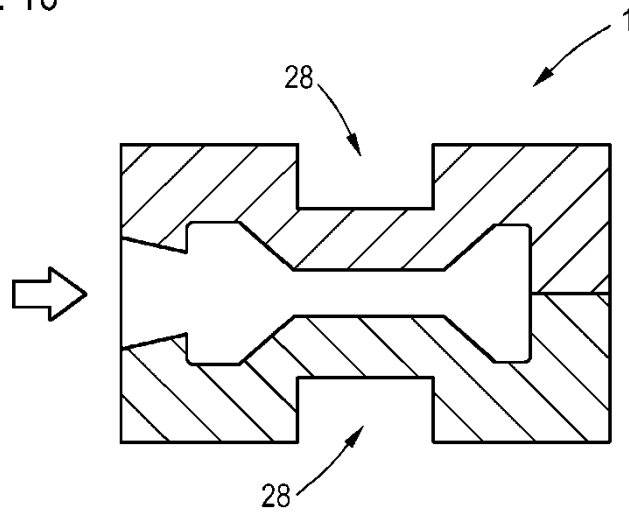


FIG. 12

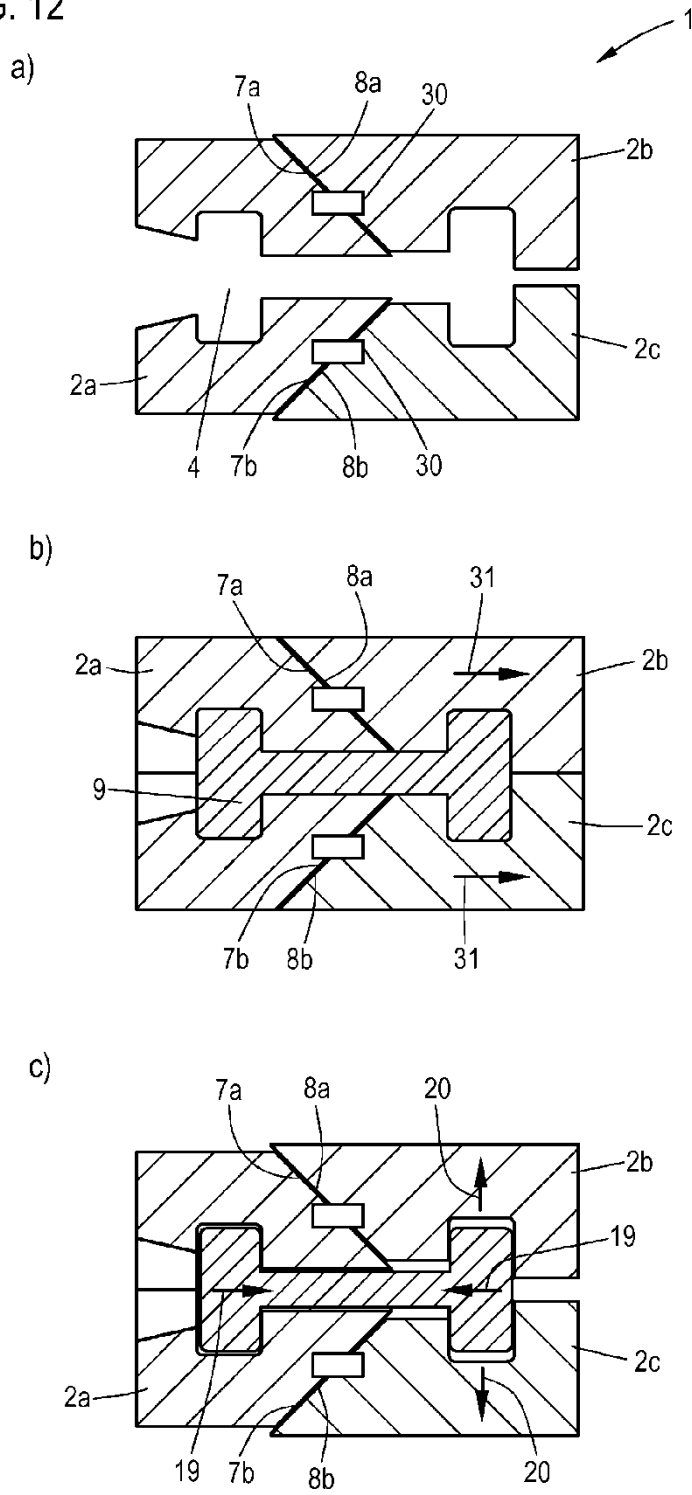


FIG. 13

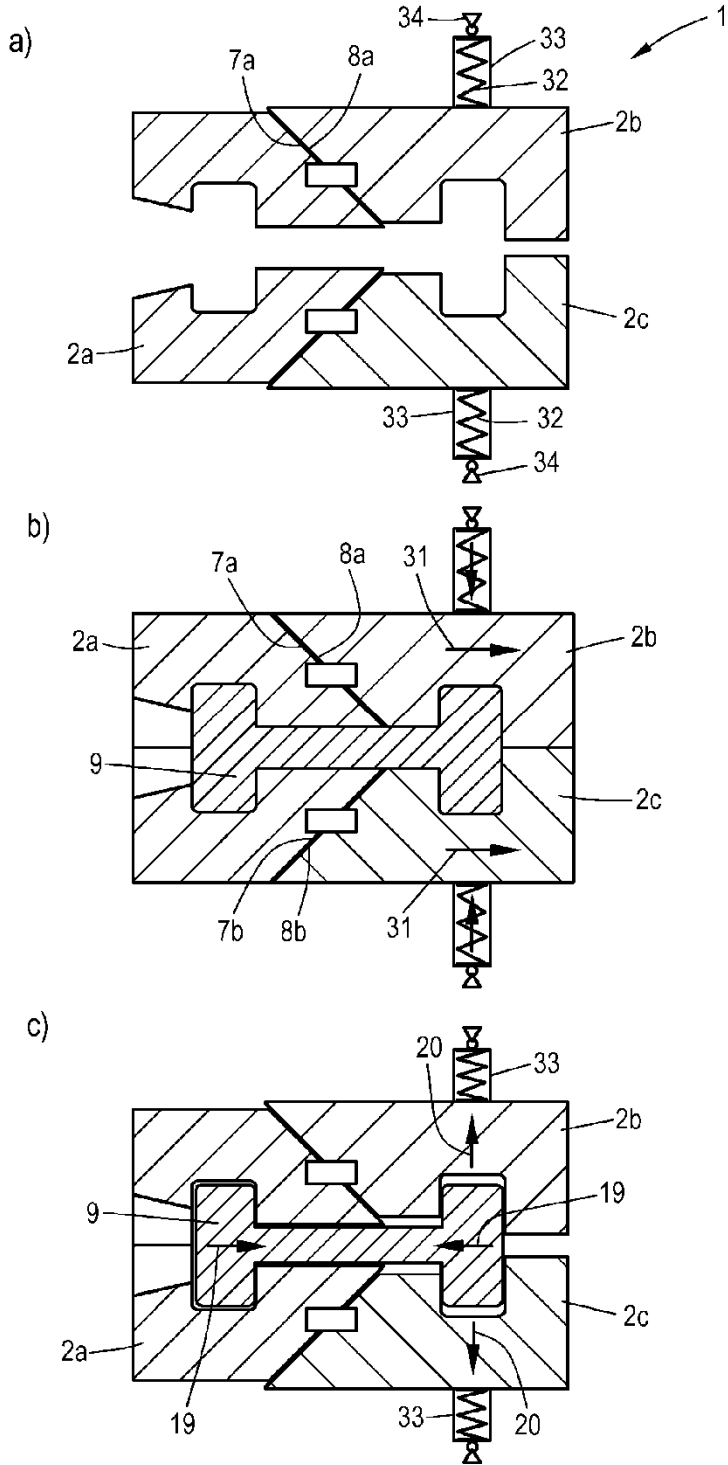


FIG. 14

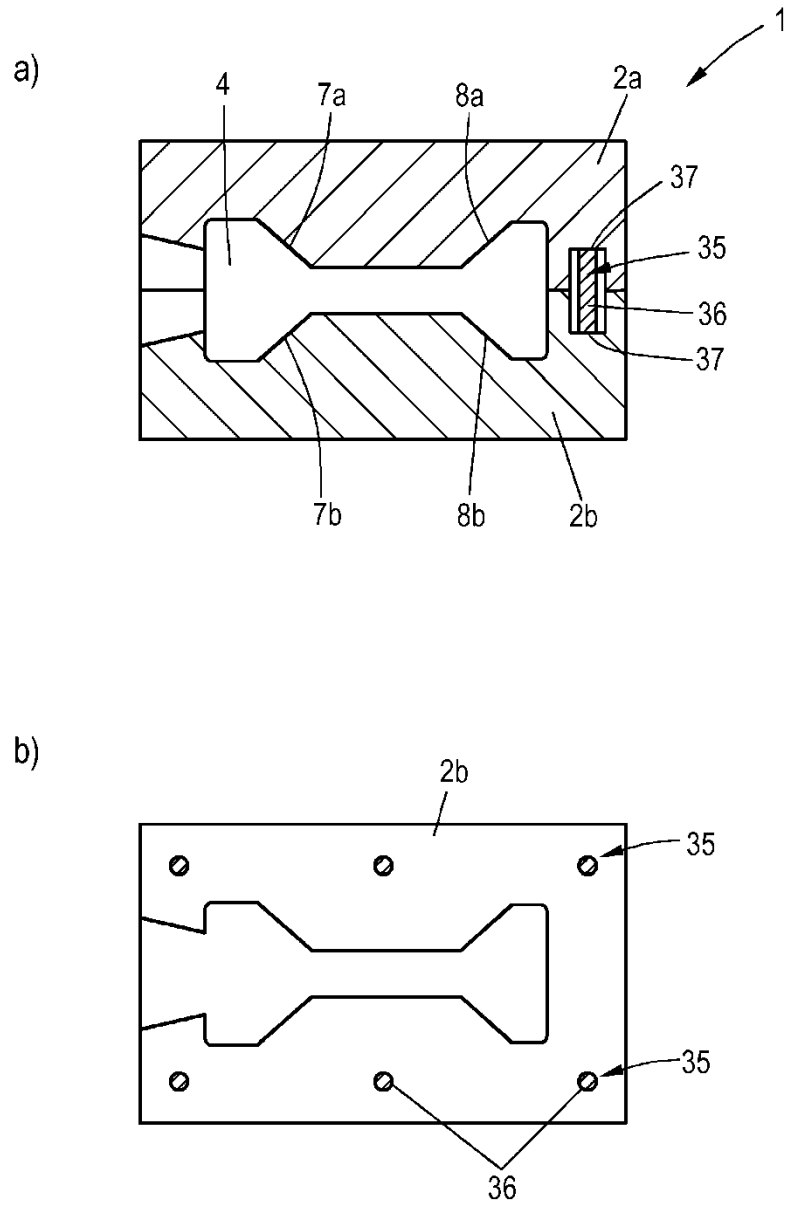


FIG. 15

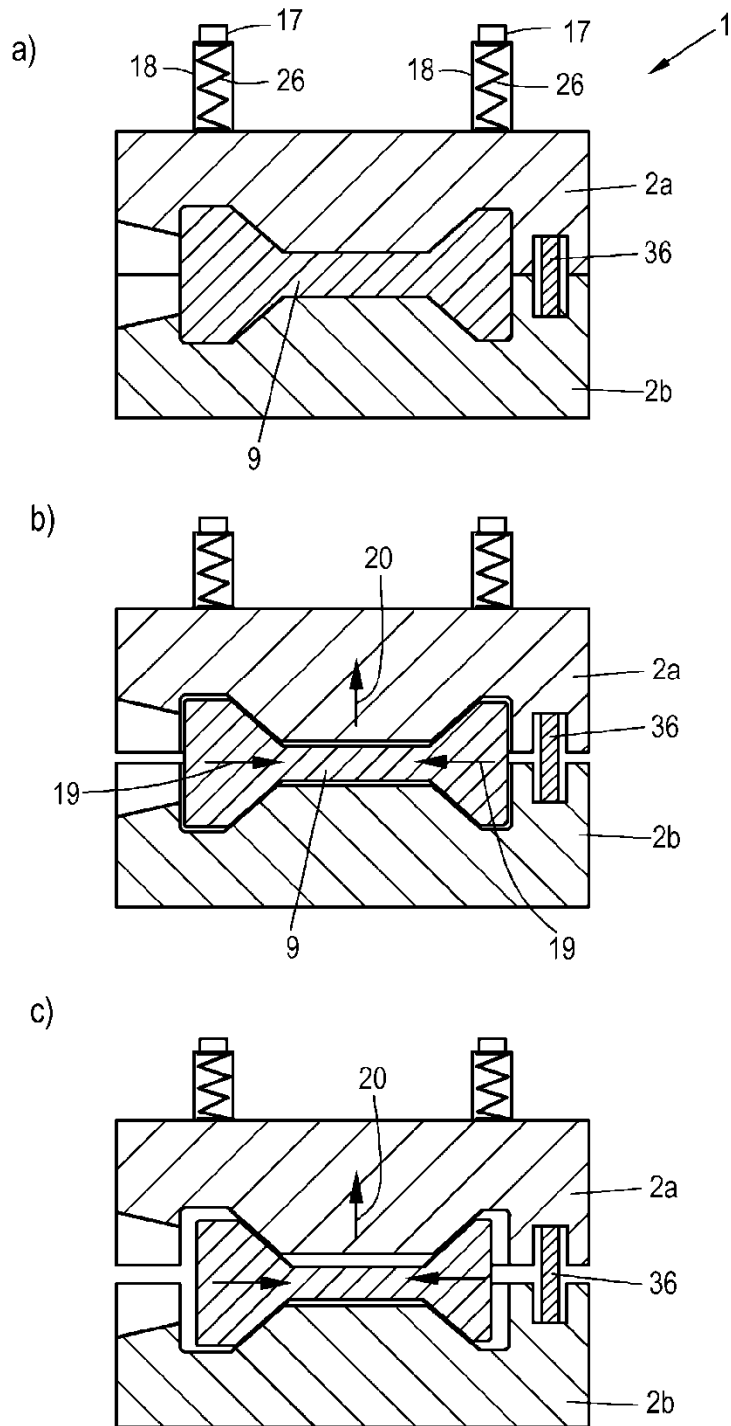


FIG. 16

