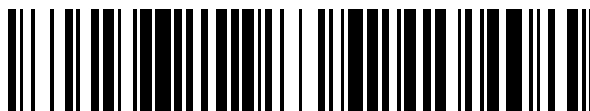


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 733**

51 Int. Cl.:

**C21D 7/06** (2006.01)

**B24C 1/10** (2006.01)

**F01D 5/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07024980 .0**

96 Fecha de presentación: **15.12.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1930450**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2008**

54 Título: **COMPONENTE CON TENSIÓN RESIDUAL DE COMPRESIÓN.**

30 Prioridad:  
**15.01.2004 EP 04000775**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**05.12.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**05.12.2011**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
WITTELSBACHERPLATZ 2  
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:  
**David, Walter**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 369 733 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**

Componente con tensión residual de compresión

La invención se refiere a un componente con tensiones residuales de compresión de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

5 En componentes altamente solicitados mecánicamente, se introducen con frecuencia tensiones residuales de compresión, para que los componentes puedan soportar tensiones elevadas. Esto se realiza, en parte, en las patas de paletas de turbinas (turbinas de vapor, turbinas de gas) que están conformadas de manera similar a un abeto.

10 Las tensiones residuales de compresión se pueden introducir a través de laminación. El chorreado de bolas por compresión representa otra posibilidad para la generación de tensiones residuales de compresión. El documento US-PS 5.911.780 muestra un método de este tipo para la generación de tensiones residuales de compresión.

El documento US-PS 5.492.447 publica un procedimiento para la generación de tensiones residuales de compresión en componentes de rotor por medio de un láser.

Un procedimiento similar se publica en el documento EP 731 184 B1.

15 El documento WO 01/15866 A1 muestra un procedimiento para el tratamiento de superficies de un componente, en el que al menos un parámetro de chorro es adaptado, en un procedimiento de radiación abrasiva, a la línea del contorno del componente.

El documento DE 197 42 137 A1 muestra un dispositivo de laminación para la generación de tensiones residuales de compresión.

20 El documento US 4.428.213 publica un componente, en el que una primera zona y a continuación todo el componte son chorreados con bolas con una intensidad más reducida.

Los documentos EP 0 230 165 A1 y EP 1 125 695 A2 publican un robot, que lleva una herramienta frente a un componente a mecanizar.

25 El documento US 4.937.421 publica un método de radiación por láser y un dispositivo correspondiente, en el que el rayo láser de un láser es dividido en dos rayos para generar una superficie de radiación mayor sobre el componente a mecanizar, para que se consiga un tiempo de mecanización más rápido. Estos dos rayos láser son guiados en común y presentan los mismos parámetros en lo que se refiere al ángulo de incidencia y la intensidad y se guían en común en un soporte de fijación.

30 Los componentes de acuerdo con el estado de la técnica no muestran una resistencia suficiente para estados de funcionamiento extraordinarios para cumplir los requerimientos deseados en las tensiones funcionales localmente diferentes.

Por lo tanto, el cometido de la invención es solucionar este problema.

El cometido se soluciona por medio de un componente según la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes se indican otras medidas ventajosas. Las medidas indicadas en las reivindicaciones dependientes se pueden combinar entre sí de manera ventajosa. En este caso:

35 Las figuras 1 y 2 muestran un componente, que presenta una superficie curvada.

La figura 3 muestra una disposición esquemática de un dispositivo, con el que se puede realizar el procedimiento de acuerdo con la invención.

Las figuras 4, 18 y 19 muestran el desarrollo lateral (esquemático) de las tensiones residuales de compresión.

Las figuras 5 a 13, 20 y 21 muestran diferentes etapas del procedimiento de acuerdo con la invención.

40 La figura 15 muestra una pala de turbina

La figura 14 muestra una curva de la tensión de compresión registradas sobre la profundidad de un componente.

La figura 16 muestra una turbina de gas.

La figura 17 muestra una turbina de vapor.

El componente

45 La figura 1 muestra un componente con una superficie 5. El componente 1 puede ser un componente de una turbina

de vapor (figura17) o de una turbina de gas, como por ejemplo una turbina de avión o una turbina para la generación de corriente 100 (figura 16). Tales componentes son, por ejemplo, palas de turbinas 120, 130, 342, 354, un revestimiento de cámara de combustión u otras partes de una carcasa.

5 La superficie 5 del componente 1, 120, 130, 342, 354 se compone, por ejemplo, de varias, aquí de dos zonas superficiales 4, 6. La zona superficial 6 (por ejemplo, la zona de la hoja de la pala 40, figura 15) está realizada, por ejemplo, lisa o sólo ligeramente curvada, en cambio la zona de la superficie 4 está curvada varias veces. En la superficie 5 y en sus zonas superficiales 4 y/o 6 están presentes distintas tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  y diferentes de cero. El componente 1, 120, 130, 342, 354 presenta una zona 7 curvada cóncava de la zona superficial 4, que está expuesta, por ejemplo, durante el empleo del componente 1, 120, 130, 342, 354 a tensiones mecánicas más elevadas que otra zona 10 curvada convexa de la zona superficial 4.

La zona superficial 4 del componente 1, 120, 130, 342, 354 presenta zonas (cumbre montañosa 12) curvadas, al menos parcialmente, cóncavas 7 (un valle 11) y convexas 10, de manera que existe un máximo local 10' y un mínimo local 7'. Una zona 10, 12 curvada convexa se conecta, por ejemplo, en la zona 7, 11 curvada cóncava.

15 En la zona 7, 11 curvada cóncava se aplica, por ejemplo, una tensión mecánica exterior más elevada que en la zona 10, 12 curvada convexa, cuando el componente 1, 120, 130, 342, 354 está incorporado.

En la zona superficial 4 se pueden introducir tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  a través de procedimientos de tratamiento de la superficie. Esto se realiza por medio de generadores de presión 25 adecuados (figura 3), por ejemplo por medio de laminación, chorreado con bolas o rayos láser.

20 La figura 2 muestra a modo de ejemplo como componente 1 incorporado una zona parcial de una pala de turbina 13 (figura 15), a saber, una pala de pala 43 (figura 15) en una zona de fijación 16 (figura 15) con su estructura similar a un abeto o del tipo de cola de milano como zona superficial 4 curvada varias veces. La pata de la pala 43 está dispuesta en un disco 22 configurado de forma correspondiente y es retenida allí. El disco 22 está dispuesto de nuevo sobre un árbol 103 de una turbina de gas 100 (figura 16) o turbina de vapor (figura 17). En particular, en la zona 7, 11 curvada cóncava se producen tensiones mecánicas altas. Por lo tanto, existe la necesidad de influir localmente en estas zonas sobre el componente 1, de tal manera que se puedan soportar tensiones de tracción elevadas, compensando parcialmente las tensiones de tracción locales. No obstante, esto debe controlarse y debe realizarse en función de la geometría de manera selectiva con tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  localmente diferentes. La pala de la turbina 13 puede estar fijada también en el árbol 103.

30 La figura 3 muestra de forma esquemática cómo se desplazan un generador de presión 25 y el componente 1, 120, 130, 342, 354 uno frente al otro. De acuerdo con la invención, se generan tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en el componente 1, 120, 130, 342, 354 partiendo desde la zona superficial 4 hasta el interior de la profundidad del componente 1, 120, 130, 342, 354. Esto se puede realizar en particular a través de laminación, radiación con láser o chorreado con bolas. Por ejemplo, el procedimiento se explica en detalle con la ayuda del chorreado con bolas. El modo de proceder básico, la selección de los parámetros se puede transferir de manera similar a la radiación láser, al laminado o a otros procedimientos para la generación de tensiones residuales de compresión. (Un impulso mecánico de las bolas corresponde a una densidad de potencia e un láser o a una presión de apriete de un tren de laminación).

40 Una tobera de chorro de bolas 25 como generador de presión chorrea medios de chorreo 28 (bolas) con una cierta velocidad, que forman un chorro de partículas 29, en particular un chorro de bolas 29. Las bolas 28, en particular bolas de acero, inciden sobre la zona superficial 4 del componente 1 y generan a través de su impulso mecánico una presión de chorreado sobre la zona superficial 4, de manera que se generan allí tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ . La tobera de chorro de bolas 25 se puede controlar a través de rayos láser 34 de un láser 31, de manera que es guiada exactamente en la zona previamente definida también a lo largo de contornos curvados. En particular, se puede adaptar la distancia, el ángulo de incidencia  $\alpha$ , es decir, el ángulo de la tobera de chorro de bolas 25 con respecto a la superficie en la zona superficial 4, 6. El ángulo de incidencia  $\alpha$  es, por ejemplo, inferior a 90° y está en particular entre 80° y 85°.

De la misma manera, la presión de chorreado del chorro de bolas 29 se puede ajustar en la tobera de chorro de bolas 25. Otros parámetros son el tamaño del medio de chorreado 28, el material del medio de chorreado 28 o la forma del orificio de las toberas (láser: forma del rayo; laminación: forma de la herramienta).

50 El componente 1 está, por ejemplo, empotrado fijamente, de manera que, por ejemplo, en una primera etapa del procedimiento, el láser 31 explora de forma controlada por CNC con rayos láser 34 la zona superficial 4 del componente. En este caso, o bien se monta el componente 1 sobre la máquina de control numérico CNC y se desplaza frente al láser 21 o a la inversa. A través del desplazamiento de la zona superficial 4 del componente 1 se detecta la geometría exacta del componente 1. A través de la previsión de zonas determinadas (por ejemplo, las zonas 7 curvadas cóncavas) se establecen zonas, que son tratadas con la tobera de chorro de bolas 25. De la misma manera, después de la detección de la zona superficial 4 se puede realizar, por ejemplo, de forma automática un cálculo, que establece qué zonas están expuestas a cargas mecánicas especialmente altas y entonces se puede establecer de manera correspondiente la dilatación y la altura de las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ , que

deben generarse por medio de chorreado con bolas 29. A través de la altura de las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ , que debe generarse, se establecen también los parámetros de la tobera de chorro con bolas 25 con relación a las zonas 7, 10 cóncavas o convexas a irradiar. Por lo tanto, en este caso se trata de un método, en el que la zona superficial 4 es tratada en un proceso localmente de manera selectiva con diferentes parámetros, de manera que después de la realización del procedimiento existen sobre toda la superficie tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  predefinidos localmente, pero diferentes.

Toda la zona superficial 4, sobre la que están presentes tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ , corresponde por ejemplo a la superficie de una pata de pala 43 similar a un abeto de las palas de turbina 13, 120, 130, 342, 354. Localmente diferente significa en este caso que se generan zonas, que presentan tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  altas y más bajas y diferentes de cero después de la realización del procedimiento.

De esta manera, especialmente en las zonas 7, 11 curvadas cóncavas se generan tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  altas, en cambio en las restantes zona 10, 12 curvadas convexas se generan tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas. En particular, no se deja ninguna superficie curvada 7, 10 sin tratar, de manera que al menos una zona 10 curvada convexa y una zona 7 curvada cóncava presentan tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en toda su zona superficial. El control del chorro de bolas 29 se realiza a través del láser 31 y, por ejemplo, a través de una máquina de control numérico CNC, que mueve el chorro de bolas 29 frente al componente 1, para hacer chorrear diferentes zonas 7, 10.

La figura 4 a) muestra una distribución ejemplar de las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en un plano x-y. En la zona 7, 11 curvada cóncava, que presenta tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más elevadas, existe un máximo 70 en la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  dentro del plano x-y. La zona 10, 12 curvada convexa presenta una meseta 74 de tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas. No obstante, el máximo 70 y todos los valores de la zona 7, 11 son más altos que el valor de la meseta 74. Por lo tanto, tensiones residuales de compresión localmente diferentes significa que las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en la zona 7, 11 curvada cóncava son más altas que en la meseta 74 en la zona 10, 12 curvada conexas con las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas.

La figura 4b) muestra otra distribución ejemplar de las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en un plano x-y. En la zona 7, 11 curvada cóncava, que presenta las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más altas, está presente un máximo 70 en la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  dentro del plano x-y. La zona 10, 12 curvada convexa presenta un máximo 73 de tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas. No obstante, el máximo 70 es más alto que el máximo 73. Por lo tanto, tensiones residuales de compresión localmente diferentes significa que el máximo 70 en la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  es más alto que el máximo 73 en la zona 10, 12 curvada convexa con las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas. En concreto, la zona 7, 11 curvada cóncava, como se muestra también en la figura 4b), presenta, por zonas, tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas que la zona 10, 12 curvada convexa, en particular en la zona de transición entre la zona 7, 10 curvada cóncava, pero esto significa que una comparación puntual de tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  no se puede utilizar para definir las zonas con tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más altas y las zonas con tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas, sino que en la base está la altura de los máximos 70, 73. La figura 18 muestra un componente 1 de acuerdo con la invención.

La zona 7 curvada cóncava presenta un mínimo 7', que presenta un radio de curvatura R determinado. El radio de curvatura R se determina en el punto del mínimo 7' de manera conocida. Una anchura 81 de la zona 7, 11 curvada cóncava, en la que están presentes las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más altas, tiene al menos de 3 a 5 veces el radio de curvatura R y está dispuesta especialmente en el centro alrededor del mínimo 7'. En la zona 7, 11 curvada cóncava con la anchura 81 se conecta en la dirección del eje longitudinal 37 al menos una zona 10, 12 curvada conexas con las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas.

La altura de las tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en la zona 7 curvada cóncava se puede correlacionar también con un límite de estiramiento  $R_p$  del material del componente 1, 120, 130, 342, 354.

Por ejemplo, se puede utilizar el límite de estiramiento  $R_p$  0,2, siendo, por ejemplo, la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  al menos 30 %, en particular al menos 50 % del límite de estiramiento  $R_p$  0,2.

El componente 1 o bien la pata de pala 43 de la pala de turbina 13, 120, 130, 243, 354 se extiende en una dirección 17, por ejemplo, desde un extremo 91 hasta el otro extremo 94 (figura 19) perpendicularmente al eje longitudinal 37. La zona 7, 11 curvada cóncava es una superficie curvada con la anchura 3 a 5 por R (=81), alrededor de una línea 85, que conecta los mínimos 7' en dirección 17 entre sí. En dirección 17 se extiende la zona 7, 11 curvada cóncava sobre la anchura del componente 1, 120, 130, es decir, desde el extremo 91 hasta el extremo 94. La anchura 81 es la longitud del desarrollo curvado del contorno alrededor del mínimo 7'.

#### Procedimiento

Si se utiliza una única tobera de chorro de bolas 25, entonces se pueden generar en primer lugar sólo tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  altas y luego tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  bajas o a la inversa.

La figura 5 muestra una zona parcial de la superficie 5 de un componente 1, 13, 120, 130, 342, 354.

En una primera etapa del procedimiento se realiza un chorreado con bolas de una zona 46 curvada cóncava con alta presión del chorro. En otra etapa del procedimiento se tratan otras zonas 49 adyacentes, en las que se realiza un chorreado con bolas con presión del chorro más reducida (figura 6).

- 5 El procedimiento se puede aplicar en componentes 1, 120, 130, 342, 354 fabricados nuevos así como en componentes 1, 120, 130, 342, 354 mecanizados de nuevo.

La mecanización de nuevo significa que los componentes 1 son liberados, después de su empleo, dado el caso, de capas o son investigados para la detección de grietas, que son reparadas en caso necesario. Entonces se generan de nuevo tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ .

- 10 La figura 7 muestra un dispositivo, con el que se puede realizar el procedimiento.

En este dispositivo se utiliza solamente una tobera de chorro de bolas 25.

- 15 En una primera etapa, en la zona 46 (zona curvada cóncava) se aplica una presión de chorreado alta. A través del movimiento (ver flecha) de la tobera de chorro de bolas 25 o del componente 1, por ejemplo a través de la variación del ángulo de incidencia, se desvía entonces un chorro de bolas 29 sobre las zonas 49 (zona curvada cóncava), en las que deben generarse presiones de chorreado más bajas. Esto se puede conseguir porque las bolas 28, que han sido utilizadas en la zona 46, experimentan velocidades más reducidas y, por lo tanto, impulsos mecánicos más reducidos o porque la tobera de chorro con bolas 25 chorrea bolas 28 de diámetro 58 más pequeño en las zonas 49.

- 20 Cuando las bolas 28 presentan un diámetro pequeño, entonces se pueden generar presiones de chorreado diferentes, por ejemplo, porque los materiales de las bolas tienen una dureza diferente. Así, por ejemplo, para material duro se puede utilizar material cerámico y como material blando se puede utilizar material metálico.

Las bolas grandes 55 generan, a la misma velocidad, frente a las bolas 58 más pequeñas, una presión de chorreado mayor.

- 25 De la misma manera es posible utilizar bolas cerámicas pequeñas y bolas metálicas grandes. Son concebibles otras posibilidades de combinación de diferentes materiales, diámetros y forma de las bolas, por ejemplo para conseguir un efecto abrasivo o una reducción de la rugosidad o bien alisamiento.

Cuando se utilizan varias toberas de chorro de bolas 25, 25', 25'', 25''', 25''''', entonces éstas se pueden accionar

- a) individualmente o por parejas de forma sucesiva en el tiempo o  
b) al mismo tiempo

- 30 Cuando las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25'', 25''', 25'''' son accionadas al mismo tiempo, entonces las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25'', 25''', 25'''' pueden estar localmente a la misma altura (figura 9) o desplazadas unas con respecto a las otras, es decir, que una o varias toberas de chorro de bolas están adelantadas y la otra o las otras están retrasadas (figuras 10 y 11).

- 35 La figura 8 muestra un dispositivo 2 con el que se puede realizar el procedimiento. En este dispositivo 2, se utilizan, por ejemplo varias, al menos dos, aquí tres toberas de chorro de bolas 25, 25', 25''.

Así, por ejemplo, en primer lugar se utiliza la tobera de chorro de bolas 25, para impulsar la zona 46 (zona curvada cóncava) con alta presión de chorreado.

En una segunda etapa se utilizan solamente las otras toberas de chorro de bolas 25', 25'', para impulsar las zonas 49 (zona curvada cóncava) con presiones de chorreado más reducidas (por ejemplo, para el alisado).

- 40 De la misma manera, las tres toberas de chorro de bolas 25, 25', 25'', mostradas a modo de ejemplo en la figura 8, pueden ser accionadas al mismo tiempo (para la generación de tensión residual de compresión y alisamiento).

En este caso, una o dos toberas de chorro de bolas 25', 25'', que generan, por ejemplo, presiones de chorreado más reducidas, chorrean (figuras 10 y 11) de la misma manera en el interior de la zona 46 (es decir, que chorrean una zona 52, figura 6).

- 45 En este caso, una tobera de chorreado de bolas 25 genera una presión de chorreado alta y chorrea la zona 46 curvada cóncava y la segunda u otra tobera de chorro de bolas 25', 25'' genera una presión de chorreado más reducida que la tobera de chorro de bolas 25 y chorrean al menos la zona 49 curvada convexa.

- 50 De la misma manera, la tobera de chorro de bolas 25 puede presentar bolas 28 de diámetro 58 más pequeño, para generar altas intensidades y altas tensiones residuales de compresión, y las toberas de chorreado de bolas 25', 25'' chorrean con bolas 28 de diámetro 55 mayor, que generan en las zonas 49 intensidades reducidas y tensiones residuales de compresión más reducidas y al mismo tiempo en el interior de la zona 46, para alisarla (figura 20). La

selección de los parámetros se puede adaptar a los requerimientos respectivos de altura de las tensiones residuales de compresión y de alisamiento.

De la misma manera, una única tobera de chorro de bolas 25 puede presentar bolas de diferente diámetro 55, 58 y chorrean una zona determinada, aquí las zonas 46, 49 al mismo tiempo (figura 21).

- 5 Independientemente de si las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25" son accionadas al mismo tiempo o de forma sucesiva en el tiempo, se pueden ajustar diferentes parámetros para cada tobera de chorro de bolas 25, 25', 25".

10 Como parámetros para la tobera de chorro de bolas 25, 25', 25" se pueden seleccionar la presión de chorreado, el tamaño del medio de chorreado 28, el material del medio de chorreado 28 o el ángulo de incidencia  $\alpha$ . En particular, la tobera de chorro de bolas 25 y las toberas de chorro de bolas 25', 25" presentan diferentes parámetros, en particular diferentes presiones de chorreado.

Las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25" pueden estar dispuestas adyacentes, es decir, como se indica en la figura 9, a una altura o se pueden disponer unas detrás de las otras (figuras 10, y 11).

15 Los diferentes parámetros para las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25" son predeterminados y las zonas 36, 49 son recorridas, por ejemplo, en una etapa de trabajo. Esto aparece, por ejemplo, de tal manera que las toberas de chorros de toberas 25, 25', 25" tienen, por ejemplo, una posición fija y el componente 1 está montado sobre una base móvil (máquina de control numérico CNC) y se mueve debajo de las toberas de chorros de bolas 25, 25', 25". El componente 1 se puede mover también en vaivén, de manera que las zonas 46, 49 son chorreadas varias veces. A través de este modo de proceder, las zonas 7, 10, en las que deben generarse diferentes tensiones residuales de compresión, no son impulsadas de forma sucesiva con chorros de bolas. Esto conduce a una ventaja de tiempo considerable. La zona sobre la superficie 5 del componente 1, que es chorreada por una tobera de chorro de bolas 25, 25', 26", puede ser redonda u ovalada, estando las zonas individuales adyacentes entre sí.

La figura 9 muestra una vista en alzado sobre las zonas 46 y 49 y la disposición utilizada a modo de ejemplo de las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25". Las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25" están dispuestas aquí a la misma altura.

- 25 Las toberas de chorro de bolas 25, 25', 25" son desplazadas en una dirección de desplazamiento 26 sobre las zonas 46 y 49. Esto se puede realizar en una etapa de trabajo, en la que todas las tres toberas 25, 25', 25" son accionadas al mismo tiempo, de manera que se genera para la zona 46 una tensión residual de compresión  $\sigma_E$  más elevada a través de la tobera de chorro de bolas 25 y tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas en las zonas 49 adyacentes.

- 30 La tobera de chorro de bolas 25 y las toberas de chorro de bolas 25' y 25" se pueden accionar también, vistas en el tiempo, de forma sucesiva. De esta manera, en una primera etapa del procedimiento solamente se acciona la tobera entonces en la zona 46 tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  altas. En una segunda y otras etapas del procedimiento no se acciona ya la tobera de chorro de bolas 25, sino las toberas de chorro de bolas 25' y 25", que generan en las zonas 49 adyacentes a la zona 46 tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más bajas. Las toberas 35 25', 25", pueden estar desplazadas frente a la tobera (figura 11). En este caso, las toberas de chorro de bolas están montadas en común, por ejemplo, sobre un soporte y son desplazadas en común, aunque las toberas 25, 25', 25" no están en funcionamiento en común, es decir, no chorrean bolas.

La figura 10 muestra otra posibilidad para generar tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  en las zonas 46 y 49.

- 40 Los orificios de las toberas de chorro de bolas 25' y 25" están configurados aquí, por ejemplo, de forma alargada y dan como resultado una superficie de incidencia alargada sobre el componente 1, 120, 130, 342, 354 y cubren, por ejemplo, tanto la zona 49 como también la zona adyacente 46. Esto es deseable cuando de esta manera debe realizarse un alisamiento de la zona 46. Las toberas de chorro de bolas 25' y 25" están desplazadas, por lo tanto, vistas localmente en la dirección de avance, con respecto a la tobera de chorro de bolas 25. La tobera de chorro de 45 bolas 25 está, por ejemplo, delante y las toberas de chorro de bolas 25' y 25" están detrás. También aquí las toberas de chorro de bolas 25, 25', vistas en el tiempo, pueden ser accionadas al mismo tiempo o de forma sucesiva.

Así, por ejemplo, la tobera 25 se puede utilizar para la generación de tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  y las toberas 25', 25" se pueden utilizar para el alisamiento.

En este caso, las toberas de chorro de bolas están montadas, por ejemplo, sobre un soporte y son desplazadas en común, aunque las toberas 25, 25', 25" no estén juntas en funcionamiento, es decir, no chorrean bolas.

- 50 La figura 11 muestra otra disposición de toberas de chorro de bolas. Aquí se utilizan cinco toberas de chorro de bolas 25, 25', 25", 25''' y 25'''''. Los parámetros para las toberas de chorro de bolas individuales 25 y 25', 25" así como 25''' y 25''''' pueden ser en cada caso diferentes y pueden estar adaptadas a los requerimientos deseados.

Así, por ejemplo, las toberas 25, 25', 25" se pueden utilizar para la generación de tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  y, por ejemplo, las toberas 25''' y 25''''' se pueden utilizar para el alisamiento.

La tobera de chorro de bolas 25 cubre la zona 46, en cambio las toberas de chorro de bolas 25', 25'' cubren solamente las zonas 49 adyacentes respectivas.

5 Las toberas de chorro de bolas 25''', 25'''' siguientes vistas localmente sirven para el alisamiento y cubren aquí, por ejemplo, tanto la zona 46 como también la zona 49. En este caso, las toberas de chorro de bolas están montadas en común, por ejemplo sobre un soporte y son desplazadas en común, aunque las toberas 25, 25', 25'' no estén en funcionamiento en común, es decir, no chorreen bolas.

10 La figura 12 muestra como componente 1 una pala de turbina 13 con su pata de pala 43 configurada de forma similar a un abeto en la zona de fijación 16. La pata de pala 43 presenta zonas 7 curvadas cóncavas, en las que deben estar presentes tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  altas y presenta zonas 10 curvadas convexas, en las que deben estar presentes tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$  más reducidas que en la zona 7 curvada convexa. La pata de pala 43 presenta, por ejemplo, tres valles de ondas o bien muescas 11', 11'', 11''', de manera que las tres toberas de chorro de bolas 25, 25', 25'' están ajustadas, por ejemplo, con respecto a sus parámetros fijamente frente a la primera muesca 11'.

15 La pala de turbina 13 o el componente 1 se desplaza a lo largo de una dirección 17 frente a las toberas de chorro de bolas 25, 25' y 25'', de manera que toda la muesca 11' es chorreada. Este proceso se puede repetir para las otras muescas 11'' y 11''', o de manera correspondiente están presentes otras toberas de chorro de bolas para las muescas 11'' y 11''', que posibilitan una mecanización simultánea de todas las muescas.

20 La figura 13 muestra de forma esquemática que los cantos de las muescas 11', 11'', 11''' son igualmente chorreados, para generar tensiones residuales de compresión  $\sigma_E$ . Además, se puede reconocer que el componente 1 está curvado en sí.

25 La figura 14 muestra el desarrollo de principio de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  en un componente 1, como resulta a través de un proceso de chorreado. En el diagrama se puede representar la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  sobre la profundidad d de un componente 1. El máximo 67 de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  no se encuentra en la superficie 4 del componente 1, es decir, en d = 0, sino en el interior del componente 1 (d > 0). La curva 61 representada con trazos muestra el desarrollo de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$ .

No obstante, es deseable que esté presente un valor máximo de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  en la superficie 5 del componente 1. La línea continua de la curva 64 muestra este desarrollo deseado de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$ .

El desarrollo deseado 64 se puede calcular, por ejemplo, de la siguiente manera.

30 En una primera etapa de trabajo se chorrea una zona 7, 10 curvada cóncava con alta presión de chorreo. En una segunda etapa de trabajo, se chorrea la misma zona 7, 10 con intensidad más reducida, de manera que se desplaza el máximo en la superficie 5 del componente 1. No obstante, esto se puede realizar también en una tapa de trabajo, como se ha descrito anteriormente.

35 De esta manera, se consigue que el máximo de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  esté presente en la superficie 5 o cerca de la superficie 5 y a pesar de todo esté presente una profundidad de penetración alta de la tensión residual de compresión  $\sigma_E$  en el componente 1.

40 La figura 15 muestra un componente 13, que se puede tratar por medio del procedimiento. La figura 15 muestra en vista en perspectiva una pala de turbina 13, por ejemplo para una turbina de vapor, que se extiende a lo largo de un eje longitudinal. En palas de turbinas 13 convencionales se utilizan en todas las zonas 40, 19, 43 de las palas de rodadura 1 materiales metálicos macizos. La pala de turbina 13 puede estar fabricada a través de un procedimiento de fundición, a través de un procedimiento de forzado, a través de un procedimiento de fresado o a través de combinaciones de ellos. La pala de turbina 13 presenta de forma sucesiva a lo largo del eje longitudinal una zona de fijación 16, una plataforma de pala 19 adyacente a ella así como una zona de hoja de pala 40. En la zona de fijación 16 está formada una pata de pala 43, que sirve para la fijación de la pala de turbina 13 en el disco 22 de una turbina no representada. La pata de pala 43 está configurada como cabeza de martillo. Son posibles otras configuraciones, por ejemplo como pata de abeto (figura 2) o como pata de cola de milano. La pata de abeto 43 presenta tanto al menos en una zona 7 curvada cóncava como en la zona 10 curvada convexa que se conecta a continuación unas tensiones residuales de compresión diferentes de cero, de manera que las tensiones residuales de compresión están presentes sobre un área grande sobre la superficie de la pata de pala, en particular sobre toda la superficie.

50 La figura 16 muestra a modo de ejemplo una turbina de gas 100 en una sección parcial longitudinal. La turbina de gas 100 presenta en el interior un rotor 103 alojado de forma giratoria alrededor de un eje de rotación 102, que se designa también como rotor de turbina. A lo largo del rotor 103 se suceden una carcasa de aspiración 104, un compresor 105, una cámara de combustión 110 por ejemplo de forma toroidal, en particular cámara de combustión anular 106, con varios quemadores 107 dispuestos coaxialmente, una turbina 108 y la carcasa de escape de gases 109. La cámara de combustión anular 106 se comunica con un canal de gas caliente 111, por ejemplo de forma anular. Por ello, allí cuatro fases de turbina 112 conectadas unas detrás de las otras forman la turbina 108. Cada

fase de turbina 112 está formada por dos anillos de palas. Visto en la dirección de la circulación de un medio de trabajo 113 sigue en el canal de gas caliente 111 de una serie de paletas de guía 115 una serie 125 formada por paletas de rodadura 120.

5 Las paletas de guía 130 están fijadas en este caso en el estator 143, en cambio las paletas de rodadura 120 de una serie 125 están colocadas, por ejemplo, por medio de un disco de turbina 133 en el rotor 103. En el rotor 103 está acoplado un generador o una turbina (no representada).

10 Durante el funcionamiento de la turbina de gas 100 se aspira aire 135 desde el compresor 105 a través de la carcasa de aspiración 104 y se comprime. El aire comprimido acondicionado en el extremo del compresor 105 del lado de la turbina se conduce a los quemadores 107 y se mezcla allí con un combustible. La mezcla se quema entonces bajo la formación del medio de trabajo 113 en la cámara de combustión. Desde allí, el medio de trabajo 113 circula a lo largo del canal de gas caliente 111 por delante de las palas de guía 130 y las palas de rodadura 120. En las palas de rodadura 120 se expande el medio de trabajo 113 para la transmisión de impulsos, de manera que las palas de rodadura 120 accionan el rotor 103 y éste acciona la máquina de trabajo acoplada en él.

15 Los componentes expuestos al medio de trabajo caliente 113 están sometidos durante el funcionamiento de la turbina de gas 100 a cargas térmicas. Las palas de guía 130 y las palas de rodadura 120 de la primera fase de la turbina 112, vistas en la dirección de la circulación del medio de trabajo 113, se cargan la mayoría de las veces térmicamente, además de los ladrillos de escudo térmico que revisten la cámara de combustión anular. Para resistir las temperaturas que predominan allí, éstos son refrigerados por medio de un refrigerante. De la misma manera, los substratos pueden presentar una estructura dirigida, es decir, una estructura monocristalina (estructura SX) o  
20 pueden presentar solamente granos dirigidos longitudinalmente (estructura DS). Como material se utilizan superaleaciones basadas en hierro, níquel o cobalto. De la misma manera, las palas 120, 130 pueden presentar recubrimientos contra la corrosión (MCrA1X; M es al menos un elemento del grupo de hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), X representa itrio (Y) y/o al menos un elemento de las tierras raras) y contra calor a través de una capa de aislamiento térmico. La capa de aislamiento térmico está constituida, por ejemplo de  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , es decir,  
25 que no está estabilizada, parcial o totalmente por óxido de itrio y/u óxido de calcio y/u óxido de magnesio. A través de procedimientos de recubrimiento adecuados, como por ejemplo metalización por chorro de electrones (EB-PVD) se generan granos en forma de barras en la capa de aislamiento térmico.

30 La pala de guía 130 presenta una pata de pala de guía (no representada aquí) dirigida hacia la carcasa interior 138 de la turbina 108 y una cabeza de pala de guía opuesta a la pata de pala de guía. La cabeza de pala de guía está dirigida hacia el rotor 103 y está fijada en un anillo de fijación 140 del estator 143.

En la figura 17 se representa a modo de ejemplo una turbina de vapor 300, 302 con un árbol de turbina 309 que se extiende a lo largo del eje de rotación 306.

35 La turbina de vapor presenta una turbina parcial de alta presión 300 y una turbina parcial 303 de presión media, respectivamente, con una carcasa interior 312 y una carcasa exterior 315 que la rodea. La turbina parcial de alta presión 300 está realizada, por ejemplo, en el tipo de construcción de cazoleta. La turbina parcial de media presión 303 está realizada de dos flujos. De la misma manera, es posible que la turbina parcial de presión media 303 esté realizada de un flujo. A lo largo del eje de rotación 306, entre la turbina parcial de alta presión 300 y la turbina parcial de presión media 303 está dispuesto un cojinete 318, de manera que el árbol de la turbina 309 presenta en el  
40 cojinete 318 una zona de cojinete 321. El árbol de turbina 309 está alojado sobre otro cojinete 324 junto a la turbina parcial de alta presión 300. En la zona de este cojinete 324, la turbina parcial de alta presión 300 presenta una junta de obturación de árbol 345. El árbol de la turbina 309 está obturado frente a la carcasa exterior 315 de la turbina parcial de presión media 303 por medio de otras dos juntas de obturación de árbol 345. Entre una zona de admisión de vapor a alta presión 348 y una zona de salida de vapor 351, el árbol de la turbina 309 presenta en la turbina  
45 parcial de alta presión 300 el sistema de palas de rodadura de alta presión 354, 357. Este sistema de palas de rodadura de alta presión 354, 357 representa, junto con las palas de rodadura correspondientes no representada en detalle, una primera zona del sistema de palas 360. La turbina parcial de presión media 303 presenta una zona central de admisión de vapor 333. Asociado a la zona de admisión de vapor 333, el árbol de turbina 309 presenta un blindaje de árbol 363 radial simétrico, una placa de cubierta, por una parte para la división de la corriente de vapor en los dos flujos de la turbina parcial de presión media 303 así como para la prevención de un contacto directo del vapor caliente con el árbol de la turbina 309. El árbol de la turbina 309 presenta en la turbina parcial de presión  
50 media 303 una segunda zona del sistema de palas 366 con las palas de rodadura de presión media 354, 342. El vapor caliente que circula a través de la segunda zona del sistema de palas 366 sale desde la turbina parcial de presión media 303 desde el racor de salida de la corriente 368 hacia una turbina parcial de baja presión no representada, conectada a continuación de acuerdo con la técnica de circulación.

55 El árbol de turbina 309 está compuesto, por ejemplo, por dos árboles de turbina parcial 309aa y 309b, que están unidos fijamente entre sí en la zona del cojinete 318.



**REIVINDICACIONES**

- 1.- Pala de turbina (120, 130, 342, 354), que presenta en una zona de fijación (16) o en una pata de pala (43) una zona superficial curvada (4) en forma de un abeto, en la que la zona superficial (4) está constituida por al menos una zona (7, 11) curvada cóncava y por al menos una zona (10, 12) curvada convexa, que están adyacentes entre sí, caracterizada porque la zona (7, 11) curvada cóncava presenta debido al chorreado de bolas unas tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ) diferentes de cero porque la zona (10, 12) curvada convexa presenta debido al chorreado de bolas unas tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ) diferentes de cero porque la zona (7, 11) curvada cóncava presenta tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ) más altas que la zona (10, 12) curvada convexa, la altura de la tensión residual de compresión ( $\sigma_E$ ) en la zona (7, 11) curvada cóncava es al menos 30 %, en particular 50 % del límite de estiramiento ( $R_p$ ), en particular del límite de estiramiento ( $(R_p, 0,2)$ ), del material del componente (1, 13, 120, 130, 342, 354) y porque toda la zona superficial (4) presenta tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ),
- 2.- Componente de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la zona (7, 11) curvada cóncava presenta un radio de curvatura (R) y porque la zona (7, 11) curvada cóncava presenta al menos una anchura (81) de tres a cinco veces el radio de curvatura (R).
- 3.- Componente de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la tensión residual de compresión ( $\sigma_E$ ) es al menos el 60 % del límite de estiramiento ( $R_p$ ), en particular del límite de estiramiento ( $R_p, 0,2$ ), del material del componente (1, 13, 120, 130, 342, 354).
- 4.- Componente de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la tensión residual de compresión ( $\sigma_E$ ) en la zona (7, 11) curvada cóncava es al menos 50 %, en particular en torno al 75 % mayor que en la zona (10, 12) curvada convexa con las la tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ) más bajas.
- 5.- Componente de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque al menos una zona (7, 10) presenta una distribución lateral de la altura de las tensiones residuales de compresión ( $\sigma_E$ ) con al menos un máximo (70, 73) y/o una meseta (74), y porque el máximo (70) de la zona (7) curvada cóncava es más alto que el máximo (734) o la meseta (74) de la zona (10) curvada convexa.
- 6.- Componente de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el componente (1) es un componente de una turbina de vapor (300, 303) o de una turbina de gas (100), en particular una pala de turbina (120, 130, 342, 354).

FIG 1

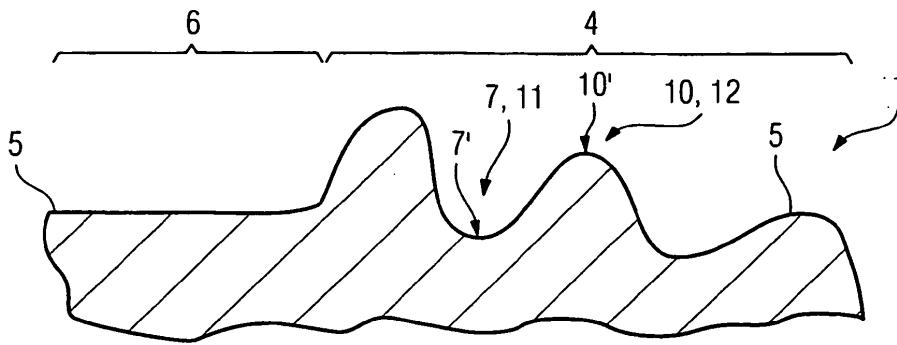


FIG 2

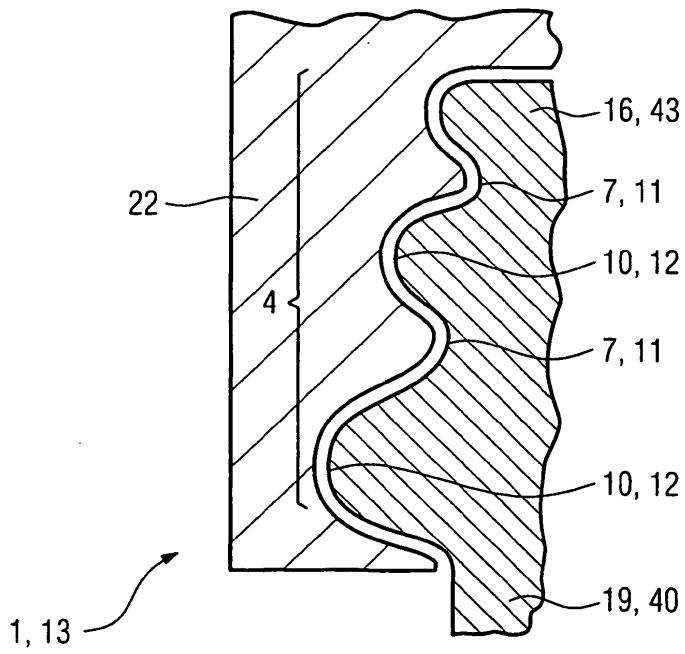


FIG 3

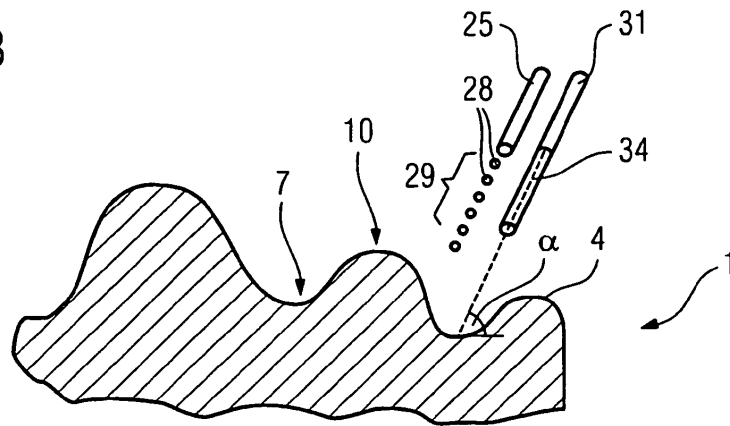


FIG 4

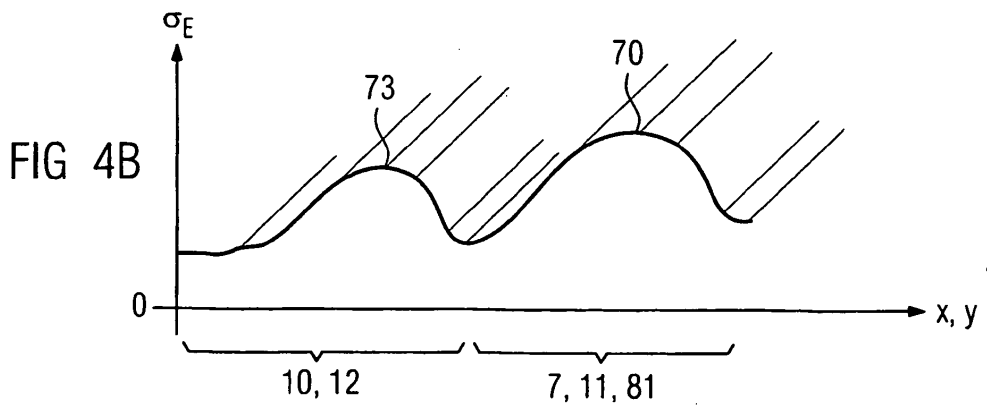
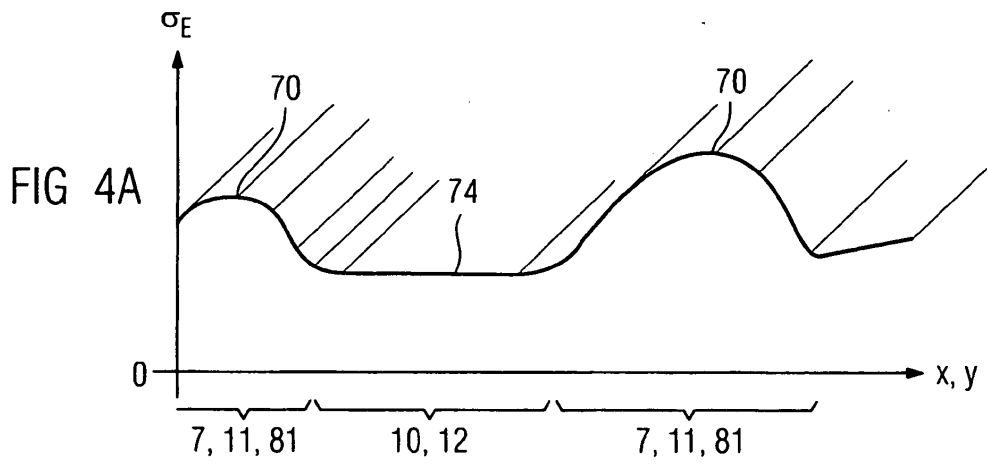


FIG 5

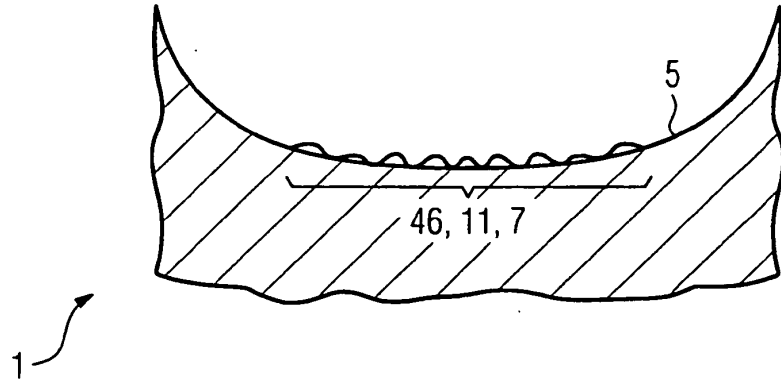


FIG 6

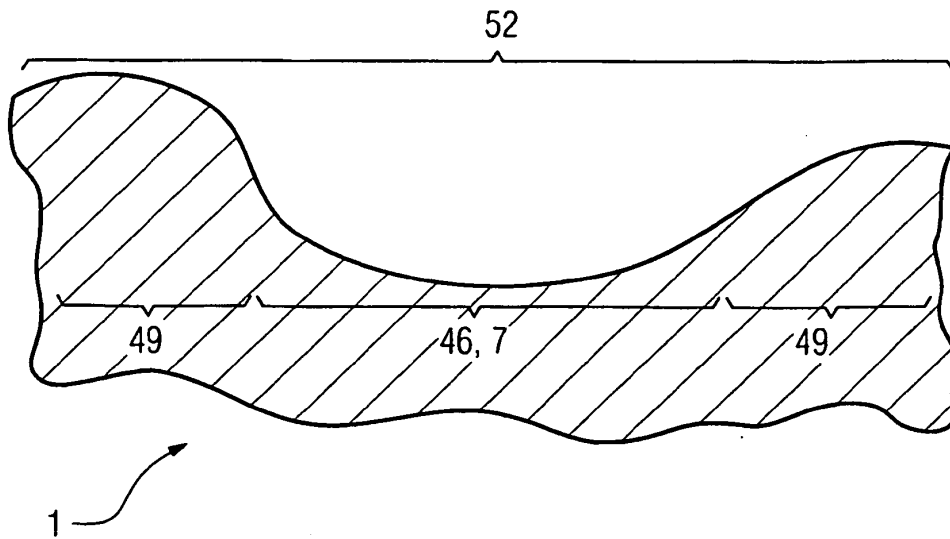


FIG 7

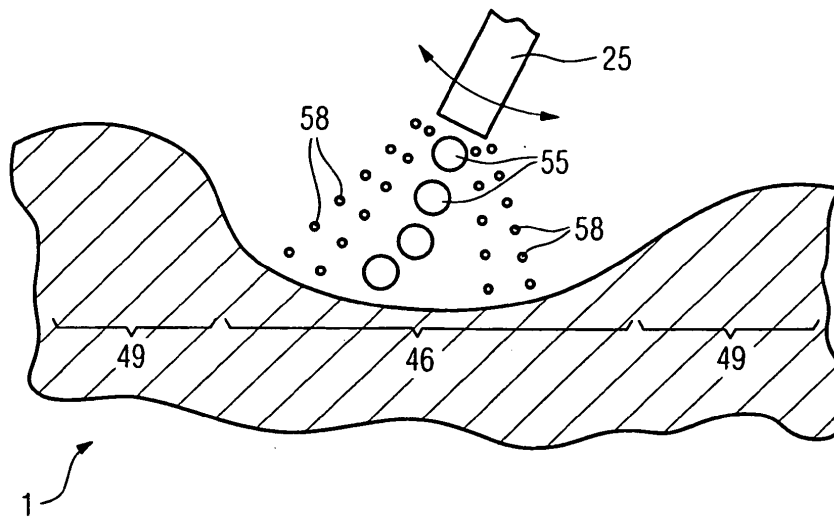


FIG 8

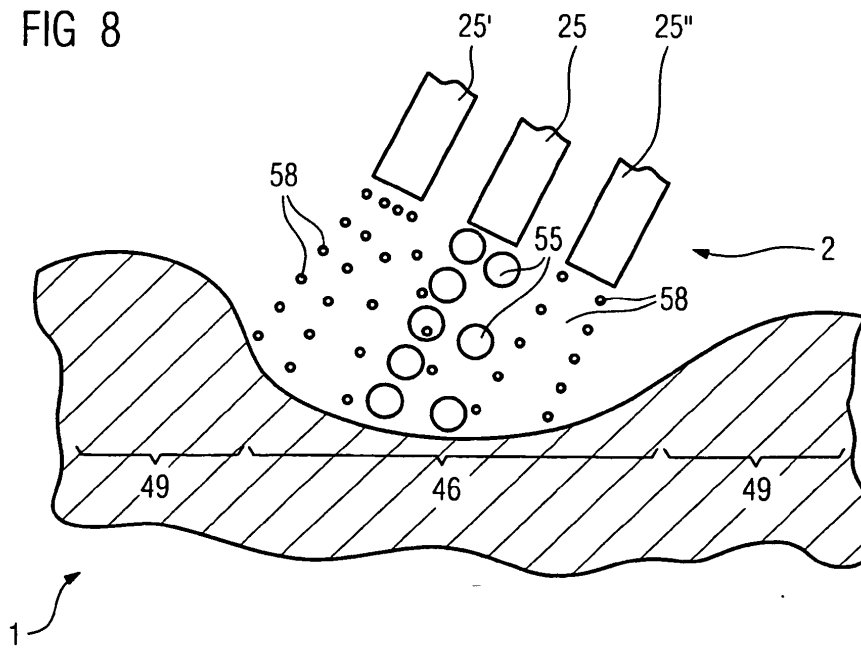


FIG 9

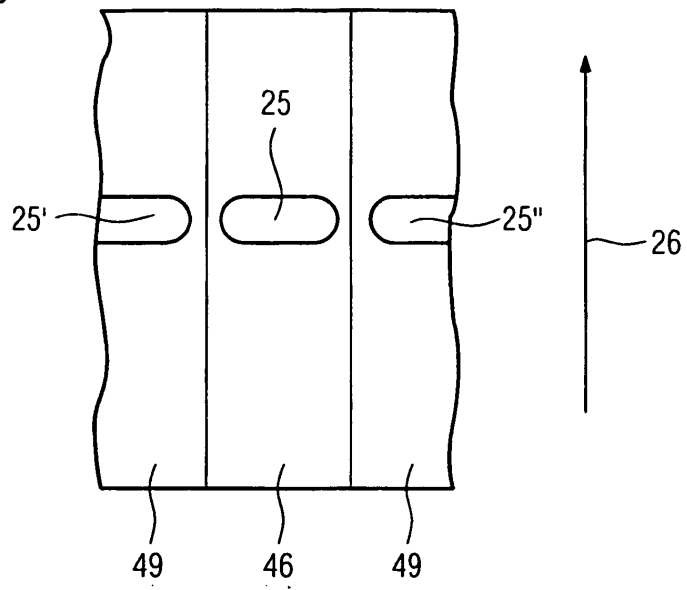


FIG 10

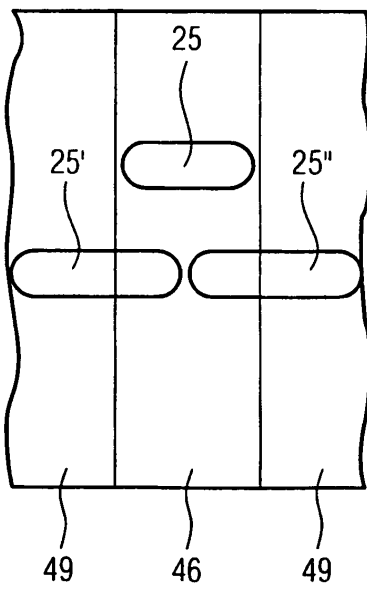


FIG 11

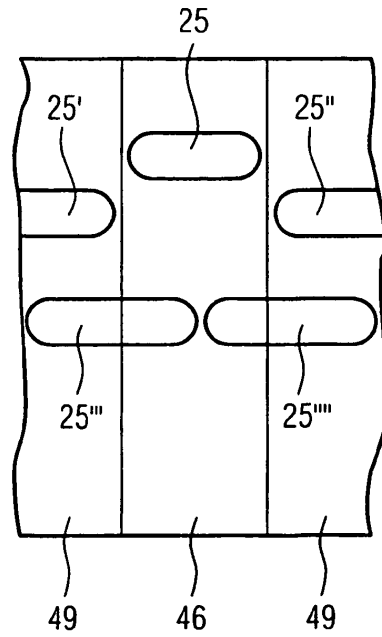


FIG 12

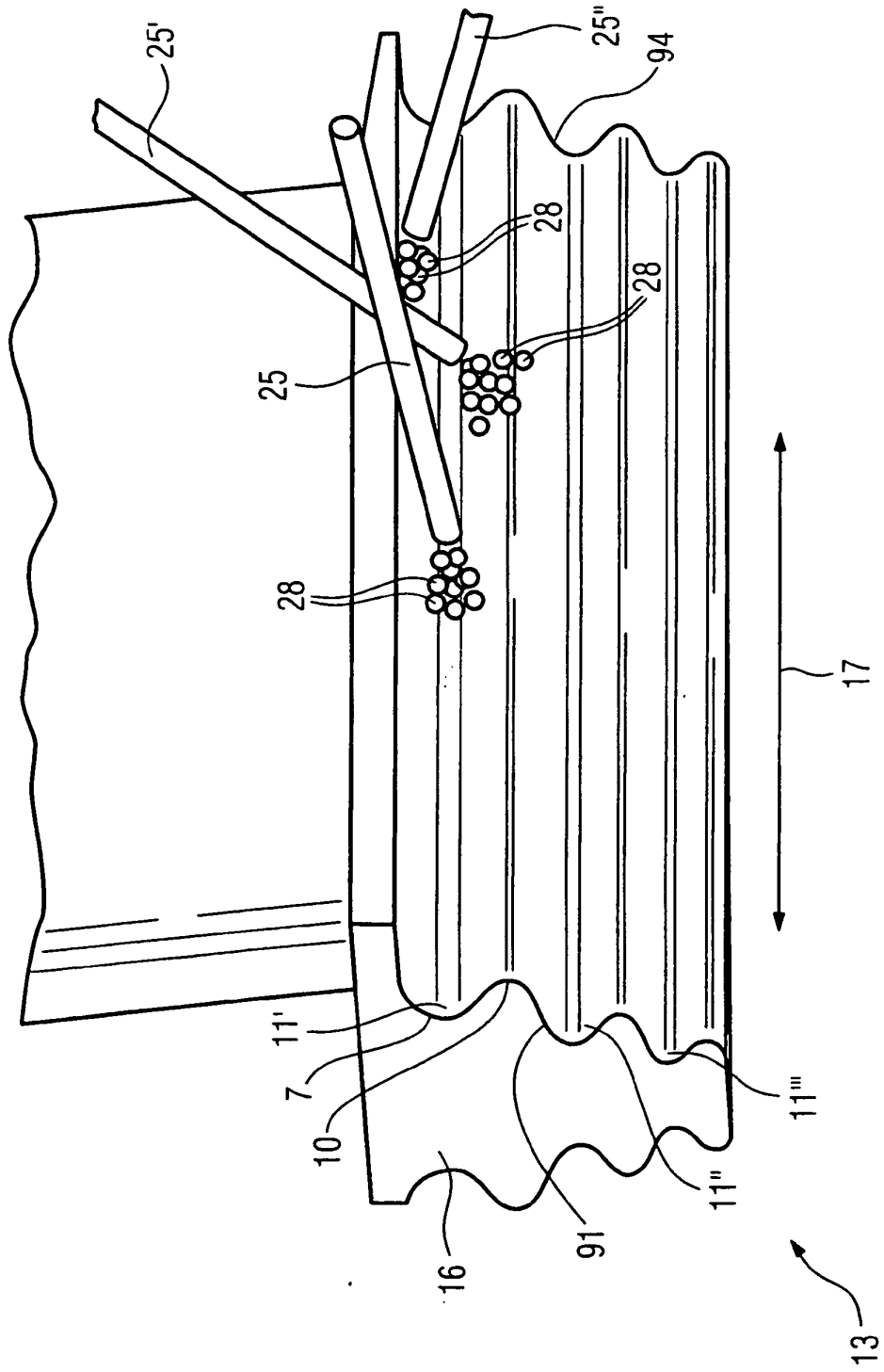


FIG 13

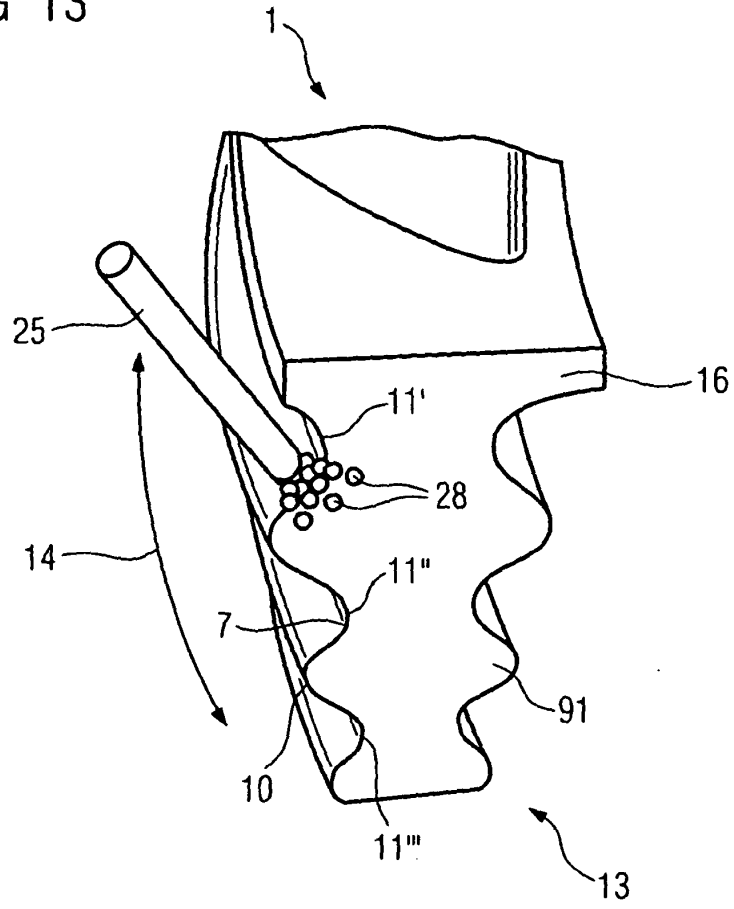


FIG 14

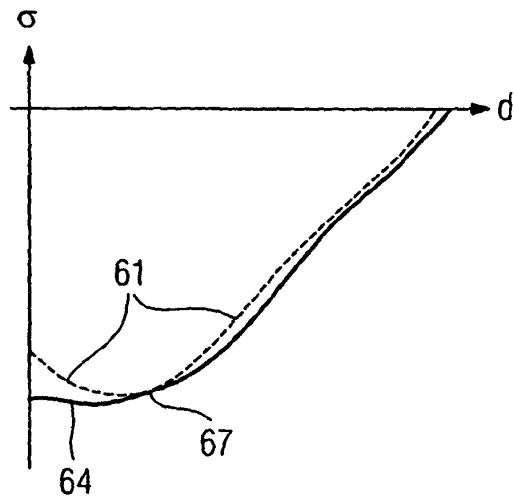
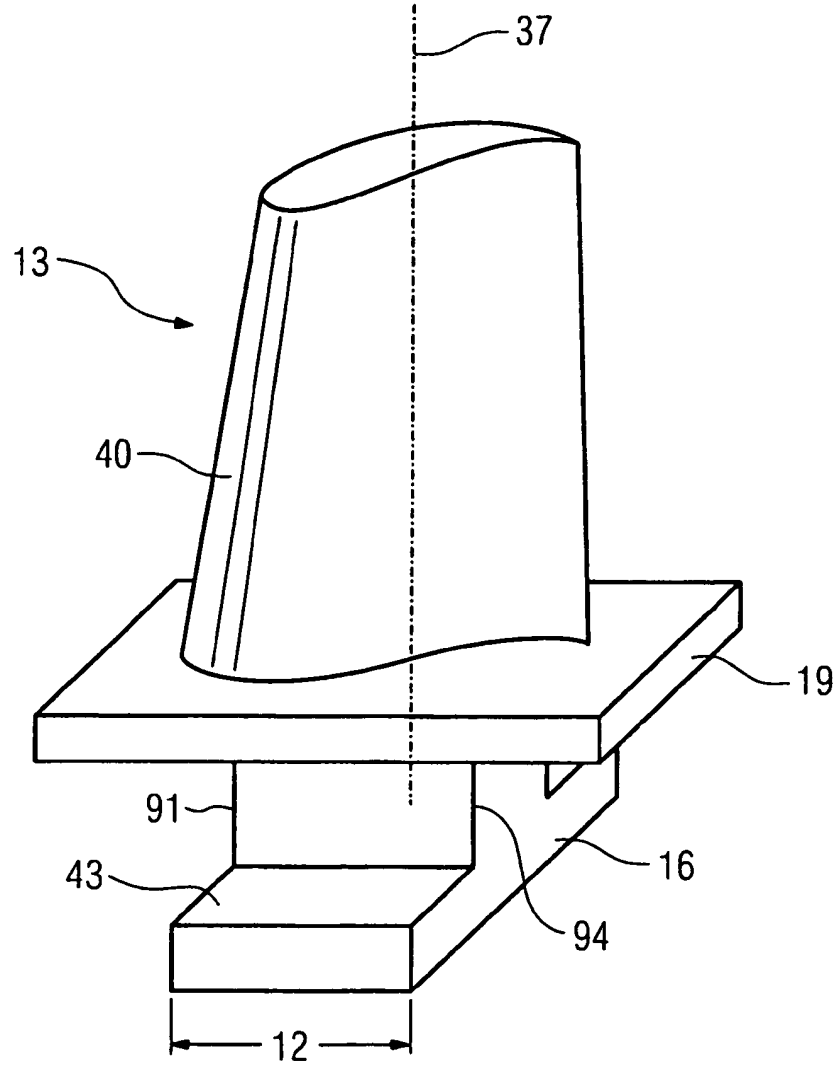




FIG 15



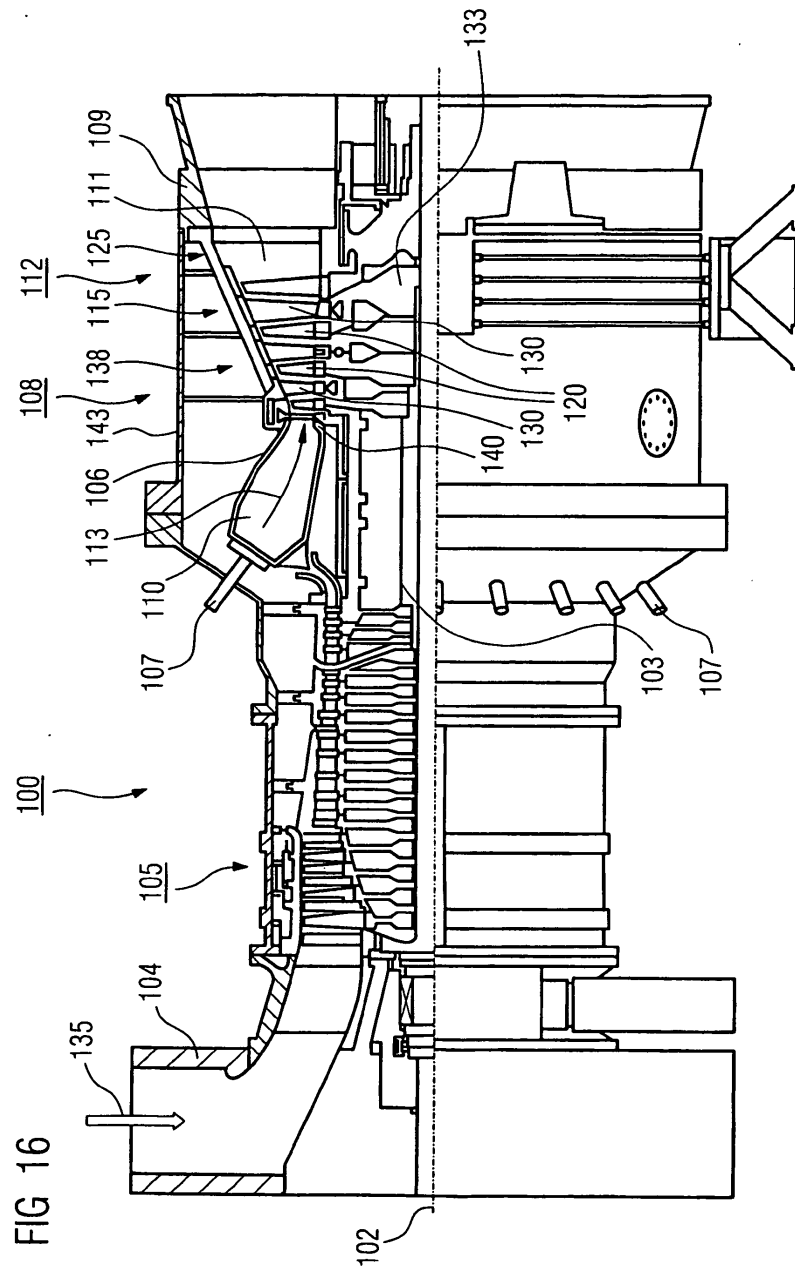


FIG 16

FIG 17

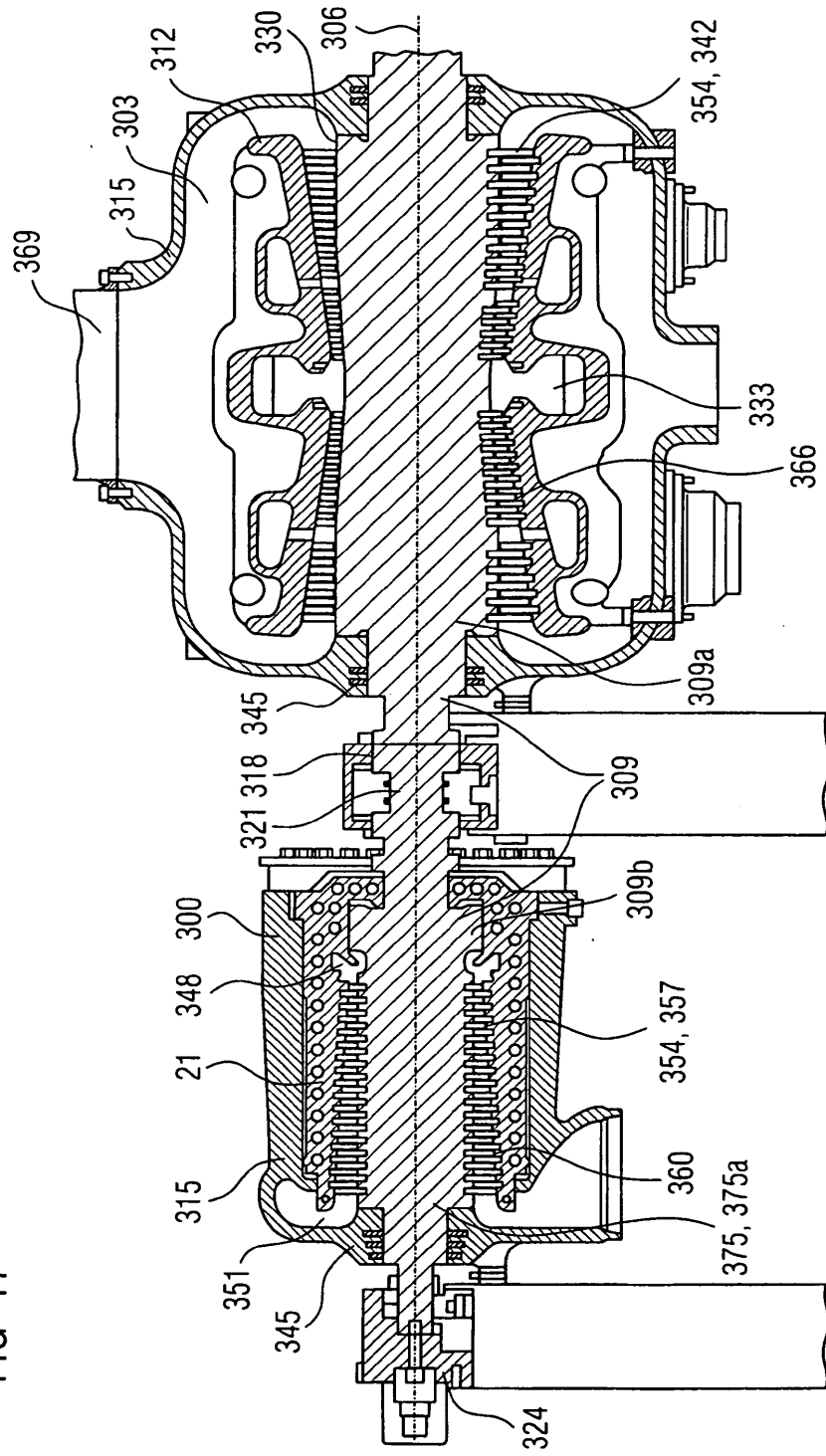


FIG 18

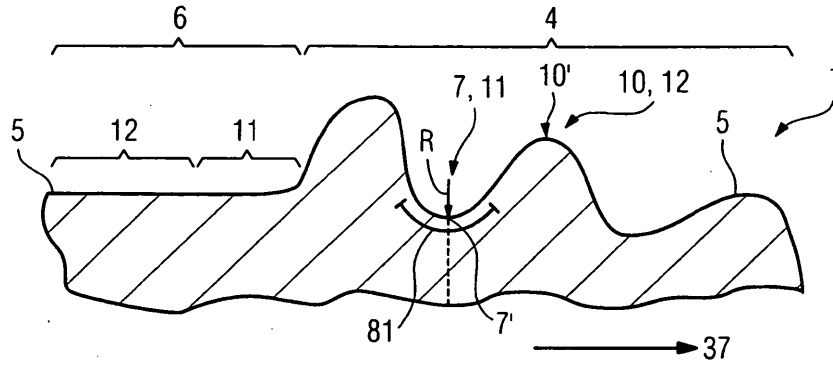


FIG 19

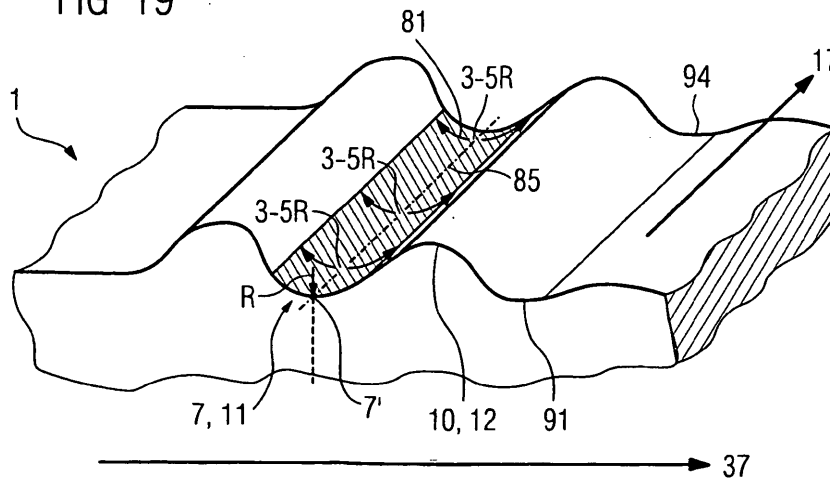


FIG 21

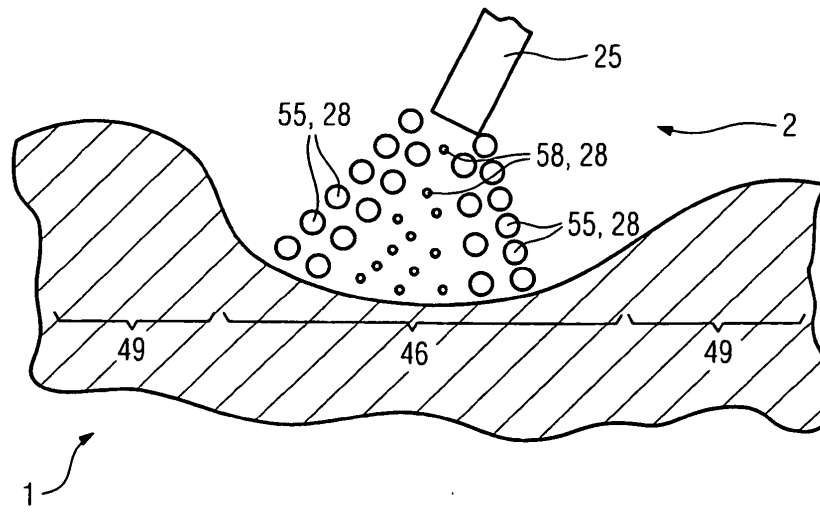


FIG 20

