

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 881 679**

51 Int. Cl.:

B29C 73/18 (2006.01)

B29C 35/02 (2006.01)

B29C 35/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2018** **E 18382424 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.04.2021** **EP 3581371**

54 Título: **Un método y un sistema para autorreparar un objeto**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.11.2021

73 Titular/es:

**FUNDACIÓ INSTITUT DE CIÈNCIES FOTÒNIQUES
(50.0%)
Parque Mediterráneo de la Tecnología, Av. Carl
Friedrich Gauss 3
08860 Castelldefels (Barcelona, ES y
INSTITUCIÓ CATALANA DE RECERCA I ESTUDIS
AVANÇATS (50.0%)**

72 Inventor/es:

**STAVRINADIS, ALEXANDROS;
POWELL, ALEXANDER;
KONSTANTATOS, GERASIMOS y
QUIDANT, ROMAIN**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 881 679 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

Un método y un sistema para autorreparar un objeto

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se refiere, en un primer aspecto, a un método de acuerdo con la reivindicación 1 para producir un objeto y para autorreparar dicho objeto, fusionando entre sí porciones de una región dañada con calor generado desde partículas ópticamente resonantes dispersadas dentro del objeto y ya utilizadas para la fabricación del objeto.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema según la reivindicación 14 adaptado para implementar el método del primer aspecto.

- 10 La invención se aplica particularmente a la autorreparación de objetos 3D (tridimensionales) fabricados mediante fabricación aditiva, utilizando un proceso de deposición capa por capa.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 15 Se conocen diferentes propuestas en el estado de la técnica con respecto a métodos para autorreparar objetos. Algunos de ellos se basan en la incorporación de diferentes tipos de partículas dentro de una matriz polimérica que se solidificará para formar el objeto.

- 20 Una de esas propuestas se describe en Rule, J. D., Brown, E. N., Sottos, N. R., White, S. R. y Moore, J. S. (2005). "Wax-protected catalyst microspheres for efficient self-healing materials". Advanced Materials, 17 (2), 205-208, que describe la incorporación de agentes curativos micro-encapsulados y catalizadores dispersos en una matriz polimérica, de modo que la auto-curación se produce por polimerización dentro de una fisura. Un método de curación de micro-cápsulas de este tipo puede reparar oportunamente la ubicación dañada de los materiales, pero los tiempos de reciclaje son limitados debido al consumo local de micro-cápsulas. Además, los catalizadores son costosos y la eficacia de curación y la estabilidad del catalizador dentro de la matriz son problemáticas.

- 25 Otra de dichas propuestas se da a conocer en "Highly efficient thermogenesis from Fe₃O₄ nanoparticles for thermoplastic material repair both in air and underwater", J. Mater. Chem. A, 2017, 5, 1221, y también en el documento de patente CN105385144A, describiendo ambos la fabricación de un objeto vertiendo en un molde y solidificando en él una mezcla de un polímero con partículas de Fe₃O₄, de modo que cuando el objeto así fabricado se dañe, pueda ser reparado mediante la iluminación de la región dañada, ya que debido a las propiedades absorbentes ópticas de las partículas de Fe₃O₄ se consigue un efecto foto-térmico que calienta el polímero de modo que la región dañada se autorrepara por termogénesis.

- 30 La eficiencia foto-térmica de las partículas utilizadas en dicha propuesta, es decir, partículas de Fe₃O₄, es claramente mejorable. Además, esas partículas no son partículas utilizadas como fuentes de calor para el proceso de fabricación, sino que se agregan específicamente para el proceso de autorreparación.

- 35 Por otro lado, aunque se conoce en la técnica el uso, en un proceso de fabricación, de partículas ópticamente resonantes como fuentes de calor para fusionar porciones de un material polimérico para formar un objeto, la reutilización de esas partículas ópticamente resonantes para Se desconoce la autorreparación del objeto así fabricado.

Es, por tanto, necesario proporcionar una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas halladas en el mismo, proporcionando un método y un sistema de autorreparación de un objeto que no presente los inconvenientes mencionados anteriormente asociados a las propuestas existentes.

- 40 El documento de patente US 2016/096956 A1 describe otro método para autorreparar un objeto. Este documento describe la incorporación de agentes curativos micro-encapsulados y catalizadores (micro-esferas catalizadoras protegidas con cera) dispersos en una matriz polimérica, de modo que la auto-curación se produce por polimerización dentro de una fisura.

EXPOSICION DE LA INVENCION

- 45 Con tal fin, la presente invención se refiere, en un primer aspecto, a un método para producir y autorreparar un objeto, en el que dicho objeto comprende una matriz de un material en forma sólida continua con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, y en el que dicha matriz se ha fabricado al menos fusionando parcialmente entre sí (generalmente, sinterizando y/o fundiendo) partículas y/o material particular de dicho material en una forma sólida no continua (como en polvo o en forma de material particular) con calor transferido desde dichas partículas ópticamente resonantes que se han generado por las mismas al resonar ópticamente inducidas por su exposición a una radiación electromagnética de construcción.

- 50 El método comprende exponer una región dañada de dicho objeto a radiación electromagnética de reparación para ser absorbida por al menos algunas de dichas partículas ópticamente resonantes que están dispersadas en su interior para

resonar ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí (generalmente, sinterizando y/o fundiendo) porciones de dicha matriz en contacto térmico con las mismas.

Por lo tanto, se realiza una reutilización, como fuentes de calentamiento, de las partículas ópticamente resonantes ya utilizadas para el proceso de fabricación del objeto, sin necesidad de incrustar en la matriz partículas específicas y exclusivas para el proceso de autorreparación.

El término "autorreparación" se ha utilizado en el presente documento para referirse a un proceso de reparación que se produce principalmente debido a la naturaleza o propiedades del objeto dañado, en este caso con la ayuda de la exposición antes mencionada a una radiación electromagnética de reparación.

Generalmente, el material al menos parcialmente fusionado se enfría para solidificar, tanto para la fabricación del objeto como, según el método del primer aspecto de la invención, para la reparación de la región dañada. Dicho enfriamiento puede llevarse a cabo disminuyendo activamente la temperatura del objeto o región dañada, por ejemplo, con algún tipo de medio de refrigeración, o simplemente dejando el objeto en reposo para que se enfríe durante algún tiempo, por ejemplo, a temperatura ambiente.

Preferiblemente, el material de la matriz está hecho para absorber un 50% menos eficientemente la radiación electromagnética de reparación en comparación con las partículas ópticamente resonantes.

Dependiendo de la realización, las identificadas anteriormente como radiación electromagnética de construcción y radiación electromagnética de reparación son radiaciones iguales o diferentes, pero en cualquier caso cada una de ellas tiene un rango de longitud de onda que al menos en parte solapa la longitud de onda de absorción de las partículas ópticamente resonantes.

Para una realización, dicha longitud de onda incluye una longitud de onda específica en la que las partículas ópticamente resonantes tienen un pico resonante, ya sea su pico resonante más fuerte o no, y/o una longitud de onda incluida al menos en sus espectros de resonancia de absorción.

En la presente invención, las radiaciones electromagnéticas de construcción y de reparación pueden ser, para algunas realizaciones, en forma de microondas, luz visible, fuentes de banda ancha o banda estrecha de luz ultravioleta (UV), NIR (infrarrojo cercano, del inglés "Near InfraRed") u ondas electromagnéticas de infrarrojo medio o infrarrojo lejano, o una combinación de las mismas.

Una lista no limitada de fuentes para tales radiaciones puede ser: láser, LED, cualquier tipo de lámparas de luz, como lámparas halógenas y lámparas infrarrojas, barras calefactadas, lámparas de destello, láser (con una sola longitud de onda o con una pluralidad de longitudes de onda), otras fuentes de banda ancha o de banda estrecha de luz ultravioleta (UV), radiación electromagnética visible o infrarroja. La longitud de onda de la fuente se puede ajustar para que coincida con la resonancia de las partículas ópticamente resonantes.

En una realización, las radiaciones electromagnéticas de construcción y/o de reparación se producen mediante una lámpara que emite radiación que según sus características espectrales puede ser considerada exclusivamente como la radiación electromagnética de construcción o de reparación. En otra realización, la radiación electromagnética de construcción y/o de reparación puede ser producida por una fuente de radiación que emite radiación de la que sólo una parte puede considerarse como la radiación electromagnética de construcción y/o de reparación.

Dado que las radiaciones electromagnéticas de construcción y de reparación son principalmente absorbidas y resultan en el calentamiento de dichas partículas ópticamente resonantes, dichas radiaciones electromagnéticas son preferiblemente parcialmente resonantes, y más preferiblemente completamente resonantes, a la resonancia de las partículas ópticamente resonantes. Dicha resonancia puede ser cualquiera o una combinación de los siguientes tipos de resonancia: resonancia Mie o/y resonancia plasmónica, resonancia en modo de galería susurrante, resonancia de transición electrónica de portadores de carga. En lo anterior, "parcialmente resonante" se refiere al caso en el que la radiación electromagnética de construcción y la de reparación contiene algunos fotones de longitudes de onda que coinciden con las longitudes de onda en las que las partículas ópticamente resonantes exhiben cualquiera de los tipos de resonancia antes mencionados. Además, en lo anterior, "totalmente resonante" se refiere al caso en el que la radiación electromagnética de construcción y la de reparación solo contiene fotones de longitudes de onda que coinciden con las longitudes de onda en las que las partículas ópticamente resonantes exhiben cualquiera de los tipos de resonancia antes mencionados.

Idealmente, la radiación electromagnética de construcción y la de reparación puede ser de un rango de longitud de onda que cubra todo el espectro de la radiación de cuerpo negro, incluido un rango de longitud de onda de 100 nm a 3000 nm, preferiblemente de 250 nm a 2000 nm, y más preferiblemente de 400 nm a 2000 nm, ya que la radiación de tales longitudes de onda generalmente no es absorbida fuertemente por el material utilizado para hacer la matriz del objeto. Las partículas ópticamente resonantes se pueden ajustar de modo que su pico resonante más fuerte y/o si no, o son resonantes múltiples, la mayor parte de sus espectros de salida o de absorción esté en dichos rangos de longitud de onda.

Cada una de las radiaciones electromagnéticas de construcción y reparación puede ser una radiación de un múltiplo de longitudes de onda en las que al menos algunas de ellas son absorbidas por las partículas ópticamente resonantes.

Para una realización, las partículas ópticamente resonantes están hechas, y dispuestas dentro de dicha matriz, para mantener sus propiedades ópticas resonantes para generar calor suficiente para al menos fusionar parcialmente entre sí aquellas partes de dicha matriz en contacto térmico con las mismas, durante una pluralidad de veces.

5 Para una realización, el material de la matriz mencionada anteriormente es un material termoplástico, mientras que para otra realización dicho material es un material elastomérico, ya sea termoplástico o no.

Ventajosamente, dicho material elastomérico tiene propiedades elásticas y termo-mecánicas para poder recuperar sustancialmente su consistencia original en cuanto a propiedades mecánicas y/o continuidad espacial.

En una realización, el material de la matriz puede estar constituido por partículas de un diámetro de 0,001 a 1000 μm , y preferiblemente de un diámetro de 0,1 a 100 μm , y lo más preferiblemente de 1 a 100 μm .

10 En otra realización, el material de la matriz consiste en cualquiera o cualquier combinación de los siguientes tipos de materiales: copolímeros de bloque estirénico, TPS (TPE-s), elastómeros de poliolefinas termoplásticos, TPO (TPE-o), vulcanizados termoplásticos, TPV (TPE-v o TPV), Poliuretanos termoplásticos, TPU (TPU), copoliéster termoplástico, TPC (TPE-E), poliamidas termoplásticas, TPA (TPE-A).

15 Para una realización preferida del método del primer aspecto de la presente invención, en el objeto, tanto antes como después de realizar la autorreparación descrita anteriormente, las partículas ópticamente resonantes están dispersadas en una forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada dentro del material que está en una forma sólida continua, incluida la región dañada autorreparada, de modo que las propiedades de calentamiento y las propiedades ópticas de las partículas ópticamente resonantes no se vean afectadas negativamente, y se puedan usar una pluralidad de veces para fines de autorreparación.

20 En el presente documento, los términos "sustancialmente no aglomerado" y "sustancialmente no auto-sinterizado" se utilizan para definir la falta de una "aglomeración sustancial" y "auto-sinterizado sustancial", es decir, la ausencia del caso en el que una fracción suficientemente grande de las partículas ópticamente resonantes presentes dispersas en el material en polvo se hayan aglomerado y auto-sinterizado de modo que esto provoque un cambio espectral sustancial que será perjudicial para las propiedades de calentamiento y/o las propiedades ópticas de las partículas ópticamente resonantes.

25 Por lo tanto, dicha aglomeración sustancial y auto-sinterización sustancial se pueden definir utilizando los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes, ya sea que estén en una solución, en una superficie plana o en un objeto fabricado, donde las partículas ópticamente resonantes pueden o no haber sido utilizadas para iniciar la fusión entre sí de las partículas y/o material particulado del material en forma sólida no continua o de las porciones de la matriz.

30 Por lo tanto, la forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada se refiere a la falta de una aglomeración sustancial y una auto-sinterización sustancial que se refieren a una aglomeración y auto-sinterización que provoca un cambio en los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes en la forma de al menos un desplazamiento en uno o más picos de resonancia óptica por encima o igual a cinco veces el ancho completo a la anchura de banda a media altura (FWHM, del inglés Full Width at Half Maximum) y/o al menos un ensanchamiento de uno o más picos de resonancia óptica superior o igual a cinco veces la FWHM. Aquí, la FWHM inicial se define a partir de mediciones
35 de las partículas ópticamente resonantes antes de ser dispersadas en el material en polvo y, por ejemplo, revestidas con una capa anti-aglomeración apropiada en una solución bien dispersada.

Para una realización asociada a una forma y material dados de partículas ópticamente resonantes en un material en polvo dado, dicha forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada se refiere a la falta de una aglomeración sustancial y una auto-sinterización sustancial que se refiere a una aglomeración y auto-sinterización que
40 provoca un cambio en los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes en forma de al menos un desplazamiento en uno o más picos de resonancia óptica por encima o igual a tres veces la anchura de banda a media altura (FWHM) y/o al menos un ensanchamiento de uno o más picos de resonancia óptica superior o igual a tres veces la FWHM.

Para otra realización asociada a otra forma y material dados de partículas ópticamente resonantes en un material en polvo dado, dicha forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada se refiere a la falta de una aglomeración sustancial y una auto-sinterización sustancial que se refiere a una aglomeración y auto-sinterización que
45 provoca un cambio en los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes en forma de al menos un desplazamiento en uno o más picos de resonancia óptica por encima o igual a dos veces la anchura de banda a media altura (FWHM) y/o al menos un ensanchamiento de uno o más picos de resonancia óptica superior o igual a dos veces la FWHM.
50

Para una realización adicional asociada a una forma y material dados más de partículas ópticamente resonantes en un material en polvo dado, dicha forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada se refiere a la falta de una aglomeración sustancial y una auto-sinterización sustancial que se refiere a una aglomeración y auto-sinterización que provoca un cambio en los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes en forma de
55 al menos un desplazamiento en uno o más picos de resonancia óptica por encima o igual a 1,5 veces la anchura de banda a media altura (FWHM) y/o al menos un ensanchamiento de uno o más picos de resonancia óptica superior o igual a dos veces la FWHM.

En cuanto a las partículas ópticamente resonantes, según el ejemplo de realización, estas incluyen uno o más tipos diferentes de partículas que generan resonancia óptica mediante al menos uno de los siguientes ejemplos no limitativos de mecanismos: por efecto de transición electrónica, efecto plasmónico, efecto Mie, y/o efecto de modo galería susurrante, o una combinación de los mismos.

- 5 Con respecto al tamaño de las partículas ópticamente resonantes, estas tienen una longitud de sección transversal media que va desde 1 nm hasta 500 μm (determinada, por ejemplo, mediante microscopía electrónica y/o microscopía óptica), preferiblemente de 1 nm hasta 5 μm , dependiendo de la realización, para adaptarse a la aplicación solicitada, y también para proporcionar un ajuste deseado de las propiedades ópticas de las partículas ópticamente resonantes.

- 10 Dependiendo de la realización, las partículas ópticamente resonantes son nanopartículas y/o micropartículas metálicas, orgánicas o inorgánicas de diversas formas, como partículas esféricas, o partículas en forma de varilla, o partículas en forma de tubo, o partículas en forma de estrella, o partículas huecas, o plaquetas o escamas o formas más complejas. En una realización, las partículas ópticamente resonantes tienen forma cuasi esférica y un diámetro de 0,3 a 10000 nm, más preferiblemente de 1 a 1000 nm, lo más preferiblemente de 5 a 500 nm. En otra realización, las partículas ópticamente resonantes son partículas de cualquiera de los siguientes materiales, o combinaciones de los mismos: Au, Ag, Al, Bi, Sn, 15 Cu, CuO, WO₃, Sn: InO, Al: ZnO, Bi, o cualquier mezcla de los mismos.

Según una realización, las partículas ópticamente resonantes están recubiertas con un recubrimiento anti-aglomeración que está configurado para cooperar en la evitación de las mencionadas anteriormente aglomeración sustancial y auto-sinterización sustancial de las partículas ópticamente resonantes.

- 20 Para algunas realizaciones, dicho recubrimiento anti-aglomeración está hecho para maximizar la estabilidad térmica de la forma y/o maximizar la estabilidad térmica química, en donde, generalmente, dicho recubrimiento anti-aglomeración es una capa inorgánica y/u orgánica adherida a la superficie de las partículas ópticamente resonante.

- De acuerdo con algunas realizaciones, además de las partículas ópticamente resonantes, el objeto contiene, dentro de la matriz mencionada anteriormente, materiales adicionales que sirven para diversas funcionalidades que pueden o no estar relacionadas con la capacidad del objeto fabricado para ser reparado/curado bajo su exposición a la radiación 25 electromagnética de reparación. Por ejemplo, en una realización, dichos materiales adicionales son uno o más pigmentos de color, que se utilizan para colorear el objeto. En otra realización, el material adicional es un buen conductor de calor y su propósito es mejorar la transferencia de calor desde las partículas ópticamente resonantes al material de la matriz. Un ejemplo no limitativo de dicho material adicional son las escamas de grafeno. En otra realización, el material adicional son sustancias químicas que actúan como precursores activados por calor para la síntesis del material de la matriz. En el 30 último caso, cuando las partículas ópticamente resonantes son irradiadas y calentadas por la radiación electromagnética de reparación, parte de su calor pasa a dicho material adicional que al calentarse reacciona para generar material de matriz adicional que se fusiona con el material de matriz preexistente. para una mejor reparación de la región dañada, por ejemplo, rellenando mejor un agujero con el material de matriz adicional generado sin que el objeto sufra contracción o alteración de la morfología.

- 35 Para una realización, la región dañada mencionada anteriormente incluye al menos uno de los siguientes daños o defectos: un corte, un cisma, un agujero, una superficie rugosa o una alteración en la forma del objeto. La región dañada también incluye regiones del objeto que rodean dicho(s) daño(s) o defecto(s). La dinámica seguida por el material de la matriz para autorreparar la región dañada depende del tipo de daño/defecto asociado a la misma. Por ejemplo, para un agujero, el material de la matriz se funde (al menos parcialmente), fluye y llena el agujero de modo que una vez solidificado 40 el agujero se cubre con él, mientras que para una superficie rugosa el material de la matriz se funde (al menos parcialmente) y se redistribuye sobre la superficie, alisando así la superficie.

- El método comprende exponer una región dañada de dicho objeto a radiación electromagnética de reparación para ser absorbida por algunas de dichas partículas ópticamente resonantes que están dispersadas en el mismo para resonar 45 ópticamente para generar calor para al menos fusionarse parcialmente entre sí (generalmente, sinterizando y/o fundiendo) porciones de dicha matriz en contacto térmico con las mismas.

Mientras que, para algunas realizaciones, el daño o defecto no divide en diferentes partes el objeto, para una realización lo hace, de modo que la región dañada incluye porciones del objeto que se han desprendido físicamente por un daño o defecto.

- 50 Para una implementación de esa realización, el método del primer aspecto de la invención comprende poner en contacto físico dichas porciones físicamente desprendidas antes y/o durante su exposición a la radiación electromagnética de reparación.

El método del primer aspecto de la presente invención es válido para reparar cualquier tipo de daño o defecto, ya sea que se encuentre en la superficie del objeto o en una ubicación interior del mismo.

- 55 Para ese caso, es decir, para una región dañada ubicada en una ubicación interna del objeto, el método comprende penetrar en el objeto con la radiación electromagnética de reparación hasta dicha ubicación interna de modo que la región dañada quede expuesta a la misma, y las partículas ópticas resonantes ubicadas allí sean excitadas para resonar ópticamente.

Para un objeto o al menos una región dañada del mismo colocado o colocada dentro del agua, el método del primer aspecto de la invención comprende seleccionar una longitud de onda o conjuntos de longitudes de onda, para la radiación electromagnética de reparación a la que se expondrá la región dañada, que se encuentran dentro de una de las ventanas de longitudes de onda de transparencia óptica del agua.

- 5 Cuando, en lugar de agua, la radiación electromagnética de reparación debe atravesar uno o más medios diferentes para llegar a la región dañada, se selecciona una longitud de onda o conjuntos de longitudes de onda apropiadas para tal fin para la radiación electromagnética de reparación.

Otras propiedades de la radiación electromagnética de reparación (como la intensidad) también se seleccionan para la aplicación específica, con el fin de exponer la región dañada a esa radiación electromagnética de reparación.

- 10 Para una realización, el método del primer aspecto de la invención comprende además una etapa de precalentamiento para precalentar al menos la región dañada hasta una temperatura de precalentamiento a la que aún no se produce fusión (sinterización y/o fundición), y luego realizar la exposición de la(s) región(es) dañada(s) a la radiación electromagnética de reparación.

- 15 Aunque para una realización el objeto solo comprende una capa, para una realización preferida, el objeto a autorrepararse es un objeto 3D.

- De acuerdo con una implementación preferida de dicha realización preferida, el objeto 3D se ha fabricado usando un proceso de deposición capa por capa, aplicando, sobre una capa ya formada que incluye la matriz mencionada anteriormente con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, al menos una capa adicional del material en una forma sólida no continua con partículas ópticamente resonantes ya dispersadas en su interior o proporcionadas posteriormente sobre el mismo y dispersadas en su interior (por ejemplo, depositando por deposición de gotas una composición que incluye las partículas ópticamente resonantes sobre al menos una región de dicha capa adicional del material en una forma sólida no continua), y exponer a la radiación electromagnética de reparación a las partículas ópticamente resonantes proporcionadas en la capa adicional para hacer que resuenen ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí a las partículas y/o material particular, del material en una forma sólida no continua de la capa adicional, que estén en contacto térmico con las mismas.

En una realización, cada una de dichas capas tiene un grosor que es preferiblemente de 0,001 a 10000 μm , más preferiblemente de 0,01 a 1000 μm y lo más preferiblemente de 10 a 1000 μm .

La presente invención también se refiere, en un segundo aspecto, a un sistema para producir y autorreparar un objeto según la reivindicación 14.

- 30 El sistema del segundo aspecto de la presente invención está adaptado para implementar el método del primer aspecto.

Cualquiera de las fuentes de radiación enumeradas anteriormente puede usarse para implementar la fuente de radiación electromagnética controlable del sistema del segundo aspecto de la invención.

Para una realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención comprende, además:

- 35 - medios de monitorización configurados y dispuestos para monitorizar uno o más parámetros de al menos la región dañada del objeto, al menos durante su exposición a la radiación electromagnética de reparación, y generar señales de monitorización correspondientes; y

- 40 - un controlador conectado operativamente a los medios de monitorización para recibir dicha señal de monitorización, y a la fuente de radiación electromagnética controlable, estando dicho controlador hecho para controlar el funcionamiento (y preferiblemente también la potencia) de la fuente de radiación electromagnética controlable en base a las señales de monitorización recibidas.

El controlador también está configurado para controlar el funcionamiento (y preferiblemente también la potencia) de la fuente de radiación electromagnética controlable cuando no se reciben señales de monitorización, es decir, independientemente de las señales de monitorización, por ejemplo, al inicio del proceso de reparación.

- 45 Se incluyen componentes adicionales en el sistema del segundo aspecto de la invención, para algunas realizaciones, tales como componentes que controlan la posición y el estado mecánico del objeto antes y/o durante y/o después de su exposición a la radiación electromagnética de reparación, u otros componentes adicionales que controlan las condiciones ambientales antes o/y durante o/y después de la exposición del objeto a la radiación electromagnética de reparación, u otros componentes adicionales que implementan los medios de monitorización mencionados anteriormente, para monitorizar los parámetros mencionados anteriormente, particularmente la imagen y/o estructura y/o temperatura del objeto, antes y/o durante y/o después de la exposición del objeto a la radiación electromagnética de reparación.

Para una realización, el funcionamiento del sistema del segundo aspecto de la invención, implementando la técnica utilizada para inducir y completar la autorreparación del objeto después de su daño, es como sigue: el objeto, y más específicamente la región del objeto que contiene el daño, es decir, la región dañada, se posiciona en el paso de la radiación electromagnética de reparación que puede ser producida por la fuente de radiación electromagnética

controlable, mientras que durante el posicionamiento antes mencionado del objeto no hay o casi no hay radiación electromagnética de reparación que caliente el objeto. Luego, la fuente de radiación electromagnética controlable se enciende, lo que significa que está configurada para permitir que la radiación electromagnética de reparación salga de la fuente de radiación electromagnética controlable y caliente el objeto y específicamente para calentar la región dañada. Como resultado, la temperatura de la región dañada aumenta y, como resultado adicional, se repara el daño.

Esta reparación está habilitada por una serie de efectos físicos que individualmente o en cualquier combinación entre ellos dan como resultado el proceso de reparación, una lista no limitativa de tales efectos son: sinterización del material de la matriz, fundición y reorganización espacial (reposicionamiento) del material de la matriz, la alteración de la estructura química del material de la matriz, la creación de un nuevo material de la matriz a partir de la reacción de cualquier material que no sea de la matriz presente en el objeto.

La extensión y velocidad de cualquiera de los efectos antes mencionados se controlan controlando la intensidad y las características espectrales de la radiación electromagnética de reparación que eventualmente controla la temperatura de la región del objeto que la absorbe, como se ha descrito anteriormente con respecto al método del primer aspecto de la invención. Cuando se completa el proceso de reparación, o cuando se completa parcialmente según el resultado deseado, la fuente de radiación electromagnética controlable está configurada para que ya no tenga radiación electromagnética de reparación saliendo de ella y calentando el objeto. Luego, el objeto puede dejarse opcionalmente en reposo para que se enfríe durante algún tiempo.

Para una realización, el sistema del segundo aspecto de la invención comprende un sistema de control óptico, asociado a la fuente de radiación electromagnética controlable y al controlador, para formar un sistema de irradiación, para controlar el área o parte o múltiples áreas o partes del objeto que está siendo expuesto a la radiación electromagnética de reparación.

Dependiendo de la realización, el sistema de control óptico comprende cualquier componente óptico individual o cualquier combinación de componentes ópticos, tales como lentes, espejos, partes mecánicas ópticas (por ejemplo, escáneres, obturadores, filtros ópticos, carcasas, etc.) como es bien conocido en el estado de la técnica con respecto a los sistemas ópticos, dispuestos de una manera que sirva al menos uno o más de los siguientes propósitos: a) controlar la intensidad y/o maximizar la intensidad de la radiación electromagnética de reparación en las áreas donde esta incide en el objeto, b) controlar la forma y/o tamaño y/o volumen del área del objeto que se irradia, c) controlar y/o cambiar la posición del área en el objeto que está siendo irradiado mediante la radiación electromagnética de reparación.

Para alguna realización, el sistema de control óptico o cualquier parte del mismo está unido a la fuente de radiación electromagnética controlable, o no unido pero ubicado cerca de la fuente de radiación electromagnética, y/o se ubica cerca y/o unido al objeto.

En una realización, la fuente de radiación electromagnética controlable comprende un láser, que emite la radiación electromagnética de reparación, y una guía de ondas unida a la fuente que actúa como un sistema de control óptico.

En otra realización, la fuente de radiación electromagnética controlable comprende una disposición ordenada de LEDs, que emite la radiación de reparación, y lentes unidas a cada LED de la disposición, en donde estas lentes combinadas actúan como el sistema de control óptico.

En otra realización, la fuente de radiación electromagnética controlable consiste parcialmente en una disposición ordenada de LEDs, que emite la radiación electromagnética de reparación y está situada en la cabeza de una linterna de mano, en la que encima de la disposición ordenada de LEDs existe un conjunto de lentes, que actúa como sistema de control óptico.

Como se mencionó anteriormente, el sistema del segundo aspecto de la presente invención puede contener de manera óptima componentes adicionales. Por ejemplo, un componente adicional podría ser uno para proporcionar y controlar la energía eléctrica que activa la fuente de radiación electromagnética controlable, como una unidad de suministro de energía conectada a la red eléctrica o una unidad de suministro de energía portátil, como una que contenga baterías. Dichos componentes pueden contener opcionalmente subcomponentes adicionales tales como interruptores eléctricos y elementos electrónicos y/o reguladores de corriente y/o voltaje.

Como se mencionó, otro componente adicional opcional o conjunto de componentes podría ser uno que controle la posición y el estado mecánico del objeto antes y/o durante y/o después de su exposición a la radiación electromagnética de reparación. Por ejemplo, si el objeto contiene un corte o un cisma o un agujero o cualquier otro tipo de defecto que finalmente haya causado el desprendimiento físico de algunas de las partes del objeto que rodean dicho defecto, puede ser necesario que dichas partes sean forzadas externamente a establecer un contacto físico entre ellas antes y/o durante su irradiación mediante la radiación electromagnética de reparación, lo que haría que se adhieran y/o sintericen permanentemente entre sí. En el caso más simple, dichas partes pueden ponerse en contacto físico entre ellas utilizando manos humanas. En otros casos, dichas partes pueden ponerse en contacto físico utilizando cualquier tipo de herramientas y aparatos artificiales, incluidos en el sistema del segundo aspecto de la invención para algunas realizaciones, una lista no limitativa de los cuales es: aplicadores, adhesivos, clips, brazos mecánicos, brazos robóticos. Una condición que todas estas herramientas deben satisfacer es que cuando se apliquen al objeto durante su irradiación con la radiación electromagnética de reparación, deben permitir que toda o parte de la radiación alcance la parte del objeto que contiene el daño, es decir, la(s) región(es) dañada(s).

Como se mencionó, otro componente adicional opcional o conjunto de componentes podría ser uno que controle las condiciones ambientales antes o/y durante o/y después de la exposición del objeto a la radiación electromagnética de reparación. Dicho componente podría tener cualquiera o una combinación de las siguientes funcionalidades: aislar al objeto del ambiente o del usuario durante el proceso de reparación, proteger al usuario de la exposición a la radiación electromagnética de reparación si dicha radiación es peligrosa, controlar las condiciones ambientales como la temperatura, la presión, la atmósfera en la que se encuentra el objeto durante el proceso de reparación. En una realización, dicho componente opcional podría consistir en un conjunto de calentadores de cualquier tipo que controlen la temperatura de línea base del objeto antes o/y durante y/o después de su exposición a la radiación electromagnética de reparación, porque la temperatura de línea base podría afectar adicionalmente a la rapidez y eficacia del proceso de reparación. Se podría realizar un precalentamiento del objeto, al menos en la región dañada, con dichos calentadores, hasta una temperatura de precalentamiento a la que todavía no se produce sinterización/fundición.

Como se mencionó anteriormente, para algunas realizaciones, el sistema del segundo aspecto de la invención comprende medios de monitorización implementados por componentes adicionales o conjuntos de componentes para monitorizar la imagen y/o estructura y/o temperatura del objeto antes y/o durante y/o después de la exposición del objeto a la radiación electromagnética de reparación. Dicho componente o conjunto de componentes podría realizar varios propósitos que pueden o no ser necesarios para el proceso de reparación, una lista no limitativa de tales propósitos es la siguiente: para monitorizar si las partes del objeto en las inmediaciones del defecto/daño están en contacto físico, para monitorizar el proceso de reparación y señalar cuándo el proceso de reparación se completa, para monitorizar la temperatura del objeto y particularmente la temperatura de la parte del objeto que está siendo irradiada con la radiación electromagnética de reparación y proporcionar retroalimentación al controlador para controlar la intensidad de la radiación electromagnética de reparación emitida con la fuente de radiación electromagnética controlable, para monitorizar y señalar cuándo tiene lugar cualquier efecto secundario no deseado sobre la morfología del objeto durante el proceso de reparación.

En una realización, los medios de monitorización comprenden una cámara fotográfica y/o una cámara de vídeo. En otra realización, los medios de monitorización comprenden una cámara térmica y/o uno o más sensores de temperatura.

En otra realización, para llevar a cabo la realización mencionada anteriormente del método del primer aspecto de la invención para la cual el objeto o al menos una región dañada del mismo está colocado/colocada dentro del agua, la fuente de radiación electromagnética controlable está configurada para emitir radiación electromagnética de reparación, parcial o totalmente, de una longitud de onda o un conjunto de longitudes de onda que caen dentro de una de las ventanas de transparencia óptica del agua.

Para una implementación de dicha realización, el sistema del segundo aspecto de la invención comprende una carcasa hermética al agua que aloja al menos la fuente de radiación electromagnética controlable.

Otros aspectos de la presente invención se relacionan con un método y un sistema que, además de las características definidas por el método y el sistema del primer y segundo aspectos de la presente invención, comprenden pasos o medios para la fabricación del objeto a ser autorreparado como se describe arriba.

La Solicitud Internacional PCT/EP2018/059185 (número de publicación WO2018189190 A1) describe la producción de un objeto 3D, en el que dicho objeto 3D es el objeto a ser autorreparado por la presente invención reutilizando las partículas ópticamente resonantes, como se indicó anteriormente, ya utilizadas para el proceso de fabricación.

Otros aspectos de la presente divulgación se refieren a un método y un sistema que difieren de los del primer y segundo aspectos solo en que, en lugar de las partículas ópticamente resonantes, comprenden el uso de otro tipo de absorbente foto-térmico no necesariamente resonante, pero que es utilizado para la fabricación del objeto, y también reutilizado para el proceso de autorreparación, es decir, para la reparación de la(s) región(es) dañada (s) del objeto.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación, se describirán algunas realizaciones preferidas de la invención con referencia a las figuras adjuntas. Se proporcionan sólo con fines ilustrativos sin limitar, sin embargo, el alcance de la invención.

La Figura 1 es una representación esquemática del sistema del segundo aspecto de la presente invención, para una realización.

La Figura 2 muestra un objeto a reparar mediante el método del primer aspecto de la invención, para una realización para la cual el objeto tiene tres regiones dañadas, identificadas como "daño 1", "daño 2" y "daño 3".

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

El sistema del segundo aspecto de la presente invención se muestra esquemáticamente en la Figura 1, y, como ya se explicó anteriormente, se aplica a la autorreparación de un objeto O que comprende una matriz de un material en forma sólida continua con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, en el que esa matriz se ha fabricado al menos fusionando parcialmente entre sí partículas y/o material particular de dicho material en una forma sólida no continua con calor transferido desde dichas partículas ópticamente resonantes que se ha generado por las mismas cuando resuenan ópticamente inducidas por su exposición a la radiación electromagnética de reparación.

El sistema del segundo aspecto de la invención comprende una fuente de radiación electromagnética controlable S configurada y dispuesta para exponer una región dañada D del objeto O a la radiación electromagnética de reparación R para ser absorbida por algunas de las partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior para resonar ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí porciones de la matriz en contacto térmico con las mismas.

Para la realización ilustrada, el sistema también comprende:

- medios de monitorización M configurados y dispuestos para monitorizar uno o más parámetros de al menos la región dañada D del objeto O, al menos durante su exposición a dicha radiación electromagnética de reparación R, y generar las correspondientes señales de monitorización; y

- un controlador C conectado operativamente a los medios de monitorización M para recibir dichas señales de monitorización, y a la fuente de radiación electromagnética controlable S, estando dicho controlador C hecho para controlar el funcionamiento de la fuente de radiación electromagnética controlable S en base a las señales de monitorización recibidas.

A continuación, se describen algunos experimentos realizados por los presentes inventores, para algunos ejemplos de realización operativos, para respaldar la bondad y la eficiencia de los diferentes aspectos de la presente invención.

Se sintetizaron nanovarillas de oro que exhibían un pico de resonancia plasmónica con una anchura de banda a media altura de aproximadamente 100 nm y centrado a aproximadamente 850 nm, y se dispersaron en etanol a una concentración de 0,2 mg/ml. A continuación, se mezcló 1 l de dicha solución con 1 kg de polvo de TPU (poliuretano termoplástico) (nombre del producto: ADSint TPU80) adquirido de ADVANC3D Materials® GmbH. La mezcla se dejó secar durante 24 h. dando como resultado un material mezclado en el que las nanovarillas de oro son las partículas ópticamente resonantes y el polvo de TPU es el material de matriz mencionado anteriormente cuando se describió el método y el sistema de la presente invención.

Luego, el material mezclado se transfirió a una impresora 3D tipo SLS equipada con un láser de 1 W a 850 nm que actuó como fuente de la radiación electromagnética de reparación (808 nm) de la presente invención. Luego, se fabricó un objeto mediante impresión 3D, cuya forma se muestra en la Figura 2, y que tiene las dimensiones indicadas en la figura. Se observa que el objeto parecía ser muy flexible y exhibir una buena elasticidad. Para el proceso de impresión se utilizaron los siguientes parámetros: grosor de capa de 0,015 mm, temperatura de referencia 80 °C, velocidad de escritura láser 50 mm/s.

Después de que el objeto fue fabricado/impreso y limpiado, se dañó cortándolo en tres áreas como se indica en la Figura 2.

Para reparar el "daño 1", el objeto se colocó frente a una segunda fuente láser de 808 nm que actúa como fuente de radiación electromagnética controlable del primer y segundo aspectos de la invención. Se unió al láser una fibra óptica con una guía de ondas en su punta, que actúa como un ejemplo del sistema de control óptico del segundo aspecto de la invención, y la combinación del láser con el sistema de control óptico forma, para una realización, el sistema de irradiación del sistema del segundo aspecto de la invención.

El objeto se colocó específicamente para que el haz láser que saliera de la guía de ondas iluminase directamente el área del objeto que contenía el "daño 1". Además, el objeto se colocó a mano para que las partes que rodean el "daño 1" (ver Figura 2) se tocasen directamente entre sí. Para asegurar que estas partes permaneciesen en buen contacto físico, se colocaron dos pesadas piezas de metal en dos lados opuestos del objeto para evitar que se moviese, estas piezas de metal actúan como un ejemplo de un subsistema opcional del sistema de irradiación del sistema del segundo aspecto de la invención. El objeto con el láser y el resto del sistema de irradiación se encerraron en una cámara negra para evitar la exposición del usuario al haz láser. Esta cámara de plástico es otro ejemplo de un subsistema opcional del sistema de irradiación del sistema del segundo aspecto de la invención.

Dentro de la cámara negra también había una cámara de video y una cámara térmica para monitorizar la estructura, posición, morfología y temperatura del objeto, estas cámaras actúan como ejemplos de subcomponentes opcionales del segundo aspecto de la invención. El láser fue activado por una unidad de energía de control que también actúa como un ejemplo de un subcomponente opcional. La unidad de control y las cámaras fueron controladas por un ordenador personal que también forma parte de los medios de monitorización del sistema del segundo aspecto de la invención, para una realización.

Cuando se colocó el objeto, se encendió el láser y se ajustó su intensidad a aproximadamente 3 W/cm² para provocar el calentamiento del área del objeto que se estaba iluminando a aproximadamente 130-150 °C, según lo monitorizado por la cámara térmica. El láser se dejó encendido durante unos 60 s, después de lo cual se apagó y el objeto se dejó enfriar durante 60 s. Luego, se retiró el objeto y apareció como reparado, lo que significa que las partes que rodeaban el área que anteriormente contenía el "daño 1" se sinterizaron entre sí y el "daño 1" ya no estaba presente. Además, la parte del objeto que anteriormente contenía el "daño 1" presentaba una buena resistencia mecánica, lo que significa que podía soportar sin romperse las fuerzas mecánicas aplicadas a mano.

5 Luego, el objeto se colocó frente a una disposición ordenada de LEDs hecha de varios LEDs de 850 nm, cada uno de los cuales estaba encerrado dentro de su propia cubierta transparente de plástico individual, los LEDs y las cubiertas de plástico actúan como ejemplos de fuentes de radiación electromagnética controlables y sistema de control óptico que en combinación forman un sistema de irradiación del segundo aspecto de la invención. El objeto se colocó más específicamente para permitir la iluminación de las áreas del objeto que contienen el "daño 2" y el "daño 3". Luego, la disposición ordenada de LEDs se encendió durante 60 segundos y luego se apagó. Después de este proceso, el "daño 2" y el "daño 3" habían sido reparados y habían desaparecido.

10 El objeto se colocó además frente a una linterna de mano alimentada por baterías. La luz de la linterna fue producida por una pequeña disposición ordenada de LEDs que produce una luz de 850 nm de longitud de onda. Frente a la disposición ordenada de LEDs, la linterna contenía un juego de lentes de plástico. Se notó que el objeto se calienta cuando se coloca frente a la linterna. Por lo tanto, la linterna también actúa como un ejemplo del sistema de irradiación del sistema del segundo aspecto de la invención.

Una persona experta en la técnica podría introducir cambios y modificaciones en las realizaciones descritas sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para producir un objeto y para autorreparar dicho objeto, en el que dicho objeto (O) comprende una matriz de un material en forma sólida continua con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, y en el que dicha matriz está fabricada mediante al menos la fusión parcial entre sí de partículas y/o de material particulado de dicho material en forma sólida no continua con el calor transferido desde dichas partículas ópticamente resonantes que se genera por las mismas cuando resuenan ópticamente inducidas por su exposición a una radiación electromagnética de construcción,
5
- y en el que el método comprende exponer una región dañada (D) de dicho objeto (O) a una radiación electromagnética de reparación (R) para que sea absorbida por al menos algunas de dichas partículas ópticamente resonantes que están dispersadas en su interior, para que resuenen ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí a porciones de dicha matriz en contacto térmico con las mismas.
10
- 2.- Un método según la reivindicación 1, en el que dichas partículas ópticamente resonantes están hechas, y dispuestas dentro de dicha matriz, para mantener sus propiedades ópticas resonantes para generar calor suficiente para al menos fusionar parcialmente entre sí a aquellas porciones de dicha matriz en contacto térmico con las mismas, durante una pluralidad de veces.
15
- 3.- Un método según la reivindicación 1 o 2, en el que dicho material es un material termoplástico.
- 4.- Un método según la reivindicación 1, 2 o 3, en el que dicho material es un material elastomérico.
- 5.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en el objeto (O), tanto antes como después de realizar la autorreparación, las partículas ópticamente resonantes están dispersadas de forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada dentro del material que está en forma sólida continua, incluida la región dañada autorreparada (D).
20
- 6.- Un método según la reivindicación 5, en el que dicha forma sustancialmente no aglomerada y sustancialmente no auto-sinterizada se refiere a la falta de una aglomeración sustancial y auto-sinterización sustancial referida a una aglomeración y auto-sinterización que provoca un cambio en los espectros de absorción de las partículas ópticamente resonantes (P) en forma de al menos un desplazamiento en uno o más picos de resonancia óptica por encima o igual a cinco veces la anchura de banda a media altura y/o al menos un ensanchamiento de uno o más picos de resonancia óptica superior o igual a cinco veces la anchura de banda a media altura.
25
- 7.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas partículas ópticamente resonantes están recubiertas con un recubrimiento anti-aglomeración.
30
- 8.- Un método según la reivindicación 7, en el que dicho recubrimiento anti-aglomeración está hecho para maximizar la estabilidad térmica de la forma y/o maximizar la estabilidad térmica química.
- 9.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha región dañada (D) incluye al menos uno de los siguientes daños o defectos: un corte, un cisma, un agujero, una superficie rugosa y una alteración de la morfología.
35
- 10.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha región dañada (D) incluye unas porciones del objeto (O) que han sido físicamente desprendidas por un daño o defecto, comprendiendo el método poner en contacto físico dichas porciones físicamente desprendidas antes y/o durante su exposición a la radiación electromagnética de reparación (R).
- 11.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que para una región dañada (D) ubicada en una ubicación interna del objeto (O), el método comprende penetrar en el objeto con la radiación electromagnética de reparación (R) hasta dicha ubicación interna de modo que la región dañada (D) quede expuesta a la misma.
40
- 12.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que para un objeto (O) o al menos una región dañada (D) del mismo colocado o colocada dentro del agua, el método comprende seleccionar una longitud de onda o conjuntos de longitudes de onda, para la radiación electromagnética de reparación (R) a la que se expondrá la región dañada (D), que se encuentran dentro de una de las ventanas de longitudes de onda de transparencia óptica del agua.
45
- 13.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho objeto (O) es un objeto tridimensional que ha sido fabricado mediante un proceso de deposición capa por capa, aplicando, sobre una capa ya formada que incluye dicha matriz con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, al menos una capa adicional de dicho material en una forma sólida no continua con partículas ópticamente resonantes ya dispersadas en su interior o posteriormente proporcionadas sobre ella y dispersadas en su interior, y exponiendo a la radiación electromagnética de construcción las partículas ópticamente resonantes proporcionadas en la capa adicional para
50

hacerlas resonar ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí partículas y/o material particulado, del material en una forma sólida no continua de la capa adicional, que están en contacto térmico con las mismas.

- 5 14.- Un sistema para producir un objeto y para autorreparar dicho objeto, en el que dicho objeto (O) comprende una matriz de un material en forma sólida continua con partículas ópticamente resonantes dispersadas en su interior, en el que dicha matriz ha sido fabricada mediante al menos la fusión parcial entre sí de partículas y/o de material particulado de dicho material en una forma sólida no continua con el calor transferido desde dichas partículas ópticamente resonantes que ha sido generado por las mismas cuando han resonado ópticamente inducidas por su exposición a una radiación electromagnética de construcción,
- 10 y en el que el sistema comprende:
- medios para la fabricación de dicho objeto (O), comprendiendo dichos medios una fuente de radiación electromagnética controlable configurada y dispuesta para exponer dichas partículas ópticamente resonantes a dicha radiación electromagnética de construcción, con una longitud de onda ajustada para coincidir con la resonancia de las partículas ópticamente resonantes; y
 - 15 - una fuente de radiación electromagnética controlable (S) configurada y dispuesta para exponer una región dañada (D) de dicho objeto (O) a radiación electromagnética de reparación (R), con una longitud de onda ajustada para que coincida con la resonancia de las partículas ópticamente resonantes, para ser absorbida por algunas de dichas partículas ópticamente resonantes que están dispersadas en su interior para resonar ópticamente para generar calor para al menos fusionar parcialmente entre sí porciones de dicha matriz en contacto térmico con las mismas.
- 20 15.- Un sistema según la reivindicación 14, que además comprende:
- medios de monitorización (M) configurados y dispuestos para monitorizar uno o más parámetros de al menos la región dañada (D) del objeto (O), al menos durante su exposición a dicha radiación electromagnética de reparación (R), y generar unas señales de monitorización correspondientes; y
 - 25 - un controlador (C) conectado operativamente a dichos medios de monitorización (M) para recibir dicha señal de monitorización, y a la fuente de radiación electromagnética controlable (S), estando dicho controlador (C) hecho para controlar el funcionamiento de la fuente de radiación electromagnética controlable (S) en base a las señales de monitorización recibidas.

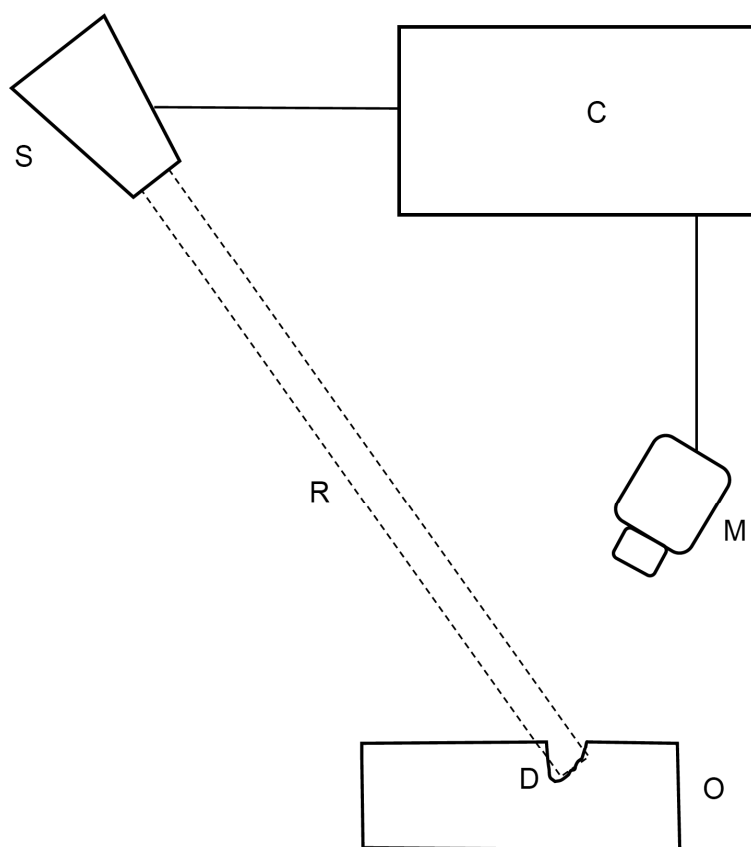


Fig. 1

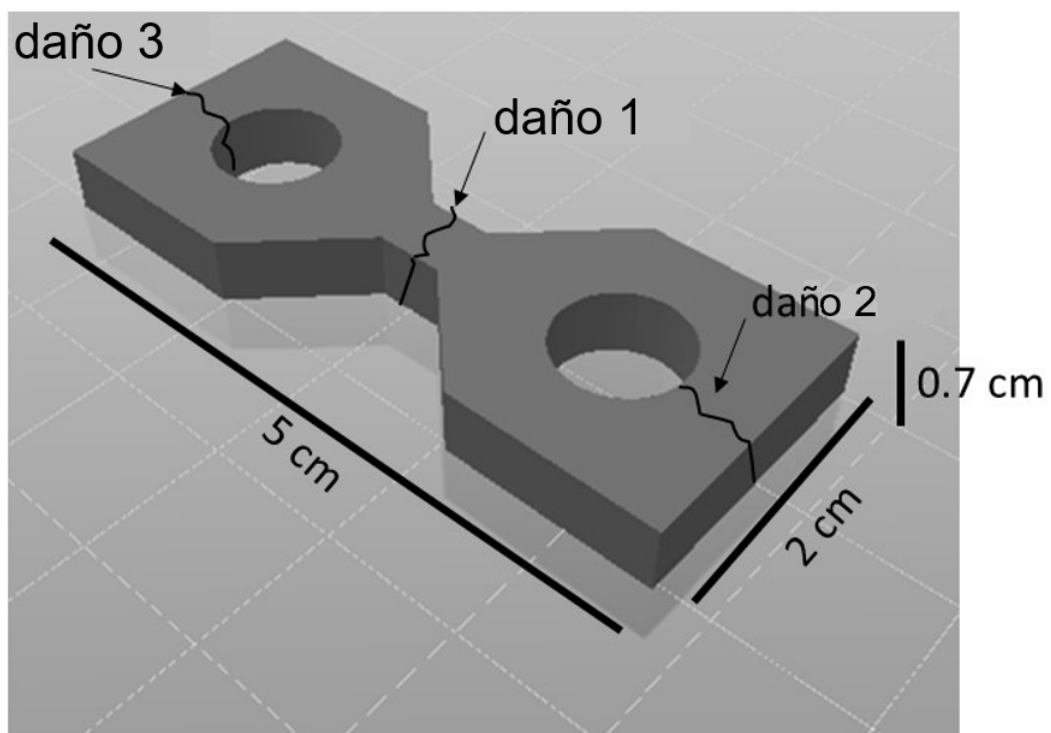


Fig. 2