

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 865**

51 Int. Cl.:

C21D 1/09 (2006.01)
B23K 26/082 (2014.01)
B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01)
B23K 26/352 (2014.01)
C21D 1/38 (2006.01)
C21D 1/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.05.2020** **PCT/EP2020/064891**
87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2020** **WO20249404**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2020** **E 20728067 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024** **EP 3983567**

54 Título: **Método y sistema de calentamiento usando un haz de energía**

30 Prioridad:

12.06.2019 EP 19382488

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2024

73 Titular/es:

ETXE-TAR, S.A. (100.0%)
San Antolin, 3
20870 Elgoibar (Guipúzcoa), ES

72 Inventor/es:

ALVAREZ, PIERA y
GABILONDO, JOSÉ JUAN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 989 865 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

Método y sistema de calentamiento usando un haz de energía

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al calentamiento de un objeto usando un haz de energía, tal como un haz láser.

Estado de la técnica

- 10 Es conocido en la técnica calentar objetos dirigiendo un haz de energía, tal como un haz de luz, por ejemplo, un haz láser, sobre el objeto. Por ejemplo, es bien conocido en la técnica el endurecimiento de materiales ferrosos, tal como acero (por ejemplo, acero al carbono medio), calentando el material a una temperatura alta, por debajo de su temperatura de fusión, y posteriormente templándolo, es decir, enfriándolo lo suficientemente rápido para formar martensita dura. El calentamiento puede tener lugar en hornos o por calentamiento por inducción, y el enfriamiento puede tener lugar aplicando un fluido refrigerante, tal como agua o agua mezclada con otros componentes. También se conoce el uso de un haz de energía, tal como un haz de luz, para llevar a cabo cierto proceso de endurecimiento, por ejemplo, en relación con productos complejos tales como cigüeñales. Los cigüeñales tienen superficies complejas y requisitos muy altos de resistencia al desgaste durante el uso. Por ejemplo, el documento WO-2014/037281-A2 explica cómo se puede utilizar un haz láser para, por ejemplo, el endurecimiento de las superficies de los bujes de un cigüeñal, sin producir sobrecalentamiento de las zonas adyacentes a los orificios de lubricación del aceite. También otros objetos pueden ser tratados térmicamente mediante métodos y sistemas de acuerdo con los enseñados por el documento WO-2014/037281-A2.
- 25 El documento WO-2014/037281-A1 analiza, entre otras cosas, cómo se puede calentar selectivamente una pieza de trabajo proyectando un haz sobre una superficie de la pieza de trabajo para producir un punto primario en la superficie, escaneándose repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneado para establecer un punto efectivo en la superficie de la pieza de trabajo, teniendo este punto efectivo una distribución de energía bidimensional. Este punto efectivo se desplaza en relación con la superficie de la pieza de trabajo para calentar progresivamente una porción seleccionada de la pieza de trabajo. En algunas realizaciones, la distribución de energía bidimensional del punto efectivo se adapta dinámicamente durante el desplazamiento del punto efectivo en relación con la superficie de la pieza de trabajo.
- 30 El documento WO-2015/135715-A1, analiza, entre otras cosas, cómo, en el contexto de este tipo de técnica para el endurecimiento por láser, se pueden utilizar diferentes patrones de escaneado. Las realizaciones ilustradas incluyen patrones de escaneado con segmentos que son perpendiculares entre sí. Una realización ilustrada presenta un patrón de escaneado sustancialmente conformado como un "8 digital".
- 35 Se ha descubierto que la técnica para calentar usando un haz de energía como se sugiere en los documentos WO-2014/037281-A1 y WO-2015/135715-A1 se puede usar para otras aplicaciones además del endurecimiento de piezas de trabajo. Por ejemplo, El documento WO-2016/026706-A1, enseña cómo se puede utilizar la técnica para la fabricación aditiva. El documento WO-2016/146646-A1, enseña cómo se puede utilizar la técnica para el tratamiento térmico de chapas metálicas. Otras aplicaciones incluyen la soldadura de objetos, por ejemplo, para unir dos o más componentes de un objeto, como se describe en el documento WO 2018/054850 A1.
- 40 Se ha descubierto que las técnicas descritas en las solicitudes de patente mencionadas anteriormente implican ventajas sustanciales en términos de flexibilidad, adaptabilidad, calidad y productividad del producto.
- 45 Determinar los patrones de escaneo adecuados y los parámetros asociados a los mismos, tales como la velocidad de escaneo (es decir, la velocidad a la que el punto proyectado por el haz láser se mueve a lo largo del patrón de escaneo y a lo largo de las diferentes partes o segmentos del mismo), la potencia del haz láser, el tamaño del punto láser y la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista o trayectoria que sigue en la superficie del objeto que se está tratando, puede implicar el uso de pruebas empíricas (tales como pruebas de ensayo y error), simulaciones, cálculos o una combinación de los mismos.
- 50 A menudo es deseable que ciertas características del producto permanezcan constantes a lo largo de la pista tratada térmicamente por el punto efectivo. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser tal como se describe en el documento WO-2014/037281-A2, a menudo se desea una profundidad de endurecimiento constante a lo largo de la pista. Se aplican consideraciones similares a muchas otras aplicaciones, tales como ablandamiento por láser, soldadura láser, etc.
- 55 En muchas aplicaciones, tales como el endurecimiento por láser de bujes de cigüeñales y muchas otras aplicaciones, el punto efectivo mantiene una anchura sustancialmente constante mientras se mueve a lo largo de su pista, para proporcionar una parte tratada térmicamente de la pieza de trabajo que tenga una anchura sustancialmente constante en toda su extensión, desde el principio hasta el final, por ejemplo, a lo largo de la circunferencia de un buje de un cigüeñal, solo por dar un ejemplo. Otro ejemplo, en el contexto del tratamiento térmico de componentes de chapa
- 60
- 65

metálica, según se describe en el documento WO-2016/146646-A1, puede ser el ablandamiento con láser de una parte del pilar de un vehículo para crear una banda ablandada de anchura constante en el pilar del vehículo, por ejemplo, para crear un área donde se producirá predominantemente la deformación en el caso de una colisión, o donde el pilar del vehículo se pueda cortar más fácilmente.

5

Descripción de la invención

Sin embargo, a veces puede ser deseable proporcionar un tratamiento térmico a una parte o tira con una anchura que varíe sustancialmente a lo largo de la pista a seguir por el punto efectivo, por ejemplo, para proporcionar un patrón más o menos sofisticado de material endurecido o ablandado, una costura de soldadura, materia consolidada tal como polvo fundido en el contexto de la fabricación aditiva, etc.

10

En tales contextos, a menudo se prefiere que las características básicas del tratamiento térmico permanezcan sustancialmente constantes a lo largo de la pista, excepto por el cambio mencionado anteriormente de la anchura de la parte o banda calentada a lo largo de la pista. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, a menudo se desea que la profundidad endurecida permanezca constante a lo largo de la pista.

15

El cálculo de la energía necesaria para lograr una cierta profundidad de endurecimiento puede incluir determinar el volumen a calentar, la magnitud a la que se elevará la temperatura, la capacidad calorífica específica del material, etc. Por ello, por ejemplo, para endurecer hasta una cierta profundidad una parte que tenga una cierta anchura, se puede determinar la energía de radiación necesaria por unidad de longitud de la pista, proporcionando así una base para determinar la velocidad a la que el punto efectivo, producido por un haz de cierta potencia, debe desplazarse a lo largo de la pista. Los aspectos adicionales a considerar incluyen la distribución de energía dentro del punto efectivo, por ejemplo, si se opta por una parte delantera que tenga una densidad de energía más alta que una parte trasera, solo por dar un ejemplo. Por lo tanto, un enfoque puede basarse en establecer un flujo de energía (en términos de J/m^2), por ejemplo, por ejemplo, para unas partes delantera y trasera del patrón de escaneo, y luego determinar la velocidad apropiada del punto efectivo y la potencia del haz láser. La elección del patrón de escaneo, la potencia del haz, la velocidad del punto primario a lo largo de diferentes porciones del patrón de escaneo (tales como a lo largo de un segmento delantero y un segmento trasero) y la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista se puede verificar mediante simulaciones y/o pruebas de ensayo y error, hasta que se haya determinado una combinación adecuada de parámetros.

20

25

30

Cuando la parte a calentar tiene una anchura que varía a lo largo de la pista, por ejemplo, al presentar uno o más segmentos que tienen una anchura que disminuye o aumenta con respecto a una anchura de referencia, una forma de garantizar un rendimiento sustancialmente constante (en términos, por ejemplo, de profundidad de endurecimiento, ablandamiento, profundidad del cordón de soldadura, etc.) consiste en operar de modo que el flujo de energía (en términos de J/m^2) permanezca sustancialmente constante en los diferentes segmentos o sub-porciones a lo largo de la pista, mientras que la anchura del patrón de escaneo está adaptada para corresponder a la anchura de la subparte respectiva sometida a tratamiento térmico en cada momento específico. Por ejemplo, un cambio de anchura de la parte a calentar superior a un X % puede requerir una correspondiente reducción de la anchura del punto efectivo y, por lo tanto, un correspondiente cambio del patrón de escaneo, incluyendo un cambio de la anchura del patrón de escaneo que tenga en cuenta la anchura o diámetro del punto láser primario, es decir, del punto láser que en cada lugar específico es proyectado sobre la superficie o superficies que se estén tratando.

35

40

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas. Un primer aspecto de la invención se refiere a un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

45

proyectar un haz de energía sobre una superficie del objeto, para producir un punto primario sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo para establecer un punto efectivo (que también se puede llamar un punto virtual, creado por el escaneo bidimensional del punto primario) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y desplazar el punto efectivo a lo largo de una pista sobre la superficie del objeto para calentar progresivamente una parte seleccionada del objeto;

50

en el que la parte seleccionada tiene una primera anchura en una primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte de la misma) y una segunda anchura en una segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte de la misma). Es decir, la parte seleccionada, tal como una banda o tira a calentar, tiene básicamente una anchura que varía a lo largo de la pista, siendo la anchura la dimensión de la parte seleccionada perpendicular a la pista o línea seguida por el punto efectivo. En algunas realizaciones, la primera anchura es sustancialmente constante a lo largo de una primera subparte del objeto, y la segunda anchura es sustancialmente constante a lo largo de una segunda subparte del objeto, por lo que las posiciones primera y segunda corresponden a posiciones dentro de las respectivas subpartes.

55

60

El haz se escanea de acuerdo con el patrón de escaneo de modo que el haz repita el patrón de escaneo con una primera frecuencia, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tiene dicha primera anchura), y con una segunda frecuencia en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tiene dicha segunda anchura). Tanto dicha

65

primera frecuencia como dicha segunda frecuencia son mayores de 10 Hz, y la segunda anchura es inferior al 75 % de la primera anchura. La segunda frecuencia es mayor del 60 % de la primera frecuencia y menor del 140 % de la primera frecuencia.

- 5 Según se ha explicado anteriormente, para adaptarse a los cambios de anchura de la parte a calentar, debe adaptarse el punto efectivo al menos reduciendo su extensión en la dirección perpendicular a la pista seguida por el punto efectivo, es decir, en la dirección de la anchura. Normalmente eso implica adaptar el patrón de escaneo, por ejemplo, reduciendo o aumentando su extensión máxima en la dirección de la anchura, es decir, la dirección perpendicular a la pista. Sin embargo, adaptar consecuentemente el patrón de escaneo afecta normalmente a la tasa de repetición del patrón de escaneo: para una velocidad de escaneo dada, un patrón de escaneo más pequeño o más corto puede repetirse típicamente con una frecuencia más alta que un patrón de escaneo más grande o más largo.

15 Sin embargo, se ha observado sorprendentemente que mantener la tasa de repetición del patrón de escaneo sustancialmente constante, tal como con una desviación inferior al 40 % de la frecuencia de referencia (es decir, de modo que la frecuencia en la parte con menor anchura se desvíe menos del 40 % con respecto a la frecuencia en la parte con mayor anchura, y viceversa) puede ser útil para permitir un mantenimiento sustancial del rendimiento, por ejemplo, en términos de endurecimiento, muerte o prevención del sobrecalentamiento de la superficie, etc. Las razones de esto no están del todo claras, pero se cree que pueden tener que ver con el hecho de que una tasa de repetición sustancialmente constante puede tener una influencia sobre cuestiones tales como las fluctuaciones de temperatura dentro del área que está siendo calentada por el punto efectivo, y/o sobre la deformación del patrón de escaneo teórico cuando el movimiento repetitivo bidimensional, por el cual el punto primario sigue el patrón de escaneo, se superpone al movimiento del punto efectivo a lo largo de la pista. Adicional o alternativamente, parece ser que una tasa de repetición muy alta del patrón de escaneo puede no ser óptima en el sentido de que podría implicar una aplicación de calor excesivamente agresiva, al aumentar el número de veces o la frecuencia con la que una subárea determinada recibe el haz láser. Parece que esto puede afectar a la profundidad del tratamiento térmico y/o dar lugar a un sobrecalentamiento de la capa superficial. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, en el caso del endurecimiento por láser, se ha observado que un aumento sustancial de la frecuencia con la que se repite el patrón de escaneo puede dar lugar a la fusión de la capa superficial e incluso a ondas en la misma, afectando así negativamente a la calidad del producto.

30 Por lo tanto, y contrariamente al enfoque prima facie más atractivo, que implica aumentar la tasa de repetición del patrón de escaneo cuando se reduce la anchura del punto efectivo (aprovechando al máximo la capacidad del escáner para reducir las fluctuaciones de temperatura dentro del área que se esté calentando, según se explica p. ej. en el documento WO-2014/037281-A2), al mantener la tasa de repetición sustancialmente constante (por ejemplo, desviándose menos del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 % de una tasa de repetición dada, tal como la establecida para una subparte más ancha o más estrecha), se puede mejorar la homogeneidad del tratamiento térmico a lo largo de la pista, a pesar de variaciones sustanciales de la anchura de la parte sometida al tratamiento térmico.

40 Las expresiones "primera posición" y "segunda posición" se utilizan simplemente para distinguir entre estas dos posiciones a lo largo de la pista, y pretenden denotar cualquier orden específico de estas dos posiciones a lo largo de la pista. Es decir, la primera posición puede alcanzarse antes o después de la segunda posición cuando el punto efectivo avanza a lo largo de la pista.

45 En algunas realizaciones de la invención, la segunda anchura es menos del 60 % de dicha primera anchura, tal como menos del 50 % de dicha primera anchura. Por lo tanto, pueden aceptarse fácilmente cambios sustanciales de la anchura de la parte que se calienta en un barrido del punto efectivo a lo largo de la pista, mientras se mantienen las características deseadas del producto resultante en términos de, por ejemplo, parámetros tales como la profundidad de endurecimiento, al mantener sustancialmente constante la tasa de repetición del patrón de escaneo, a pesar de la tendencia natural a operar el escáner a la velocidad de escaneo más alta posible, o cerca de la misma.

50 En algunas realizaciones de la invención, la segunda frecuencia es más del 70 % de dicha primera frecuencia, tal como más del 75 %, 80 %, 85 % o 90 % de dicha primera frecuencia. En algunas realizaciones de la invención, la segunda frecuencia es menor del 130 % de dicha primera frecuencia, tal como menor del 125 %, 120 %, 115 % o 110 % de dicha primera frecuencia.

55 Es decir, como se ha explicado anteriormente, se prefiere que la segunda frecuencia sea sustancialmente igual a la primera frecuencia, por ejemplo, sin variar con respecto a la primera frecuencia más del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 %, a pesar de variaciones sustanciales de la anchura, por ejemplo, siendo la segunda anchura inferior al 75 %, 60 %, 50 %, 40 % o 30 % de la primera anchura. Por ejemplo, en tales casos, la segunda frecuencia puede estar comprendida entre el 60 % y el 140 % de la primera frecuencia, tal como entre el 70 % y el 130 % de la primera frecuencia, incluyendo entre el 80 % y el 120 % de la primera frecuencia, entre el 85 % y 115 % de la primera frecuencia, entre el 90 % y el 110 % y entre el 95 % y el 105 % de la primera frecuencia.

65 En algunas realizaciones de la invención, la velocidad promedio del punto primario a lo largo del patrón de escaneo (en términos de la longitud del patrón de escaneo dividida por el tiempo necesario para que el punto primario complete el patrón de escaneo) es sustancialmente mayor cuando el punto efectivo está en la primera posición a lo largo de la

pista que cuando el punto efectivo está en la segunda posición a lo largo de la pista. En algunas de estas realizaciones, la velocidad promedio del punto primario a lo largo del patrón de escaneo es al menos 10 % más alta cuando el punto efectivo está en la primera posición a lo largo de la pista que cuando el punto efectivo está en la segunda posición a lo largo de la pista. En algunas de estas realizaciones, la velocidad promedio del punto primario a lo largo del patrón de escaneo es al menos un 20 % más alta, tal como al menos un 30 % más alta, un 50 % más alta o un 100 % más alta, cuando el punto efectivo está en la primera posición a lo largo de la pista que cuando el punto efectivo está en la segunda posición a lo largo de la pista. En algunas realizaciones, la velocidad promedio es X % más alta cuando el punto efectivo está en la primera posición a lo largo de la pista que cuando el punto efectivo está en la segunda posición a lo largo de la pista, siendo X al menos 10, tal como al menos 20, 30, 40, 50, 75, 100, 200 o más. Una velocidad promedio sustancialmente más alta en la primera posición que en la segunda posición puede servir para mantener la tasa de repetición del patrón de escaneo (frecuencia de repetición) sustancialmente igual en la primera posición y en la segunda posición, a pesar del hecho de que el patrón de escaneo puede ser sustancialmente más largo en la primera posición, debido a la mayor anchura del punto efectivo necesaria para cubrir la mayor anchura de la parte a calentar en la primera posición.

En algunas realizaciones de la invención, el punto efectivo presenta un primer flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2) sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y un segundo flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2) sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo el segundo flujo de energía de radiación no más del 110 % de dicho primer flujo de energía de radiación, y no menos del 90 % de dicho primer flujo de energía de radiación.

El flujo de energía de radiación se refiere a cuánta energía, por unidad de superficie a tratar, aplica el punto efectivo cuando barre a lo largo de la pista. Se ha descubierto que para un tratamiento térmico homogéneo (por ejemplo, en términos de profundidad de endurecimiento y/u otros parámetros de calidad), se puede preferir un flujo homogéneo de energía de radiación. Se prefiere que no solo el propio flujo de energía de radiación permanezca sustancialmente constante, tal como desviándose menos del 10 % en la segunda posición en comparación con dicha primera posición, sino que también la distribución del flujo de energía de radiación a lo largo y a través del punto efectivo se mantenga sustancialmente constante. Por ejemplo, si una parte delantera del punto efectivo representa el Y % del flujo de energía de radiación total del punto efectivo en la primera posición, se prefiere que la parte delantera represente aproximadamente el Y % del flujo de energía de radiación total del punto efectivo también en la segunda posición a lo largo de la pista, tal como más de $0,9*Y$ % y menos de $1,1*Y$ %. Se ha descubierto que esto contribuye a un rendimiento sustancialmente uniforme en términos de calidad del tratamiento térmico (por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, en términos de profundidad de endurecimiento, etc.).

En algunas realizaciones de la invención, tanto dicha primera frecuencia como dicha segunda frecuencia son mayores de 25 Hz, tal como mayores de 80 Hz, tal como mayores de 80 Hz y menores de 150 Hz, tal como mayores de 80 Hz y menores de 120 Hz. Por ejemplo, en el caso de muchas aplicaciones de endurecimiento de superficies, se ha descubierto que las frecuencias mayores de 80 Hz y menores de 120 Hz proporcionan buenos resultados.

En algunas realizaciones de la invención, la adaptación de la distribución de energía bidimensional del punto efectivo incluye adaptar la distribución de energía bidimensional:

- modificando (es decir, aumentando o reduciendo) la anchura del punto efectivo mediante adaptación del patrón de escaneo, y
- adaptando la velocidad promedio a la que el punto primario se mueve a lo largo del patrón de escaneo.

En algunas realizaciones de la invención, el haz de energía tiene una primera potencia promedio, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tiene una primera anchura), y una segunda potencia promedio, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tiene dicha segunda anchura), siendo la segunda potencia promedio al menos un 10 % menor que la primera potencia promedio (tal como al menos un 20 %, 30 %, 40 % o 50 % menor que la primera potencia promedio). El término "*potencia promedio*" se refiere a la cantidad de energía aplicada por el haz láser durante un ciclo del patrón de escaneo dividida por la duración del ciclo. Aunque, desde una perspectiva de maximización del uso eficiente de la potencia del láser, suele ser preferible operar el láser sustancialmente a su máxima potencia de salida durante todo o una parte sustancial del escaneo, se ha descubierto que esto puede no ser apropiado o adecuado, o que dista de ser óptimo para muchas aplicaciones. Por ejemplo, si el flujo de energía de radiación en términos de J/m^2 se mantiene constante, una anchura reducida del patrón de escaneo en correspondencia con una subparte más estrecha de la parte sometida a tratamiento térmico, mientras se mantiene constante la potencia del láser, podría compensarse, por ejemplo, aumentando la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista. Sin embargo, tal aumento de velocidad podría tener un impacto sustancial sobre los parámetros de calidad del tratamiento térmico, por ejemplo, en el caso del endurecimiento superficial con láser, en términos de la profundidad de endurecimiento. Por ejemplo, en el caso de una disminución del 50 % de la anchura de la parte que se esté endureciendo, mantener constante la potencia del haz y el flujo de energía de radiación podría requerir duplicar la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista, lo que puede no ser óptimo. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, la profundidad de endurecimiento puede resultar insuficiente y/o puede producirse un sobrecalentamiento de la superficie. Por lo tanto, reducir la potencia promedio del haz podría ser una

mejor opción, aunque implique un uso menos que óptimo de la potencia láser disponible que ofrece el equipo.

En algunas realizaciones de la invención, el punto efectivo (12A, 12B) se desplaza a lo largo de la pista con una primera velocidad, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y con una segunda velocidad en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo la segunda velocidad diferente de la primera velocidad. Por ejemplo, la segunda velocidad puede diferir de la primera velocidad en al menos un 10 %, 20 %, 30 % o más. Cambiar la velocidad con la que se mueve el punto efectivo (es decir, la llamada velocidad de proceso) puede contribuir a reducir la necesidad de modificar la potencia del haz cuando se transita desde una subparte que tenga una anchura hasta una subparte que tenga otra anchura, mientras se mantiene el flujo de energía de radiación sustancialmente constante. Por ejemplo, la velocidad puede ser más alta en correspondencia con una subparte más estrecha a calentar que en correspondencia con una subparte más ancha a calentar, para compensar al menos parcialmente la disminución de la anchura del punto efectivo, manteniendo el flujo de energía de radiación y la potencia promedio del haz sustancialmente constantes. Como alternativa, la velocidad puede ser menor en correspondencia con la subparte más estrecha, compensando así el uso de una potencia de haz promedio menor, según se ha discutido anteriormente, permitiendo que el flujo de energía de radiación en términos de J/m^2 se mantenga sustancialmente constante.

En algunas realizaciones de la invención, el punto efectivo tiene una longitud menor, en la dirección paralela a la pista, en correspondencia con la primera posición que en correspondencia con la segunda posición, por ejemplo, al menos 10%, 20 %, 30 %, 40 % o 50 % menor. Hacer que el punto efectivo sea más largo en correspondencia con una subparte más estrecha a tratar térmicamente que en correspondencia con una subparte más ancha, puede contribuir a mantener el flujo de energía de radiación sustancialmente constante mientras aumenta la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista, a la vez que cada parte determinada a lo largo de la pista se mantiene sometida a tratamiento térmico durante una cantidad de tiempo suficiente, por ejemplo, para lograr un endurecimiento o ablandamiento o profundidad de fusión deseados. Es decir, básicamente, una mayor velocidad a lo largo de la pista para evitar el sobrecalentamiento, mientras se mantiene la potencia del haz relativamente alta, puede ser compensada alargando el punto efectivo en la dirección paralela a la pista.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

proyectar un haz de energía sobre una superficie del objeto, para producir un punto primario sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo para establecer un punto efectivo (virtual) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y desplazar el punto efectivo a lo largo de una pista sobre la superficie del objeto para calentar progresivamente una parte seleccionada del objeto;

en el que la parte seleccionada tiene una primera anchura en una primera posición a lo largo de la pista y una segunda anchura en una segunda posición a lo largo de la pista. Es decir, la parte seleccionada, tal como una banda o tira a calentar, tiene básicamente una anchura que varía a lo largo de la pista, siendo la anchura la dimensión de la parte seleccionada perpendicular a la pista o línea seguida por el punto efectivo. En algunas realizaciones, la primera anchura es sustancialmente constante a lo largo de una primera subparte del objeto, y la segunda anchura es sustancialmente constante a lo largo de una segunda subparte del objeto, por lo que las posiciones primera y segunda corresponden a posiciones dentro de las respectivas subpartes. En algunas realizaciones la segunda anchura es menor del 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 % o 40 % de la primera anchura. La primera posición puede colocarse antes o después de la segunda posición en la dirección a lo largo de la pista seguida por el punto efectivo.

El haz se escanea de acuerdo con el patrón de escaneo de modo que el haz repita el patrón de escaneo con una primera frecuencia, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tiene dicha primera anchura), y con una segunda frecuencia en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tiene dicha segunda anchura). Tanto dicha primera frecuencia como dicha segunda frecuencia son mayores de 10 Hz (tal como mayores de 50, 80 o 100 Hz). La primera y segunda frecuencias pueden ser sustancialmente idénticas o diferentes; en algunas realizaciones se prefiere que sean sustancialmente idénticas, por ejemplo, que la segunda frecuencia no difiera de la primera frecuencia en más del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 %.

El haz de energía tiene una primera potencia promedio, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tenga la primera anchura), y una segunda potencia promedio, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tenga la segunda anchura), siendo la segunda potencia promedio más pequeña que la primera potencia promedio (tal como al menos un 10 %, 20 %, 30 %, 40 % o 50 % más pequeña que la primera potencia promedio). El término "*potencia promedio*" se refiere a la cantidad de energía aplicada por el haz láser durante un ciclo del patrón de escaneo dividida por la duración del ciclo. Aunque, desde una perspectiva de maximización del uso eficiente de la potencia del láser, suele ser preferible operar el láser sustancialmente a su máxima potencia de salida durante todo o una parte sustancial del escaneo, se ha descubierto que esto puede no ser apropiado o adecuado, o que dista de ser óptimo para muchas aplicaciones. Por ejemplo, si el flujo de energía de radiación en términos de J/m^2 se mantiene constante,

una anchura reducida del patrón de escaneo en correspondencia con una subparte más estrecha de la parte sometida a tratamiento térmico, mientras se mantiene constante la potencia del láser, podría compensarse, por ejemplo, aumentando la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista. Sin embargo, tal aumento de velocidad podría tener un impacto sustancial sobre los parámetros de calidad del tratamiento térmico, por ejemplo, en el caso del endurecimiento superficial con láser, en términos de la profundidad de endurecimiento. Por ejemplo, en el caso de una disminución del 50 % de la anchura de la parte que se esté endureciendo, mantener constante la potencia del haz y el flujo de energía de radiación podría requerir duplicar la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista, lo que puede no ser óptimo. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, la profundidad de endurecimiento puede resultar insuficiente y/o puede producirse un sobrecalentamiento de la superficie. Por lo tanto, reducir la potencia promedio del haz podría ser una mejor opción, aunque podría implicar un uso no óptimo de la potencia láser disponible.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

proyectar un haz de energía sobre una superficie del objeto, para producir un punto primario sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo para establecer un punto efectivo (virtual) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y

desplazar el punto efectivo a lo largo de una pista sobre la superficie del objeto para calentar progresivamente una parte seleccionada del objeto;

en el que la parte seleccionada tiene una primera anchura en una primera posición a lo largo de la pista y una segunda anchura en una segunda posición a lo largo de la pista. Es decir, la parte seleccionada, tal como una banda o tira a calentar, tiene básicamente una anchura que varía a lo largo de la pista, siendo la anchura la dimensión de la parte seleccionada perpendicular a la pista o línea seguida por el punto efectivo. En algunas realizaciones, la primera anchura es sustancialmente constante a lo largo de una primera subparte del objeto, y la segunda anchura es sustancialmente constante a lo largo de una segunda subparte del objeto, por lo que las posiciones primera y segunda corresponden a posiciones dentro de las respectivas subpartes. En algunas realizaciones la segunda anchura es menor del 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 % o 40 % de la primera anchura. La primera posición puede colocarse antes o después de la segunda posición en la dirección a lo largo de la pista seguida por el punto efectivo.

El haz se escanea de acuerdo con el patrón de escaneo de modo que el haz repita el patrón de escaneo con una primera frecuencia, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tenga dicha primera anchura), y con una segunda frecuencia, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tenga dicha segunda anchura), siendo tanto dicha primera frecuencia como dicha segunda frecuencia mayores de 10 Hz (tal como mayores de 50, 80 o 100 Hz). La primera y segunda frecuencias pueden ser sustancialmente idénticas o diferentes; en algunas realizaciones se prefiere que sean sustancialmente idénticas, por ejemplo, que la segunda frecuencia no difiera de la primera frecuencia en más del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 %.

El punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista con una primera velocidad, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y con una segunda velocidad, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo la segunda velocidad diferente de la primera velocidad. Por ejemplo, la segunda velocidad puede diferir de la primera velocidad en al menos un 10 %, 20 %, 30 % o más, por ejemplo, la segunda velocidad puede ser al menos un 10 %, 20 %, 30 % más alta o más baja que la primera velocidad. Cambiar la velocidad puede contribuir a reducir la necesidad de modificar la potencia del haz cuando se transita desde una subparte que tenga una anchura hasta una subparte que tenga otra anchura, mientras se mantiene el flujo de energía de radiación sustancialmente constante. Por ejemplo, la velocidad puede ser más alta en correspondencia con una subparte más estrecha a calentar que en correspondencia con una subparte más ancha a calentar, para compensar al menos parcialmente la disminución de la anchura del punto efectivo, manteniendo el flujo de energía de radiación y, opcionalmente, la potencia promedio del haz sustancialmente constantes. Como alternativa, la velocidad puede ser menor en correspondencia con la subparte más estrecha, compensando así el uso de una potencia de haz promedio menor, según se ha discutido anteriormente, permitiendo que el flujo de energía de radiación en términos de J/m² se mantenga sustancialmente constante.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

proyectar un haz de energía sobre una superficie del objeto, para producir un punto primario sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo para establecer un punto efectivo (virtual) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y desplazar el punto efectivo a lo largo de una pista sobre la superficie del objeto para calentar progresivamente una parte seleccionada del objeto;

en el que la parte seleccionada tiene una primera anchura en una primera posición a lo largo de la pista y una segunda anchura en una segunda posición a lo largo de la pista. Es decir, la parte seleccionada, tal como una

- banda o tira a calentar, tiene básicamente una anchura que varía a lo largo de la pista, siendo la anchura la dimensión de la parte seleccionada perpendicular a la pista o línea seguida por el punto efectivo. En algunas realizaciones, la primera anchura es sustancialmente constante a lo largo de una primera subparte del objeto, y la segunda anchura es sustancialmente constante a lo largo de una segunda subparte del objeto, por lo que las posiciones primera y segunda corresponden a posiciones dentro de las respectivas subpartes. En algunas realizaciones la segunda anchura es menor del 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 % o 40 % de la primera anchura. La primera posición puede colocarse antes o después de la segunda posición en la dirección a lo largo de la pista seguida por el punto efectivo.
- El haz se escanea de acuerdo con el patrón de escaneo de modo que el haz repita el patrón de escaneo con una primera frecuencia, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una primera subparte que tiene dicha primera anchura), y con una segunda frecuencia en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista (tal como a lo largo de una segunda subparte que tiene dicha segunda anchura). Tanto dicha primera frecuencia como dicha segunda frecuencia son mayores de 10 Hz, tal como mayores de 50, 80 o 100 Hz. La primera y segunda frecuencias pueden ser sustancialmente idénticas o diferentes; en algunas realizaciones se prefiere que sean sustancialmente idénticas, por ejemplo, que la segunda frecuencia no difiera de la primera frecuencia en más del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 %.
- El punto efectivo tiene una longitud en la dirección paralela a la pista que es menor en correspondencia con la primera posición que en correspondencia con la segunda posición, por ejemplo, al menos 10%, 20 %, 30 %, 40 % o 50 % menor. Hacer que el punto efectivo sea más largo en correspondencia con una subparte más estrecha a tratar térmicamente que en correspondencia con una subparte más ancha, puede contribuir a mantener el flujo de energía de radiación sustancialmente constante mientras aumenta la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista, manteniendo al mismo tiempo cada parte dada, a lo largo de la pista, sometida a tratamiento térmico durante una cantidad de tiempo suficiente, por ejemplo, para lograr un endurecimiento o ablandamiento o profundidad de fusión deseados. Es decir, básicamente, una mayor velocidad a lo largo de la pista para evitar el sobrecalentamiento, mientras se mantiene la potencia del haz relativamente alta, puede ser compensada alargando el punto efectivo en la dirección paralela a la pista.
- Los diferentes aspectos se pueden combinar, por ejemplo, variando la potencia promedio del haz y la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista, o variando la potencia promedio del haz y la longitud del punto efectivo, o variando la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista y la longitud del punto efectivo, o variando estos tres parámetros, mientras que opcionalmente se mantiene la tasa de repetición del patrón de escaneo sustancialmente constante.
- En algunas realizaciones de la invención, el punto efectivo presenta un primer flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2) sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y un segundo flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2) sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo el segundo flujo de energía de radiación no más del 140 % de dicho primer flujo de energía de radiación, y no menos del 60 % de dicho primer flujo de energía de radiación, tal como no más del 130 % de dicho primer flujo de energía de radiación y no menos del 70 % de dicho primer flujo de energía de radiación, tal como no más del 120 % de dicho primer flujo de energía de radiación y no menos del 80 % de dicho primer flujo de energía de radiación, tal como no más del 110 % de dicho primer flujo de energía de radiación y no menos del 90 % de dicho primer flujo de energía de radiación, tal como no más del 105 % de dicho primer flujo de energía de radiación y no menos del 95 % de dicho primer flujo de energía de radiación. El flujo de energía de radiación se refiere a cuánta energía, por unidad de superficie a tratar, aplica el punto efectivo cuando barre a lo largo de la pista. Se ha descubierto que para un tratamiento térmico homogéneo (por ejemplo, en términos de profundidad de endurecimiento y/u otros parámetros de calidad), se puede preferir un flujo homogéneo de energía de radiación. Se prefiere que no solo el propio flujo de energía de radiación permanezca sustancialmente constante, tal como desviándose menos del 40 %, 30 %, 20 %, 10 % o 5 % en la segunda posición en comparación con dicha primera posición, sino que también la distribución del flujo de energía de radiación a lo largo y a través del punto efectivo se mantenga sustancialmente constante. Por ejemplo, si una parte delantera del punto efectivo representa el Y % del flujo de energía de radiación total del punto efectivo en la primera posición, se prefiere que la parte delantera represente aproximadamente el Y % del flujo de energía de radiación total del punto efectivo en la segunda posición a lo largo de la pista, tal como más de $0,9 \cdot Y$ % y menos de $1,1 \cdot Y$ %. Se ha descubierto que esto contribuye a un rendimiento sustancialmente uniforme en términos de calidad del tratamiento térmico (por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, en términos de profundidad de endurecimiento, etc.). Al establecer de manera apropiada parámetros tales como la potencia promedio del haz, la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista y la longitud del punto efectivo en la dirección paralela a la pista, es posible mantener el flujo de energía de radiación sustancialmente constante y al mismo tiempo cumplir con otros requisitos del proceso, tales como, por ejemplo, un adecuado calentamiento de la superficie que evite, por ejemplo, la refusión o el sobrecalentamiento, una profundidad adecuada del tratamiento, tal como una profundidad de endurecimiento adecuada, etc.
- En algunas realizaciones de la invención, el primer patrón de escaneo representa un tercer flujo de energía de radiación definido como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del primer patrón de escaneo dividida por el área de superficie barrida por el punto primario durante ese barrido a lo largo del primer patrón de escaneo, y en el que el segundo patrón de escaneo (11B) representa un cuarto flujo de energía de radiación definido

como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del segundo patrón de escaneo dividida por el área de superficie barrida por el punto primario durante ese barrido a lo largo del segundo patrón de escaneo, en el que el tercer flujo de energía de radiación es sustancialmente idéntico al cuarto flujo de energía de radiación. En este contexto, "sustancialmente idéntico" significa que el cuarto flujo de energía de radiación no difiere del tercer flujo de energía de radiación en más del 40 %, de preferencia en no más del 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 %, 2 % o 1 %.

Se ha descubierto que, manteniendo sustancialmente constante el flujo de energía de radiación correspondiente al patrón de escaneo, se pueden mantener los parámetros de calidad, por ejemplo, en lo que respecta a la profundidad de endurecimiento, etc. Por ello, se pueden mantener sustancialmente constantes dos tipos de flujo de energía de radiación: el correspondiente a la energía de radiación por unidad de superficie, aplicada a cada una de las diferentes subpartes debido al movimiento del punto efectivo a lo largo de la subparte respectiva, y el correspondiente al patrón de escaneo, es decir, el definido por la energía aplicada por el punto primario cuando barre una vez a lo largo del patrón de escaneo dividida por el área realmente barrida por el punto primario cuando se mueve una vez a lo largo del patrón de escaneo. En el caso de una distribución compleja del patrón o de la energía, tal como una con una densidad de energía más alta en correspondencia con una parte delantera que en correspondencia con una parte trasera, la identidad entre los flujos de energía de radiación correspondientes al patrón de escaneo también debería existir preferiblemente entre diferentes partes de los patrones de escaneo, por ejemplo, el flujo de energía de radiación correspondiente a la parte delantera del primer patrón de escaneo será de preferencia sustancialmente idéntico al flujo de energía de radiación correspondiente a la parte delantera del segundo patrón de escaneo, y el flujo de energía de radiación correspondiente a la parte trasera del primer patrón de escaneo será de preferencia sustancialmente idéntico al flujo de energía de radiación correspondiente a la parte trasera del segundo patrón de escaneo. Se ha descubierto que mantener los flujos de energía de radiación sustancialmente constantes, a pesar de los cambios de anchura de la parte que se esté calentando (y a pesar de los correspondientes cambios de anchura del patrón de escaneo y del punto efectivo), no solo en lo que respecta al flujo de energía de radiación, en términos de J/m^2 , aplicado a las respectivas subpartes de la pista, sino también en lo que respecta al flujo de energía de radiación correspondiente al propio patrón de escaneo (es decir, el flujo de energía de radiación correspondiente a un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo) y a las partes individuales del mismo (especialmente cuando el flujo de energía no es constante a lo largo del patrón de escaneo, por ejemplo, debido a diferentes velocidades de escaneo y/o diferentes niveles de potencia del haz en correspondencia con diferentes partes del patrón de escaneo), ayuda a mantener el rendimiento del proceso sustancialmente constante a lo largo de toda la parte que se calienta (por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, la profundidad y la calidad del endurecimiento se pueden mantener sustancialmente constantes a lo largo de toda la parte sometida a tratamiento térmico). Además, se ha descubierto que un parámetro adicional, que contribuye a (y en algunos casos puede ser necesario para) mantener el rendimiento del proceso sustancialmente constante a lo largo de la pista, es una frecuencia de escaneo sustancialmente constante, tal como una frecuencia de escaneo que no se desvíe más del 20 %, 10 % o 5 % de una frecuencia de escaneo promedio o de referencia.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

proyectar un haz de energía sobre una superficie del objeto, para producir un punto primario sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo para establecer un punto efectivo (virtual) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y desplazar el punto efectivo a lo largo de una pista sobre la superficie del objeto para calentar progresivamente una parte seleccionada del objeto;

en el que la parte seleccionada tiene una primera anchura a lo largo de una primera subparte y una segunda anchura a lo largo de una segunda subparte de la parte seleccionada; es decir, la anchura permanece sustancialmente constante en toda la subparte respectiva, tal como desviándose menos del 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 % de una anchura promedio. La primera anchura es mayor que la segunda anchura (W_2). En algunas realizaciones, la segunda anchura (promedio) es inferior al 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 % o 40 % de la primera anchura (promedio). La primera subparte puede estar situada antes o después de la segunda subparte en la dirección a lo largo de la pista seguida por el punto efectivo.

El haz se escanea de acuerdo con un primer patrón de escaneo en la primera subparte y de acuerdo con el segundo patrón de escaneo en la segunda subparte, en el que el primer patrón de escaneo es repetido por el haz con una primera frecuencia y en el que el segundo patrón de escaneo es repetido por el haz con una segunda frecuencia, y en el que tanto dicha primera frecuencia como dicha segunda frecuencia son mayores de 10 Hz, tal como mayores de 50, 80 o 100 Hz. La primera y segunda frecuencias pueden ser sustancialmente idénticas o diferentes; en algunas realizaciones se prefiere que sean sustancialmente idénticas, por ejemplo, que la segunda frecuencia no difiera de la primera frecuencia en más del 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 % o 1 %.

La primera subparte es sometida a un primer flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2) y la segunda subparte es sometida a un segundo flujo de energía de radiación (en términos de J/m^2). El primer patrón de escaneo representa un tercer flujo de energía de radiación definido como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del primer patrón de escaneo dividida por el área de la superficie barrida por el punto primario, y el segundo patrón de escaneo representa un cuarto flujo de energía de radiación definido como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del segundo patrón de barrido dividida por el área de la superficie barrida por el punto primario.

El primer flujo de energía de radiación es sustancialmente idéntico al segundo flujo de energía de radiación, y el tercer flujo de energía de radiación es sustancialmente idéntico al cuarto flujo de energía de radiación.

En este contexto, "sustancialmente idéntico" significa que el segundo flujo de energía de radiación no difiere del primer flujo de energía de radiación en más del 40 %, de preferencia en no más del 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 %, 2 % o 1 %, y que el cuarto flujo de energía de radiación no difiere del tercer flujo de energía de radiación en más del 40 %, de preferencia en no más del 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 5 %, 2 % o 1 %.

Se ha descubierto que, manteniendo sustancialmente constante el flujo de energía de radiación correspondiente al patrón de escaneo, se pueden mantener los parámetros de calidad, por ejemplo, en lo que respecta a la profundidad de endurecimiento, etc. Por ello, se pueden mantener sustancialmente constantes dos tipos de flujo de energía de radiación: el correspondiente a la energía de radiación por unidad de superficie, aplicada a cada una de las diferentes subpartes debido al movimiento del punto efectivo a lo largo de la subparte respectiva, y el correspondiente al patrón de escaneo, es decir, el definido por la energía aplicada por el punto primario cuando barre una vez a lo largo del patrón de escaneo dividido por el área realmente barrida por el punto primario cuando se mueve una vez a lo largo del patrón de escaneo. En el caso de una distribución compleja del patrón o de la energía, tal como una con una densidad de energía más alta en correspondencia con una parte delantera que en correspondencia con una parte trasera, la identidad entre los flujos de energía de radiación correspondientes al patrón de escaneo también debería existir preferiblemente entre diferentes partes de los patrones de escaneo, por ejemplo, el flujo de energía de radiación correspondiente a la parte delantera del primer patrón de escaneo será de preferencia sustancialmente idéntico al flujo de energía de radiación correspondiente a la parte delantera del segundo patrón de escaneo, y el flujo de energía de radiación correspondiente a la parte trasera del primer patrón de escaneo será de preferencia sustancialmente idéntico al flujo de energía de radiación correspondiente a la parte trasera del segundo patrón de escaneo. Se ha descubierto que mantener los flujos de energía de radiación sustancialmente constantes, a pesar de los cambios de anchura de la parte que se esté calentando (y a pesar de los correspondientes cambios de anchura del patrón de escaneo y del punto efectivo), no solo en lo que respecta al flujo de energía de radiación, en términos de J/m^2 , aplicado a las respectivas subpartes de la pista, sino también en lo que respecta al flujo de energía de radiación correspondiente al propio patrón de escaneo (es decir, el flujo de energía de radiación correspondiente a un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo) y a las partes individuales del mismo (especialmente cuando el flujo de energía no es constante a lo largo del patrón de escaneo, por ejemplo, debido a diferentes velocidades de escaneo y/o diferentes niveles de potencia del haz en correspondencia con diferentes partes del patrón de escaneo), ayuda a mantener el rendimiento del proceso sustancialmente constante a lo largo de toda la parte que se calienta (por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, la profundidad y la calidad del endurecimiento se pueden mantener sustancialmente constantes a lo largo de toda la parte sometida a tratamiento térmico). Además, se ha descubierto que un parámetro adicional, que contribuye a (y en algunos casos puede ser necesario para) mantener el rendimiento del proceso sustancialmente constante a lo largo de la pista, es una frecuencia de escaneo sustancialmente constante, tal como una frecuencia de escaneo que no se desvíe más del 20 %, 10 % o 5 % de una frecuencia de escaneo promedio o de referencia.

En algunas realizaciones de la invención, el haz de energía tiene una primera potencia promedio en correspondencia con la primera subparte y una segunda potencia promedio en correspondencia con la segunda subparte, siendo la segunda potencia promedio menor que la primera potencia promedio, tal como al menos 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % menor que la primera potencia promedio. El término "*potencia promedio*" se refiere a la cantidad de energía aplicada por el haz láser durante un ciclo del patrón de escaneo dividida por la duración del ciclo. Aunque, desde una perspectiva de maximización del uso eficiente de la potencia del láser, suele ser preferible operar el láser sustancialmente a su máxima potencia de salida durante todo o una parte sustancial del escaneo, se ha demostrado que esto puede no ser apropiado o que al menos puede no ser óptimo para muchas aplicaciones. Por ejemplo, si el flujo de energía de radiación en términos de J/m^2 se mantiene constante, una anchura reducida del patrón de escaneo en correspondencia con una subparte más estrecha de la parte sometida a tratamiento térmico, mientras se mantiene constante la potencia del láser, podría compensarse, por ejemplo, aumentando la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista. Sin embargo, tal aumento de velocidad podría tener un impacto sustancial sobre los parámetros de calidad del tratamiento térmico, por ejemplo, en el caso del endurecimiento superficial con láser, en términos de la profundidad de endurecimiento. Por ejemplo, en el caso de una disminución del 50 % de la anchura de la parte que se esté endureciendo, mantener constante la potencia del haz y el flujo de energía de radiación podría requerir duplicar la velocidad con la que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista.

Lo que se ha indicado en relación con el primer aspecto de la invención también es aplicable a los aspectos adicionales de la invención, *mutatis mutandis*.

En algunas realizaciones de la invención, la segunda anchura es menos del 90 % de la primera anchura, tal como menor del 80 %, 70 %, 60 %, 50 %, etc. de la primera anchura. Los cambios sustanciales de anchura se pueden compensar adaptando los parámetros del proceso, tales como la potencia promedio del haz a lo largo del patrón de escaneo, la velocidad del punto efectivo a lo largo de la pista, la extensión del punto efectivo en la dirección paralela a la pista, etc., mientras opcionalmente se mantiene la tasa de repetición o frecuencia del patrón de escaneo sustancialmente constante, tal como dentro de un intervalo de ± 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 % o menos de una frecuencia de referencia.

En algunas realizaciones de la invención, la segunda frecuencia es más del 60 % de la primera frecuencia y menos del 140 % de la primera frecuencia, tal como más del 70 % de la primera frecuencia y menos del 130 % de la primera frecuencia, tal como más del 75 % de la primera frecuencia y menos del 125 % de la primera frecuencia, tal como más del 80 % de la primera frecuencia y menos del 120 % de la primera frecuencia, tal como más del 85 % de la primera frecuencia y menos del 115 % de la primera frecuencia, tal como más del 90 % de la primera frecuencia y menos del 110 % de la primera frecuencia, tal como más del 95 % de la primera frecuencia y menos del 105 % de la primera frecuencia. Según se ha explicado anteriormente, a menudo se prefiere mantener la frecuencia constante a pesar de las variaciones de anchura de la parte que se vaya a calentar a lo largo de la pista.

En algunas realizaciones de la invención, el haz de energía es un haz láser. A menudo se prefiere un haz láser debido a cuestiones tales como el coste, la fiabilidad y la disponibilidad de sistemas de escaneado apropiados. En algunas realizaciones de la invención, la potencia del haz láser es superior a 1 kW, tal como superior a 3 kW, superior a 4 kW, superior a 5 kW o superior a 6 kW, al menos durante parte del proceso.

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, comprendiendo el sistema:

medios para producir un haz de energía y para proyectar el haz de energía sobre una superficie del objeto, y un escáner para escanear el haz de energía en al menos dos dimensiones.

El sistema está programado para realizar uno o más de los métodos descritos anteriormente.

Se considera que las enseñanzas del presente documento y/o al menos algunas de las ventajas implicadas en el mismo son especialmente aplicables a casos en los que el espesor del objeto sometido a tratamiento térmico sea sustancialmente mayor, tal como al menos 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 veces mayor, que la profundidad del tratamiento térmico (por ejemplo, la profundidad de endurecimiento en el caso del endurecimiento por haz láser), a lo largo de la pista o al menos a lo largo de una parte de la misma.

En el presente contexto, las referencias al patrón de escaneado y su forma se refieren al patrón de escaneado bidimensional seguido por el punto primario cuando se proyecta sobre una superficie plana (por ejemplo, en el plano x-y) sustancialmente perpendicular al haz de luz, en lugar del patrón realmente seguido por el punto primario en la superficie del objeto; por ejemplo, la superficie puede incluir curvaturas pronunciadas o pliegues que obviamente afectarán la pista seguida realmente por el punto primario en tres dimensiones. Es decir, el "patrón de escaneado" se refiere al patrón seguido por el haz en lugar del patrón realmente seguido por el punto primario en la superficie física del objeto sobre el que se proyecta el haz.

El desplazamiento del punto efectivo en relación con la superficie del objeto se puede realizar de acuerdo con una pista adecuada. Es decir, el punto real/primario, es decir, el punto que produce el haz en un momento dado, se escanea de acuerdo con el patrón de escaneado para crear el punto efectivo, y este punto efectivo se desplaza de acuerdo con la pista. Por lo tanto, se combinan o superponen dos tipos de movimiento: el movimiento del punto primario de acuerdo con el patrón de escaneo (este movimiento se lleva a cabo con una velocidad que a veces se denomina "velocidad de escaneo" o "celeridad de escaneo"), y el movimiento del punto efectivo de acuerdo con la pista (que se lleva a cabo con una velocidad a veces denominada "velocidad de proceso" o "celeridad de proceso") que, en algunas realizaciones de la invención, puede ser una simple línea recta y que en otras realizaciones puede presentar una forma más o menos compleja, incluyendo una o más curvas, por ejemplo.

El término "distribución de energía bidimensional" se refiere a la forma en que la energía aplicada por el haz de energía se distribuye sobre el punto efectivo, por ejemplo, durante un barrido del haz a lo largo del patrón de escaneado. Cuando el punto efectivo se proyecta sobre una porción o área no plana, tal como una porción o área curvada tal como una porción o área con dobleces, el término "distribución de energía bidimensional" se refiere a cómo se distribuye la energía a lo largo y a través de la superficie del objeto, es decir, a la distribución de energía a lo largo y a través del punto efectivo proyectada sobre la superficie del objeto. Se puede considerar que el punto efectivo tiene una extensión y forma que corresponden al área en la que se produzca una aplicación sustancial de energía durante cada barrido del haz láser a lo largo del patrón de escaneo, por ejemplo, correspondiente al área en la que la densidad de energía sea al menos el 1 % de la densidad de energía máxima dentro del punto efectivo.

El método permite un calentamiento relativamente rápido de un área sustancial de la superficie del objeto, debido al hecho de que el punto efectivo puede tener un tamaño considerable, tal como, por ejemplo, más de 4, 10, 15, 20 o 25 veces el tamaño (área) del punto primario. Por lo tanto, calentar una determinada región o área del objeto en un grado deseado en términos de temperatura y duración se puede lograr más rápidamente que si el calentamiento se lleva a cabo simplemente desplazando el punto primario sobre toda el área, por ejemplo, siguiendo un patrón sinusoidal o serpenteante, o una línea recta. El uso de un punto efectivo que tenga un área relativamente grande permite una alta productividad, al mismo tiempo que permite que la parte o partes relevantes de la superficie se calienten durante una cantidad de tiempo relativamente sustancial, permitiendo así, por ejemplo, un calentamiento menos agresivo sin comprometer la productividad.

El punto primario puede tener un área sustancialmente más pequeña que la del punto efectivo. Por ejemplo, en algunas realizaciones de la invención, el punto primario tiene un tamaño de menos de 4 mm², tal como menos de 3 mm², al menos durante parte del proceso. El tamaño del punto primario se puede modificar durante el proceso, para optimizar la forma en que se trata térmicamente cada porción específica del objeto, en términos de calidad y productividad.

Por otro lado, el uso de un punto efectivo creado al escanear el punto primario repetidamente en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneado, permite establecer un punto eficaz con una distribución de energía bidimensional seleccionada, que es sustancialmente independiente de la óptica específica (lentes, espejos, etc.) que se están utilizando, y que se pueden personalizar y adaptar para proporcionar un calentamiento mejorado u optimizado, desde diferentes puntos de vista, incluyendo la velocidad con la que se completa el tratamiento térmico (por ejemplo, en términos de cm² por minuto o en términos de unidades terminadas por hora) y calidad. Por ejemplo, el calor se puede distribuir de modo que una porción anterior del punto efectivo tenga una densidad de energía mayor que una porción posterior, reduciendo así el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada de la superficie, considerando que la porción trasera puede servir para mantener el calentamiento durante un período de tiempo suficiente para alcanzar la profundidad y/o calidad deseadas, optimizando así la velocidad con la que se puede desplazar el punto efectivo en relación con la superficie del objeto, sin renunciar a la calidad del tratamiento térmico. Además, la distribución de energía bidimensional se puede adaptar en relación con los lados del punto efectivo, dependiendo de las características del objeto, por ejemplo, para aplicar menos calor en áreas adyacentes a un borde del objeto o una abertura en el objeto, donde el enfriamiento debido a la transferencia de calor es más lento, o para aplicar menos calor en áreas que ya presentan una temperatura relativamente alta, por ejemplo, debido al calentamiento que ha tenido lugar recientemente. Además, el punto efectivo se puede adaptar de acuerdo con la forma tridimensional del objeto, por ejemplo, para adaptar el calentamiento a la curvatura, anchura, etc., del objeto en el área que se está calentando, y a la configuración de la porción del objeto que se va a calentar. La forma del punto efectivo y/o la distribución de energía bidimensional se pueden adaptar siempre que sea necesario, adaptando así el proceso a la parte concreta del objeto a calentar en cada momento dado. En algunas realizaciones de la invención, la distribución de energía bidimensional se puede variar en función del lugar de irradiación respectivo en el objeto, teniendo en cuenta, por ejemplo, la capacidad de eliminación de calor de una región circundante. En algunas realizaciones de la invención, la distribución de energía bidimensional se puede variar teniendo en cuenta las características deseadas del objeto en diferentes regiones del producto, tal como diferentes requisitos de dureza, rigidez, suavidad, ductilidad, etc.

Adicionalmente, utilizar el punto efectivo, creado por el escaneado del punto primario en dos dimensiones, aumenta la flexibilidad en términos de, por ejemplo, la adaptación de un sistema a los diferentes objetos a producir. Por ejemplo, puede reducirse o eliminarse la necesidad de reemplazar o adaptar las ópticas involucradas. La adaptación se puede llevar a cabo con mayor frecuencia, al menos en parte, simplemente adaptando el software que controla el escaneado del punto primario y, de este modo, la distribución de energía bidimensional del punto efectivo.

En muchos sistemas de la técnica anterior para calentar un objeto usando un haz de energía, el área que se estaba calentando en cada momento correspondía sustancialmente al punto primario proyectado por el haz sobre la superficie. Es decir, en muchas disposiciones de la técnica anterior, el área que se calienta en cada momento tiene un tamaño que corresponde sustancialmente al del punto primario, y el ancho de la pista que se calienta corresponde sustancialmente al ancho del punto primario en la dirección perpendicular a la dirección en la que el punto primario está siendo desplazado, que a su vez está determinada por la fuente del haz y los medios para darle forma, por ejemplo, en el caso de un láser, por la fuente láser y la óptica utilizada. En ocasiones, la pista se ensancha al oscilar adicionalmente el haz, por ejemplo, perpendicularmente a la pista. Por supuesto, la presente invención no excluye la posibilidad de realizar parte del calentamiento operando con el punto primario de forma convencional. Por ejemplo, el punto primario se puede desplazar para realizar el calentamiento en correspondencia con el perfil o contorno de una región a calentar, o para realizar el calentamiento de ciertos detalles del objeto que se calienta, considerando que el punto efectivo descrito anteriormente se puede utilizar para llevar a cabo el calentamiento de otras partes o regiones del objeto, tal como el interior o la porción principal de una región a calentar. El experto en la materia elegirá la medida en que se utilizará el punto efectivo en lugar del punto primario para llevar a cabo el calentamiento, dependiendo de cuestiones tal como la productividad y la necesidad de adaptar cuidadosamente el contorno de una región a calentar o una determinada porción de un objeto sometido a calentamiento.

Es decir, no es necesario utilizar el punto efectivo para realizar todo el calentamiento que debe tener lugar durante el proceso. Sin embargo, al menos parte del proceso se lleva a cabo utilizando el punto efectivo descrito anteriormente. Por ejemplo, se puede preferir que durante al menos el 50 %, 70 %, 80 % o 90 % del tiempo durante el cual el haz se aplica al objeto, se aplique para establecer el punto efectivo como se explicó anteriormente, es decir, escaneando repetidamente el punto primario de acuerdo con el patrón de escaneado, superponiéndose este escaneado al movimiento del punto efectivo en relación con el objeto, es decir, a lo largo de la pista.

El calentamiento puede ser para cualquier tipo de tratamiento térmico, tal como endurecimiento de superficie, soldadura, solidificación, etc. El objeto puede ser cualquier tipo de objeto adecuado en cualquier forma adecuada, incluso en forma de polvo o similar, que a menudo puede ser el caso en el contexto de fabricación aditiva. Por ejemplo, el objeto puede ser un objeto de chapa o cualquier otro tipo de objeto. El objeto puede ser de metal o de cualquier otro material. El objeto no tiene que ser una sola pieza de trabajo, sino que puede comprender varias partes, por ejemplo,

dos o más partes a soldar entre sí por el calentamiento realizado total o parcialmente por el haz. Por lo tanto, el término "objeto" no debe interpretarse en un sentido estricto. La superficie del objeto puede incluir aberturas o huecos. Esto puede suceder, por ejemplo, cuando la superficie comprenda partes relacionadas con diferentes objetos, donde puede existir un espacio entre los objetos. Este es frecuentemente el caso, por ejemplo, cuando dos partes se van a soldar juntas, donde una de las partes puede estar separada de la otra parte en correspondencia con al menos parte de la interfaz donde se va a establecer una costura de soldadura. En algunas realizaciones, la superficie es plana, mientras que en otras realizaciones presenta una forma tridimensional.

En el presente contexto, la expresión adaptación dinámica pretende denotar el hecho de que la adaptación puede tener lugar dinámicamente durante el desplazamiento del punto efectivo a lo largo de la pista. Se pueden utilizar diferentes medios para lograr este tipo de adaptación dinámica, algunos de los cuales se mencionan a continuación. Por ejemplo, en algunas realizaciones de la invención, se puede operar el sistema de escaneado para lograr la adaptación dinámica (por ejemplo, adaptando el funcionamiento de espejos galvánicos u otros medios de escaneado, con el objetivo de modificar el patrón de escaneado y/o la velocidad del punto primario a lo largo del patrón de escaneado o a lo largo de uno o más segmentos o porciones del mismo), y/o se puede adaptar la potencia del haz y/o el tamaño del punto primario. Se puede utilizar control en bucle abierto o en bucle cerrado para controlar la adaptación dinámica. La adaptación dinámica puede afectar a la forma en que se distribuye la energía dentro de un área determinada del punto efectivo y/o la forma real del punto láser efectivo y, por lo tanto, la forma -incluida la anchura- del área que se calienta en cualquier momento dado (sin tener en cuenta el hecho de que el punto primario se está moviendo y considerando solo el punto efectivo). Por ejemplo, se pueden adaptar dinámicamente la longitud y/o la anchura del punto efectivo durante el proceso. Por lo tanto, mediante esta adaptación dinámica, la distribución de energía bidimensional puede ser diferente en relación con diferentes partes de la superficie del objeto.

En algunas realizaciones de la invención, el haz se desplaza a lo largo de dicho patrón de escaneado sin encender y apagar el haz y/o mientras se mantiene la potencia del haz sustancialmente constante. Esto permite realizar el escaneado a alta velocidad sin tener en cuenta la capacidad del equipo, tal como un equipo láser, para cambiar entre diferentes niveles de potencia, p. ej. entre encendido y apagado, y permite utilizar equipos que no permiten un cambio muy rápido entre los niveles de potencia. Además, proporciona un uso eficiente de la potencia de salida disponible, es decir, de la capacidad del equipo en términos de potencia. Por lo tanto, a menudo puede preferirse la adaptación de la velocidad de escaneado y/o el patrón de escaneado a la adaptación de la energía del haz. Sin embargo, a veces se adapta la potencia del haz, necesaria o preferiblemente, por ejemplo, para proporcionar un flujo de energía apropiado (en términos de J/m^2) a una parte que tenga una anchura dada, en la dirección perpendicular a la pista, sin tener que desplazar el punto efectivo a lo largo de la pista a una velocidad no apropiada y/o sin aumentar (sustancial o excesivamente) la longitud del punto efectivo. Por ejemplo, puede ser preferible no operar el láser a su máxima potencia para permitir que el punto efectivo avance a una velocidad apropiada para el propósito del calentamiento (por ejemplo, en términos de profundidad de endurecimiento), sin sobrecalentar la superficie del objeto.

En algunas realizaciones de la invención, se adaptan dinámicamente el foco del haz y/o el tamaño del punto primario durante el desplazamiento del punto primario a lo largo del patrón de escaneado y/o durante el desplazamiento del punto efectivo en relación con la superficie del objeto.

En algunas realizaciones de la invención, el punto primario se desplaza sobre la superficie del objeto de acuerdo con el patrón de escaneo con una primera velocidad promedio, y el punto efectivo se desplaza en relación con la superficie del objeto con una segunda velocidad promedio, siendo la primera velocidad promedio sustancialmente más alta que la segunda velocidad promedio, tal como al menos 5, 10, 50, 100, 200, 500, 1000 o 2000 veces la segunda velocidad promedio. En el presente documento, el término "primera velocidad promedio" se refiere a la longitud del patrón de escaneado proyectado sobre la superficie del objeto dividido por el tiempo necesario para que el punto primario complete un barrido a lo largo del patrón de escaneado, mientras que el término "segunda velocidad promedio" se refiere a la longitud de la pista seguida por el punto efectivo en la superficie dividido por el tiempo necesario para que el punto efectivo complete la pista. Una alta velocidad del punto primario a lo largo del patrón de escaneado reduce las fluctuaciones de temperatura dentro del punto efectivo durante cada barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneado. Por ejemplo, para muchas aplicaciones de endurecimiento de superficies con láser, una velocidad normal del punto efectivo a lo largo de la pista puede ser del orden de 600 mm/minuto, aunque los escáneres disponibles comercialmente, adecuados para este tipo de procesos, pueden desplazar el punto primario proyectado sobre la superficie a velocidades del orden de 25000 mm/s (y el uso de este tipo de velocidades permite implementar patrones de escaneo y puntos efectivos con dimensiones del orden de, por ejemplo, 20 mm x 12 mm a las frecuencias de escaneo del orden de 100 Hz que se utilizan a veces para procesos de endurecimiento por láser).

Adicional o alternativamente, en algunas posibles realizaciones el tamaño del punto efectivo es más de 4 veces el tamaño del punto primario, preferentemente más de 10 veces el tamaño del punto primario, más preferentemente al menos 25 veces el tamaño del punto primario. En algunas realizaciones de la invención, el tamaño (es decir, el área) del punto efectivo, tal como el tamaño promedio del punto efectivo durante el proceso o el tamaño del punto efectivo durante al menos un momento del proceso, tal como el tamaño máximo del punto efectivo durante el proceso, es más de 4, 10, 15, 20 o 25 veces el tamaño del punto primario. Por ejemplo, en algunas realizaciones de la invención, se puede utilizar un punto primario que tenga un tamaño del orden de 3 mm² para crear un punto efectivo con un tamaño de más de 10 mm², tal como más de 50 o 100 mm² o más. El tamaño del punto efectivo se puede modificar

dinámicamente durante el proceso, pero a menudo se puede preferir un tamaño promedio grande para mejorar la productividad, y un tamaño máximo grande puede ser útil para mejorar la productividad durante al menos parte del proceso.

- 5 El método se puede llevar a cabo bajo el control de medios de control electrónicos, tales como un ordenador.

Breve descripción de los dibujos

- 10 Para completar la descripción, y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman parte integral de la descripción e ilustran realizaciones de la invención, que no deben interpretarse como una restricción del alcance de la invención sino simplemente como ejemplos de cómo se puede llevar a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

- 15 Las figuras 1A y 1B son unas vistas en perspectiva que ilustran esquemáticamente un sistema y un método, de acuerdo con una posible realización de la invención, para el tratamiento térmico de un objeto tal como un pilar de un vehículo.
Las figuras 2A y 2B son unas vistas superiores que ilustran esquemáticamente una realización de la invención.
Las figuras 3A-3C ilustran esquemáticamente opciones adicionales o alternativas, para adaptar el proceso a cambios de anchura de la parte a tratar térmicamente, que se pueden usar de acuerdo con diferentes realizaciones de la invención.
20 Las figuras 4A y 4B ilustran esquemáticamente una realización de la invención que usa patrones de escaneo que tienen diferentes longitudes y diferentes anchuras en la dirección paralela y perpendicular a la pista, respectivamente.
Las figuras 5A y 5B son fotografías de pistas que se han endurecido con láser en varillas de acero circulares, utilizando diferentes frecuencias de escaneo.
25

Descripción de modos de poner en práctica la invención

- 30 Las figuras 1A y 1B ilustran un sistema de acuerdo con una posible realización de la invención, en este caso para el tratamiento térmico de un objeto de chapa tal como un pilar de vehículo. El sistema comprende un cabezal láser que incluye un escáner 2 para dirigir un haz láser 1 sobre una pieza de trabajo 100. El haz láser puede originarse por medio de una fuente láser alejada del cabezal láser o interna al cabezal láser.

- 35 El haz láser 1 se proyecta sobre la pieza de trabajo 100 para producir un punto efectivo 12A, 12B escaneando repetidamente el haz láser (y por lo tanto el punto primario que el haz láser proyecta sobre la pieza de trabajo) en dos dimensiones, de acuerdo con un patrón de escaneo. Para este propósito, el cabezal láser incluye un escáner 2, tal como un escáner galvanométrico con dos espejos de escaneo 21 y 22, según se ilustra esquemáticamente en las figuras 1A y 1B. El patrón de escaneo seguido por el punto primario, proyectado por el haz láser 1 sobre la superficie de la pieza de trabajo 100 en cada momento específico, se ilustra esquemáticamente como un conjunto de líneas paralelas en las figuras 1A y 1B. Sin embargo, se puede usar cualquier otro patrón de escaneo adecuado, incluidos los patrones de escaneo conocidos por el documento WO-2015/135715-A1 mencionado anteriormente, patrones de escaneo con segmentos curvos, etc.
40

- 45 Por lo tanto, según se conoce p. ej. por el documento WO-2016/146646-A1, se puede adaptar la distribución de energía bidimensional dentro del punto efectivo 12A, 12B mediante la elección del patrón de escaneo, la velocidad del punto primario a lo largo del patrón de escaneo y a lo largo de las diferentes porciones o segmentos de los mismos, la potencia del haz en cada parte específica del patrón de escaneo, el tamaño del punto primario, etc. Esto permite la adaptación dinámica de la distribución de energía bidimensional para optimizar el tratamiento térmico. Por lo tanto, la distribución de energía bidimensional y la potencia total del punto efectivo se pueden adaptar dinámicamente a medida que el punto efectivo se desplaza a lo largo de la pista 101 para calentar progresivamente una parte 102 seleccionada de la pieza de trabajo 100, según se ilustra esquemáticamente en las figuras 1A y 1B.
50

- Según se ilustra esquemáticamente en las figuras 1A y 1B, la parte 102 seleccionada para ser tratada térmicamente tiene una anchura que varía a lo largo de la pista y, por lo tanto, varía la anchura del punto efectivo; se puede observar que el punto efectivo es más ancho en la figura 1A que en la figura 1B.
55

- Este concepto está ilustrado esquemáticamente en las figuras 2A y 2B, que muestran otra realización en la que el punto efectivo 12A, 12B se crea igualmente escaneando repetidamente el punto primario 10 a lo largo de los respectivos patrones de escaneo 11A, 11B, en correspondencia con dos segmentos diferentes o subpartes 102a, 102b de una tira o parte 102 de la pieza de trabajo a tratar térmicamente. El punto efectivo barre a lo largo de una pista 101 para calentar progresivamente las dos subpartes 102a, 102b. La primera subparte 102a tiene una primera anchura W1 (en la dirección perpendicular a la pista) y la segunda subparte 102b tiene una segunda anchura W2 (en la dirección perpendicular a la pista). En la realización ilustrada, la segunda anchura W2 de la segunda subparte es menos del 50 % de la primera anchura W1 de la primera subparte. Obviamente, otras realizaciones presentan otras relaciones de anchura entre las dos subpartes, incluyendo a veces porciones de transición en las que la anchura aumenta o disminuye progresivamente (en lugar de escalonadamente como en las figuras 2A y 2B), etc.
60
65

En el caso de la realización mostrada en las figuras 2A y 2B, el patrón de escaneo es un patrón de escaneo simple con una forma rectangular. En la práctica, se puede utilizar cualquier patrón de escaneo adecuado, incluidos patrones de escaneo complejos que incluyan múltiples líneas y segmentos, incluidos segmentos rectos y/o curvos. En la realización ilustrada esquemáticamente, el punto primario 10 sigue repetitivamente el patrón de escaneo 11A, en correspondencia con la subparte 102a que tiene la primera anchura W1, y el patrón de escaneo 11B más estrecho, en correspondencia con la subparte 102b que tiene la segunda anchura W2, determinando así la anchura (variable) de la parte del objeto sometido a tratamiento térmico en un barrido del punto efectivo 12A, 12B a lo largo de la pista 101. En la realización ilustrada, los puntos efectivos 12A y 12B presentan ambos una distribución de energía con una parte delantera que presenta una densidad de energía más alta que la parte trasera. Según se explica, por ejemplo, en el documento WO-2014/037281-A2 mencionado anteriormente, a veces se prefiere este enfoque para permitir un calentamiento rápido a una temperatura deseada por medio del borde delantero o parte delantera del punto efectivo, después de lo cual la parte trasera sirve para mantener sustancialmente la temperatura al nivel requerido durante un cierto período de tiempo. En otras realizaciones, se utilizan otras distribuciones de energía.

La densidad de energía más alta en la parte delantera se puede establecer, por ejemplo, manteniendo constante la potencia del haz mientras se escanea el haz láser con una velocidad más lenta a lo largo de un segmento delantero 11A', 11B' del patrón de escaneo respectivo, y con una velocidad más alta a lo largo de los segmentos traseros 11A'', 11B''. En otras realizaciones, se puede adaptar la potencia del haz para lograr el mismo efecto. En otras realizaciones, se pueden usar combinaciones de estos enfoques y/o se pueden cambiar otros parámetros. Por ejemplo, y mientras que las figuras 2A y 2B ilustran esquemáticamente el uso de un único diseño de patrón de escaneo básico (a saber, uno rectangular), en otras realizaciones se pueden usar diferentes patrones de escaneo para las dos subpartes 102a y 102b de diferente anchura. Por ejemplo, el patrón de escaneo utilizado en la segunda subparte 102b, más estrecha, puede tener una longitud mayor en la dirección paralela a la pista, y el punto efectivo correspondiente puede moverse más rápidamente a lo largo de la pista que en el caso del patrón de escaneo utilizado en la primera subparte 102a, más ancha.

En algunas realizaciones, la tasa de repetición del patrón de escaneo más estrecho 11B es sustancialmente igual a la tasa de repetición del patrón de escaneo más ancho 11A: por ejemplo, en algunas realizaciones, la frecuencia de repetición del patrón de escaneo más estrecho 11B en la subparte 102b, que tiene la menor anchura W2, es más del 80 % pero menos del 120 % de la frecuencia de repetición del patrón de escaneo 11A en la subparte 102a, que tiene la mayor anchura W1. Esto también implica que la velocidad promedio del punto primario 10 a lo largo del patrón de escaneo 11A utilizado en la subparte 102a, que tiene la mayor anchura W1 (más del doble de la anchura W2 de la segunda subparte), puede ser sustancialmente mayor que la velocidad promedio del punto primario 10 a lo largo del patrón de escaneo 11B usado en la segunda subparte 102b. En muchas realizaciones, la potencia promedio del haz puede ser mayor en la subparte 102a, que tiene una mayor anchura W1, que en la subparte 102b que tiene una menor anchura W2.

Las Figuras 3A-3C ilustran esquemáticamente cómo la adaptación del proceso a diferentes anchuras del patrón de escaneo puede involucrar el cambio de parámetros de operación tales como la velocidad V1/V2 con la que el punto efectivo se mueve a lo largo de la pista (es decir, la velocidad del proceso), la potencia promedio P1/P2 del haz y/o la longitud L1/L2 del punto efectivo. En diferentes realizaciones, estos parámetros pueden permanecer sustancialmente constantes y, en otras realizaciones, algunos o todos ellos pueden cambiar. Por ejemplo, puede elegirse la potencia promedio del haz para que sea menor (P2) cuando se aplica un tratamiento térmico a una subparte 102b más estrecha, y mayor (P1) cuando se aplica un tratamiento térmico a una subparte 102a más ancha. Una razón para ello es que, cuando se intenta mantener constante el flujo de energía de radiación en términos de J/m², si se usa la misma potencia promedio del haz en una subparte más estrecha que en una subparte más ancha, tal como en la subparte de mayor anchura, puede producirse un sobrecalentamiento. Por ejemplo, en el caso del endurecimiento por láser, puede producirse una fusión no deseada. Por supuesto, una posibilidad de evitar el sobrecalentamiento podría implicar desplazar el punto efectivo a lo largo de la pista utilizando una velocidad V2 más alta a lo largo de la subparte 102b, más estrecha, que a lo largo de la subparte 102a, más ancha, pero eso puede tener un impacto negativo en términos de calidad, por ejemplo, en términos de profundidad de endurecimiento. En algunas realizaciones, se puede compensar una velocidad más alta usando un punto efectivo que presente en la subparte más estrecha 102b una longitud L2 que sea mayor que la longitud L1 del punto efectivo en la subparte más ancha, siendo la longitud la extensión del punto efectivo en la dirección paralela a la pista. Por ejemplo, se pueden agregar segmentos adicionales al patrón de escaneo para hacer más largo el patrón de escaneo y distribuir así la energía sobre una mayor superficie, compensando total o parcialmente la menor anchura de la parte que se está calentando y/o la velocidad más alta con la que el punto efectivo se mueve a lo largo de la pista. De este modo, se puede establecer un equilibrio entre el deseo de proporcionar un flujo de energía de radiación sustancialmente constante en correspondencia con las diferentes subpartes que se someten a tratamiento térmico, el deseo de hacer un uso eficiente de la potencia láser disponible (de preferencia operando a un nivel de potencia relativamente alto, tal como al nivel máximo de potencia permitido por el equipo elegido, o cerca del mismo), la necesidad de lograr una calidad de producto adecuada en términos de, por ejemplo, dureza o blandura de la superficie, profundidad afectada por el tratamiento, etc., y el deseo de operar a alta velocidad en términos de cantidad de producto tratado térmicamente (tal como en unidades/hora, metros/minuto, etc.).

Aunque se considera que generalmente es preferible mantener la frecuencia (es decir, la tasa de repetición del patrón

de escaneo) sustancialmente constante, en algunas realizaciones la frecuencia puede variar también sustancialmente entre una subparte más ancha y una más estrecha sometidas a calentamiento, aunque a menudo se puede preferir que la frecuencia permanezca dentro de un intervalo del 80 % al 120 % de una frecuencia de referencia.

Solo como ejemplo del tipo de cálculos que pueden verse involucrados al seleccionar los parámetros para el tratamiento térmico de una subparte que tenga una segunda anchura, basándose en los parámetros elegidos para una subparte que tenga una primera anchura (una "subparte de referencia"), se da el siguiente ejemplo, asumiendo un patrón de escaneo rectangular y una potencia de haz y una velocidad de escaneo constantes (es decir, sin involucrar una parte delantera con mayor densidad de energía):

Longitud de la primera subparte (en dirección paralela a la pista): LSP1=50 mm

Anchura de la primera subparte: W1=30 mm

Longitud de la segunda subparte: LSP2=70 mm

Anchura de la segunda subparte: W2=15 mm

Potencia del haz aplicada en la primera subparte: P1 = 5000 W

Potencia del haz aplicada en la segunda subparte: P1 = 4000 W

Diámetro del punto primario: d=5mm

Anchura del patrón de escaneo en la primera subparte: WS1=W1-d=25 mm

Longitud del patrón de escaneo (en dirección paralela a la pista) en la primera subparte: LS1=8 mm

Los primeros patrones de escaneo se repiten con una frecuencia (tasa de repetición) F1=100 Hz

Velocidad del proceso (velocidad del punto efectivo en dirección paralela a la pista) en la primera subparte: PV1=600 mm/minuto=10 mm/s

Los parámetros aplicados a la primera subparte pueden considerarse los parámetros de referencia que se ha descubierto que proporcionan un producto deseado en términos de, solo por dar un ejemplo, profundidad de endurecimiento.

Ahora bien, el flujo de energía de radiación EF1 en la primera subparte se puede calcular de la siguiente manera:

$$EF1=(P1*LSP1/PV1)/((LSP1-d)*W1+(W1-(W1-D))*d+PI*(d/2)^2)\approx 16727 \text{ kJ/m}^2$$

Ahora bien, el flujo de energía de radiación EF2 en la segunda subparte será sustancialmente igual que el flujo de energía de radiación en la primera subparte: EF2=EF1≈16727 kJ/m²

Como la potencia P2 y las dimensiones LSP2 y W2 son conocidas, se puede calcular la velocidad de proceso PV2 en la segunda subparte: PV2=(LSP2*P2)/((((LSP2-d)*W2)+((W2-d)*d)+(PI*(d/2)^2))*EF2]=961 mm/minuto≈16 mm/s Sin embargo, como se ha explicado anteriormente, también se prefiere que el flujo de energía de radiación (en términos de J/m²) de los patrones de escaneo sea también el mismo en la primera y la segunda subpartes: EFS1=EFS2.

EFS1 corresponde a la cantidad de energía aplicada durante un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo dividida por el área de superficie barrida por el punto primario:

La cantidad de energía aplicada durante un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo es P1/F1=50J. El área barrida es (((LS1*2)+(WS1*2))*d)+(PI*(d/2)^2)≈350 mm². Por lo tanto, el flujo de energía de radiación del primer patrón de escaneo es EFS1≈143 kJ/m². Por lo tanto, los parámetros para el escaneo en correspondencia con la segunda subparte deben seleccionarse de modo que EFS2=EFS1≈143 kJ/m².

Una vez conocidos la potencia del haz, el diámetro del punto, la frecuencia (tasa de repetición) y la anchura de la subparte, el parámetro restante a ajustar es la longitud del segundo patrón de escaneo, LS2. La cantidad de energía aplicada durante un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo es P2/F2=P2/F1=40J. Si el área barrida por el punto primario durante un ciclo de escaneo es m², 40/A=143006, es decir, A≈40/143006*0,000280 m², es decir, 280 mm².

El área barrida es (((LS2*2)+(WS2*2))*d)+(PI*(d/2)^2) =((2*10+2*LS2)*5)+(PI*(5/2)^2)=100+10LS2+(PI*(5/2)^2) (mm²). Por lo tanto, LS2=((280-(PI*(d/2)^2))/d)-(100))/10 mm ≈ 16 mm. Es decir, la longitud del segundo patrón de escaneo en la dirección paralela a la pista será mayor que la longitud del primer patrón de escaneo en la dirección paralela a la pista, y lo mismo se aplica a la extensión del punto efectivo a lo largo de la pista. Este concepto está ilustrado esquemáticamente en las figuras 4A y 4B, mostrando un diseño similar al de las figuras 2A y 2B, pero con el segundo patrón de escaneo 12B que tiene una longitud o extensión LS2 sustancialmente mayor que la longitud o extensión LS1 del primer patrón de escaneo 12A (en la dirección paralela a la pista 101). Existe una diferencia correspondiente en las longitudes de los puntos efectivos correspondientes (es decir, L2>L1).

Este es solo un ejemplo de cómo, en función de los parámetros seleccionados para el tratamiento térmico de la primera subparte que tiene la anchura W1, y en función de la condición de que los flujos de energía de radiación (en términos de J/m²) deben mantenerse constantes tanto en lo que respecta al flujo de energía de radiación aplicada a la subparte calentada como en lo que respecta al flujo de energía de radiación del patrón de escaneo (es decir, la energía aplicada durante un barrido del punto primario a lo largo del patrón de escaneo dividida por el área realmente barrida por el punto primario), se puede determinar la longitud del segundo patrón de escaneo para un nivel de potencia dado.

Estos cálculos se basan en un simple patrón de escaneo rectangular con potencia de haz y velocidad de escaneo constantes y, por lo tanto, con una distribución uniforme de la energía a lo largo del patrón de escaneo. Si se utiliza una distribución más compleja de patrón o de energía, tal como una con una densidad de energía más alta en correspondencia con una parte delantera que en correspondencia con una parte trasera, los cálculos se pueden realizar por separado para las partes delantera y trasera, y la condición de que el flujo de energía de radiación sea constante debe cumplirse tanto para la parte delantera como para la trasera.

Las figuras 5A y 5B son fotografías de pistas que han sido endurecidas en una barra de acero circular. En ambos casos, el tratamiento térmico se llevó a cabo utilizando un patrón de escaneo rectangular con un tamaño de 10 mm x 8 mm, una potencia de haz de 2000 W y una velocidad de proceso de 200 mm/min. La diferencia entre los tratamientos térmicos correspondientes a las figuras 5A y 5B es que, en el tratamiento térmico correspondiente a la figura 5A, la frecuencia (tasa de repetición) del patrón de escaneo fue de 100 Hz, mientras que, en el tratamiento térmico correspondiente a la figura 5B, la frecuencia (frecuencia de repetición) del patrón de escaneo fue de 250 Hz. Se observó que, cuando se usó la frecuencia más alta (250 Hz), se produjo refusión (figura 5B), mientras que no se produjo refusión cuando se usó la frecuencia más baja (100 Hz).

Debe observarse que los diferentes patrones de escaneo específicos analizados anteriormente e ilustrados en los dibujos respectivos no pretenden de ninguna manera representar patrones de escaneo que sean adecuados u optimizados para los propósitos descritos. Su finalidad es simplemente ilustrar esquemáticamente el concepto de utilizar patrones de escaneo de acuerdo con la invención y adaptarlos de acuerdo con la distribución de energía bidimensional específica que se selecciona en cada momento específico, para producir el calentamiento de la manera deseada. La persona experta en la técnica elegirá típicamente patrones de escaneo adecuados utilizando software de simulación y enfoques de prueba y error.

En el presente texto, el término "comprende" y sus derivados (como "que comprende", etc.) no deberían entenderse en un sentido excluyente, es decir, no deberían interpretarse estos términos como que excluyen la posibilidad de que lo descrito y definido pueda incluir elementos adicionales, etapas, etc.

REIVINDICACIONES

1. Un método para calentar al menos una parte seleccionada de un objeto, que comprende las etapas de

5 proyectar un haz de energía (1) sobre una superficie del objeto (100) para producir un punto primario (10) sobre la superficie, y escanear repetidamente el haz en dos dimensiones de acuerdo con un patrón de escaneo (11A, 11B) para establecer un punto efectivo (12A, 12B) sobre la superficie, teniendo el punto efectivo una distribución de energía bidimensional, y
 10 desplazar el punto efectivo (12A, 12B) a lo largo de una pista (101) sobre la superficie del objeto (100) para calentar progresivamente una parte seleccionada (102) del objeto;
 en el que la parte seleccionada (102) tiene una primera anchura (W1) en una primera posición a lo largo de la pista (101) y una segunda anchura (W2) en una segunda posición a lo largo de la pista (101), siendo la primera anchura (W1) mayor que la segunda anchura (W2);
 15 en el que el haz (1) es escaneado de acuerdo con el patrón de escaneo (11A, 11B) de tal modo que el patrón de escaneo es repetido por el haz con una primera frecuencia, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y con una segunda frecuencia, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, y en el que tanto la primera frecuencia como la segunda frecuencia son mayores de 10 Hz,
 en el que el punto efectivo tiene una longitud (L1, L2) en la dirección paralela a la pista que es menor en correspondencia con la primera posición que en correspondencia con la segunda posición.

20 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el punto efectivo (12A, 12B) se desplaza a lo largo de la pista con una primera velocidad (V1), en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y con una segunda velocidad (V2), en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, en el que la segunda velocidad (V2) es mayor que la primera velocidad (V1).

25 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el punto efectivo presenta un primer flujo de energía de radiación sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y un segundo flujo de energía de radiación sobre la superficie del objeto, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo el segundo flujo de energía de radiación no más del 140 % del primer flujo de energía de radiación y no menos del 60 % del primer flujo de energía de radiación.

30 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el primer patrón de escaneo (11A) representa un tercer flujo de energía de radiación definido como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del primer patrón de escaneo dividida por el área de la superficie barrida por el punto primario durante ese barrido a lo largo del primer patrón de escaneo, y en el que el segundo patrón de escaneo (11B) representa un cuarto flujo de energía de radiación definido como la energía suministrada por el haz durante un barrido a lo largo del segundo patrón de escaneo dividido por el área de la superficie barrida por el punto primario durante ese barrido a lo largo del segundo patrón de escaneo, en el que el tercer flujo de energía de radiación es sustancialmente idéntico al cuarto flujo de energía de radiación.

35 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el segundo flujo de energía de radiación no es más del 120 % del primer flujo de energía de radiación, y no menos del 80 % del primer flujo de energía de radiación, y en el que el cuarto flujo de energía de radiación no difiere del tercer flujo de energía de radiación en más del 20 %.

40 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el segundo flujo de energía de radiación no es más del 110 % del primer flujo de energía de radiación, y no menos del 90 % del primer flujo de energía de radiación, y en el que el cuarto flujo de energía de radiación no difiere del tercer flujo de energía de radiación en más del 10 %.

45 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el segundo flujo de energía de radiación no es más del 105 % del primer flujo de energía de radiación, y no menos del 95 % del primer flujo de energía de radiación, y en el que el cuarto flujo de energía de radiación no difiere del tercer flujo de energía de radiación en más del 5 %.

50 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el punto efectivo (12A, 12B) se desplaza a lo largo de la pista con una primera velocidad (V1), en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y con una segunda velocidad (V2), en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, en el que la segunda velocidad (V2) es mayor que la primera velocidad (V1), y en el que el haz de energía (1) tiene una primera potencia promedio, en correspondencia con la primera posición a lo largo de la pista, y una segunda potencia promedio, en correspondencia con la segunda posición a lo largo de la pista, siendo la segunda potencia promedio sustancialmente idéntica a la primera potencia promedio del haz.

55 9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda anchura (W2) es menos del 90 % de la primera anchura (W1).

60 10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la segunda anchura (W2) es menos del 75 % de la primera anchura (W1), tal como menos del 70 %, menos del 60 % o menos del 50 % de la primera anchura (W1).

65 11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda frecuencia es

más del 60 % de la primera frecuencia y menos del 140 % de la primera frecuencia.

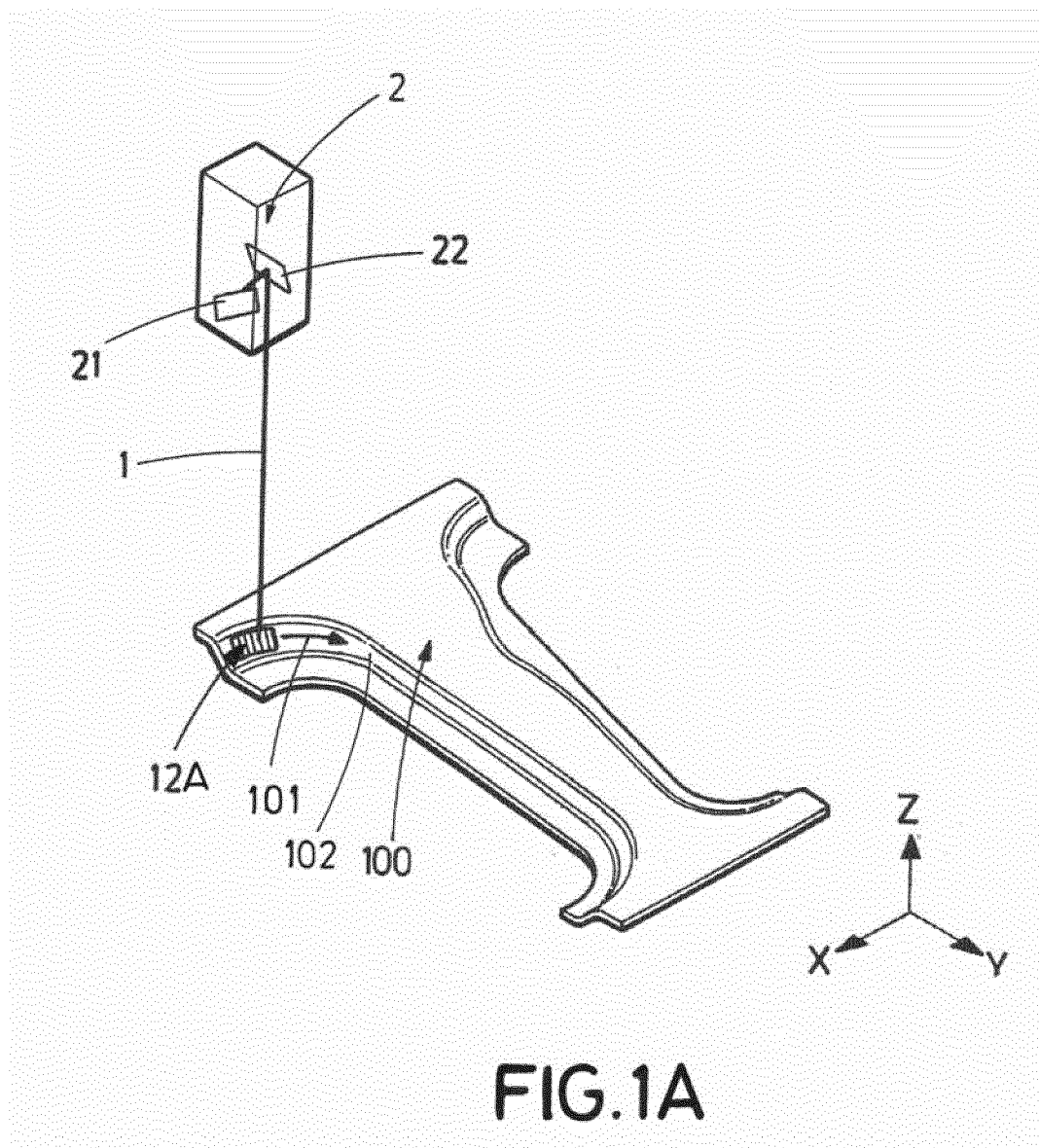
12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la segunda frecuencia es más del 70 % de la primera frecuencia, tal como más del 75 %, del 80 %, del 85 % o del 90 % de la primera frecuencia.

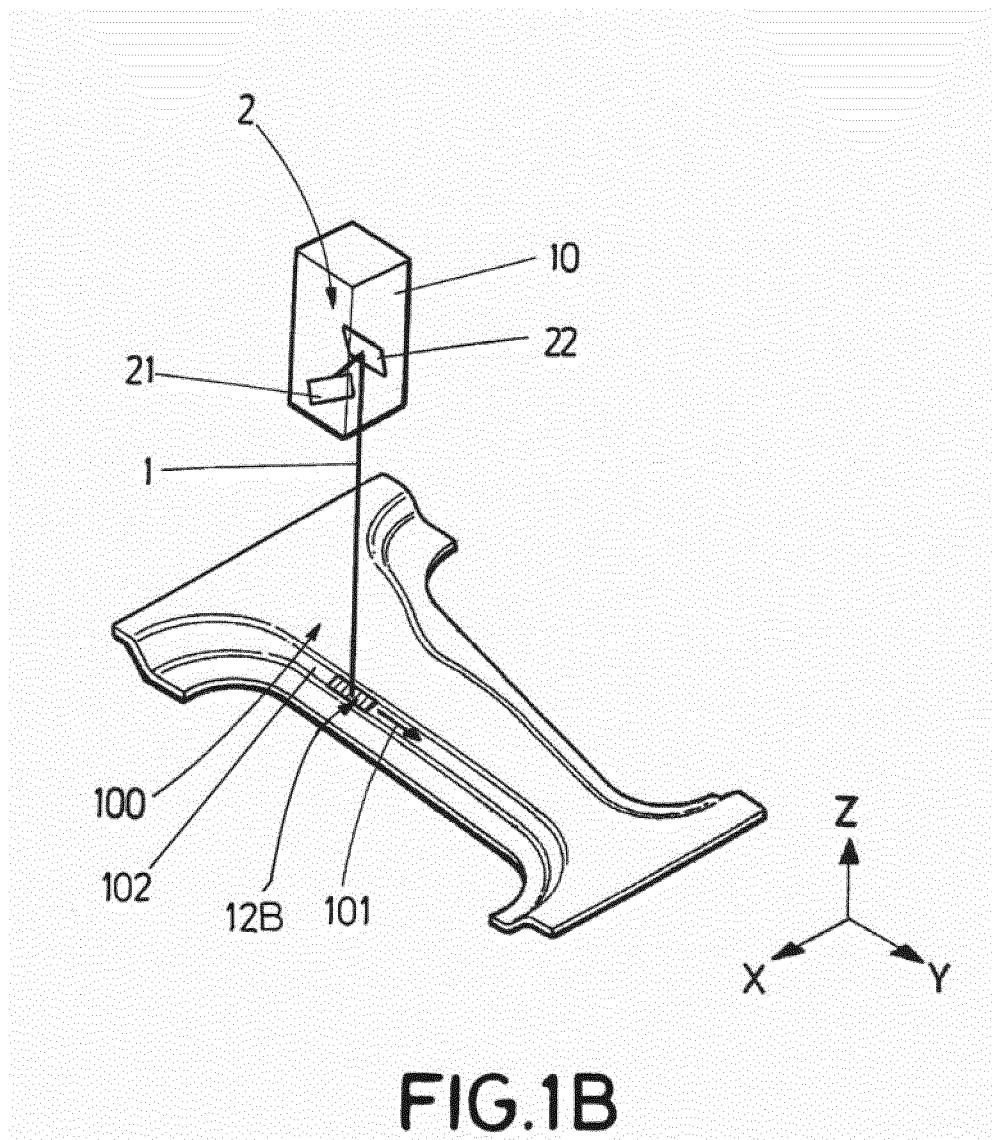
5 13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la segunda frecuencia es menos del 130 % de la primera frecuencia, tal como menos del 125 %, del 120 %, del 115 % o del 110 % de la primera frecuencia.

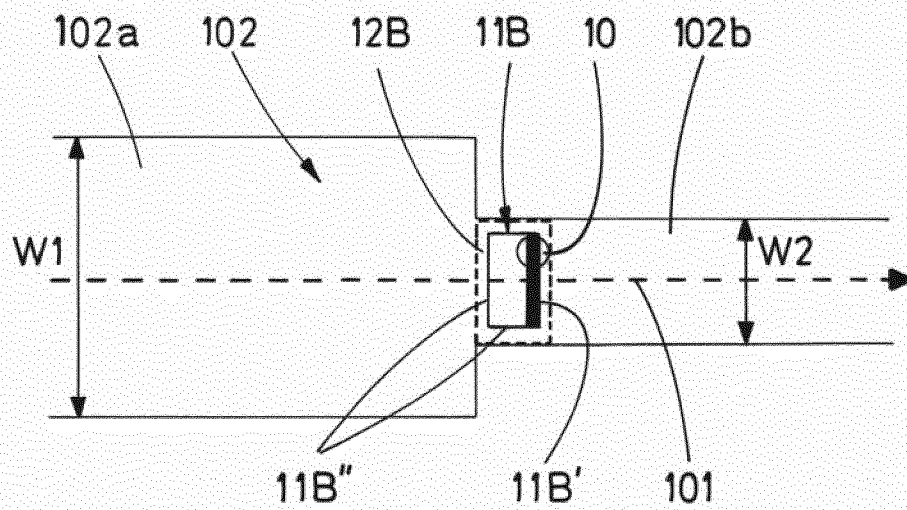
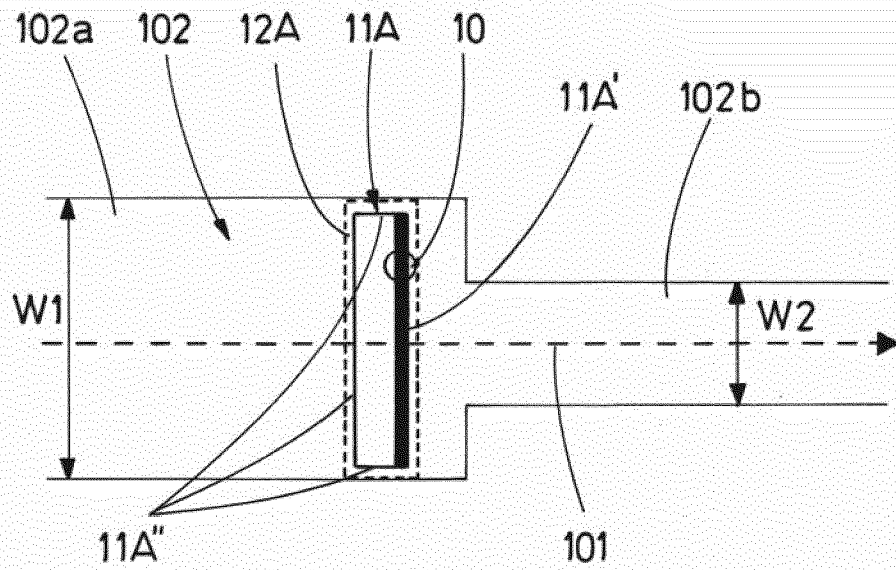
10 14. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el haz de energía (1) es un haz láser.

15. Un sistema para calentar al menos una parte seleccionada (102) de un objeto (100), comprendiendo el sistema:

15 medios para producir un haz de energía (1) y para proyectar el haz de energía sobre una superficie del objeto, y un escáner (2) para escanear el haz de energía en al menos dos dimensiones; en el que el sistema está programado para llevar a cabo el método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.







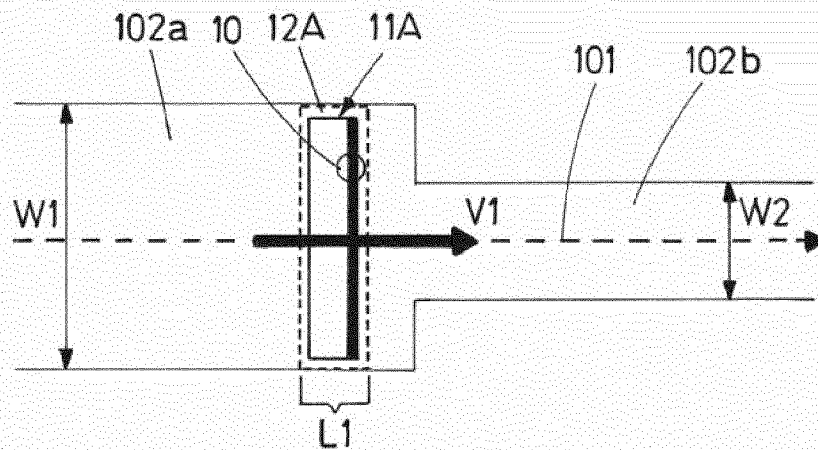


FIG. 3A

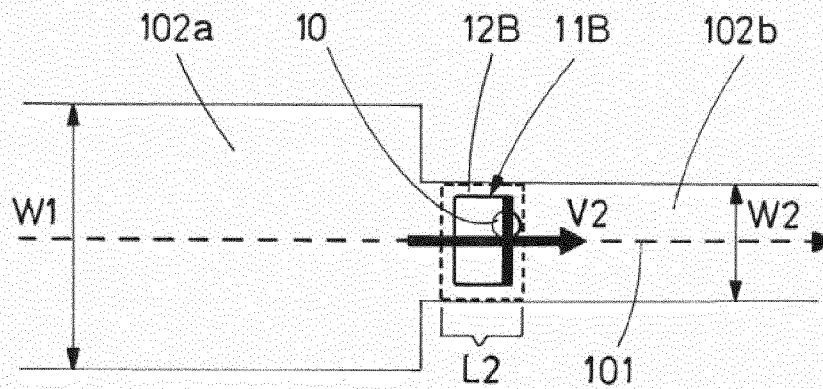


FIG. 3B

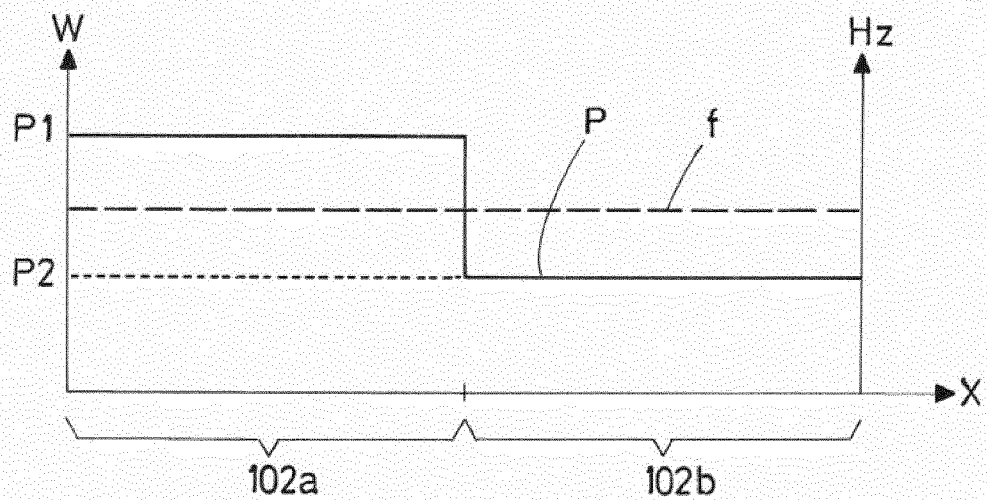


FIG. 3C

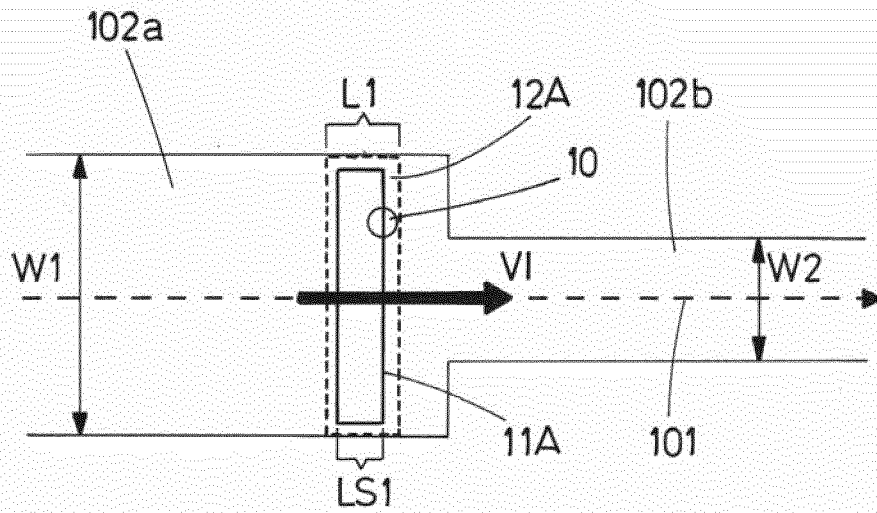


FIG. 4A

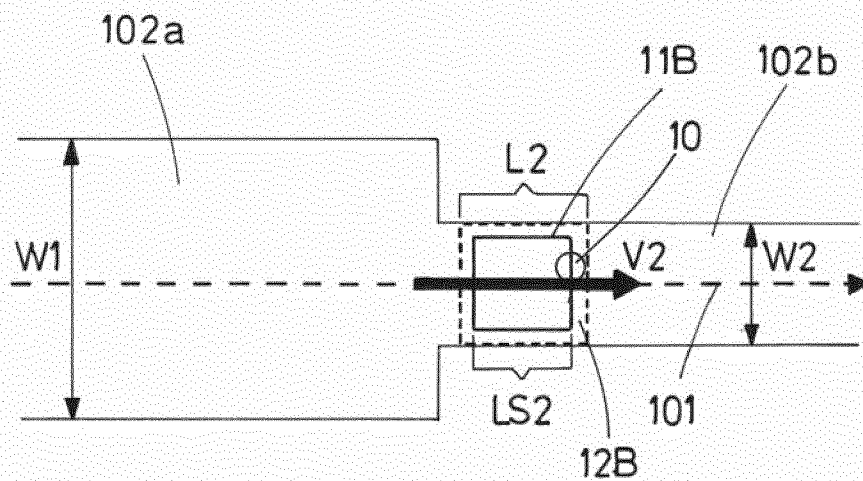


FIG. 4B

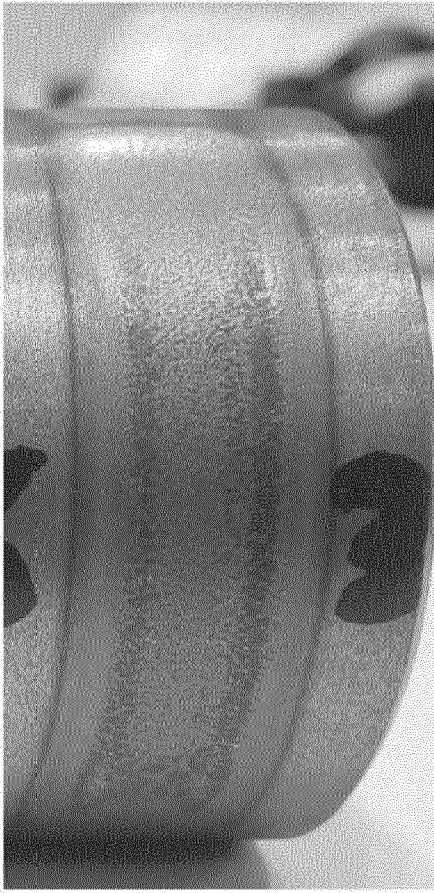


FIG. 5A

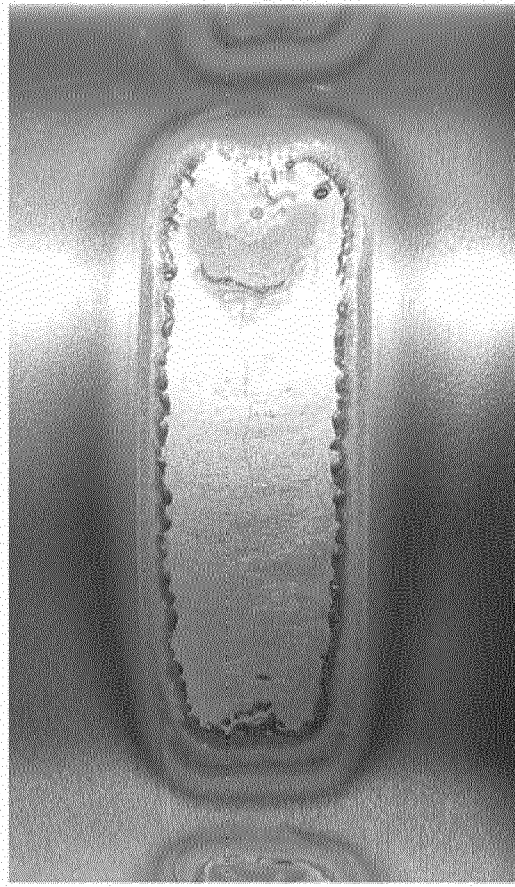


FIG. 5B