

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 320**

51 Int. Cl.:

C23C 24/04 (2006.01)

F24J 2/07 (2006.01)

F24J 2/46 (2006.01)

F24J 2/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2010 E 10754482 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2483445**

54 Título: **Tubo central para una central termosolar de concentración lineal con capa absorbente así como procedimiento para aplicar esta capa absorbente**

30 Prioridad:

30.09.2009 DE 102009048672

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

22.01.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München , DE**

72 Inventor/es:

**KRÜGER, URSUS;
REZNIK, DANIEL y
STIER, OLIVER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 527 320 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

Tubo central para una central termosolar de concentración lineal con capa absorbente así como procedimiento para aplicar esta capa absorbente.

5 La invención se refiere a un procedimiento para aplicar una capa absorbente a un tubo central para una central termosolar de concentración lineal. Asimismo la invención se refiere a un tubo central para una central termosolar de concentración lineal con una capa absorbente.

10 Las centrales termosolares de concentración lineal son de conocimiento general. Éstas pueden estar ejecutadas como una central de acanaladuras parabólicas. Éstas presentan unos colectores de acanaladuras parabólicas que tienen una sección transversal parabólica abierta hacia arriba, de tal modo que pueda incidir la luz solar. Los rayos
15 solares son reflejados por la superficie interior de la acanaladura e inciden en un tubo central, en el que circula un fluido acumulador de calor (por ejemplo un aceite o una fusión de sal). El medio de transmisión de calor en el tubo central alimenta el calor por ejemplo a una producción térmica de corriente. Alternativamente también pueden usarse colectores de Fresnel, en los que la luz solar se recoge con una lente de Fresnel en lugar de con un espejo parabólico. A continuación las centrales termosolares de concentración reciben también abreviadamente el nombre de central solar. Además de esto cabe citar que el término central debe entenderse en el sentido más amplio. Con los colectores citados anteriormente no sólo pueden equiparse máquinas térmicas como turbinas, sino que el calor acumulado en el medio acumulador de calor puede aprovecharse también directamente.

20 Para conseguir el mayor grado de eficacia posible de la central solar es necesario alimentar la mayor parte posible de la energía solar al medio de transmisión de calor. Con este fin el tubo central se dota de una capa absorbente selectiva espectralmente, que presenta el mayor grado de absorción solar α posible el menor grado de emisión térmica ϵ posible. Para una transformación eficiente de energía luminosa solar en energía térmica, las capas absorbentes deberían tener en general un gran grado de absorción solar α y un pequeño grado de emisión térmica ϵ a la temperatura de funcionamiento respectiva. Las capas absorbentes selectivas espectralmente están por ello
25 caracterizadas por una reflectividad baja ($\rho \approx 0$) para longitudes de onda λ inferiores a $2 \mu\text{m}$ y una reflectividad alta ($\rho \approx 1$) para longitudes de onda λ superiores a $2 \mu\text{m}$. Por ello existe una necesidad de capas absorbentes selectivas espectralmente que puedan producirse de forma sencilla y económica para centrales termosolares de concentración lineal que, a temperaturas por ejemplo superiores a unos 500°C en el aire, sean estables química y térmicamente. Una capa absorbente ideal tendría un grado de absorción solar $\alpha \geq 0,98$ y un grado de emisión térmica $\epsilon \leq 0,05$, al menos a 500°C . Para un funcionamiento a las llamadas temperaturas medias, en la materialización técnicamente usual de capas absorbentes se busca un grado de absorción solar $\alpha > 0,85$ y un grado de emisión térmica $\epsilon < 0,15$ a 400°C . La resistencia de la capa absorbente al aire en estas condiciones de funcionamiento es otro objetivo fundamental, ya que hace superfluo un encapsulamiento al vacío de los tubos centrales en colectores de acanaladuras parabólicas, hoy todavía imperante y constructivamente complejo.

35 Por ello puede ser concebible tener en cuenta también menores grados de absorción solar α y/o mayores grados de emisión térmica ϵ que los citados anteriormente, si para ello puede conseguirse económicamente más favorablemente la resistencia al aire en las condiciones de funcionamiento buscadas. Estos recubrimientos que pueden producirse económicamente se conocen de instalaciones con acanaladuras parabólicas comerciales para temperaturas de funcionamiento de hasta 300°C (empresa SOLERA sunpower), que están diseñadas principalmente para la generación de calor de procesamiento pero no para generar corriente. Sin embargo, no son adecuados para
40 temperaturas de funcionamiento muy superiores, de unos 400°C .

45 Conforme al documento US 4,005,698 es conocido poner a disposición en general superficies como transformadores en banda ancha para energía luminosa, que tengan unas características superficiales de tipo dendrita. Aquí es importante que las dendritas estén situadas en el margen de la longitud de onda o de múltiplo bajo de esta longitud de onda, en cuanto a su altura y su separación, para garantizar una absorción óptima de la luz de la longitud de onda correspondiente. Las capas dendríticas pueden precipitarse a partir de la fase gaseosa conforme al documento US 4,005,698.

50 Conforme al documento DE 197 43 428 A1 y al documento EP 0 015 487 A1 se describen unos colectores solares térmicos, cuya estructura es conocida fundamentalmente desde hace tiempo. Estos presentan siempre una unidad colectora óptica, por ejemplo en forma de un espejo parabólico, con el que se centra la radiación solar. En el centro colector para la radiación solar se encuentra un medio, que puede recoger la radiación solar y es guiado por ejemplo en un tubo central.

55 Conforme al documento DE 27 25 914 A1 se describe que un tubo central de este tipo o una unidad colectora comparable para la radiación solar puede dotarse de un recubrimiento, que mejora la absorción de la luz solar. Éste puede estar compuesto por ejemplo por una capa de carburo metálico, que se crea mediante atomización y precipitación de los componentes de capa sobre el tubo central. Los valores que pueden conseguirse aquí para la rugosidad de la superficie de la capa creada están dentro del margen de los nanómetros.

La tarea de la invención consiste en indicar un tubo central con capa absorbente, respectivamente un procedimiento para recubrir este tubo central con una capa absorbente, con el que pueda conseguirse un grado de eficacia razonablemente elevado de la central solar, en donde la capa absorbente sin embargo debe poder producirse de una forma relativamente económica o hacer posible unos costes de producción reducidos de la estructura total, por ejemplo debido a que la capa absorbente sea resistente al aire.

Esta tarea es resuelta conforme a la invención con el procedimiento citado al comienzo, por medio de que la capa absorbente se aplica mediante inyección con gas frío. En el caso de la inyección con gas frío se trata precisamente de forma ventajosa de un procedimiento con el que pueden conseguirse las velocidades de aplicación, respectivamente los grosores de capa, relativamente elevada(s), normales para procedimientos de inyección térmicos. Por ello este procedimiento puede utilizarse ventajosamente de forma muy económica. Por otro lado, mediante la inyección con gas frío pueden conseguirse las conductividades térmicas normales de las capas creadas, para capas precipitadas o pulverizadas iónicamente de forma electroquímica o desde la fase gaseosa, que también condicionan la idoneidad funcional de la capa absorbente. Evidentemente puede prescindirse ventajosamente de los procedimientos habituales de precipitación electroquímicos o desde la fase gaseosa, respectivamente de la pulverización iónica, ya que aquí sólo pueden crearse directamente unos grosores de capa muy reducidos y por lo tanto tendría que repetirse varias veces el proceso de recubrimiento, con lo que el procedimiento de recubrimiento se encarecería considerablemente. Asimismo es ventajoso que la capa absorbente sea resistente a la erosión por polvo, en especial arena, ya que las centrales solares se erigen de forma preferida en regiones que también tienen un suelo seco.

De forma preferida para la inyección con gas frío, que también recibe el nombre de inyección cinética, se utiliza una instalación de inyección con gas frío que presenta una instalación calefactora de gas para calentar un gas. A la instalación calefactora de gas se conecta una cámara de estancamiento, que en el lado de salida se une a una tobera convergente-divergente, de forma preferida una tobera de Laval. Las toberas convergentes-divergentes presentan un segmento parcial convergente así como un segmento parcial que se ensancha, que están unidos mediante un cuello de tobera. La tobera convergente-divergente genera en el lado de salida un chorro de polvo en forma de una corriente gaseosa con unas partículas situadas dentro de la misma con una elevada velocidad, de tal manera que la energía cinética de las partículas es suficiente para que éstas permanezcan adheridas sobre la superficie a recubrir.

Conforme a una configuración ventajosa de la invención está previsto que se precipiten una capa multi-estrato (designada desde ahora también con el término habitual capa multilayer) o una capa de gradiente o varios estratos formados por capas de gradiente, es decir, una capa multi-estrato cuyos estratos están estructurados en cada caso como capas de gradiente. Aquí pueden modificarse ventajosamente los parámetros de procedimiento durante el recubrimiento mediante inyección con gas frío, de tal modo que las capas puedan adaptarse ventajosamente de forma óptima al perfil de requisitos de las capas absorbentes.

Conforme a otra configuración de la invención está previsto variar el material y/o la estructura estructural de la capa absorbente en la dirección perimétrica del tubo central, de tal modo que la característica espectral de absorción/emisión de la capa absorbente, después del montaje del tubo de absorción por ejemplo en un espejo parabólico en el lado vuelto hacia el cielo (designado desde ahora como lado superior) del tubo central, sea distinta a en el lado vuelto hacia el vértice del reflector formado por el espejo parabólico (designado desde ahora como lado inferior). Por medio de esto puede ajustarse ventajosamente la acción de la capa absorbente a la distribución de temperatura irregular sobre el perímetro del tubo central, que resulta de la intensidad de radiación irregular. El lado inferior del tubo central está sometido precisamente, a causa del uso de los reflectores, a una luz solar más concentrada que el lado superior y según esto se calienta más que éste. Debido a que el tubo central está fabricado de forma preferida con acero (en especial acero fino), el calentamiento irregular sólo puede compensarse precisamente en parte mediante conducción térmica dentro de la pared de tubo a lo largo del perímetro. El recubrimiento conforme a la invención mediante inyección con gas frío se realiza por principio localmente siempre solamente en el punto de incidencia del chorro de gas frío. Esto permite ventajosamente ajustar la variación antes citada de la capa absorbente entre el lado superior y el lado inferior del tubo central fácilmente mediante la modificación de los parámetros de recubrimiento y/o el cambio del polvo de inyección, al contrario que en las capas precipitadas electroquímicamente o desde la fase gaseosa según el estado de la técnica. Es especialmente ventajoso para la fabricación en grandes series utilizar al mismo tiempo varias toberas de inyección con gas frío y producir, con cada parámetro de procesamiento y/o polvo de recubrimiento diferente en su aplicación, las zonas deseadas sobre el perímetro del tubo central.

La variación antes citada de las características de capa entre un lado superior y un lado inferior es sólo a modo de ejemplo. En el caso de otras formas de reflector o formas constructivas pueden ajustarse otras configuraciones de intensidad de radiación y/o temperatura irregular a lo largo del perímetro, a las que puede adaptarse de forma especialmente sencilla la característica espectral de absorción/emisión de la capa absorbente a causa del procedimiento conforme a la invención.

Conforme a otra configuración de la invención está previsto variar el material y/o la configuración estructural de la capa absorbente (también) en la dirección longitudinal del tubo central. Precisamente en algunas formas constructivas usuales de centrales termosolares de concentración lineal por éste fluye un líquido, que se calienta por medio de esto. En la dirección de flujo aumenta por ello constantemente la temperatura de este líquido, de tal manera que éste en el segmento de tubo por el que pasa flujo en último lugar es más caliente que el segmento de tubo por el que pasa flujo en primer lugar. Según el grosor de pared del tubo central la temperatura del líquido influye en la temperatura de la capa absorbente, incluso si la intensidad de radiación es uniforme en la dirección longitudinal del tubo. También la capa absorbente es después más caliente de forma estacionaria en el segmento de tubo por el que pasa flujo en último lugar que en el segmento de tubo por el que pasa flujo en primer lugar. Conforme aumenta la temperatura de la capa absorbente aumenta la potencia térmica radiada inútilmente conforme a la ley de Stefan-Boltzmann. El recubrimiento conforme a la invención mediante inyección con gas frío hace aquí posible, de forma ventajosa, variar con medios sencillos la característica espectral de absorción/emisión de la capa absorbente en la dirección longitudinal del tubo, de tal manera que en el segmento de tubo más frío, por el que pasa flujo en primer lugar, el grado de absorción pueda aumentarse a costa de la emisividad, mientras que en el segmento caliente, por el que pasa flujo en último lugar, la emisividad puede reducirse a costa del grado de absorción.

Es posible producir los recubrimientos con wolframio, molibdeno, níquel, níquel-estaño, bronce, cobre, latón, cinc, hierro, acero, cobalto, cromo, aluminio, plata o mezclas de estos metales. Conforme a otra configuración un recubrimiento configurado como se ha descrito anteriormente contiene, adicionalmente, una o varias de las siguientes sustancias: nitruro de aluminio, sulfuro de plomo; silicio; germanio; un óxido o varios óxidos de wolframio, molibdeno, níquel, cobre, cinc, hierro, cobalto, cromo, aluminio, manganeso o silicio; un carburo o varios carburos o un siliciuro o varios siliciuros de wolframio, molibdeno, tántalo, hierro, cromo o titanio. Los recubrimientos pueden producirse con rugosidades de entre 0,5 y 6 μm . Esta rugosidad no descarta que la superficie de la capa absorbente presente al mismo tiempo una topología más basta de la superficie, que esté superpuesta a la rugosidad (por ejemplo pistas de inyección en frío, que se producen a causa de la conducción del chorro de gas frío sobre la superficie a recubrir).

Por rugosidad en el sentido de esta invención debe entenderse una medida, que describe la separación respectiva de los vértices superiores de las elevaciones que crean la rugosidad. Aquí hay que ajustarse a elevaciones con unas dimensiones geométricas en cada caso similares, en donde en el perfil de superficie también pueden sobreponerse elevaciones con una magnitud diferente, es decir, con unas dimensiones no similares geoméricamente. Pueden verse por ejemplo elevaciones mayores con separaciones mutuas respectivas de 6 μm y elevaciones menores con separaciones mutuas de 0,5 μm .

La rugosidad en presencia de elevaciones de diferente magnitud puede medirse como se expone a continuación. Repartidos sobre un área con un diámetro de por ejemplo 50 μm se miden valores en altura para la superficie. Con estos puede establecerse la rugosidad cuadrática. La llamada rugosidad cuadrática (en inglés rms-roughness = root-mean-squared roughness: valor cuadrático medio) se calcula a partir de la desviación cuadrática media y se corresponde con el valor cuadrático de las desviaciones de los valores en altura.

La rugosidad en presencia de elevaciones de diferente magnitud puede medirse también alternativamente como se expone a continuación. Las elevaciones y depresiones de la superficie de la capa absorbente S están repartidas aleatoriamente de la manera siguiente: F es un sector superficial de S, que se ha establecido como cuadrado con una longitud de canto de 50 x 50 μm . El tamaño se ha elegido de tal modo que la medición no puede detectar periodos superiores a 141 μm (el doble de la diagonal cuadrática). Las sinuosidades a causa de las pistas de inyección con gas frío aisladas, que debido al procedimiento de recubrimiento elegido sólo pueden evitarse con dificultad o de ninguna forma, son de este modo por así decirlo invisibles. Sin embargo, 50 μm son suficientemente grandes como para ver pequeños múltiplos de las longitudes de onda en el infrarrojo cercano.

A es una superficie de compensación toroidal, que dentro de F representa el recorrido superficial tridimensional medio de S. Ésta se compone de un sector formado por un anillo circular, que puede adaptarse bien a F, en donde aquí puede tenerse en cuenta por ejemplo la curvatura del tubo central. La proyección F' de F sobre A es sencillamente coherente, cuadrangular, rectangular y equilátera (por así decirlo un cuadrado no plano) con una longitud de canto de 50 μm . La altura (o profundidad) H de S en un punto P de F es la distancia tridimensional enderezada entre P y A. H es entonces una función que fluctúa alrededor de cero sobre F' y prosigue periódicamente fuera de F'. El espectro de Fourier bidimensional de H no presenta después, para ninguna de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos superiores a 6 μm , unas amplitudes que sean mayores que las amplitudes de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos inferiores a 6 μm . Esto puede medirse para cada sector F de S.

El resultado de medición explicado puede describirse también de la manera siguiente. Las distancias superiores a 6 μm entre elevaciones son estadísticamente tan raras, que no juegan ningún papel. De este modo la parte predominante de las estructuras es lateralmente tan grande como aquellas longitudes de onda en el infrarrojo cercano que componen la mayor parte de la intensidad de la radiación de cuerpo negro a temperaturas de 500°C.

Las superficies inyectadas con gas frío que tienen esta rugosidad pueden reflejar difusamente y absorber bien en el margen solar de longitudes de onda, pero en el infrarrojo cercano reflejan de forma especular, por lo que se comportan como superficies lisas con relación a la radiación solar a temperaturas de funcionamiento de hasta 500°C. Es decir, su rugosidad no produce ventajosamente ningún aumento de la superficie de emisión efectiva y por lo tanto ningún aumento de la potencia radiada inútilmente. Esta rugosidad puede crearse mediante inyección con gas frío, con un polvo de inyección especialmente adecuado.

Son adecuados polvos de inyección que contengan predominantemente partículas con un tamaño aproximado al de la rugosidad buscada, en donde debe tenerse en cuenta su deformación al incidir sobre la superficie. Por ello deberían tener un diámetro medio inferior a 10 μm . Alternativa o complementariamente a esto el polvo de inyección puede contener unos significativos porcentajes máxicos de partículas, que no sean esféricas sino formas irregulares con esquinas y cantos. Estas partículas pueden ser también mayores que 10 μm , ya que sus esquinas y cantos crean después de la inyección la rugosidad de la superficie de capa. Mientras que las partículas esféricas se producen con frecuencia mediante atomización gaseosa, las partículas irregulares adecuadas pueden producirse a escala comercial por ejemplo mediante atomización acuosa, sinterización y trituración, o bien mediante precipitación electrolítica. La forma irregular de estas partículas no sólo puede facilitar el ajuste de la rugosidad buscada de la superficie de la capa absorbente, sino que favorece también básicamente el propio proceso de inyección con gas frío, ya que estas partículas en la tobera de inyección para la inyección con gas frío se aceleran más que las partículas esféricas con la misma masa. Esto tiene aquí una importancia especial, porque muchos de los materiales en polvo conforme a la invención tienen un peso específico entre alto y muy alto, sobre todo el wolframio y el carburo de wolframio. Como consecuencia de su mayor velocidad, las partículas irregulares producen una estructura de capa más resistente que las partículas esféricas con el mismo peso.

Si finalmente no puede producirse la rugosidad óptima de entre 0,5 y 6 μm mediante el proceso de precipitación, puede mejorarse también mediante un post-tratamiento superficial, por ejemplo chorros de arena o cauterización química.

Conforme a la invención, debajo de los recubrimientos explicados anteriormente se encuentran unas capas absorbentes de metal duro con contenido de carburo de wolframio resistente a la corrosión, en especial WC-CoCr, WC-Co, WC-FeCo, WC-FeC, WC-FeNi, WC-Ni o WC-NiCr. Éstas no sólo son resistentes al aire durante mucho tiempo a temperaturas superiores a 500°C, sino también extraordinariamente resistentes a la erosión y pueden producirse bien mediante inyección con gas frío con polvo disponible comercialmente, fino y conformado irregularmente.

Las capas con componentes oxídicos pueden precipitarse con ello mediante mezclado de polvos metálicos con polvos oxídicos mediante inyección con gas frío, en donde la mezcla de polvo se alimenta a la tobera de inyección con gas frío. Otra posibilidad consiste en la aplicación de un procedimiento de inyección con gas frío reactivo, en el que se produce una oxidación de las partículas de polvo al menos en las superficies, por medio de que al chorro de gas frío se añade mezclando un gas reactivo. Una reacción así puede apoyarse adicionalmente mediante activación, por ejemplo mediante radiación de microondas o mediante un láser. Aparte de esto es también posible precipitar primero capas metálicas, mediante inyección con gas frío, y oxidar éstas en un paso de procedimiento separado.

Conforme a otra configuración de la invención está previsto que los parámetros de procedimiento se elijan de tal modo, a la hora de crear la región de la capa absorbente próxima al sustrato, que se obtenga una estructura de capa al menos en gran medida libre de poros. Por medio de esto puede conseguirse ventajosamente que la conductividad térmica de la capa creada se mejore ventajosamente hasta la región superficial directa. Con la inyección con gas frío pueden producirse precisamente unas capas casi libres de poros, en donde los parámetros de procedimiento, que conducen a la creación de capas libres de poros, producen también ventajosamente una adherencia especialmente fuerte de la capa creada sobre el sustrato. Esta adherencia es ventajosa a causa del gran número de termociclos (entre día y noche), al mismo tiempo que un gran aumento de temperatura que es característico de las centrales termosolares de concentración lineal. La inyección con gas frío tiene con ello además la ventaja de que las capas creadas casi no contienen ninguna tensión propia mecánica, que afectaría negativamente a la capa adicionalmente a los ciclos de temperatura.

Asimismo la tarea indicada anteriormente es resuelta mediante un tubo central para una central termosolar de concentración lineal con una capa absorbente, que se compone de un metal duro con contenido de carburo de wolframio resistente a la corrosión, en especial WC-CoCr, WC-Co, WC-FeCo, WC-FeC, WC-FeNi, WC-Ni o WC-NiCr, en donde esta capa absorbente presenta una rugosidad de entre 0,5 y 6 μm , cuyo perfil de superficie puede describirse mediante un espectro de Fourier bidimensional de la posición en altura H dependiente del lugar, que no presenta, para ninguna de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos superiores a 6 μm y menores como máximo a 50 μm , unas amplitudes que sean mayores que la amplitud máxima de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos inferiores a 6 μm . Esta rugosidad superficial puede crearse ventajosamente con la inyección con gas frío indicada anteriormente y conduce a una optimización del comportamiento de emisión de la capa absorbente.

Conforme a una configuración del tubo central, está previsto que éste presente un grado de absorción solar de $\alpha > 85\%$ y un grado de emisión térmica $\epsilon < 15\%$. Esto puede conseguirse, por un lado, mediante la rugosidad superficial de la capa absorbente creada y, por otro lado, mediante la elección de material ya explicada.

5 A continuación se describen otros detalles de la invención con base en el dibujo. Los elementos del dibujo iguales o que se correspondan están dotados en las distintas figuras en cada caso de los mismos símbolos de referencia y sólo se explican varias veces en el caso de que existan diferencias entre las distintas figuras. Aquí muestran

la figura 1 un corte a través de un segmento parcial del tubo de absorción conforme a la invención como ejemplo de ejecución de la invención, producido mediante inyección con gas frío, y

10 la figura 2 una vista fragmentaria superficial idealizada, muy aumentada, de un ejemplo de ejecución de la invención de la superficie de absorción en una vista tridimensional.

Conforme a la figura 1 un tubo central 11 para una central de acanaladuras parabólicas se compone por ejemplo de acero. Sobre éste se ha aplicado una capa absorbente 12, que está ejecutada como capa multi-estrato. Ésta presenta un estrato 13, que se ha producido con unos parámetros de procedimiento distintos a los del estrato 14. El estrato 13 se asienta sobre la superficie 15 del tubo de absorción 11 y presenta una estructura libre de poros con una buena adherencia sobre la superficie 15. El estrato 14 es la parte de esta capa que forma la superficie 15 de la capa absorbente 12. Mediante otros parámetros de procedimiento durante la inyección con gas frío se obtiene una estructura de capa algo más esponjosa con unos poros 17, en donde las partículas inyectadas se deforman menos a causa de una menor entrada de energía. En especial se mantiene casi por completo su estructura superficial, que presenta una menor emisividad en el infrarrojo cercano.

20 En la figura 2 puede reconocerse una vista fragmentaria de la superficie así producida. Para ofrecer una presentación de las dimensiones de las elevaciones 18, que se crean mediante la estructura superficial de las partículas inyectadas, en la figura 2 se indican las unidades de longitud en μm . Asimismo puede reconocerse que, aparte de la rugosidad formada por la elevación 18, también se crea una rugosidad con una escala mayor, que se produce mediante la incidencia de partículas aisladas. Esto se ha indicado mediante líneas a trazos y puntos, en donde la esquina trasera en la vista en perspectiva de la vista fragmentaria representada forma por así decir el punto medio de una colina 19, que se ha formado mediante una sola partícula muy grande incidente. La rugosidad en las dimensiones de las partículas también se ha indicado en la figura 1.

30 En la figura 2 también queda claro que las elevaciones 18 presentan en cada caso unos vértices 20, en donde la rugosidad se entiende en el sentido de que estos vértices 20 presentan con respecto a los vértices 20 adyacentes en cada caso unas distancias de entre 0,5 y 6 μm . Al mismo tiempo queda claro que el nivel de los puntos más bajos 21 de las depresiones también se mueven dentro de un orden de magnitud de entre 1 y 4 μm .

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para aplicar una capa absorbente (12) a un tubo central (11) para una central termosolar de concentración lineal, caracterizado porque la capa absorbente (12) se aplica mediante inyección con gas frío, en donde como material se precipita metal duro con contenido de carburo de wolframio resistente a la corrosión, en especial WC-CoCr, WC-Co, WC-FeCo, WC-FeC, WC-FeNi, WC-Ni o WC-NiCr.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la superficie de la capa absorbente (12) está producida con una rugosidad cuadrática de como máximo $1\ \mu\text{m}$ en una región próxima de como máximo $50\ \mu\text{m}$ de diámetro.
- 10 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se precipita una capa multi-estrato o una capa de gradiente o una capa multi-estrato formada por estratos de gradiente.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los parámetros de procedimiento se eligen de tal modo, a la hora de crear la región de la capa absorbente (11) próxima al sustrato, que se obtiene una estructura de capa al menos en gran medida libre de poros.
- 15 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los parámetros de procedimiento y/o las partículas para recubrir, a la hora de crear la capa sobre el tubo central en la dirección perimétrica y/o en la dirección longitudinal del tubo central, se varían de forma diferente.
- 20 6. Tubo central para una central termosolar de concentración lineal con una capa absorbente, caracterizado porque ésta se compone de un metal duro con contenido de carburo de wolframio resistente a la corrosión, en especial WC-CoCr, WC-Co, WC-FeCo, WC-FeC, WC-FeNi, WC-Ni o WC-NiCr, en donde la capa absorbente presenta una rugosidad de entre $0,5$ y $6\ \mu\text{m}$, cuyo perfil de superficie puede describirse mediante un espectro de Fourier bidimensional de la posición en altura H dependiente del lugar, que no presenta, para ninguna de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos superiores a $6\ \mu\text{m}$ y menores como máximo a $50\ \mu\text{m}$, unas amplitudes que son mayores que la amplitud máxima de las frecuencias espaciales que se corresponden con periodos inferiores a $6\ \mu\text{m}$.
- 25 7. Tubo central según la reivindicación 6, caracterizado porque la superficie de la capa absorbente (12) presenta una rugosidad cuadrática de como máximo $1\ \mu\text{m}$ en una región próxima de como máximo $50\ \mu\text{m}$ de diámetro.
8. Tubo central (11) según una de las reivindicaciones 6 a 7, caracterizado porque éste presenta un grado de absorción solar $\alpha > 85\%$ y un grado de emisión térmica $\epsilon < 15\%$, al menos a 400°C .
- 30 9. Tubo central (11) según una de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque el material y/o la configuración estructural de la capa absorbente (12) son diferentes en la dirección perimétrica y/o en la dirección longitudinal del tubo central (11).
10. Tubo central según la reivindicación 9, caracterizado porque la característica de absorción y de emisión de la capa absorbente (12) en la dirección perimétrica y/o en la dirección longitudinal del tubo central (11) es diferente.

