



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 285 121**

51 Int. Cl.:

C30B 13/00 (2006.01)

C30B 11/00 (2006.01)

C30B 13/24 (2006.01)

C30B 29/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03727146 .7**

86 Fecha de presentación : **21.03.2003**

87 Número de publicación de la solicitud: **1495166**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.01.2005**

54 Título: **Procedimiento para la producción de estructuras monocristalinas.**

30 Prioridad: **15.04.2002 DE 102 16 662**
19.09.2002 DE 102 43 558

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

73 Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

72 Inventor/es: **Beck, Thomas;**
Bostanjoglo, Georg;
Cox, Nigel-Philip y
Wilkenhöner, Rolf

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

ES 2 285 121 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 para la producción de estructuras monocristalinas.

La presente invención hace referencia a un procedimiento para la producción de estructuras solidificadas direccionalmente y monocristalinas, particularmente de superaleaciones según el concepto general de la Reivindicación independiente 1.

Las piezas de trabajo metálicas con estructura o estructuras monocristalina/s se emplean como piezas de máquinas, que se exponen durante la operación a altas cargas mecánicas, térmicas y/o químicas. Por ejemplo, los álabes de turbinas de gas, particularmente también de rotores para mecanismos de accionamiento de aviones, aunque también aquellos para turbinas de gas estacionarias, se fabrican de monocristales. La fabricación de este tipo de piezas de trabajo monocristalinas se lleva a cabo, por ejemplo, mediante la solidificación direccional de la fusión. Son además procedimientos de fundición, en los que la aleación metálica líquida solidifica en la estructura monocristalina, es decir, en la pieza de trabajo monocristalina, o direccionalmente. Se conoce, por ejemplo, un procedimiento especial de fundición para la producción de estas piezas de trabajo, en el que la aleación líquida presente en una forma cerámica en un campo de temperatura direccional, por ejemplo, de un horno de crecimiento Bridgman, obtiene una orientación cristalina. Además, los cristales dendríticos se orientan a lo largo del flujo de calor y forman o bien una estructura granular cristalina longitudinal (es decir, granos que transcurren a lo largo de la longitud total de la piezas de trabajo y se designan aquí, acorde al uso lingüístico general, como direccionalmente solidificados) o una estructura monocristalina, es decir, la pieza de trabajo completa consiste en un único cristal. En este procedimiento se tiene que evitar la transición a la solidificación globular (policristalina), ya que este crecimiento no direccional forma necesariamente fronteras transversales y longitudinales de grano, que echan por tierra las buenas propiedades de la pieza solidificada direccionalmente o monocristalina. Cuando en el presente documento se habla de estructura monocristalina y estructuras monocristalinas, se hace referencia tanto a los monocristales, que no contienen ninguna frontera de grano, como también a las estructuras cristalinas, que probablemente contengan fronteras de grano que discurran longitudinalmente, aunque ninguna frontera de grano que discurra en dirección transversal. En el caso de las estructuras cristalinas mencionadas en segundo lugar se habla también de estructuras solidificadas direccionalmente (directionally solidified structures).

Si se habla generalmente de estas estructuras solidificadas direccionalmente, se hace, por tanto, en referencia tanto a los monocristales, que no presentan ninguna frontera de grano o, como máximo, fronteras de grano de ángulo pequeño, como también a las estructuras granular cristalina longitudinales, que probablemente presenten fronteras de grano que discurran en dirección longitudinal, aunque ninguna frontera de grano transversal.

Como aleaciones, por ejemplo, para los citados álabes de turbina monocristalinos, se emplean, entre otras, las llamadas superaleaciones base níquel (Ni), cobalto (Co) o hierro (Fe). Especialmente las superaleaciones base níquel tienen excelentes propiedades

mecánicas y químicas a alta temperatura.

Estas piezas se desgastan durante el empleo y se deterioran, aunque pueden regenerarse de nuevo, retirando, si fuera preciso, las zonas afectadas y aplicando nuevo material en estas zonas (por ejemplo, epitaxialmente). Además, debería obtenerse de nuevo la misma estructura cristalina. Un procedimiento de este tipo se muestra en la US-PS 6,024,792 y en la EP 0 892 090 A1. En este procedimiento se aplica una capa del material a aplicar transversalmente a la longitud de la superficie a tratar, en cada caso, en cursos delgados, que corresponden a la zona de la superficie a tratar, yuxtapuesta. De esta forma resulta el solapamiento o contacto de las orugas individuales de soldadura (cursos, sobre los que crece nuevo material yuxtapuesto), que debido a las condiciones geométricas conducen a un crecimiento no epitaxial con insuficiente alineación cristalina. Como consecuencia, las propiedades mecánicas son inadecuadas.

Es, por tanto, objetivo de la presente invención, superar el inconveniente citado anteriormente.

El objetivo se resuelve mediante un procedimiento conforme a la Reivindicación 1.

Con el nuevo procedimiento es posible disponer sobre, por ejemplo, la estructura solidificada direccionalmente, de un sustrato de una o varias capas, y/o un cuerpo o una pieza de trabajo con la misma estructura solidificada direccionalmente que el sustrato en un curso. Es un procedimiento epitaxial (se denomina epitaxial el crecimiento cristalino homogéneamente orientado sobre una base cristalina), en el que la capa o las capas dispuestas adoptan la estructura cristalina direccional del sustrato. Además, se tiene que evitar una estructura globular mediante un apropiado control del proceso.

La presente invención crea un nuevo procedimiento, con el que es posible disponer de una o varias capas, y/o un cuerpo o una pieza de trabajo con estructura monocristalina sobre un sustrato con estructura monocristalina y/o estructuras monocristalinas. Se trata, además, de un procedimiento epitaxial, en el que la capa o las capas dispuestas adoptan la estructura cristalina del sustrato.

Hasta ahora no existía ninguna posibilidad de reparar y/o reacondicionar una pieza de trabajo monocristalina, de forma que la estructura monocristalina del material base exista también en la posición reacondicionada, sin que aparezcan, además, muchas alineaciones cristalinas no deseadas. Con el nuevo procedimiento es ahora posible reacondicionar monocristalinamente las piezas monocristalinas de trabajo deterioradas y desgastadas, es decir, completar y disponer nuevamente la estructura cristalina óptima. Además, en, por ejemplo, un álabes monocristalino del rotor, se construye y reconstruye monocristalinamente sobre un curso monocristalino, capa sobre capa, hasta que se obtenga de nuevo el tamaño y forma iniciales de la pieza de trabajo. El barrido en la dirección longitudinal de la superficie a tratar de la pieza de trabajo se lleva a cabo, además, en cada caso, en un único movimiento continuo, o sea, sin movimientos transversales en forma de meandro, para la generación de delgadas orugas individuales de soldadura, que se solapan en la dirección longitudinal.

El procedimiento para la construcción de monocristales del mismo material, aproximadamente igual o diferente material que el sustrato posibilita, por ejemplo, la reconstrucción y/o la restitución de pie-

zas de trabajo, con estructuras monocristalinas y dañadas o desgastadas. Hoy en día existen, por ejemplo, álabes de rotor de turbinas de gas, que consisten en monocristales de las llamadas superaleaciones metálicas y que se pueden reparar con el procedimiento, cuando estén deterioradas.

Las piezas de trabajo monocristalinas pueden fabricarse a partir de la fusión mediante la llamada solidificación direccional (directionally solidified). Sin embargo, también estas piezas con solidificación direccional se desgastan. Con el nuevo procedimiento resulta ahora también posible reacondicionar monocristalinamente piezas monocristalinas de trabajo deterioradas y desgastadas, es decir, completar y construir nuevamente la estructura cristalina. Además en, por ejemplo, un álabe monocristalino del rotor, se construye y reconstruye monocristalinamente sobre el sustrato, capa sobre capa, hasta que se obtenga de nuevo el tamaño y forma iniciales de la pieza de trabajo.

Los rayos láser o haces de electrones, o sea, fuentes de energía, con las que sea posible introducir altas concentraciones de energía en una gran superficie, y/o en un gran volumen, resultan apropiados como fuente de energía y/o de calor para la ejecución del procedimiento.

El haz de alta energía y densidad de potencia se direcciona a la superficie del sustrato, de forma que una capa superficial del sustrato se una fácilmente por fusión. El material se introduce en la zona de operación del haz, por ejemplo, en la fusión de este material introducido puede realizarse en el baño líquido de la capa superficial fundida o incluso de camino al mismo. La operación se efectúa preferentemente bajo gas protector y/o en vacío.

Si ahora la solidificación de la fusión transcurre en condiciones situadas por fuera de la zona globular, o sea, en la zona en la que el material empleado solidifica direccionalmente, el material solidifica en forma monocristalina, creciendo, por consiguiente, como estructura epitaxial sobre el sustrato. En el caso de los metales se habla de solidificación globular, cuando la fusión no cristaliza direccionalmente. Entonces se forman necesariamente en la transición de "direccionalmente monocristalino" a "no direccional" una o varias fronteras de grano, que echan por tierra las ventajas del monocristal.

La estructura monocristalina se aplica en forma de finas capas, láminas o formas complejas de aproximadamente un milímetro o una fracción de un milímetro, capa a capa, una sobre otra. Si el sustrato se lleva, por ejemplo, mediante vías ciegas, es decir, sin aporte de material, con el láser o inductivamente a una temperatura de precalentamiento en el rango de 600°C a 1100°C y se conserva esta temperatura, por ejemplo, durante la construcción, se reducen las tensiones en el sustrato y en el monocristal desarrollado, aunque también entre el sustrato y la estructura cristalina desarrollada epitaxialmente sobre éste, lo que contribuye a prevenir la recrystalización y el espiralado en la estructura cristalina.

El recocido de normalización del sustrato y de la nueva capa monocristalina elaborada durante aproximadamente una hora a una temperatura en el rango de aproximadamente 1000°C a 1250°C, para CMSX-4 a aprox. 1150°C y el posterior enfriamiento lento reduce las tensiones internas, que podrían conducir a la destrucción de las estructuras monocristali-

nas mediante recrystalización y espiralado. El recocido de eliminación de tensiones podría realizarse también justo después de la aplicación de la capa epitaxial con un dispositivo HF.

El llamado diagrama GV es diferente para los diversos metales y aleaciones metálicas y puede calcularse o determinarse experimentalmente para cada aleación. La curva L separa en el diagrama GV el rango de ambos parámetros velocidad de solidificación y gradiente de temperatura, en el que la aleación solidifica globulímicamente, de aquella en la que la aleación solidifica en una estructura dendrítica direccional. En Material Science Engineering Vol. 65 1984, en la publicación J. D. Hunt sobre "Columnar to Equiangular Transition", por ejemplo, se encuentra una descripción y una explicación del diagrama GV.

En las Figuras se muestran los ejemplos de ejecución.

La Figura 1 presenta una distribución de la intensidad en secciones transversales de un punto focal, empleado para el procedimiento conforme a la invención,

La Figura 2 un punto focal sobre una pieza, en el que se utiliza el procedimiento conforme a la invención,

La Figura 3 una marca del rayo y el punto focal,

La Figura 4 una distribución de la intensidad en una sección transversal de un punto focal, empleado para el procedimiento conforme a la invención, y

La Figura 5 una secuencia del procedimiento acorde al estado actual de la técnica.

La Figura 1 presenta la distribución de intensidad del haz 2 (Fig. 2) de una fuente de energía en un punto focal 3 en un plano, no siendo éste circular, sino que está diseñado en las direcciones x e y de diferente ancho. La dirección x se designa en adelante como ancho. La dirección z corresponde a una dirección de avance 4 (Fig. 2). El plano (plano x-z) corresponde a la superficie a tratar 21 de una pieza 6 (Fig. 2).

El haz 2 presenta, por ejemplo, un perfil casi rectangular de la distribución de intensidad en la dirección x. Por los extremos del perfil 5 del haz, en dirección x, hay, por ejemplo, una transición curvada, condicionada, por ejemplo, técnicamente. En la dirección x puede existir también un perfil casi rectangular.

En la dirección y, la distribución de la intensidad del punto focal 3 presenta, por ejemplo, una forma esencialmente de parábola inversa, condicionada, por ejemplo, también técnicamente. En la dirección llamada y, puede existir también un perfil casi rectangular.

La Figura 2 presenta el punto focal 3, producido por un aporte energético del haz 2 de la fuente de energía 15 sobre la pieza 6. La pieza 6 presenta un sustrato 18. El sustrato 18 presenta, por ejemplo, una estructura solidificada direccionalmente. El punto focal 3 se lleva con una determinada velocidad en la dirección de avance 4 (dirección z) sobre un curso 5 (zona, sobre la que se aplica material 13, sugerida por una línea) a lo largo de la pieza 6.

A través de una alimentación de material 30 se introduce material 13, por ejemplo, en forma de polvo. También pueden emplearse varias alimentaciones de material 30. La alimentación de material 30 puede modificar el aporte de material 13 temporal y localmente, así como en su composición.

El sustrato 18 se funde y se refunde sobre una superficie a tratar 21 de la pieza 6, por ejemplo. Este

baño líquido fundido se alimenta con material 13, por ejemplo, como filamento, chapa o polvo. El material introducido 13, que puede tener una estructura mono- o policristalina, se introduce en el material base fundido en la zona de refusión y se funde completamente. Este material introducido 13, o sea, por ejemplo, el polvo fundido, puede solidificar entonces en una capa en forma de monocristal o de estructura monocristalina con dendritas monocristalinas, es decir, en un monocristal dendrítico. Sin embargo, también puede haber material 13 sobre la superficie 21 incluso antes de la fusión, que se funde entonces con una parte de la superficie 21 del sustrato 18.

Existen, por tanto, zonas 8 de la pieza 6, que ya han sido tratadas mediante el procedimiento conforme a la invención.

En la dirección de avance 4 del rayo láser 2 existen aún zonas 11, que tienen que fabricarse aún por medio del procedimiento conforme a la presente invención. En esta zona 11 se aplica o se añade material 13, que se funde y solidifica acorde al procedimiento conforme a la invención. El material introducido 13, que puede tener una estructura mono- o policristalina, se lleva a la zona del punto focal 3 y se funde completamente. Del mismo modo se calienta, además, la superficie 21 de la pieza 6, sobre la que se funde el material 13.

El punto focal 3 con su superficie seccionada transversal aproximadamente, por ejemplo rectangular, se guía en la dirección de avance 4 sobre el material 13. El ancho (dirección x) del punto focal 3 se ajusta, por ejemplo, al ancho de la zona, que debería rellenarse con material y es aproximadamente tan ancho en dirección x como la dilatación del material 13 a introducir, de forma que en un único movimiento continuo de avance se lleve a cabo un barrido completo de la superficie a tratar 21 para la aplicación de una capa continua del material 13.

El punto focal 3 y, por tanto, también la zona fundida pueden configurarse así mismo linealmente (es decir, muy delgado conforme al alargamiento longitudinal) o elípticamente. Un punto focal 3 de este tipo se puede obtener, por ejemplo, por láseres en configuración de tarjeta. Otras posibilidades de producción de esta geometría apropiada del punto focal se dan por disposición de fibras ópticas (fiber arrays), las ópticas de transformación del haz apropiadas, pila de diodos y, eventualmente, ópticas compactantes, por ejemplo, configuradas cónicamente.

En las zonas limítrofes laterales 5 de la sección transversal del rayo no se introduce ningún material 13. Cuanto más amplia sea la zona central del punto focal rectangular 3, más amplia será la oruga formada por el material aplicado 13. El ancho puede modificarse mediante las medidas adecuadas. Esto se realiza, por ejemplo, mediante una óptica apropiada del láser 15.

El material 13 se aplica, por ejemplo, en polvo, en líneas 12 a lo largo de la dirección x. Todas las líneas 12 forman la oruga, o sea, una nueva capa a formar sobre el sustrato 18.

Acorde al estado actual de la técnica, el haz 2 se desplaza bidireccionalmente en dirección x, en forma de meandro, para cada línea 12 y sólo entonces se desplaza gradualmente en la dirección de avance 4 (dirección z). De conformidad a la presente invención puede ejercerse el movimiento bidireccional en forma de meandro. Esto simplifica también la conduc-

ción del haz o el movimiento de la fuente de energía 15 y/o de la pieza 6.

La línea puede regularse, además, de forma que la densidad de potencia en la zona central del punto focal 3 permanezca constante. Así se pueden generar orugas de ancho diferente o variable durante el movimiento del punto focal 3.

Mediante el procedimiento conforme a la presente invención se pueden aplicar epitaxialmente orugas de soldadura anchas. Mediante la repetición del procedimiento se pueden preparar, por capas, estructuras de cualquier grosor, oruga por oruga, sin que se reduzcan las propiedades de los materiales por solapamiento lateral, es decir, a lo largo de la dirección x.

Hay que tener en cuenta que el crecimiento de una capa monocristalina presupone que el material 13 introducido esté completamente fundido. Si éste no es el caso, por ejemplo, los granos de polvo no fundidos completamente forman núcleos de cristalización para dendritas y cristales, que perturban y destruyen el crecimiento monocristalino de la estructura.

En la estructuración de una mayor estructura, y/o de un mayor cuerpo con el procedimiento epitaxial, se forman sectores globulares en la superficie de la capa elaborada en último lugar. Estos "equiaxed grains" son gérmenes, que perturban o interrumpen el crecimiento direccional de los cristales.

En la estructura de la siguiente capa superpuesta es de gran importancia, en consecuencia, que estos globulitos se fundan completamente, de forma que desaparezcan las dendritas, que destruirían la estructura monocristalina y/o que no se desarrollen en absoluto bajo la superficie.

Otras superaleaciones, con las que se pueden preparar estructuras monocristalinas acordes al procedimiento de la presente invención, son, por ejemplo, EN 738LC, EN 939, EN 100, B 1914, CM 99, SRR 99, CM- 247 LC, CMSX-2, CMSX-3, CMSX-6, Mar-M002.

El procedimiento, por ejemplo, con un haz de electrones como fuente de energía, se efectúa en vacío. El procedimiento podría realizarse también en vacío con un láser como fuente de energía. En el vacío no es necesario ningún gas protector, pero la manipulación de la fuente de energía del sustrato y del material a alimentar puede conllevar problemas.

Un control de la temperatura puede realizarse a través de una óptica 33, que determina, cuándo debería formarse la siguiente capa epitaxial.

La Figura 3 presenta la zona irradiada 24, cubierta por el rayo energético 2 (perfilada en discontinua). La zona 24 se conduce sobre la superficie 21. Hay entonces una zona interna (gris), que presenta todo el punto focal 3 producido, que surgió por la emisión del rayo energético y una zona externa 27, que fue irradiada por el rayo energético 2, donde la energía era demasiado pequeña, para generar un punto focal 3 (material fundido). Por las caras frontales menores del punto focal 3 se obtiene una distribución homogénea y constante de energía. Éste no es el caso de los puntos focales circulares habituales hasta ahora. El punto focal rectangular 3 se ajusta, por consiguiente, al contorno de la zona a fusionar.

Mediante las apropiadas ópticas regulables o controlables puede ajustarse la sección transversal del rayo durante el tratamiento al ancho deseado. Del mismo modo, puede ajustarse simultáneamente la potencia del láser mediante un ordenador. Una óptica, por

ejemplo, acoplada adicional puede detectar el ancho óptimo de la zona a fundir y transmitirlo *in-situ* a la fuente de energía 15, es decir, puede detectarse cómo tiene que ser el punto focal 3 de ancho. Particularmente se puede evitar, de esta forma, un solapamiento de las zonas 8 yuxtapuestas. El contacto de una zona ya crecida cristalinamente con una zona fundida puede conducir a la desorientación. Esto puede evitarse con el procedimiento conforme a la presente invención, rellenando la zona a rellenar con material 13 sobre la superficie 21 mediante un único movimiento en dirección z. En dirección y se puede repetir varias veces el procedimiento; llevándose a cabo, por consiguiente, una aplicación y fusión por capas.

Sí fuera necesario, también es posible un solapamiento, cuando las líneas 12 estén dimanadas en dirección x, como en el estado actual de la técnica. Sin embargo, mediante el punto focal 3 conforme a la presente invención se obtiene, frente al estado actual de la técnica, por las caras frontales menores del punto focal 3 una distribución de energía homogénea constante en dirección x.

El láser con su longitud de onda de láser se selecciona, de forma que la pieza de trabajo absorba fuertemente y/o refleje más débilmente la energía del rayo láser. Éste es, por ejemplo, el caso de los láseres

Nd:YAG con una longitud de onda de $1,06 \mu\text{m}$ y de los láseres de diodos de alta potencia ($0,81 \mu\text{m}$; $0,94 \mu\text{m}$).

La Figura 4 presenta otra distribución de la intensidad del rayo (punto focal 3) en dirección x.

El punto focal 3 presenta en dirección x, por los extremos del perfil 5, un aumento 36 de la intensidad del aporte energético de la fuente de energía 15 frente a la zona media del punto focal 3. Así pueden compensarse los efectos de la tensión superficial.

La Figura 5 presenta el transcurso del procedimiento acorde al estado actual de la técnica. En el procedimiento acorde al estado actual de la técnica se aplica una capa del material a aplicar transversalmente a la longitud (en dirección x) de la superficie a tratar (11), en cada caso, en cursos delgados (12), que corresponden a la zona de la superficie a tratar, yuxtapuesta. De esta forma resulta el solapamiento o contacto de las orugas individuales de soldadura (cursos, sobre los que crece nuevo material yuxtapuesto), que debido a las condiciones geométricas conducen a un crecimiento no epitaxial con insuficiente alineación cristalina. El rayo láser circular 2 produce un punto focal 3 circular. El rayo láser 2 se desplaza, por consiguiente, bidireccionalmente en dirección x una y otra vez y gradualmente hacia delante en dirección z.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de estructuras metálicas monocristalinas, piezas metálicas monocristalinas o piezas de trabajo metálicas monocristalinas, sobre sustratos (18) mediante crecimiento epitaxial, fundiéndose una superficie a tratar (11) del componente (6) mediante un aporte energético de una fuente de energía (15) por medio de un punto focal (3) de la fuente de energía (15), introduciéndose material (13) en la zona fundida, y fundiendo completamente el material (13) introducido, o fundiendo el material (13) introducido con la superficie (11), pudiendo introducirse el material fundido en la estructura monocristalina, y dejándose solidificar el material fundido, **caracterizado** porque el punto focal (3) presenta una geometría lineal, elíptica o rectangular.

2. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el aporte energético se lleva a cabo con un láser (15).

3. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el aporte energético se efectúa mediante haces de electrones.

4. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el punto focal (3), producido por el aporte energético, para generar una zona fundida con geometría lineal, elíptica o rectangular.

5. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el tamaño del punto focal (3) se modifica durante el procedimiento.

6. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el punto focal (3) presenta extremos de perfil (5), y porque la intensidad del aporte energético se incrementa (36) por los extremos de perfil (5) respecto a la zona media del punto focal (3).

7. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **ca-**

racterizado porque el aporte de material se efectúa a través de al menos una alimentación de material (30), y porque el aporte de material se modifica temporal y localmente.

8. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque se controla la temperatura del punto focal (3).

9. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1 ó 5, **caracterizado** porque el punto focal (3) se desplaza en una dirección de avance (4) sobre el sustrato (18), porque el sustrato (18) presenta una zona, a la que se le añade material (13), y porque el punto focal (3) está adaptado de tal manera a la geometría de esta zona, que un ancho del punto focal (3) está adaptado al ancho de esta zona, transversalmente a la dirección de avance (4).

10. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1 **caracterizado** porque el punto focal se desplaza (3) en una dirección de avance (4) sobre el sustrato (18), porque la dirección de avance (4) se encuentra en la dirección del alargamiento longitudinal de la superficie a tratar (11), y porque la fuente de energía (15) produce un punto focal (3), cuya dimensión transversal a la dirección de avance (4) corresponde al ancho total de la superficie a tratar (11) y, en un único movimiento continuo de avance, se lleva a cabo un barrido completo de la superficie a tratar (11) para la aplicación de una capa continua del material (13).

11. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el procedimiento se efectúa con superaleaciones metálicas.

12. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque el procedimiento se efectúa con sustratos, que contengan una estructura monocristalina o estructuras monocristalinas.

FIG 1

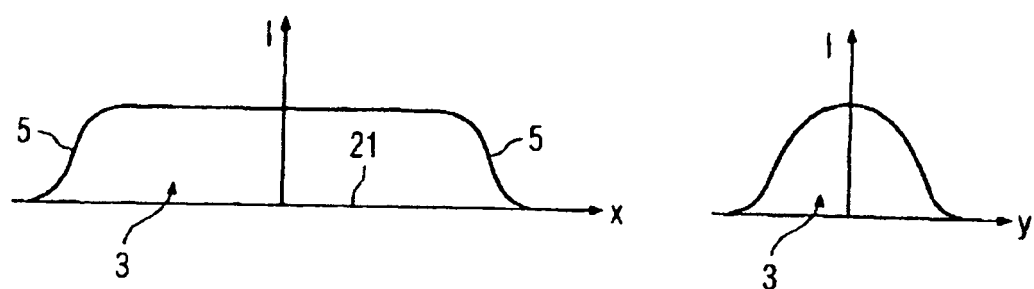


FIG 2

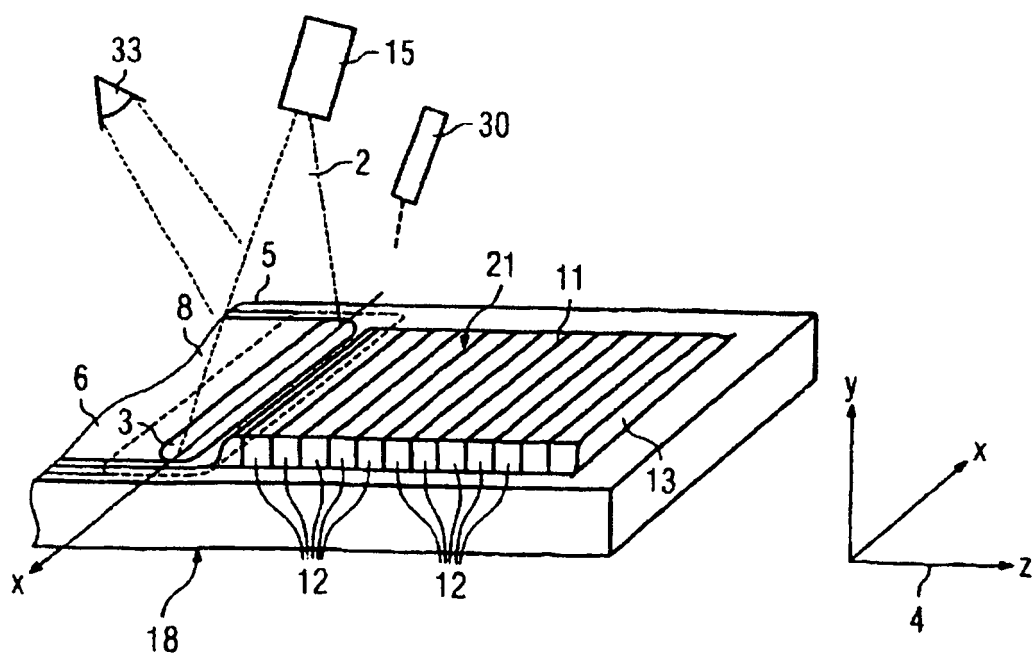


FIG 3

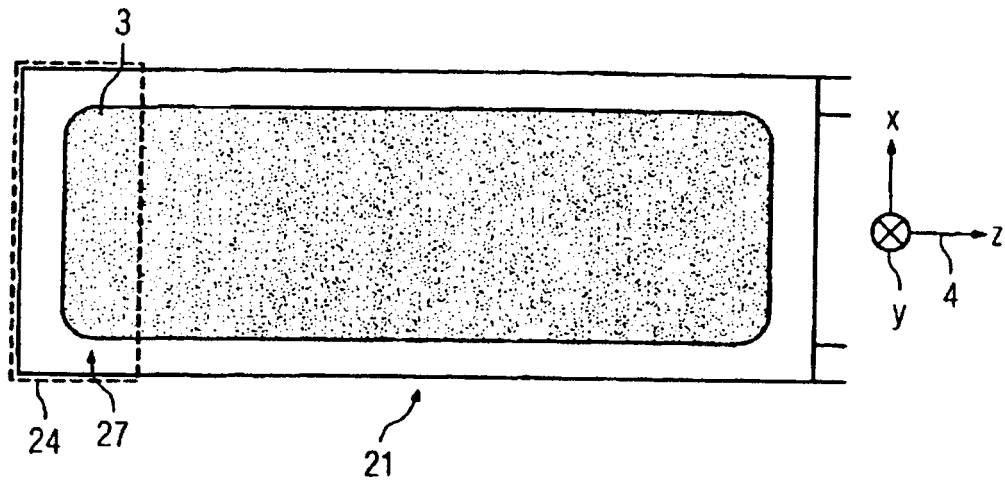


FIG 4

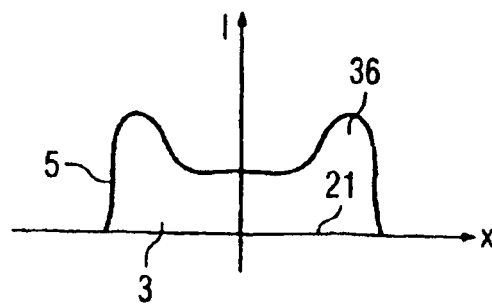


FIG 5

