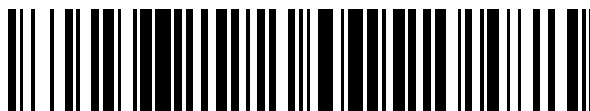


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 800**

51 Int. Cl.:

B23P 15/02 (2006.01)

F01D 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.11.2013 PCT/FR2013/052695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14072661**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2013 E 13803126 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2916993**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de fabricación de álabes de turbinas**

30 Prioridad:

09.11.2012 FR 1260682

15.01.2013 FR 1300071

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

19.11.2019

73 Titular/es:

MECACHROME FRANCE (100.0%)

**Z.I. de la Boitardière, BP 20300, Rue de Saint
Règle
37403 Amboise Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**DE PONNAT, ARNAUD y
MARTIN, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 731 800 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de fabricación de álabes de turbinas.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de álabes de turbinas en aleación metálica.

Encuentra una aplicación particularmente importante, aunque no exclusiva, en el campo de los álabes o palas utilizados en el sector de la aeronáutica o el campo de la energía.

10 Tradicionalmente, los álabes en aeronáutica proceden o bien de una pieza en bruto de fundición o bien de una pieza en bruto de forja, parcial o totalmente remecanizados.

15 Cuando el mecanizado es solo parcial y, en particular, cuando el perfil del álabe está acabado sin remecanización mecánica, es indispensable entonces una operación de enderezado, conformación y/o calibrado para garantizar el dimensionamiento funcional.

20 Para los álabes de turbina de pequeñas dimensiones, en el caso de constitución de prototipos de desarrollo, o para una puesta a punto, o incluso para los álabes de serie en materiales fácilmente mecanizables y poco costosos, se utilizan unas gamas denominadas de tallado en masa.

Este tipo de soluciones adolecen de inconvenientes en el caso en el que se deseara utilizar aluminuro de titanio (gamma TiAl), que presenta una buena resistencia de temperatura, pero una fragilidad importante a temperatura ambiente.

25 Más precisamente, estas soluciones conocidas plantean los siguientes problemas.

30 Cuando se trata del marco de una gama obtenida a partir de una barra en bruto forjada, el forjado debe ser realizado en unas condiciones casi isotérmicas y con unas velocidades de deformación relativamente bajas y a alta temperatura. En este caso, los utillajes son costosos y con una vida útil limitada.

35 Por otra parte, es difícil alcanzar unas cadencias importantes (multiplicación de medios específicos y costosos) y el calibrado debe, además, ser realizado a alta temperatura. A partir de entonces, es difícil realizar un álabe con un perfil acabado en este tipo de material, incluso con una recuperación por mecanización química de un eventual sobreespesor.

40 En conclusión, es posible partir de una pieza en bruto con sobreespesor de forja o extruida y recuperar la totalidad de la superficie en mecanizado mecánico, pero se necesitan unas gamas de mecanizado complejas para poder seguir las deformaciones relacionadas con las relajaciones de tensión, incluso utilizar unas gamas autoadaptativas. Además, utilizar una pieza en bruto de forja obliga a tener como mínimo tres familias de operaciones: elaboración de material, forjado, y mecanizado, con un ciclo de fabricación relativamente largo.

Se conocen unos procedimientos de fabricación de álabes para turbomáquinas (documento EP 1 623 792) realizados por extracción de una preforma en una corona de pared tubular.

45 Los álabes forjados de este modo adolecen de desventajas. Su geometría se ve muy limitada al estar contenida en un segmento tubular. En particular, debido a la curvatura del tubo es necesaria una operación de torsión/curvatura y el procedimiento no permite la obtención de un producto acabado mediante mecanizado. Además, están limitados en su dimensión, en particular en grosor.

50 En el caso de una gama obtenida con una pieza en bruto de fundición, la fundición debe ser realizada al vacío o en atmósfera protectora y con unos procedimientos que permitan alimentar muy rápidamente con metal las secciones relativamente finas (procedimientos de centrifugación, por ejemplo).

55 La obtención de un perfil aceptable sin recuperación por mecanizado mecánico necesita entonces un enderezado, que se asemeja al calibrado anterior en el caso en el que se utilice aluminuro de titanio (gamma TiAl) y todo ello para limitar la tasa de piezas no conformes, con los mismos inconvenientes que los indicados anteriormente.

60 De hecho, es posible partir de una pieza en bruto con sobreespesor de fundición y recuperar totalmente la superficie por mecanizado mecánico, naturalmente, pero incluso en este caso son necesarias unas gamas de mecanizado complejas para poder seguir las deformaciones relacionadas con las relajaciones de tensión, generando dicho procedimiento de cualquier modo una tasa de rechazos importante relacionada con los defectos de fundición que surgen tras el mecanizado.

65 Por ello, a menudo también es necesaria una operación de compresión isostática en caliente, para sellar defectos de fundición y limitar de este modo su presencia en la pieza en bruto.

Utilizar una pieza en bruto de fundición obliga, por último, a tener de tres a cinco familias de operación: elaboración de material, fundición, eventualmente compresión isostática en caliente, eventualmente enderezado, y, por último, mecanizado, y también en este caso con un ciclo de fabricación relativamente largo.

5 Se conocen asimismo unos procedimientos de fabricación de elementos de turbina a partir de una pieza en bruto de fundición y mediante tratamiento térmico y mecanizado (documento EP 2 423 340).

Estos procedimientos añaden además una etapa de tratamiento térmico compleja y costosa. Además, proceden por recorte de tramos rectangulares de materiales yuxtapuestos, lo cual no permite ahorrar material.

10 En el caso de una gama denominada de tallado en masa por mecanizado mecánico, en este caso se trata de partir de una preforma (realizada mediante fundición o extrusión) y transformar esta geometría sencilla en la de la pieza retirando el sobrante de material mediante mecanizado.

15 Teniendo en cuenta la dificultad de mecanizar el gamma TiAl (de nuevo, condiciones de corte bastante bajas, deterioro importante de las herramientas, fragilidad del material a temperatura ambiente...) y el coste importante del material, esta vía también presenta en este caso graves inconvenientes para la realización de álabes en serie.

20 La presente invención pretende paliar estos inconvenientes y proponer un procedimiento y un dispositivo que responda mejor que los conocidos anteriormente a las exigencias de la práctica, en particular limitando la cantidad de material utilizada, y por tanto el material a mecanizar con respecto a la gama denominada de tallado en masa, para evitar operaciones de equilibrado, para reducir los ciclos de fabricación y el coste energético, y todo ello utilizando unos medios industriales estándares.

25 Por equilibrado se entiende la recolocación o la orientación en el espacio de una pieza para medir sus defectos de planicidad y/o deformación con respecto a una referencia de manera que minimice/promedie los defectos geométricos de la pieza.

30 Con la invención va a ser posible concebir unos productos brutos que permitan la exclusión o la minimización de los defectos relacionados con la fundición.

Esto conlleva un menor número de rechazos.

35 Para ello, la invención parte de la idea de elegir unas geometrías simples y/o axisimétricas para una forma de barra sólida inicial, que permiten utilizar la fase de elaboración del material (mezcla de los diferentes elementos para realizar una aleación) para formar dicha barra. Esto permite evitar desde el inicio la operación de fundición cercana a las dimensiones buscadas.

40 Por barra de geometría simple se entiende una barra sólida de sección de generatriz poligonal, circular u ovalada o sustancialmente poligonal, sustancialmente circular o sustancialmente ovalada.

La barra puede, por tanto, presentar por ejemplo una forma paralelepípedica de sección rectangular, cuadrada o trapezoidal.

45 La sección puede ser constante o no en función, por ejemplo, de la forma de las piezas buscadas *in fine*, por ejemplo, con extremos más voluminosos que la parte central.

50 Por barra axisimétrica se entiende una barra sólida alargada alrededor de un eje y que presenta, por ejemplo, una forma geométrica cilíndrica, cónica o truncada.

También en este caso, la sección puede ser constante o variar en función de la posición de la sección sobre el eje.

Ventajosamente, la barra presenta una y/o unas caras planas y/o convexas.

55 Según un modo de realización ventajoso de la invención, la barra presenta unas caras planas o siempre convexas.

Esta misma geometría simple permite limitar la presencia de defectos de material y situarlos en zonas precisas y reproducibles que serán descartadas (eliminadas).

60 La geometría sencilla y/o axisimétrica permite, además, no presentar un nivel de tensión residual demasiado importante ya que el enfriamiento es más homogéneo con respecto a una pieza que presenta zonas macizas y finas.

Por tanto, existe un menor riesgo de rechazos a causa de deformación durante el mecanizado.

65 Con este propósito, la invención propone en particular un procedimiento de fabricación de álabes de turbinas de

aleación metálica que comprende las características de la reivindicación 1.

5 Dicho de otro modo, se realiza la imbricación optimizada de varios álabes, por ejemplo, de gamma TiAl, en una misma preforma (o barra), por lo que es necesario ir en contra de las ideas recibidas favoreciendo las gamas con fundición (perfil acabado o semiacabado).

10 Para ello, era preciso aceptar optimizar la imbricación, lo cual necesita una reflexión previa sobre el posicionamiento de las piezas unas con respecto a las otras, definiendo, además, el número óptimo, al tiempo que se integran las tensiones del o de los procedimientos de recorte a utilizar.

15 En algunos casos, esto provocará una modificación de la concepción de la pieza para optimizar la imbricación, desplazando, por ejemplo, partes de álabe sobre el disco o añadiendo una pieza, lo cual va en contra del pensamiento del experto en la materia.

El recorte imbricado permite hacer varias piezas en la misma barra y, por tanto, limitar la cantidad de material.

También permite recuperar material de buena calidad y en mayor cantidad para reciclarlo. Se observará en este caso que solo se pueden recuperar las mazarotas mediante fundición, descartándose los ataques de colada.

20 La presente invención permite evitar estos inconvenientes.

Con la presente invención es, por tanto, posible partir de una barra de, por ejemplo, 2,3 kg de material, para dos preformas de 0,4 kg tras un corte por chorro de agua, para obtener dos piezas (álabes) de por ejemplo 90 gramos.

25 La tasa de rechazo observada es entonces inferior al 5%, mientras que la tasa de rechazo habitual en serie de la técnica anterior para estas piezas y en una aleación más fácil de trabajar que la de la invención es del orden del 35%.

30 El desglose del coste de la pieza (a igualdad de perímetro de rechazo igual, y de precio de material por kilo, etc....) muestra una ganancia del 10% con respecto a la que se observa habitualmente.

En unos modos de realización ventajosos de la invención, se recurre, además, a una y/u otra de las disposiciones siguientes:

35 - los preformas imbricadas son idénticas, realizadas orientadas una hacia la otra, de manera simétrica de dos en dos, respectivamente con respecto a un punto, una recta o un plano central;

- la aleación de aluminuro de titanio es de gamma TiAl;

40 - se realizan las preformas a partir de una barra cilíndrica;

- se realizan las preformas a partir de una barra que presenta una o varias caras externas que comprenden solamente unas superficies rectas o convexas.

45 La descripción se refiere a los dibujos que la acompañan en los que:

La figura 1 ilustra una vista lateral de una preforma o barra paralelepípedica en la que se realizan tres preformas imbricadas para la producción de álabes de turbina según un primer modo de realización de la invención.

50 La figura 2 muestra en una vista lateral y en una vista transversal otro modo de realización de una barra cilíndrica en la que se realizan dos preformas/álabes imbricadas según la invención.

La figura 3 es una vista en sección transversal de dos preformas de álabe imbricadas según otro modo de realización de la invención.

55 La figura 4 muestra en una vista esquemática un dispositivo de fabricación de un álabe de turbina.

La figura 5 es una vista en perspectiva de un álabe obtenido con el procedimiento según la invención descrito más particularmente en el presente documento.

60 La figura 6 muestra en perspectiva dos preformas imbricadas de palas realizadas según el procedimiento según la invención.

65 La figura 7 ilustra esquemáticamente las etapas de un procedimiento según un modo de realización de la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de una preforma 1 o barra paralelepípedica sólida, en aluminio de titanio, en la que están realizadas tres preformas 2, 3, 4 imbricadas (una en otra) idénticas o sustancialmente idénticas (teniendo en cuenta una optimización de las imbricaciones) para la producción de álabes 5 de turbina según un modo de realización de la invención

5

La preforma 1 es, por ejemplo, de 6 kg para realizar tres preformas de sustancialmente 2 kg, de las que se extraerán tres álabes de 1 kg. Los álabes presentan cada uno un alma 5' y dos extremos 5" y 5''' configurados de forma conocida en sí misma mediante mecanizado.

10

La figura 2 es un modo de realización de otra barra 6 de geometría sencilla, alargada alrededor de un eje, en este caso cilíndrica y apropiada para permitir la fabricación de dos álabes 7 a partir de preformas simétricas 8 con respecto a un punto de simetría 9 que pertenece al plano central 9'.

15

Los preformas 2, 3 o 4 u 8 imbricadas una en la otra se obtienen mediante recorte de la propia barra por chorro de agua tal como se va a describir a continuación.

20

En la figura 3 se muestra una vista en sección transversal de una barra 10 paralelepípedica en la que se recortan mediante la intervención de un cañón de recorte, dos preformas 11 imbricadas idénticas, en este caso de manera simétrica con respecto a un eje 12 obtenido por la intersección de dos planos 13 y 14 de simetría de la barra paralelepípedica 10.

25

La figura 4 muestra más precisamente un modo de realización de un dispositivo 15 que utiliza el procedimiento de recorte de la preforma 10.

30

Este utiliza un cañón de recorte 15' por chorro de agua 16 del tipo conocido en sí mismo.

35

El agua a una presión muy fuerte (por ejemplo, 3800 bares) se introduce en 17 en un tubo de colimación 18, y luego se enfoca por medio de una boquilla 19 en una cámara de mezcla 20 con un abrasivo 21 introducido en 22 en la cámara situada en el cuerpo de la cabeza 23 del cañón 15'.

40

El cañón de enfoque 15' comprende un inyector 24 que ataca en 25 la barra 10 para realizar el recorte 26 según la trayectoria de recorte buscada por el diseñador de los álabes y que se ha optimizado en particular a nivel del consumo de material.

45

Una tuerca de fijación 27 permite la fijación del inyector del cañón de enfoque sobre el cuerpo de cabeza 23.

50

A partir de las dos preformas 11 obtenidas en la barra 10, y según el modo de realización del procedimiento descrito más particularmente en el presente documento, se mecaniza después por separado cada una de dichas preformas 11 obtenidas de este modo para hacer tope contra los álabes 28 tal como se representa en la figura 5.

55

Un procedimiento de recorte de este tipo no se ha utilizado en la técnica anterior ya que el experto en la materia no contemplaba el interés de una imbricación de preformas unas con otras, sino que buscaba más bien de inmediato, teniendo en cuenta la complejidad de las piezas que iban a obtenerse, fabricar éstas una por una a partir de una misma barra de forma más compleja.

60

La inteligencia residía, por lo tanto, en la concepción del molde de fundición.

65

El dispositivo 15 comprende, por otro lado, un autómatas 30 de control del cañón 15', que comprende un ordenador 31, programado para realizar simultáneamente las dos preformas 11 imbricadas una en la otra de forma conocida en sí misma. Una vez obtenidas de este modo las preformas 11, están previstos unos medios de mecanizado 32 mediante extracción de virutas u otros medios conocidos como el mecanizado electroquímico, que comprende, por ejemplo, unos centros de fresado de cuatro ejes, unas máquinas de mecanizado electroquímico PECM (iniciales en inglés de Precisión ElectroChemical Machining), unos centros de rectificación, etc., con el fin de obtener los álabes 28 tal como se han descrito anteriormente.

70

En la figura 6, se ha representado otro modo de realización de álabes 33 idénticos obtenidos en una barra paralelepípedica 34 a trazos mixtos en la figura, recortados según la curva 35 para la obtención de la preforma y programada en consecuencia.

75

Ahora se describirá un modo de realización de la fabricación de un álabe con referencia a la figura 7.

80

Tras haber elegido una barra sólida, el procedimiento comprende una primera etapa E1 en la que los parámetros geométricos de la barra se introducen en el ordenador 31.

85

El ordenador 31 crea un modelo de barra en base a esta información.

En una segunda etapa E2, se introducen unos parámetros de geometría de álabes en el ordenador 31 que también crea unos modelos de álabes para una utilización determinada, por ejemplo, para un álabe colocado en la vena de circulación de un flujo de aire de turbomáquina en unas condiciones aerodinámicas determinadas.

5 El ordenador 31 que comprende unos medios de cálculo programados compara los modelos de barra y de álabes para determinar su disposición óptima, es decir, la más económica en cuanto a material al tiempo que respeta las limitaciones físicas.

10 Por ejemplo, se forma un modelo mediante una lista de cuadrupletes. Cada uno de los tres primeros elementos representa una de las tres coordenadas de un espacio cartesiano, el último corresponde a la pertenencia o no a la pieza/barra modelizada.

El programa comprende un algoritmo A1 que:

- 15 - determina un punto de referencia en el espacio,
- posiciona el modelo de la barra en este punto de referencia,
20 - posiciona algunos puntos (por ejemplo, tres) del modelo de álabe determinado y,
- determina si, en función de los puntos del modelo de álabe posicionados en dicho punto de referencia, el conjunto del modelo está contenido o no en la barra y si algún punto se superpone con otro álabe colocado anteriormente. Esta etapa se realiza, por ejemplo, por comparación cuadruplete por cuadruplete de cada modelo.
25 * si se comparan un álabe y la barra y existe por lo menos un cuadruplete del álabe que no tiene igual en el modelo de la barra (caso 1), entonces por lo menos un punto del álabe está fuera de la barra,
* si se comparan dos álabes y existe por lo menos un cuadruplete de cada modelo que es igual entre ellos (caso 2), entonces por lo menos un punto de cada álabe se interpenetra.
30 - se reitera la etapa anterior mientras se presente el caso 1 o 2.

35 Si el algoritmo no encuentra solución de combinación de los álabes en una barra, entonces el procedimiento vuelve mediante C1 a una etapa anterior E1 (o a otro modo de realización E2).

40 Este bucle permite asegurar una optimización de la imbricación que no sea una simple yuxtaposición y, por tanto, que permita ahorros de material y en algunos casos pone de manifiesto la utilidad de una reestructuración técnica de los álabes.

El ordenador 31 puede comprender unos medios de visualización (no representados) que permiten la visualización de los diferentes álabes en una misma barra y su posible sustitución por un operario 31.

45 También pueden intervenir otros parámetros en el algoritmo para optimizar la colocación de los álabes, tales como, por ejemplo, las características del chorro de agua de recorte (amplitud, profundidad, etc.), y de datos relacionados con la calidad del material en un punto considerado.

50 Por último, en una tercera etapa E3, el ordenador determina el perfil de recorte, por ejemplo, una curva media entre los modelos de álabes en la barra, y dirige el chorro de agua, en consecuencia, para el recorte.

55 Como es evidente y como resulta, de hecho, de lo expuesto anteriormente, la invención no está limitada a los modos de realización descritos más particularmente, sino que, abarca por el contrario todas sus variantes en el marco de las reivindicaciones y, en particular, aquellas en las que se obtienen más de tres preformas mediante recortes simultáneos, donde el perfil de una barra no es recto sino curvo o aquellas en las que los perímetros de las secciones generatrices comprenden un número pequeño y limitado de puntos (inferior a 25) unidos entre sí mediante unas rectas o curvas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de fabricación de álabes (5; 7; 28; 33) de turbinas en aleación metálica a partir de una barra maciza, caracterizado por que dicha barra maciza es una barra (10, 34) realizada en fundición o extruida, en aluminuro de titanio, y por que se realizan simultáneamente por lo menos dos preformas de álabe (2; 3; 4; 8; 11) imbricadas una en la otra, en dicha barra maciza (10; 34) mediante recorte por chorro de agua (16), y después se mecanizan por separado cada una de dichas preformas (2; 3; 4; 8; 11) así obtenidas para obtener dichos álabes (5; 7; 28; 33) con un perfil definitivo.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que las preformas (2; 3; 4; 8; 11) imbricadas son idénticas, realizadas enfrentadas, de manera simétrica de dos en dos, respectivamente con respecto a un punto (9), una recta o un plano central (9').
- 15 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la aleación de aluminuro de titanio es gamma TiAl.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se realizan las preformas (2; 3; 4; 8; 11) a partir de una barra (10; 34) cilíndrica y/o que presenta una o unas caras externas que comprenden solamente unas superficies rectas o convexas.

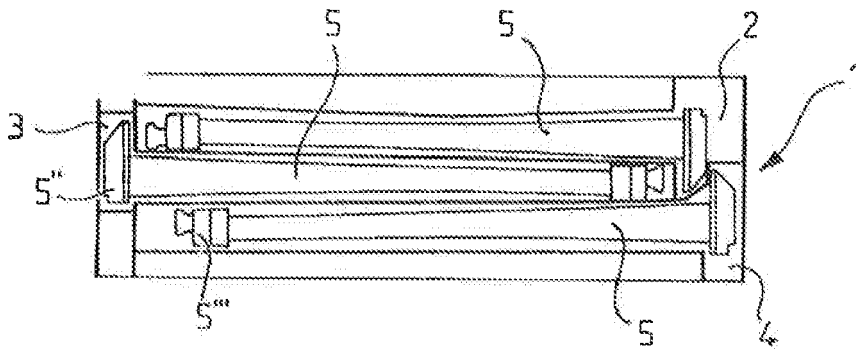


FIG. 1

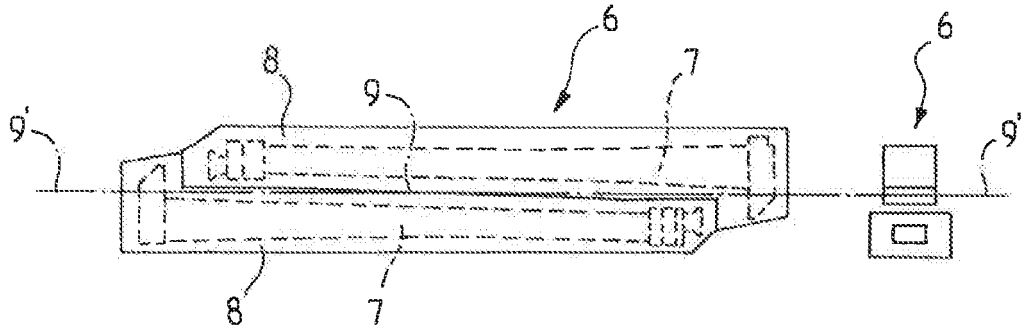


FIG. 2

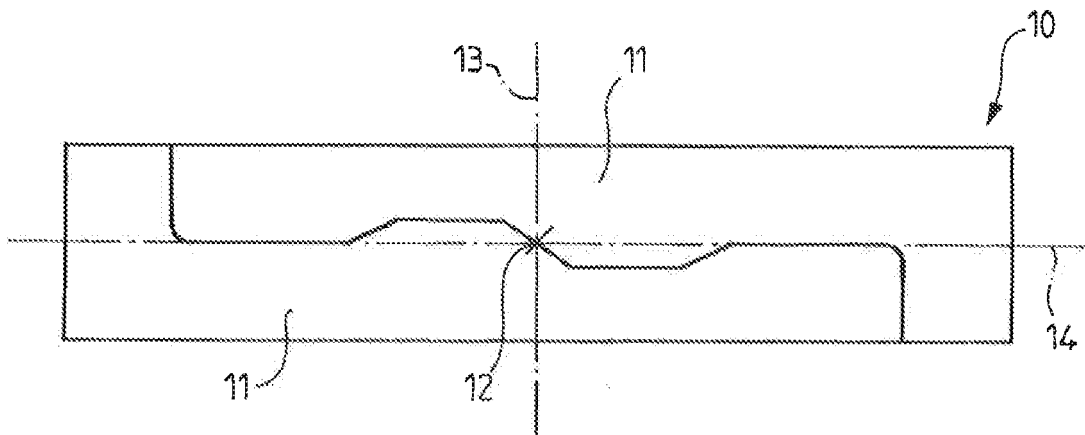


FIG. 3

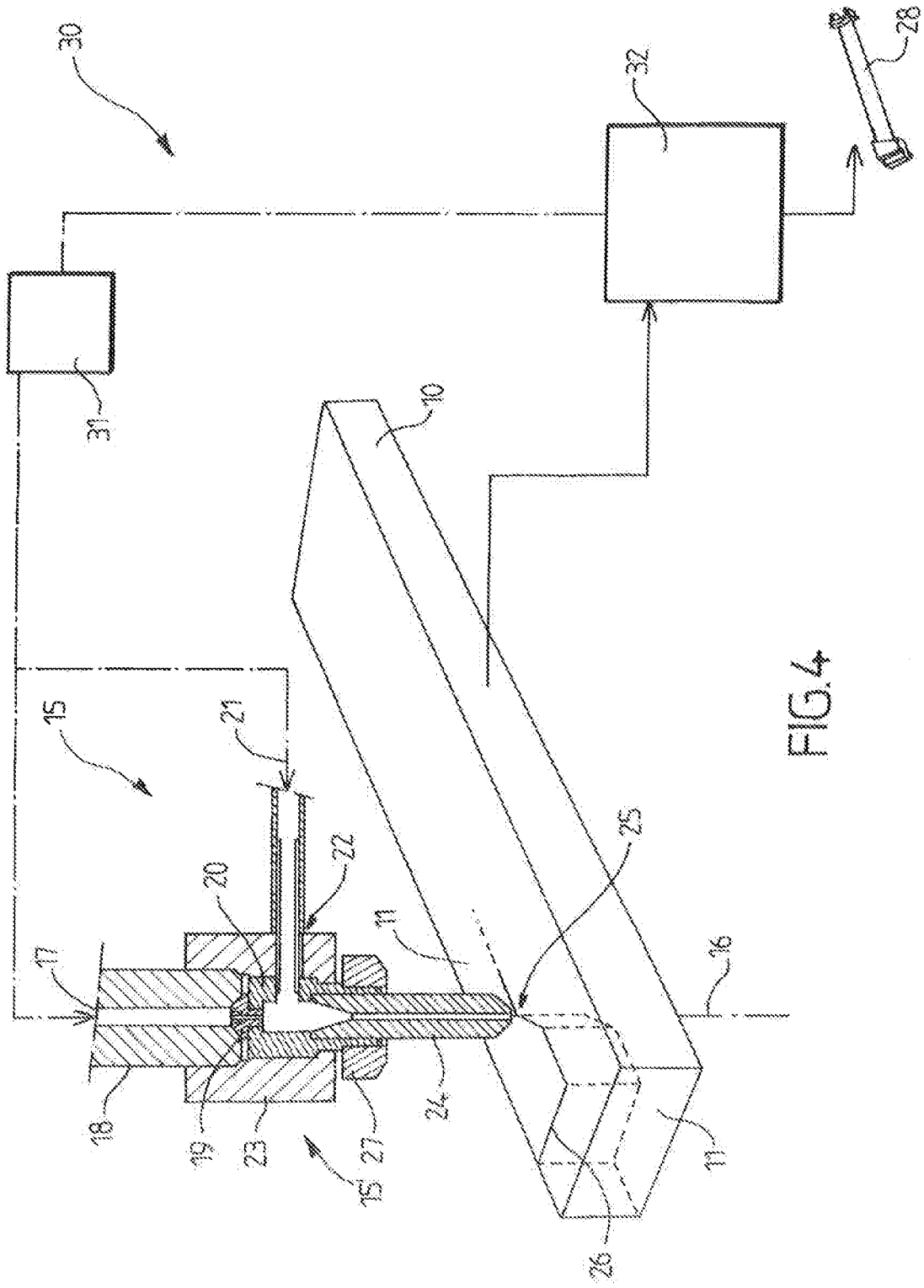
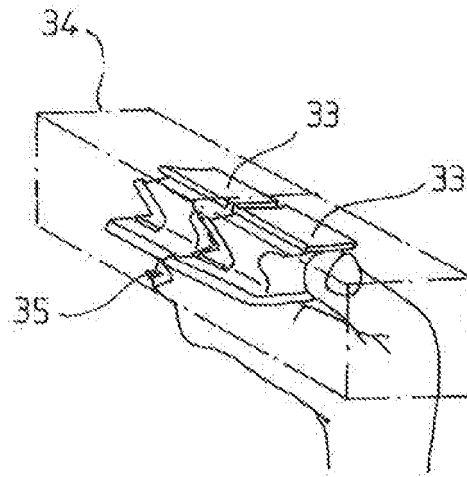
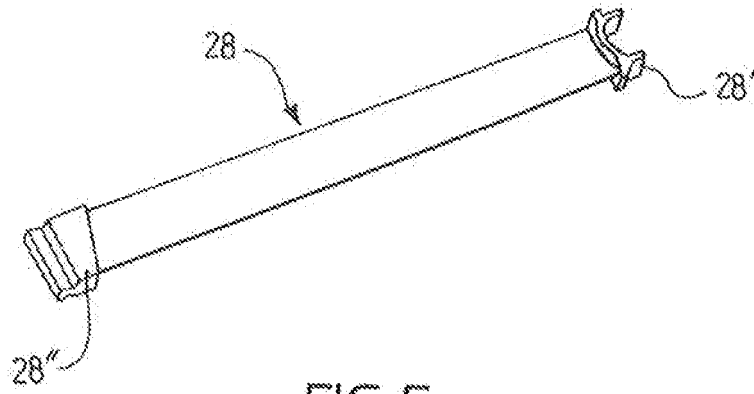


FIG. 4



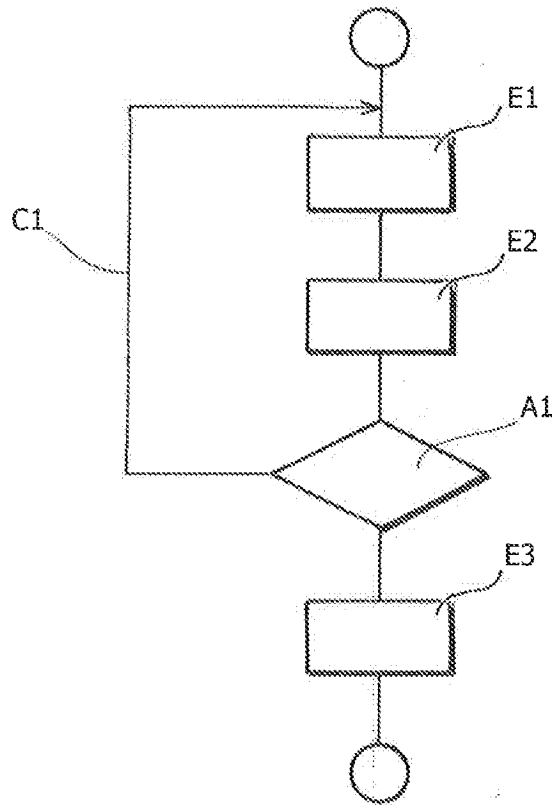


FIG. 7