

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 039**

51 Int. Cl.:

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/4099 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

B29C 64/386 (2007.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 50/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2018 PCT/EP2018/077541**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.05.2019 WO19091684**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2018 E 18793572 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2024 EP 3679436**

54 Título: **Análisis de procesos de lecho de polvo**

30 Prioridad:

08.11.2017 DE 102017219860

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

02.12.2024

73 Titular/es:

**SIEMENS MOBILITY GMBH (100.0%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE**

72 Inventor/es:

KUNKEL, MAXIMILIAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 991 039 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

Análisis de procesos de lecho de polvo

5 La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para el análisis y/o monitoreo de procesos de manufactura aditiva, en particular de procedimientos a base de láser, en particular de procesos de lecho de polvo, en donde se capturan valores medidos de al menos una emisión de proceso.

Los procedimientos de manufactura aditiva - o *Additive Manufacturing* - pueden clasificarse en diferentes tipos y modos.

10 De este modo, los procedimientos de manufactura aditiva a base de láser o procedimientos de manufactura aditiva de láser usan un láser como herramienta de acción selectiva. Los denominados procedimientos de impresión en 3D a base de lecho de polvo, también procesos de lecho de polvo (procesos de fusión de lecho de polvo, abreviado procedimientos PBF), en particular procesos de fusión con chorro de láser y de sinterización por láser, son conocidos así mismo suficientemente por los expertos de la manufactura aditiva. Se depositan de manera definida capas de polvo y a continuación, en particular mediante radiación electromagnética, por ejemplo un láser, se sinterizan o fusionan térmicamente. Después del proceso de impresión se liberan de polvo 15 los componentes. Aparte de los procesos de lecho de polvo a base de láser, durante la denominada fusión con rayo de electrodos (en inglés *Electron Beam Melting*) pueden surgir y capturarse también emisiones de proceso.

20 En particular para la evaluación del proceso de procedimientos a base de láser y/o procesos de lecho de polvo (procesos PBF), en particular de procesos de fusión con rayo láser, se conocen sistemas que ofrecen la posibilidad de capturar diferentes valores medidos (por ejemplo flujo de gas protector, temperatura de la cámara de construcción, potencia del láser). El análisis de datos y evaluación es sin embargo incumbencia del usuario. Al respecto, debe evaluarse una multiplicidad de posibles factores de influencia.

25 En especial con referencia a sistemas de monitoreo de baño de fusión (*Meltpool-Monitoring Systeme*) puede capturarse la luminosidad de proceso por diferentes vías (eje encendido / eje apagado) con los más diversos aparatos de medición (pirómetro, bolómetro, cámara de termografía, fotodiodos, cámaras de alta velocidad (CCD / CMOS)). Por el contrario, para la valoración de datos hasta ahora no se conocen procedimientos de análisis o algoritmos adecuados convincentes, que permitan deducir directamente la calidad del proceso y con ello las propiedades esperadas del componente. El estado actual de la técnica se limita mayormente a salidas simples de valores medios y/o varianzas capturados o a la salida simple de imágenes de capa generadas (*Meltpoolmaps*). Éstos deberían ser evaluados entonces por el usuario mediante "comparación".

30 "Process Control and Quality Assurance Software for Additive Manufacturing" de Sigma Labs, AWS Lasers Conference, 30 de agosto de 2016 divulga el monitoreo de emisiones de proceso mediante fotodiodos (p. 20: "On-Axis Photo Diode" y "Off-Axis Photo Diode") y una valoración de sus señales en relación con un valor nominal preestablecido.

35 La invención basa el objetivo en proponer un procedimiento para la evaluación de propiedades de componentes, mediante valores de proceso medidos.

El objetivo es logrado mediante los objetos de las reivindicaciones independientes. En los rasgos de las reivindicaciones dependientes se encuentran de nuevo perfeccionamientos y configuraciones de la invención.

40 La etapa de proceso de acuerdo con la reivindicación 1 comprende un procedimiento de acuerdo con la invención para el análisis y/o monitoreo de un proceso de manufactura aditiva, en particular de un procedimiento de manufactura a base de láser, en particular de un proceso de fusión por rayo láser, durante la fabricación, por ejemplo en capas, de una pieza de trabajo, o para el análisis y/o monitoreo de una pieza de trabajo, fabricada en modo de capas en particular con un proceso de lecho de polvo.

45 Las emisiones de proceso que ocurren en particular en forma de una radiación, en particular de una radiación electromagnética en ondas y son capturadas en una banda preestablecida, en particular en un espectro electromagnético en ondas preestablecido. Una forma de una emisión de proceso es la denominada luminosidad de proceso. Ocurre por ejemplo durante la fusión con rayo láser, por polvo evaporado parcialmente ionizado, cuyo vapor escapa del baño de fusión y emite una luminosidad de banda ancha, usualmente en el infrarrojo cercano. La luminosidad de proceso puede ser vista como un tipo de firma para el proceso de fusión, puesto que todo el material emite de modo diferente.

50 Un dispositivo de acuerdo con la invención para el análisis de un proceso de manufactura aditiva y para el análisis de una pieza de trabajo fabricada con el proceso de manufactura aditiva, en particular en modo de capas, comprende de modo correspondiente al menos un receptor de valores medidos diseñado de manera adecuada para la captura de valores medidos, para al menos una magnitud medida que representa la luminosidad de proceso, como valores medidos para al menos una emisión de proceso durante la manufactura 55 de la pieza de trabajo.

De acuerdo con otro perfeccionamiento, se capturan valores de reflexión del baño de fusión, como valores medidos, en particular con un fotodiodo y/o con una cámara de alta velocidad. Un dispositivo perfeccionado exhibe de modo correspondiente al menos fotodiodo y/o una cámara de alta velocidad.

5 Ventajosamente pueden capturarse valores medidos respecto a varias magnitudes medidas, y pueden evaluarse de acuerdo con el procedimiento descrito.

Un sistema adecuado de monitoreo comprende por ejemplo un pirómetro, un bolómetro, una cámara de termografía, un fotodiodo y/o un cámara de alta velocidad (CCD / CMOS), para la captura de valores de reflexión del baño de fusión, que representan la luminosidad de proceso. Éstos pueden ser almacenados por capa, en relación con la posición del baño de fusión, para poder ser evaluados a continuación mediante la

10 unidad aritmética adecuada.

Al respecto, se capturan en cada caso varios valores medidos para varios elementos de volumen preestablecidos de la pieza de trabajo. Al respecto, no se requiere que los elementos de volumen individuales de la pieza de trabajo tengan el mismo tamaño y, de manera correspondiente, no tienen que capturarse y evaluarse el mismo número de valores medidos para cada elemento de volumen. Sin embargo, su número por elemento de volumen debería, como ya se citó anteriormente, ser suficientemente grande para la siguiente valoración estadística. También, de manera correspondiente se preestablece el número de elementos de volumen por cada pieza de trabajo, para el análisis del proceso de manufactura aditiva y/o de la pieza de trabajo.

15

De acuerdo con un perfeccionamiento de la invención, la pieza de trabajo es manufacturada en capas, por ejemplo con un proceso de lecho de polvo. Un elemento de volumen de la pieza de trabajo puede corresponder exactamente a una capa de la pieza de trabajo manufacturada en capas. Para diferentes tamaños de capa, en particular por superficies de diferente tamaño de las capas individuales, los elementos de volumen individuales preestablecidos de la pieza de trabajo tienen entonces diferente tamaño o comprenden muchos diferentes valores medidos. Sin embargo, podría preestablecerse como elemento de volumen básicamente cualesquier puntos, líneas o superficies de una capa, de la pieza de trabajo manufacturada en modo de capas, puesto que una capa exhibe siempre un espesor y ancho de capa mínimos, que en particular son función de un tamaño del polvo del material de partida usado, y cualquier punto o línea exhibe en sí mismo un volumen. Los valores medidos están en una capa y con ello se dejan representar de modo bidimensional, aunque representan elementos de volumen con espesores de capa preestablecidos. Con ello, son imaginables varios elementos de volumen por capa. De acuerdo con otro perfeccionamiento de la invención, en cada caso una superficie preestablecida de exactamente una capa, limita cada elemento de volumen preestablecido de la pieza de trabajo manufacturada en capas. Por consiguiente, no están comprendidas varias capas sino sólo una capa por cada elemento de volumen.

20

25

30

Además, al menos los elementos de volumen de una capa pueden ser preestablecidos con el mismo tamaño. Mediante diferentes tamaños de capa pueden obtenerse entonces diferentes números de elementos de volumen por capa. De modo alternativo, podría preestablecerse el mismo número de elementos de volumen por capa, entonces sin embargo dado el caso, con diferentes tamaños uno de otro.

35

A partir de los valores medidos para las emisiones de proceso para cada elemento de volumen preestablecido, se calcula en cada caso un valor medio y una desviación estándar. Por ello, se presentan valores medios y desviaciones estándar para cada elemento de volumen, por ejemplo cada capa manufacturada.

40

El dispositivo de acuerdo con la invención para el análisis de un proceso de manufactura aditiva y para el análisis de una pieza de trabajo fabricada con el proceso de manufactura aditiva, en particular en modo de capas, comprende por ello además al menos una unidad aritmética diseñada adecuadamente de modo correspondiente, para la formación de valores medios y desviaciones estándar a partir de los valores medidos para los elementos de volumen individuales preestablecidos de la pieza de trabajo.

45

A continuación se verifica la distribución de las desviaciones estándar sobre un número de elementos de volumen preestablecidos, en particular sobre la totalidad de la pieza de trabajo y con ello la totalidad de los elementos de volumen y que comprende sus correspondientes desviaciones estándar, como medida de la calidad del proceso. Como perfeccionamiento se verifica si la distribución de las desviaciones estándar es una distribución normal. La unidad aritmética de un dispositivo perfeccionado de manera correspondiente, para el análisis de un proceso de manufactura aditiva y para el análisis de un con el proceso de manufactura aditiva, es diseñada de manera adecuada de modo correspondiente.

50

De acuerdo con otro perfeccionamiento, con la presencia de una distribución normal de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, se deduce un proceso libre de errores. La distribución de las desviaciones estándar representa una medida de la calidad del proceso. Para una discrepancia de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, frente a una distribución normal, de manera correspondiente se deduce un error en el proceso de manufactura aditiva durante la fabricación de la pieza de trabajo.

55

Otro perfeccionamiento del procedimiento de acuerdo con la invención prevé que sobre distribuciones bidimensionales de las desviaciones estándar calculadas y de los valores medios calculados, se verifique si estos tienen distribución normal, para deducir la calidad del proceso. Por consiguiente se forman en primera instancia tuplas de los valores medios y desviaciones estándar para los respectivos elementos de volumen y éstas se grafican en un sistema bidimensional de coordenadas para un número preestablecido de elementos de volumen, en particular para la totalidad de los elementos de volumen de la pieza de trabajo manufacturada. Mediante la forma de la nube de puntos a continuación se deduce si se presentó un proceso de fabricación libre de errores.

Mediante la forma y posición de la nube de puntos se deduce la calidad del proceso.

Un dispositivo de acuerdo con la invención para el análisis de un proceso de manufactura aditiva, en particular de un proceso de lecho de polvo, y para el análisis de una pieza de trabajo fabricada con el proceso de manufactura aditiva, en particular con el proceso de lecho de polvo, en particular en modo de capas, comprende una unidad aritmética como se define en la reivindicación 8. El procedimiento de acuerdo con la invención para el análisis y/o monitoreo de un proceso de manufactura aditiva, en particular de un procesos de lecho de polvo a base de láser, en particular de un proceso de fusión con rayo láser, durante la manufactura en capas de una pieza de trabajo o para el análisis y/o monitoreo de una pieza de trabajo fabricada en modo de capas con un proceso de manufactura aditiva, en particular de un proceso de lecho de polvo a base de láser, comprende las etapas de proceso mencionadas en la reivindicación 1.

Los coeficientes de variación son formados como cocientes entre los valores medios y las correspondientes desviaciones estándar. Como inversos de los coeficientes de variación son denominados sus valores recíprocos, por consiguiente cocientes entre las desviaciones estándar y los valores medios, que en este caso así mismo deberían estar incluidos.

El valor medio móvil de los coeficientes de variación o de los inversos de los coeficientes de variación sobre una ventana de elementos de volumen preestablecidos, sirve para verificar la distribución de las desviaciones estándar de los elementos de volumen preestablecidos. El valor medio móvil de los coeficientes de variación es válido por consiguiente como medida de la distribución de las desviaciones estándar. Si está dentro de un intervalo preestablecido, entonces puede asumirse que la distribución de las desviaciones estándar es una distribución normal.

Si los elementos de volumen representan en cada caso una capa de la pieza de trabajo manufacturada en modo de capas, entonces las etapas del procedimiento después de la captura de los valores medidos para al menos una emisión de proceso durante la manufactura de la pieza de trabajo, son como sigue:

- cálculo de los valores medios y las desviaciones estándar a partir de los valores medidos para capas individuales de la pieza de trabajo,
- formación de coeficientes de variación para las respectivas capas,
- formación de un valor medio móvil de los coeficientes de variación sobre una ventana de capas preestablecidas, y
- verificación de si el valor medio móvil está dentro de un intervalo preestablecido.

La luminosidad típica de proceso en el baño de fusión para procesos conocidos de lecho de polvo, por ejemplo durante la fusión con rayo láser, es capturada con un sistema adecuado de monitoreo, que comprende en particular un receptor adecuado de valores medidos, y a continuación es evaluada mediante al menos una unidad aritmética adecuada. En primer lugar, para cada elemento de volumen estudiado, en particular para cada capa estudiada, o cada etapa de proceso del proceso de lecho de polvo que forma la capa o el elemento de volumen, se forma al menos un valor medio y una desviación estándar sobre una ventana preestablecida, por ejemplo sobre un intervalo elegido, por consiguiente sobre un elemento de volumen preestablecido o sobre la totalidad de la capa. A continuación, para al menos un elemento de volumen, en particular sin embargo para varios, por ejemplo para cada capa, se forman los coeficientes de variación o los inversos de los coeficientes de variación. Sobre un número preestablecido de elementos de volumen, en particular elementos de volumen inmediatamente adyacentes y con ello elementos de volumen manufacturados de manera consecutiva desde el punto de vista de la técnica de proceso, se calculan valores medios móviles de los coeficientes de variación o de los inversos de los coeficientes de variación. Si el valor medio móvil se desvía, por consiguiente supera un intervalo preestablecido que así mismo puede ser ajustado de modo móvil, entonces se reconoce un error. El intervalo preestablecido puede por consiguiente indicar un intervalo correspondiente de confianza. Con ello, el intervalo preestablecido podría ser denominado también como intervalo de confiabilidad. Pueden preestablecerse también varios intervalos diferentes uno de otro. De este modo, se verifica entonces si el valor medio móvil está dentro de al menos uno de los intervalos preestablecidos.

De acuerdo con la invención, cuando se supera el intervalo preestablecido alrededor de los coeficientes de variación o de los inversos de los coeficientes de variación, se deduce que se ha presentado un error, por ejemplo, que el baño de fusión estuvo perturbado y/o la pieza de trabajo es defectuosa. A partir de ello puede generarse y emitirse una señal de error.

- El intervalo puede ser en sí mismo móvil sobre varios o sobre la totalidad de los elementos de volumen. Las ventanas preestablecidas comprenden un número preestablecido de valores medios móviles de coeficientes de variación y representan con ello un número preestablecido de elementos de volumen. Para cada ventana puede con ello preestablecerse un intervalo, que se diferencia de los intervalos de otras ventanas. Por ejemplo al aumentar la forma curvada, por ejemplo para valores medios móviles crecientes, pueden preestablecerse así mismo de modo creciente los límites del intervalo. Estos pueden variar sobre varias capas y con ello sobre la totalidad de la pieza de trabajo. Teóricamente, también es imaginable un ajuste de los límites del intervalo sobre una capa, dependiendo del número y tamaño de las ventanas preestablecidas.
- De acuerdo con la invención, se preestablece el intervalo en función de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida. Al respecto, pueden preestablecerse los límites del intervalo como función de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida, por ejemplo estos exhiben la misma distancia alrededor de un promedio del valor medio, sobre la ventana preestablecida de elementos de volumen preestablecidos.
- Se ve otro perfeccionamiento en que la varianza de los valores medios móviles también y en particular dentro del intervalo preestablecido sobre la ventana preestablecida, es verificada como medida de la calidad del proceso. En primer lugar se calcula la varianza o la desviación estándar de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida y a continuación se estudia. Si la varianza es pequeña puede decidirse un proceso libre de errores.
- De acuerdo con otro perfeccionamiento, puede verificarse el curso de los valores medios móviles también, y en particular dentro del intervalo preestablecido, sobre la ventana preestablecida como medida de la calidad del proceso.
- La invención propone con ello un modo de operar estandarizado y focalizado al análisis de datos y su evaluación.
- La invención admite numerosas formas de realización. Ella es ilustrada en más detalle mediante las siguientes figuras, en las cuales en cada caso se representa un ejemplo de configuración. Los mismos elementos en las figuras están dotados con los mismos signos de referencia.
- La Fig. 1 muestra a modo de ejemplo un curso de la curva de intensidades capturadas mediante un fotodiodo y promediadas, y sus varianzas sobre capas individuales de un componente, que sería evaluado en ensayos posteriores como libre de errores,
- la Fig. 2 muestra a modo de ejemplo un curso de la curva de valores de reflexión capturados mediante una cámara de alta velocidad y promediados y sus varianzas sobre capas individuales de un componente, que en ensayos posteriores sería evaluado como libre de errores,
- la Fig. 3 muestra a modo de ejemplo un curso de la curva de intensidades capturadas mediante un fotodiodo y promediadas, y sus varianzas sobre capas individuales de un componente, que en ensayos posteriores sería evaluado como defectuoso,
- la Fig. 4 muestra a modo de ejemplo un curso de la curva de valores de reflexión capturados mediante una cámara de alta velocidad y promediados, y sus varianzas sobre capas individuales de un componente, que en ensayos posteriores sería evaluado como defectuoso,
- la Fig. 5 muestra a modo de ejemplo una hoja de datos con los valores medios y varianzas derivados de los valores medidos capturados para capas individuales del componente manufacturado, para diferentes etapas de iluminación,
- la Fig. 6 muestra un diagrama con valores para la iluminación de superficies y contorno,
- la Fig. 7 muestra los inversos de los coeficientes de variación para los valores medidos para la iluminación del contorno así como un valor medio móvil, graficado sobre capas preestablecidas,
- la Fig. 8 muestra un diagrama de datos no procesados de varios componentes,
- la Fig. 9 muestra una valoración estadística de las constantes de material capturadas, mediante prueba destructiva de componentes.
- En las figuras 1 a 4 se representan salidas de valores de reflexión medidos, como se conocen a partir del estado de la técnica. Los valores de reflexión representan la luminosidad de proceso. Los valores medidos de las figuras 1 a 4 provienen de un sistema de monitoreo de baño de fusión llamado "QM-Meltpool 2D" de "Concept Laser" de General Electric (GE). Muestran a modo de ejemplo valores de proceso de manufactura de componentes, que a continuación fueron sometidos al menos a una prueba de material, en particular pruebas destructivas estadísticas, y fueron encontrados como "bueno" o libre de defectos o como "malo" o defectuoso. En primera instancia no es posible la evaluación de los componentes, en virtud de las figuras 1 a 4 como tales.

El sistema de monitoreo captura valores de reflexión del baño de fusión en el proceso, en este caso mediante fotodiodo y cámara de alta velocidad, y los almacena respecto a la posición del baño de fusión. En este caso, de modo constructivo se ofrecen 2 salidas de datos para el usuario:

5 1) Salida PDF (véanse las Fig. 1 a Fig. 4) (también denominadas piscina de fusión en 2D) de los valores medios y de las varianzas de la superficie del baño de fusión de una capa, sobre todas las capas así como salida de los valores medios de la intensidad de los diodos y su varianza por capa, sobre todas las capas. Las curvas superiores de las Fig. 1 a Fig. 4 representan al respecto los valores medios mencionados de las intensidades o valores de reflexión sobre la capa, mientras las respectivas curvas inferiores representan sus varianzas. Estos datos pueden ser exportados desde la instalación también a un archivo de datos, en este caso como archivo
10 .csv. Básicamente son imaginables también otros formatos adecuados de archivo.

Sobre la base de los archivos exportados pueden realizarse entonces análisis propios. Actualmente no se conoce un modo de operar estandarizado para el análisis de datos. Se indica al respecto que los datos son bien adecuados para evaluar por comparación los cursos de las curvas, en el caso de una producción en serie, por consiguiente durante la repetición de los mismos procesos de fabricación. Si dichos cursos son similares,
15 entonces puede asumirse que no hubo problema. Sin embargo, no se conocen características de aceptación y rechazo.

2) Mapeo de la piscina de fusión, también denominado como piscina de fusión en 3D: Los respectivos valores de reflexión (cámara / señal de diodos), que son medidos en una capa, son almacenados por capa respecto a la posición. A continuación, a partir de las tarjetas de capa, mediante procesamiento de pila de imagen, se
20 generan modelos en 3D a base de vóxel. No se representa la posibilidad de procesar un modelo en 3D de un componente manufacturado en modo de capa, generado a partir de valores medidos capturados, en el cual se filtran ciertos niveles de gris, mediante los cuales el usuario puede realizar una evaluación propia de calidad. Tampoco en este caso existen suposiciones o criterios de descarte estandarizados. Además, el procesamiento de pila de imagen tiene claras debilidades que se refieren a la resolución (en dirección Z), uso del tiempo y capacidades personales del respectivo usuario.
25

Una indicación de error depende de la elección de la curva de opacidad. Ésta es definida por el respectivo operador y con ello no es un indicador confiable de un error en el componente. La evaluación de calidad mediante mapa de piscina de fusión de procesador de pila de imagen (estado de la técnica) no está en ningún caso estandarizada. Un problema adicional en este caso es la mala resolución en dirección Z:

30 La indicación de defectos depende de los valores límite de opacidad fijados por el operador. Una detección de defectos tiene que ocurrir mediante varias fotografías de capa, por ejemplo cuando en una capa se reconoció una anomalía (correspondiente al ajuste propio de opacidad), de modo que se mira comparando en la capa que está encima y debajo, si en este caso así mismo en el mismo sitio se presenta una correspondiente indicación de defecto. Sólo en tanto las indicaciones de error se extiendan sobre varias capas, se presume un error. Sin embargo, este podría estar también en los valores límite de opacidad elegidos (ningún error, sólo
35 ajuste equivocado).

Con ello, en el momento de esta solicitud existieron aproximaciones a la solución, pero no soluciones para el problema de la evaluación de calidad de PBF.

40 La invención se basa ahora en un procedimiento ilustrado de acuerdo con las Fig. 5 a Fig. 9, que hace posible una evaluación analítica de calidad del curso del proceso, sobre la base de los valores medidos capturados para al menos una magnitud medida que representa la luminosidad de proceso. Para las Fig. 5 a Fig. 9 se usó a modo de ejemplo la señal de diodo.

El proceso es estructurado de acuerdo con estos ejemplos de realización en las siguientes etapas del procedimiento:

45 1. Exportar los datos descritos anteriormente que se refieren a los valores medios de la intensidad de diodo determinada sobre todas las capas (adicional o alternativamente también, la superficie del baño de fusión con la cámara de alta velocidad) y sus varianzas por capa, en una unidad aritmética adecuada para su valoración. La Fig. 5 muestra a modo de ejemplo un fragmento de una tabla de datos tal. En la columna 1 se detalla la etapa de iluminación (Exp), en la columna 2 el número de la capa, la columna 3 lista el valor medio de la
50 intensidad de diodo (DI) para la respectiva capa, mientras la columna 4 despliega su varianza.

En caso de ser necesario, los datos son separados de acuerdo con la etapa de iluminación, por consiguiente evaluados por separado uno de otro en las categorías de iluminación (F) de superficie y contorno e iluminación (C) (pura) de contorno para minimizar el ancho de dispersión. De ello surgen para los respectivos grupos de etapa de iluminación, poblaciones distribuidas de manera normal de acuerdo con la Fig. 6.

55 En el denominado procedimiento de envoltura/núcleo se opera el láser durante la manufactura, de la manera tradicional en una primera capa con menos potencia para fundir sólo el borde de la capa. En una segunda capa que sigue es operado sin embargo con más potencia para fundir la primera y la segunda capa también en la

superficie. Por ello, parece tener sentido separar los datos y analizarlos después de la etapa de iluminación, por consiguiente en la iluminación pura de contorno y la iluminación de contorno y superficie. Esto ocurre en particular independientemente del procedimiento de captura (diodo o cámara). El valor medio móvil de los coeficientes de variación puede con ello ser formado separadamente después de la etapa de iluminación.

5 La Fig. 6 muestra ahora un diagrama de puntos en el cual las tuplas de valor medio de desviación estándar (en este caso por ejemplo en las señales de diodo), son formadas sobre todas las capas. Se muestra que las tuplas de los buenos componentes siguen una distribución normal mientras las tuplas de componentes malos tienen clara dispersión (no normal). Las diferentes regiones son atribuibles a las etapas de iluminación (iluminación pura de contorno o iluminación de contorno y superficie en la respectiva etapa de iluminación).

10 2. Formación de la desviación estándar mediante extracción de la raíz cuadrada de la respectiva varianza de superficie (véase la Fig. 5, quinta columna desde la izquierda, denominada con DI SD).

15 3. Formación del coeficiente de variación (dado el caso inverso) (cocientes de capas) "Diodo": intensidad media del diodo de la capa (MV/L) / desviación estándar de la intensidad de diodo de la capa (SD/L) o a la inversa; véase la Fig. 5, sexta columna desde la izquierda. Del mismo modo podría formarse también un cociente de capas "Cámara" (promedio de superficie de baño de fusión de la capa / desviación estándar de la superficie del baño de fusión de la capa o a la inversa).

20 4. Formación de un promedio móvil mediante los coeficientes de variación (cocientes de capa) individuales (dado el caso inversos) sacados para la verificación. Su número determina la longitud de la ventana y puede ser elegido de cualquier modo en función de la pieza de trabajo. La Fig. 7 muestra a modo de ejemplo la gráfica de los inversos de los coeficientes de variación (valor medio/desviación estándar) para diodo y/o cámara sobre una ventana de capas preestablecidas (nubes de puntos de la Fig. 7), así como el promedio móvil (MA COV) como líneas sólidas en las nubes de puntos.

25 5. Si el promedio móvil es aproximadamente constante o está en un intervalo estrecho como para la curva inferior de la Fig. 7, entonces el proceso transcurre de manera estable. Si el promedio móvil se desvía, por consiguiente el curso de la curva es por ejemplo creciente, descendiente, o como zigzag, etc., como la curva superior de la Fig. 7, entonces en el proceso se presenta un problema. El baño de fusión está perturbado. Las propiedades mecánicas del componente están entonces afectadas; véase también las Figuras 9, en las cuales los componentes en cuestión muestran claras desviaciones en las propiedades mecánicas (las características están separadas en 3σ del valor medio).

30 La Fig. 8 muestra para comparación la representación de los valores medios de las intensidades de diodo sobre las capas, que resulta de la adopción pura, sin procesar de los datos CSV-. Los diagrama de datos no procesados de varios componentes aclara que la evaluación de calidad a base de una comparación simple de las señales capturadas, no da ninguna información inequívoca sobre la calidad del proceso y no es posible una indicación sobre la calidad por el ruido presente. La curva oscura que incluye una región clara representa un proceso defectuoso.

35 La Fig. 9 muestra, como ya se indicó anteriormente, una valoración estadística de las características de material capturadas mediante prueba destructiva de componentes. En virtud de éstas puede probarse la relación de la señal de proceso con las propiedades resultantes del componente. Los valores atípicos son aquellos que, también en el marco del análisis de señal, muestran coeficientes de variación (dado el caso inversos) que varían fuertemente. En este caso escapan dos muestras - cuyas propiedades mecánicas tienen correlación con el curso de la señal.

40 Una ventaja de la invención consiste en una evaluación cuantificable, con base numérica, del curso del proceso. El algoritmo es simple y eficiente. Su funcionalidad pudo ser probada empíricamente en virtud de series de ensayos. Mediante ello pueden eludirse laboriosos algoritmos de procesamiento y análisis de imagen. El algoritmo permite un pronóstico directo de la calidad. Así mismo, debido a su simplicidad, pudo también adecuarse éste para un monitoreo de proceso en línea, un denominado control de bucle cerrado. Además, mediante ello pueden estimarse características de proceso de manera rápida y eficiente y con ello ejecutarse un adecuado control de la calidad. Los errores en el sistema óptico de una instalación PBF son identificados de inmediato y sin medición de foco o medición de potencia de láser, etc..

45 Un dispositivo de acuerdo con la invención para el análisis de un proceso de manufactura aditiva, en particular de un proceso de lecho de polvo, y para el análisis de una pieza de trabajo fabricada en modo de capas con el proceso de manufactura aditiva, en particular en modo de capas, en particular con un proceso de lecho de polvo, comprende al menos un receptor de valores medidos para la captura de valores medidos para al menos una emisión de proceso durante la manufactura de la pieza de trabajo, en particular para la captura de valores medidos para al menos una magnitud medida que representa la luminosidad de proceso y al menos una unidad aritmética, que está diseñada de manera adecuada para la formación de valores medios y desviaciones estándar a partir de los valores medidos para elementos de volumen preestablecidos de la pieza de trabajo, en particular también para la formación de coeficientes de variación para los respectivos elementos de volumen y

para la formación de un valor medio móvil de los coeficientes de variación, sobre una ventana de elementos de volumen preestablecidos, y para la verificación de una distribución de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, como medida de la calidad del proceso, en particular a la verificación de la posición del valor medio móvil dentro de un intervalo preestablecido.

- 5 Se calculan valores medios y desviaciones estándar para los valores medidos de elementos de volumen preestablecidos, y se verifica si están distribuidas de modo normal las desviaciones estándar calculadas para varios elementos de volumen preestablecidos, en particular para toda la parte que va a ser verificada del componente en cuestión. Al respecto, la distribución de las desviaciones estándar es una medida de la calidad del proceso.
- 10 Por el carácter tridimensional de las capas manufacturadas se habla de elementos de volumen. Los elementos uni- o bidimensionales como elementos de puntos o de línea no pueden ser capturados. Las superficies de capas individuales corresponden a cortes a través de la pieza de trabajo (planos de corte). Al respecto, los espesores de las capas son con frecuencia esencialmente constantes. Surgen capas de diferente tamaño por superficies de diferente tamaño, menos por espesores de capa diferentes. Los valores medidos para los elementos de volumen representan la superficie bidimensional, pero representan un elemento de volumen con espesor de capa preestablecido.
- 15

Las emisiones de proceso capturadas por el receptor de valores medidos, como por ejemplo la luminosidad de proceso, surgen en una banda usualmente limitada, para SRM por ejemplo en el intervalo del infrarrojo cercano. Los receptores de valores medidos son por ello adecuados para la captura de valores medidos de un espectro preestablecido.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el análisis de un proceso de manufactura aditiva, en donde durante la manufactura de una pieza de trabajo se capturan valores medidos para al menos una emisión de proceso, en donde se calculan valores medios y desviaciones estándar de los valores medidos de elementos de volumen preestablecidos de la pieza de trabajo, en donde como valores medidos para la al menos una emisión de proceso, durante la manufactura de la pieza de trabajo se capturan valores medidos para al menos una magnitud medida que representa una luminosidad de proceso y en donde se verifica una distribución de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, como medida de la calidad del proceso, caracterizado porque a partir de los valores medios y desviaciones estándar calculados, se forman coeficientes de variación, se forma un valor medio móvil de los coeficientes de variación sobre una ventana de elementos de volumen preestablecidos, y se verifica si el valor medio móvil está dentro de un intervalo preestablecido, si se excede el intervalo preestablecido de ello se concluye que se presenta un error, y en función del valor medio móvil, el intervalo es preestablecido sobre la ventana preestablecida.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la presencia de una distribución normal de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, es indicativo de un proceso libre de errores.
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque se verifica si las distribuciones bidimensionales de las desviaciones estándar calculadas y de los valores medios calculados, tienen distribución normal, para indicar la calidad del proceso.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se verifica la varianza de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida, como medida para la calidad del proceso.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se verifica el curso de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida, como medida para la calidad del proceso.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque se capturan valores medidos para las reflexiones del baño de producto fundido.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque se capturan y evalúan valores medidos para varias magnitudes medidas.
8. Dispositivo para el análisis de un proceso de manufactura aditiva y para el análisis de una pieza de trabajo fabricada con el proceso de manufactura aditiva, que comprende al menos un receptor de valores medidos para la captura de valores medidos para al menos una emisión de proceso durante la manufactura de la pieza de trabajo, y que comprende al menos una unidad aritmética, diseñado de manera adecuada para la formación de valores medios y desviaciones estándar a partir de los valores medidos para elementos de volumen preestablecidos de la pieza de trabajo, en donde el al menos un receptor de valores medidos está diseñado de manera adecuada para la captura de valores medidos para al menos una magnitud medida que representa la luminosidad de proceso, caracterizado porque la al menos una unidad aritmética está diseñada de manera adecuada para la formación de coeficientes de variación para los respectivos elementos de volumen, para formar un valor medio móvil de los coeficientes de variación sobre una ventana de elementos de volumen preestablecidos, para verificar la posición del valor medio móvil dentro de un intervalo preestablecido, para deducir un error cuando se rebasa el intervalo preestablecido, y para especificar el intervalo en función de los valores medios móviles sobre la ventana preestablecida.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque la unidad aritmética está diseñada de modo adecuado para verificar una distribución de las desviaciones estándar calculadas de varios elementos de volumen preestablecidos, como medida de la calidad del proceso.
10. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado porque exhibe al menos un fotodiodo y/o al menos una cámara de alta velocidad para capturar valores medidos de la al menos una emisión de proceso durante la manufactura de la pieza de trabajo.

DIBUJOS

FIG 1

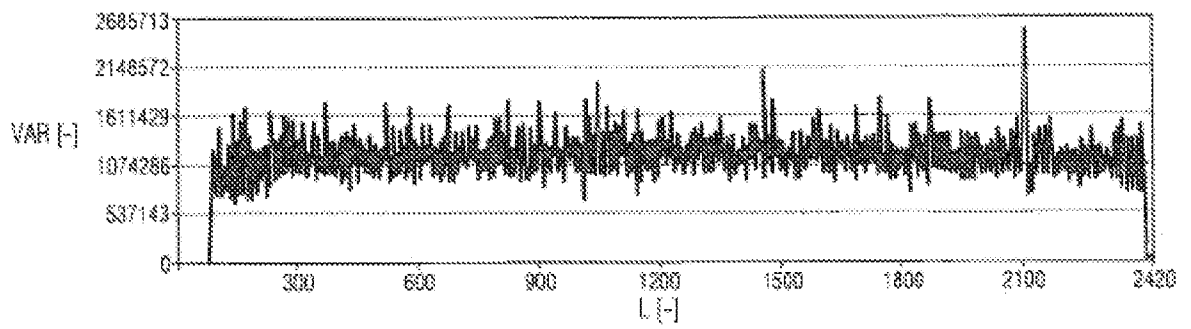
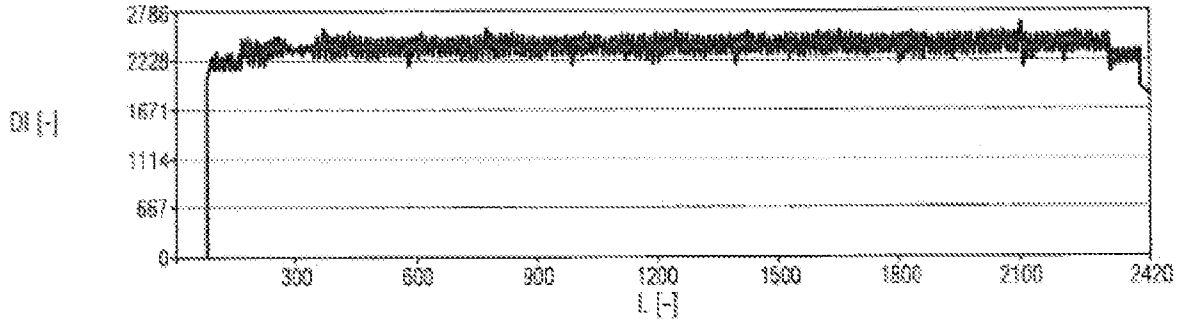


FIG 2

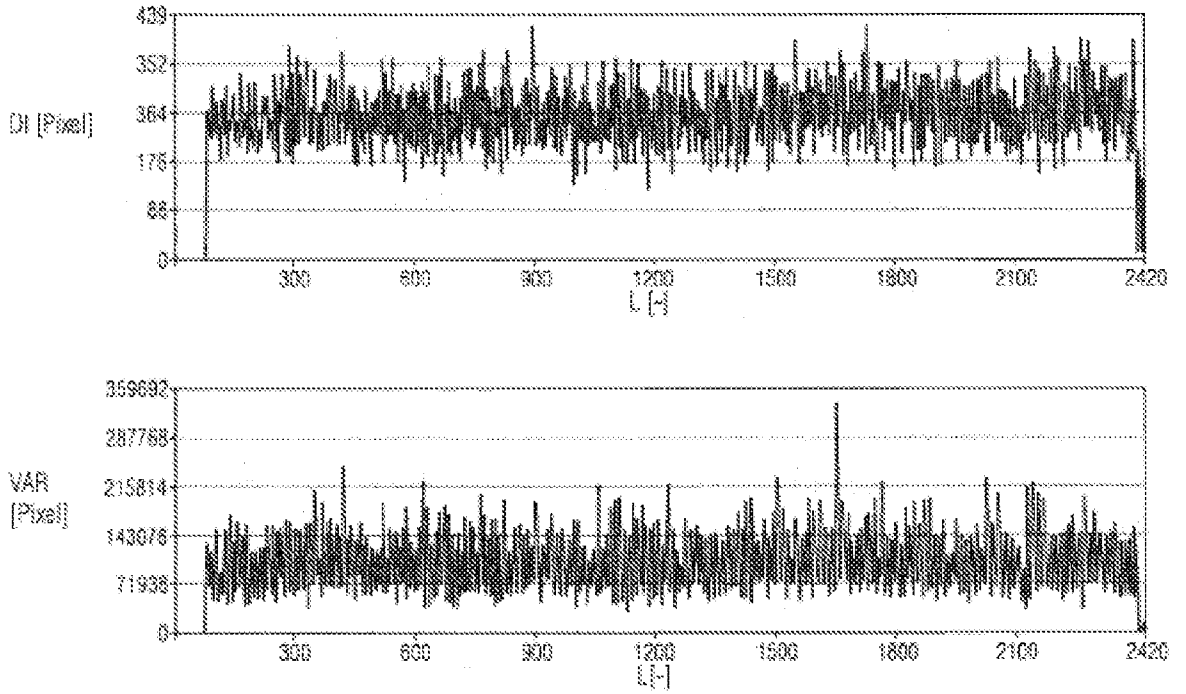


FIG 3

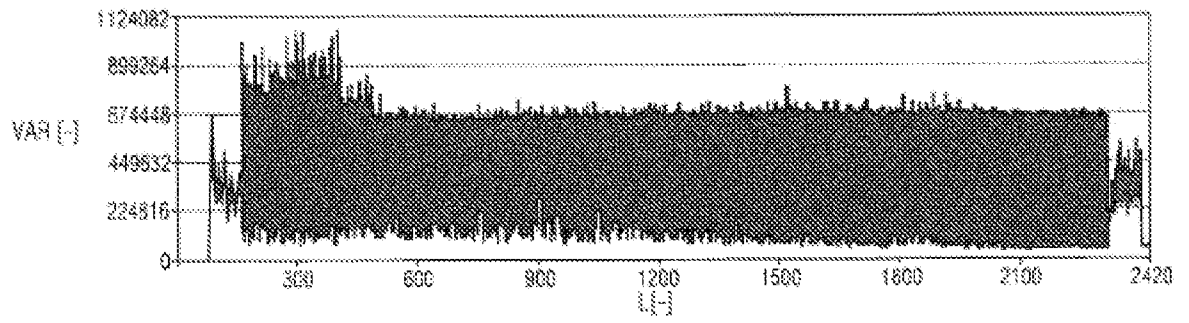
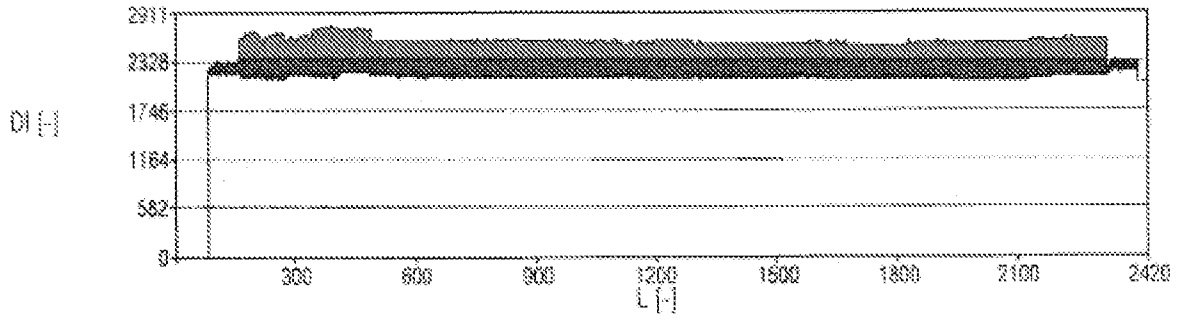


FIG 4

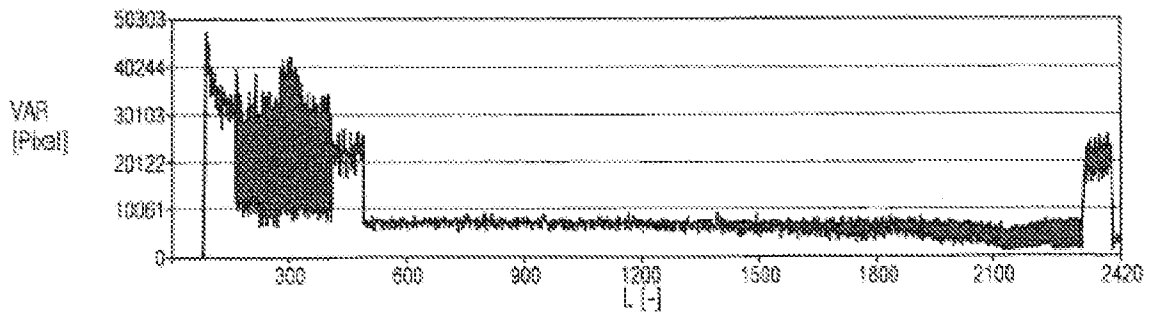
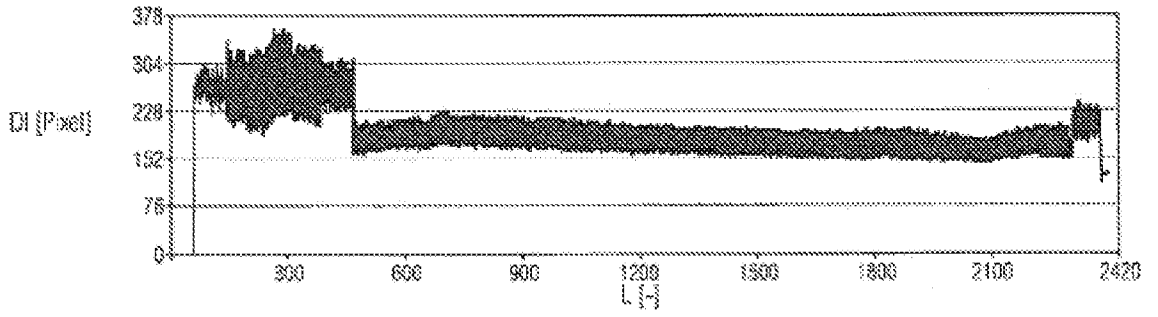


FIG 5

IGA1-A7-2.1 Clods

Exp	L	A7-2.1 DI (MVL)	VAR	A7-2.1 DI SD	A7-2.1 COV (MVL / SDA)
C	81	2100.182105	197331.5	327.51	6.41
F	82	2209.110107	302538.5938	550.38	4.01
C	83	2161.316535	290374.7656	447.63	4.93
F	84	2240.181885	395858.375	604.86	3.70
C	85	2181.680908	228138.5313	477.64	4.57
F	86	2241.349121	282237.0938	531.26	4.22
C	87	2175.1030919	314297.25	462.92	4.70
F	88	2253.068115	364766.2188	603.96	3.73
C	89	2230.375	673496.125	820.67	2.72
F	90	2282.183105	538206.75	733.63	3.11
C	91	2199.91001	352698.625	502.24	3.65
F	92	2275.322968	469485.875	585.19	3.32
C	93	2204.547.119	452258.8125	672.50	3.28
F	94	2275.46707	552324.5	743.19	3.05
C	95	2192.818115	312880.8438	558.65	3.93
F	96	2266.915039	411173.375	641.23	3.54
C	97	2174.50708	265038.0156	505.03	4.31

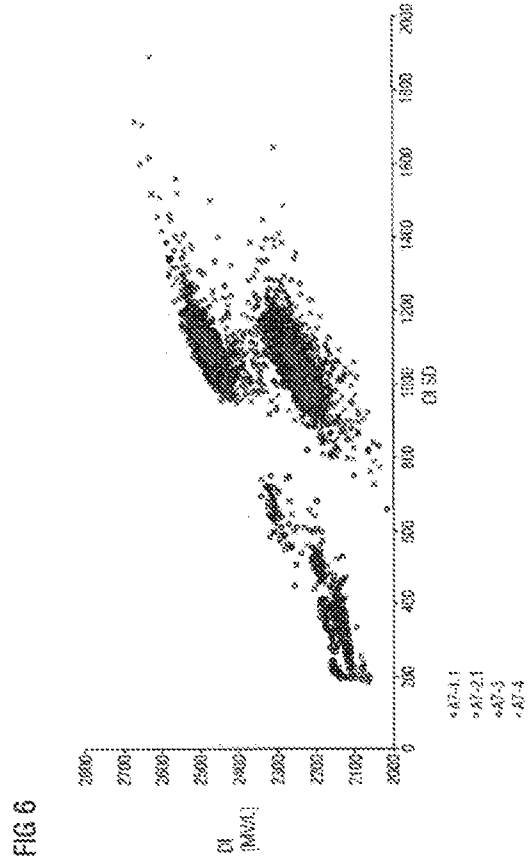


FIG 7

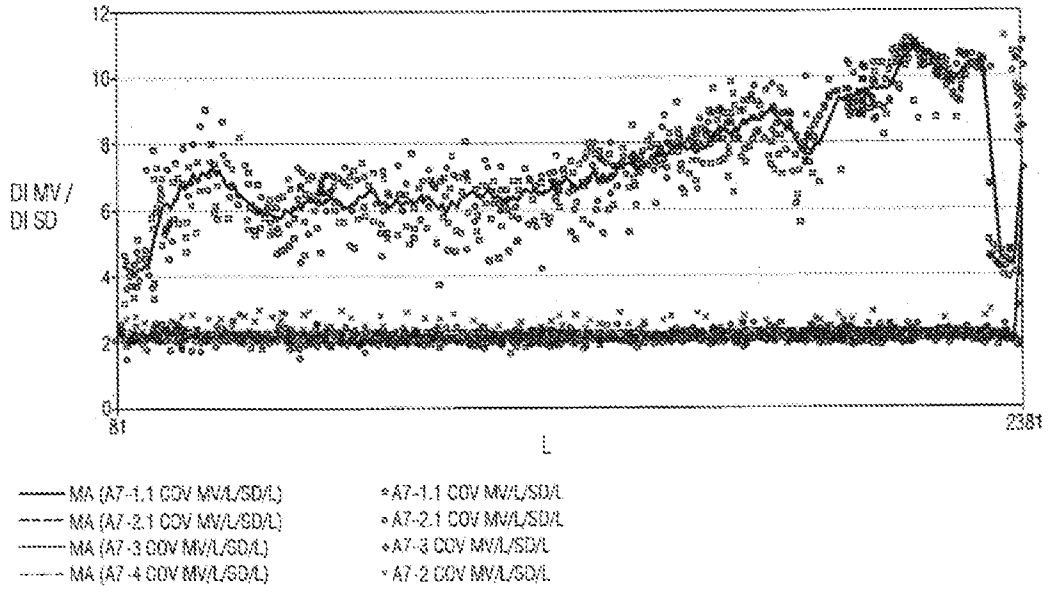


FIG 8

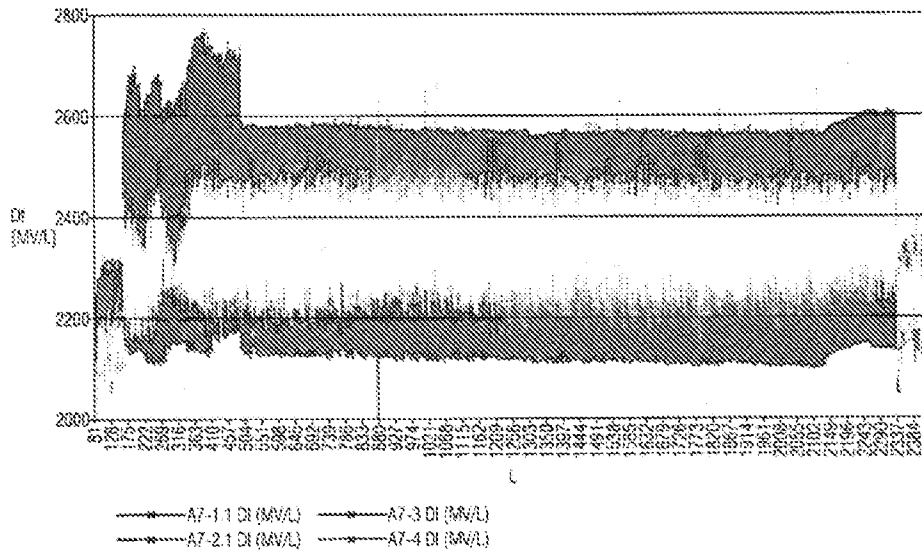


FIG 9

