

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
01. Dezember 2022 (01.12.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/248189 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22F 10/20 (2021.01) B33Y 50/02 (2015.01)
B22F 10/30 (2021.01) B29C 64/118 (2017.01)
B22F 10/85 (2021.01) B29C 64/393 (2017.01)
B33Y 10/00 (2015.01) G05B 19/18 (2006.01)
B33Y 30/00 (2015.01) G05B 19/4099 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/062247

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. Mai 2022 (06.05.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
21176030.1 26. Mai 2021 (26.05.2021) EP

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

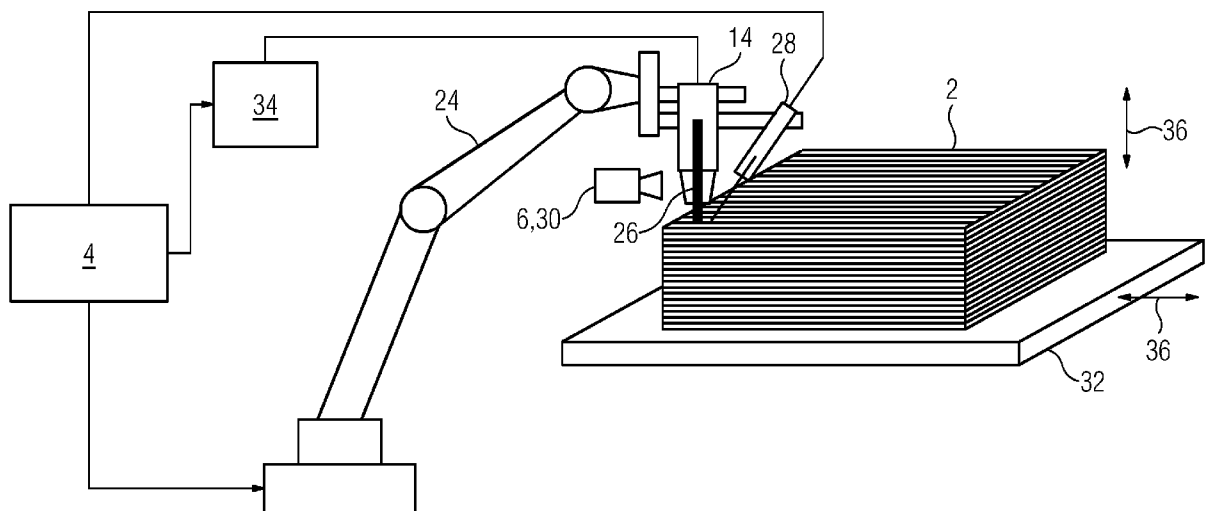
(72) Erfinder: **REISCH, Raven Thomas**; August-Zeune-Weg 10, 81379 München (DE). **HAUSER, Tobias**; Kötzer Straße 7, 89347 Bubesheim (DE). **KAMPS, Tobias**; Widenmayerstr. 13, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,

(54) Title: METHOD FOR THE ADDITIVE MANUFACTURING OF A COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ADDITIVEN HERSTELLUNG EINES BAUTEILS

FIG 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for the additive manufacturing of a component (2), comprising the following steps: - creating a machine code; - transmitting the machine code to a controller (4); - starting the manufacturing process; - monitoring the process using sensors (6); - assessing sensor data for determining an anomaly (8) in the component to be manufactured; and - parallel establishment of a digital twin (10) of the resulting component (2) during the process from the sensor data comprising position data of the anomaly (8); - predicting the position (12) of a print head (14) at a specific time by means of the machine code; - analyzing a working area around this position with regard to present anomalies by means of the digital twin; - adjusting the process parameters when the working area is reached for eliminating the anomaly.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zu additiven Fertigung eines Bauteils (2) umfassend folgende Schritte: - Erstellen eines Maschinencodes - Übertragen des Maschinencodes an eine Steuerung (4) - Starten des Fertigungsprozesses - Überwachung des Prozesses mit Sensoren (6), - Auswertung von Sensordaten zur Ermitteln einer Anomalie (8) im herzustellenden Bauteil



RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

sowie - paralleler Aufbau eines digitalen Zwillings (10) des entstehenden Bauteils (2) während des Prozesses aus den Sensordaten umfassend Positionsdaten der Anomalie (8) - Prädiktion über die Position (12) eines Druckkopfs (14) zu einer bestimmten Zeit mittels des Maschinencodes - Analyse eines Arbeitsbereiches rund um diese Position in Hinblick auf vorhandene Anomalien mittels des digitalen Zwillings - Anpassung der Prozessparameter bei Erreichen des Arbeitsbereiches zur Behebung der Anomalie.

Beschreibung

Verfahren zur additiven Herstellung eines Bauteils

- 5 Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) ist ein Beispiel, das die Herstellung großvolumiger, metallischer Bauteile ermöglicht. Ein weiteres typisches Verfahren hierfür ist das Laserschmelzverfahren (LMD). Dabei stellt die fehlende Wiederholbarkeit des Prozesses eine Herausforderung an die Qualitätssicherung dar. Um sicherzustellen, dass das Bauteil eine ausreichend hohe Qualität aufweist, muss der Prozess überwacht werden. In-Situ-Monitoringsysteme ermöglichen dabei die Analyse am Ort des Geschehens während des Prozesses.
- 10
- 15 Werden dann Defekte im Prozess erkannt, wird das gewonnene Wissen über die Defekte bisher nicht verwendet, um Prozessanpassungen umzusetzen. Das liegt daran, dass unbekannt ist, welcher Defekt vorliegt und wie diesem zu begegnen ist. Falls eine Anomalie detektiert wird, muss der Prozess deshalb aktuell abgebrochen werden und das Bauteil ist Ausschuss.
- 20

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur additiven Fertigung eines Bauteils bereitzustellen, das gegenüber dem Stand der Technik eine verbesserte Prozesskontrolle aufweist und die Ausschussrate während der Produktion senkt.

25

- Die Lösung der Aufgabe besteht in einem Verfahren zur additiven Fertigung eines Bauteils nach Patentanspruch 1. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst dabei folgende Schritte:
- 30
- Erstellen eines Maschinen Codes
 - Übertragen des Maschinen Codes an eine Steuerung
 - Starten des Fertigungsprozesses
 - Überwachung des Prozesses mit Sensoren,
 - 35 - Auswertung der Sensordaten zur Ermitteln einer Anomalie im herzustellenden Bauteil sowie
 - Aufbau eines digitalen Zwillings des entstehenden Bauteils aus den Sensordaten umfassend Positionsdaten der Anomalie

- Prädiktion über die Position 12 eines Druckkopfs 14 zu einer bestimmten Zeit mittels des Maschinencodes
- Analyse eines Arbeitsbereiches rund um diese Position in Hinblick auf vorhandene Anomalien mittels des digitalen Zwillings
- Anpassung der Prozessparameter bei Erreichen des Arbeitsbereiches zur Behebung der Anomalie.

Dabei seien die verwendeten Begriffe wie folgt definiert:

10 Druckkopf

Als Druckkopf wird das Bauteil einer additiven Fertigungsverfahren bezeichnet, das für den Materialauftrag verantwortlich ist. Beim WAAM ist dies das Element, an dem das Ende des aufzuschweißenden Drahtes geführt wird, beim LMD Verfahren ist dies das Element, an dem der Laserstrahl zum Aufschmelzen des Pulvers austritt. Der Druckkopf steht während des Prozesses über ein definiertes Merkmal, beispielsweise der Spitze einer Elektrode oder einer Drahtaustrittsöffnung an einer bestimmten Position. Diese Position des Druckkopfes wiederum korreliert räumlich äquidistant mit einem Arbeitspunkt im oder an der Oberfläche des entstehenden Bauteils. Zwischen der Position des Druckkopfes und dem Arbeitspunkt am Bauteil wird deshalb unterschieden, da diese in verschiedenen additiven Fertigungsverfahren nicht räumlich zusammenfallen, aber stets zwangsgesteuert in Zusammenhang stehen.

Sensor und Sensordaten

Ein Sensor, auch als Detektor, (Messgrößen- oder Mess-)Aufnehmer oder (Mess-)Fühler bezeichnet, ist ein technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften (physikalisch z. B. Wärmemenge, Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Schallfeldgrößen, Helligkeit, Beschleunigung oder chemisch z. B. pH-Wert, Ionenstärke, elektrochemisches Potential) und/oder die stoffliche Beschaffenheit seiner Umgebung qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann. Diese Größen werden mittels physikalischer, chemischer

oder biologischer Effekte erfasst und in ein weiterverarbeitbares insbesondere elektrisches Signal, dem Sensorsignal umgeformt. Ein elektrisches Signal ist eine Spezialform eines physikalischen Signals. Es handelt sich um eine elektrische
5 Größe wie Stromstärke, Spannung oder Widerstand, wenn es in irgendeiner Form variabel ist und somit Informationen aufnehmen und transportieren kann. Als Wert des Signals kommen beispielsweise Gleichwert, Scheitelwert, Frequenz, Phasenverschiebungswinkel oder Tastgrad infrage. Auch mathematische
10 Auswertungen also eine Weiterverarbeitung von physikalischen Sensordaten werden als Sensordaten als solche bezeichnet.

Digitaler Zwilling

15 Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines materiellen oder immateriellen Objekts oder Prozesses aus der realen Welt in der digitalen Welt. Digitale Zwillinge ermöglichen einen übergreifenden Datenaustausch. Sie sind dabei mehr als reine Daten und bestehen aus Modellen des repräsentierten Objekts oder Prozesses und können daneben Simulationen, Algorithmen und Services enthalten, die Eigenschaften
20 oder Verhalten des repräsentierten Objekts oder Prozesses beschreiben, beeinflussen, oder Dienste darüber anbieten.

25 Steuerung

Steuerung ist eine Recheneinheit, die dazu in der Lage ist, Modelle auszuführen und die Daten zu verarbeiten. Beispiele für Steuerungen sind NC (Numerical Control wie Sinumerik),
30 Edge Devices (Industrial Edge oder Sinumerik Edge (ein Rechner, der zwei Netzwerke verbindet und Daten auswerten kann)), ein IPC (Industrial PC ohne Verbindung zum zweiten Netzwerk) oder PLC (Programmable Logic Controller (in Deutsch SPS) wie z. B. Simatic S7)).

35

Positionsdaten

Positionsdaten sind ein Datensatz, der ausgehend von einem vor Prozessbeginn definierten Koordinatensystems bezüglich diesem einen Ort im Prozessumfeld definiert.

5 Prozessparameter

Prozessparameter sind Parameter, mit denen ein gewünschtes Prozessverhalten eingestellt werden kann. Hierzu gehören z. B. für das Wire Arc Additiv Manufacturing (Lichtbogendraht-
10 auftragsschweißen) Gasfluss, Strom, Spannung, Schweißvor-
schub, Drahtvorschub, Abstand von Schweißbrenner vom Bauteil und Neigung des Schweißbrenners. Ferner gelten beispielsweise für das LMD (Laser Metal Deposition) auch die Laserleistung, Pulverzufuhr und Laserfokus als typische Prozessparameter.

15

Die Vorteile der Erfindung gegenüber dem Stand der Technik bestehen darin, dass berücksichtigt wird, dass der Prozess stark von seiner aktuellen Umgebung abhängt. Wenn beispielsweise in Lage drei eine Oxidation auftritt, dann führt dies
20 in der folgenden Lage ebenfalls zu einem abnormalen Prozessverhalten. Gleiches gilt für benachbarte Schweißraupen. Dennoch wird bei der Prozessanalyse nach dem Stand der Technik anders als in der vorliegenden Erfindung lediglich der aktuelle Datenpunkt verwendet, jedoch keine Informationen früherer Datenpunkte desselben Drucks in die Datenauswertung integriert. Der Kontext, der zum jeweiligen Zeitpunkt vorhanden ist, wird beschriebenen Verfahren nicht vernachlässigt, sondern in die Simulation und Umsetzung von Ausgleichsmaßnahmen
25 eingebracht. So hat eine Oxidation oder eine Formabweichung auch Auswirkungen auf die folgenden Lagen und die hier gesammelten Daten. Auswirkungen von Defekten über mehrere Lagen hinweg werden mit dem beschriebenen Verfahren nun ausreichend beachtet, sodass Defekte über mehrere Lagen miteinander korreliert werden. Somit werden Informationen, die bereits existieren, genutzt, um bessere Ergebnisse in der Datenanalyse im
35 Rahmen des in-situ-Monitorings zu erhalten, und gehen nicht verloren. Zeitlicher und räumlicher Kontext, dem im additiven Fertigungsprozess große Bedeutung zu kommt, wird durch die

erfindungsgemäße Lösung bei der Datenbewertung gewinnbringend verwendet und Defektbehebungsmaßnahmen können in situ eingeleitet werden.

5 In einer bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung wird zur Auswertung der Sensordaten ein Modell verwendet, durch das in einer dynamischen Zeitspanne Rückmeldedaten an die Steuerung berechnet werden. Zur Integration eines zeitlichen Kontexts werden (in der Regel neurale Netze-) Modelle verwen-
10 det, die auf Basis von vergangenen Werten den aktuellen Datenpunkt hinsichtlich eines Anomaliewerts bewerten. Die Zeitspanne, die als zeitlicher Kontext verwendet wird, ändert sich dabei dynamisch abhängig davon, wie hoch beispielsweise die aktuelle Schweißgeschwindigkeit oder wie lang das
15 Schweißbad (erfassbar über Schweißkamera + Computer Vision Algorithmen wie z.B. Canny Edge Detection) ist. Eine typische dynamische Dauer beträgt dabei z. B. 0,5 s, wobei sich das Zeitintervall bevorzugt in einer Zeitspanne zwischen 0,05 s und 3 s besonders bevorzugt zwischen 0,1 s und 1 s bewegt.

20 In einer bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung wird jedem Ort, den der Druckkopf anfährt, ein Zeitstempel zugewiesen, damit auf die vorherrschende Prozesssituation zum gegebenen Zeitpunkt rückwirkend Informationen ausgewertet werden können.
25

Insofern ist es auch zweckmäßig, dass der digitale Zwilling in Form einer Punktwolke ausgestaltet ist und zu jedem Punkt der Wolke eine Bewertung zum Prozesszustand hinterlegt sind.
30 Bewertungskriterien sind z. B. die Art der Anomalie (z. B. Oxidation oder Poren). Eine Anomalie ist somit eine Vorstufe eines Defektes, sie kann auch als potentielle Defekt bezeichnet werden.

35 Bevorzugt wird zu jedem Punkt ein Anomaliewert ermittelt, für dessen Berechnung wiederum in vorteilhafter Weise Informationen, also Prozessdaten und Sensordaten aus Nachbarpunkten innerhalb eines Arbeitsbereiches mit einbezogen werden.

Als Arbeitsbereich wird dabei bevorzugt das räumliche Ausmaß einer zum Beobachtungszeitpunkt vorherrschenden flüssigen Phase herangezogen. Die Form eines Doppel-Ellipsoiden, der mathematisch in der Auswertung gut zu erfassen ist, hat sich vorteilhaft für die Festlegung des Arbeitsbereiches und dessen virtuelle Übertragung in den digitalen Zwilling erwiesen. Dabei ist es auch zweckmäßig, wenn der Arbeitsbereich kontinuierlich mit der Form und Größe der flüssigen Phase, also eines lokalen Schmelzbades verändert wird. Form und Größe der flüssigen Phase kann beispielsweise mittels einer Schweißkamera erfasst werden oder aus der Bauteiltemperatur und dem aktuellen Energieeintrag abgeleitet werden. Eine Spezialform des Doppel-ellipsoiden ist der Ellipsoid, der bezüglich seiner halben Längsachse symmetrisch ist. Die Kugel ist eine Spezialform des Ellipsoiden.

Es ist ferner zweckmäßig, dass die Anpassung der Prozessparameter zur Behebung der Anomalie an der Stelle oder in der Umgebung der Anomalie umgesetzt wird, um beispielsweise eine Oxidation mittels lokal erhöhten Wärmeeintrags aufzubrennen und/ oder die Bewegungsgeschwindigkeit des Druckkopfes zu verlangsamen um eine Poröse Struktur aufzuschmelzen und somit zu beseitigen.

Die Entscheidung, ob zu welchem Zeitpunkt und an welchem Ort Prozessparameter angepasst werden, basiert dabei auf einer Prädiktion, wohin sich der Druckkopf innerhalb einer definierten Zeitspanne gemäß des Maschinencodes bewegt haben wird. Die Umgebung der so berechneten Position wird anschließend nach Anomalien durchsucht (z.B. Abfrage des Octrees mittels Doppel-ellipsoiden). Wenn Anomalien im Umkreis dieser Position vorliegen, werden Gegenmaßnahmen (z.B. Erhöhung des Wärmeeintrags, der Bewegungsgeschwindigkeit) eingeleitet.

Als additive Fertigungsverfahren, in dem sich das beschriebene Verfahren vorteilhaft ausgestalten lässt, sind insbesondere das Lichtbogendraht-Auftragsschweißen (Wire Arc Additive

Manufacturing (WAAD)) und das Laser Metall Abscheideverfahren (Laser Metal Deposition (LMD)) geeignet.

Weitere Ausgestaltungsformen der Erfindung und weitere Merkmale werden anhand der folgenden Figuren näher erläutert.

Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Anlage zum Lichtbogendraht-Auftragsschweißen,

Figur 2 eine Veranschaulichung einer Punktkolke eines digitalen Zwillings eines entstehenden Bauteils,

Figur 3 ein Arbeitsbereich in Form eines Doppel-Ellipsoids zur Bestimmung von Anomalien.

In Figur 1 ist eine schematische Darstellung eines additiven Fertigungsverfahrens zur Herstellung eines Bauteils 2 gegeben. Dieses additive Fertigungsverfahren ist exemplarisch als Lichtbogendraht-Auftragsschweißen (im Englischen Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) ausgestaltet. Analog könnte das im Weiteren Beschriebene auch auf ein anderes additives Fertigungsverfahren, wie beispielsweise Laser Metal Deposition angewandt werden. Hierbei wird über einen Roboterarm 24 ein Druckkopf 14 mit einer Elektrode 26 auf eine bestimmte Position eines Bauteils 2 gerichtet. Ferner ist ein Schweißdraht 28 vorgesehen, der durch die Elektrode 26 an einer entsprechenden Position 12 des Druckkopfes 14 aufgeschmolzen wird. Ferner ist eine Steuerung 4 vorgesehen sowie eine Energieversorgung 34, über die sowohl die Elektrode 26 als auch ein Vorschub des Schweißdrahtes und des Roboterarms mit Energie versorgt werden. Der gesamte Prozess wird über die Steuerung 4 gesteuert, auf die im Weiteren noch eingegangen wird. Insbesondere wird der Prozess durch eine Vielzahl von Sensoren überwacht. Rein exemplarisch ist ein Sensor 6 in der grafischen Figur 1 in Form einer Schweißkamera 30 dargestellt.

Durch die Schweißkamera 30 können beispielsweise Werte wie die Geometrie einer flüssigen Phase 20, auf die noch in Figur 3 eingegangen wird, ermittelt werden. Weitere Sensordaten sind zum Beispiel die Spannung und der Stromfluss im Prozess, die Temperatur der flüssigen Phase 20, der Vorschub des Druckkopfes 14 sowie die Vorschubgeschwindigkeit des Schweißdrahtes.

Zu jeder Position 12 des Druckkopfes 14, die eindeutig zuordenbar mit einer Position im Bauteil 2 korreliert, werden sowohl die Positionsdaten in Form eines Punktes in einem Koordinatensystem als auch ein Zeitstempel aufgenommen und an die Steuerung 4 weitergegeben. In der Steuerung 4 oder an einem mit ihr in Verbindung stehenden Rechner wird während des Druckes des Bauteils 2 simultan ein digitaler Zwilling 10 erstellt, der schematisch in Figur 2 veranschaulicht ist. Dabei umfasst der digitale Zwilling 10 eine Punktwolke 16 in der der Druckkopf 14 bzw. seine Position 12 ebenfalls schematisch durch eine Dreiecksspitze dargestellt ist. Hierbei wird für jeden Punkt 17 aus den ermittelten und an die Steuerung übertragenen Sensordaten der Punktwolke 10 ein Anomaliewert berechnet.

Zur Bewertung des Anomaliewertes, auf die noch eingegangen wird, wird zunächst ein Arbeitsbereich 18 am Bauteil 2 definiert, der im digitalen Zwilling durch ein Ellipsoid dargestellt ist, was im Wesentlichen im realen Bauteil 2 eine flüssige Phase 20 umfasst, in der das Material des Schweißdrahtes an einer Oberfläche des Bauteils 2 gerade aufgeschmolzen ist. Bei der Betrachtung flüssigen Phasen hat sich insbesondere ein Doppel-Ellipsoid als zweckmäßig herausgestellt. Der Arbeitsbereich wird insbesondere relevant, wenn eine Korrelation von detektierten Anomalien stattfinden soll, die Anomaliedichte bestimmt werden soll oder Kompensationsstrategien umgesetzt werden sollen

In dieser flüssigen Phase 20 können sich beim Aufbringen des Schweißdrahtes 28 Anomalien 8 ergeben, die Vorstufen von De-

fekten sein können. Defekte können beispielsweise Oxidation sein, die entstehen, wenn Verunreinigungen auf dem Schweißdrahtes 28 vorhanden sind, bzw. im Prozess eingebracht werden. Auch Lufteinschlüsse in Form von Poren können Anomalien
5 sein und zu Defekten werden. Bei der Bewertung von Anomalien wird dabei nicht nur der jeweilige betrachtete Punkt 17 ausgewertet, sondern es wird dabei auch auf benachbarte Punkte 17' zurückgegriffen, die in dem Arbeitsbereich 18, übertragen auf den digitalen Zwillings 10 in dem Ellipsoid 22 vorliegen.
10 Dies ist in den Schnitt Darstellungen der Figur 3, 3a, 3b, und 3c dargestellt. Für jeden Punkt 17 oder 17' wird ein Anomaliewert berechnet, und es wird dieser dann berücksichtigt, wenn der Druckkopf 14 ein weiteres Mal in die Nähe der so bestimmten Anomalie 8 kommt. Der Druckkopf 14 kann dabei die
15 Anomalie 8 von mehreren Seiten räumlich tangieren, sodass durch Änderung der Prozessparameter in der Nähe der Anomalie 8 diese ausgeglichen werden kann, sodass ein möglicherweise aus der Anomalie entstehender Defekt schon vor dessen Entstehen eliminiert werden kann. Der Vorteil gegenüber herkömmlichen
20 additiven Herstellungsverfahren besteht durch dieses Vorgehen darin, dass bereits der Entstehung von Defekten durch das beschriebene Vorgehen entgegengewirkt wird und somit der Ausschuss vor Bauteilen 2 deutlich reduziert wird.

25 Das bezüglich der Figuren 1-3 beschriebene Verfahren wird im Weiteren mit anderen Aspekten detaillierter erläutert. Zur Integration des zeitlichen Kontexts werden (Neurale Netze-) Modelle verwendet, die auf Basis von vergangenen Werten (z.B. der letzten 0,5 Sekunden) den aktuellen (Daten)Punkt 17 hinsichtlich eines Anomaliewerts bewerten. Die Zeitspanne, die
30 als zeitlicher Kontext verwendet wird, ändert sich dabei dynamisch abhängig davon, wie hoch die aktuelle Schweißgeschwindigkeit (also die Vorschubgeschwindigkeit des Druckkopfs 14) ist und wie lang das Schweißbad ist. Die Länge des
35 Schweißbades ist beispielsweise über die Schweißkamera 30 in Verbindung mit einer Computer Vision Algorithmen Auswertung wie z.B. Canny Edge Detection erfassbar. Dadurch ist stets sichergestellt, dass alle Prozesswerte, die für das aktuelle

flüssigen Schweißbad relevant sind, in die Berechnung des Anomaliewerts einfließen.

Zur Analyse der Daten können entweder Regressionsmodelle
5 (Prädiktion) verwendet werden, wie z.B. Seasonal ARIMA Modelle oder Neuronale Netze auf Basis von Conv1D oder RNN/LSTM Elementen, oder Modelle zur Rekonstruktion der Daten mithilfe von Autoencodern. Zur Vorhersage der Daten können neben den RNN/LSTMs mit einem zeitlichen Speicher auch batchweise ver-
10 arbeitende CNN-Strukturen genutzt werden.

Zeitliche Strukturen in den Daten, wie beispielsweise Frequenzänderungen oder unregelmäßige Muster, werden so in die Prozessbewertung einbezogen. Für ein Training müssen Prozess-
15 daten mit konstanten Prozessparametern verwendet werden, um eine hohe Genauigkeit zu erreichen.

Bevorzugt wird jedem vom Druckkopf 14 angefahrenen Ort (Position 12 des Druckkopfs 14) ein Zeitstempel gegeben werden,
20 der Informationen darüber gibt, wann dieser angefahren wurde.

Der räumliche Kontext beinhaltet Informationen über lagenübergreifend relevanten Informationen z.B. aus der vorherigen Schicht oder von angrenzenden Schweißtracks. Dazu wird wie
25 beschrieben während des Fertigungsprozesses simultan ein digitales Abbild also der digitale Zwilling 10 des Bauteils 2 erstellt, indem alle relevanten Informationen gespeichert sind. Dieser digitale digitaler Zwilling 10 umfasst eine Punktwolke, bei der für jeden Punkt eine Bewertung des Prozesszustands (z.B. normal/abnormal, Anomaliewert, Art der
30 Anomalie, ...) sowie ein Zeitstempel hinterlegt sind. Die Punktwolke kann dabei räumlich strukturiert abgespeichert werden, damit eine effizientere Abfrage nach räumlichen Strukturen wie z.B. einem Doppelellipsoid oder einer Kugel möglich
35 wird. Eine solche Datenstruktur ist beispielsweise der Octree, der r-tree oder der kd-tree, die über ihre baumartige Struktur eine schnelle Suche nach Punkten im Raum ermöglichen.

Zur Integration des räumlichen Kontexts in die Berechnung des Anomaliewerts eines aktuellen Arbeitspunkts 19 (der räumlich äquidistant mit dem Druckkopf in Verbindung steht) wird der Raum um den aktuellen Arbeitspunkt 19 in die Datenanalyse mit einbezogen. Dazu wird zunächst ein dreidimensionaler Arbeitsbereich 18 um den Arbeitspunkt 19 definiert, über den die räumliche Relevanz der Datenpunkte 17, 17' festgestellt wird. Dieser Arbeitsbereich 18 umfasst dabei den Bereich, der vom Schweißbad, also der während des additiven Fertigens flüssigen Phase 20 eingenommen wird. Als Vereinfachung kann hierbei eine Kugel oder weiter verallgemeinert ein Ellipsoid bzw. noch weiter verallgemeinert ein Doppel-Ellipsoid gemäß Fig. 3 verwendet werden.

Dabei können sich die Achslängen der Ellipsoiden adaptiv an die Geometrie des Schweißbads anpassen. Ein Abgleich kann hierbei dynamisch entweder auf Basis von Sensordaten wie beispielsweise von der Schweißkamera 30 (Geometrie des Schweißbads extrahieren), mithilfe von Prozessparametern wie beispielsweise der Prozessgeschwindigkeit (eine höhere Schweißgeschwindigkeit führt zu einem dünneren, längeren Ellipsoid) oder auf Basis einer zuvor durchgeführten thermischen Simulation (Temperaturverlauf Größe und Form des Schweißbads) stattfinden. Weiterhin können die Zeitstempel der enthaltenen Punkte 17 oder Simulationsergebnisse einbezogen werden, um einen Rückschluss auf das vorliegende Abkühlungsverhalten und somit die Größe des Schweißbads zu ziehen.

Basierend auf dem definierten Arbeitsbereich 18 werden Punkte 17 selektiert, die in der Prozessvergangenheit angelegt und mit Meta-Informationen wie beispielsweise einem Anomaliewahrscheinlichkeitswert, einem Wert für die Defektkritikalität oder einem Defekttyp angereichert sind. Dafür werden Datenstrukturen wie z.B. ein Octree verwendet, die Spatial Indexing und somit eine optimierte räumliche Suche nach den betroffenen Punkten erlauben. Jeder Punkt enthält dabei Informationen über lokale Prozessanomalien bzw. -defekte, sodass

sich eine räumlich selektierte Punktwolke mit relevanten Informationen in der näheren Umgebung des aktuellen Arbeitspunkts 19 ergibt. Die erhaltenen Informationen werden nun verwendet, um einerseits die Anomalieerkennung zu verbessern und zum anderen Anpassungen am Prozess vorzunehmen.

Das Ergebnis der Anomaliebewertung durch die Modelle (inkl. zeitlichem Kontext) ist ein Anomaliewert, der eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit für die Anomalie und damit des Defekts trifft. An dieser Stelle wird nun der räumliche Kontext auf zwei verschiedene Arten einbezogen: Wenn eine Anomalie erkannt wurde, kann diese über die räumlichen Kontextinformationen mit anderen Anomalien semantisch verbunden werden. Dadurch wird die räumliche Ausbreitung der Anomalie und damit des potenziellen Defekts sichtbar. Dabei bildet der zuvor genannte Doppel-Ellipsoid den relevanten Raum ab, in dem Defekte miteinander korreliert werden. Wenn z.B. in der ersten Lage eine Oxidation entsteht, wird in der Folge Lage ein Problem mit der Anbindung erzeugt. Diese beiden Defekte hängen miteinander zusammen, sodass nun die räumliche Ausbreitung des abnormalen Bereichs im Bauteil besser abgeschätzt werden kann.

Wenn sich beispielsweise in einem hochbelasteten Bereich eines Bauteils mehrere potenzielle Anomalien mit jeweils niedrigen Anomaliewert finden, die jede für sich nicht zu Ausschuss führen würde, die aber gemeinsam zu einem Versagen des Bauteils führen, kann darüber hinaus die Anomaliedichte bestimmt werden, um so abzuschätzen, ob eine kritische Anhäufung von Anomalien in einem Bauteilbereich erreicht ist. Dabei nimmt der Kontextraum für die Anomaliedichte nicht zwangsläufig nur den Raum des Schweißbads (flüssige Phase) ein, sondern kann abhängig vom Bauteil auch größer sein (z.B. im Bereich von dünnen Stegen, die auf Grund von Anomalien sonst zu ungewollten Sollbruchstellen werden könnten). Damit kann in-situ eine Anomaliedichte im Bauteil 2 bestimmt werden. Überschreitet diese einen Grenzwert, kann der Prozess

frühzeitig gestoppt werden und so Kosten wegen Ausschuss reduziert werden.

Mithilfe des zeitlichen und räumlichen Kontexts kann darüber
5 hinaus eine Klassifizierung der Defekte vorgenommen werden.
Dazu wird ein Neurales Netzwerk zur Klassifizierung verwendet,
das als Eingangsgrößen vorverarbeitete Prozesswerte (bei
prädiktiven Modellen Distanz zwischen vorhergesagtem und rea-
lem Wert oder bei Modellen zur Rekonstruktion der Rekonstruk-
10 tionsfehler) annimmt. In einer letzten Schicht wird eine sig-
moid-Function verwendet, um jedem Defekt einen Wahrschein-
lichkeitswert zuzuweisen. Wenn beispielsweise bekannt ist,
dass die vorherige Lage bereits deutlich abgekühlt ist, da
der Unterschied der Zeitstempel hoch ist, kann mit höherer
15 Wahrscheinlichkeit auf ein Adhäsionsdefekt geschlossen wer-
den. Weiterhin liegt beispielsweise bei einer Oxidation in
einer benachbarten Lage eine höhere Wahrscheinlichkeit für
einen Defekt wegen Schmutzeinschlüssen vor.

Bezugszeichenliste

	2	Bauteil
	4	Steuerung
5	6	Sensoren
	8	Anomalie
	10	digitaler Zwilling
	12	Position Druckkopf
	14	Druckkopf
10	16	Punktewolke
	17, 17'	Punkte
	18	Arbeitsbereich
	19	Arbeitspunkt
	20	flüssige Phase
15	22	Ellipsoid
	24	Roboterarm
	26	Elektrode
	28	Schweißdraht
	30	Schweißkamera
20	32	Werk Tisch
	34	Energieversorgung
	36	Vorfahrweg Werk Tisch

Patentansprüche

1. Verfahren zu additiven Fertigung eines Bauteils (2) umfassend folgende Schritte:

- 5 - Erstellen eines Maschinencodes und Übertragen des Maschinencodes an eine Steuerung (4)
- Starten des Fertigungsprozesses
- Überwachung des Prozesses mit Sensoren (6),
- Auswertung von Sensordaten zur Ermitteln einer Anomalie (8)
10 im herzustellenden Bauteil sowie
- paralleler Aufbau eines digitalen Zwillings (10) des entstehenden Bauteils (2) während des Prozesses aus den Sensordaten umfassend Positionsdaten der Anomalie (8)
- Prädiktion über die Position (12) eines Druckkopfs (14) zu
15 einer bestimmten Zeit mittels des Maschinencodes
- Analyse eines Arbeitsbereiches rund um diese Position in Hinblick auf vorhandene Anomalien mittels des digitalen Zwillings
- Anpassung der Prozessparameter bei Erreichen des Arbeitsbereiches zur Behebung der Anomalie.
20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Auswertung der Sensordaten ein Modell verwendet wird, durch das in einer dynamischen Zeitspanne Rückmeldedaten an
25 die Steuerung (4) berechnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Zeitspanne zwischen 0,05 s und 3 s beträgt.

30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass jeder vom Druckkopf (14) angefahrenen Position (12) ein Zeitstempel zugeordnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der digitale Zwilling (10) eine Punktwolke (16) umfasst und zu jedem Punkt ein Anomaliewert ermittelt wird zu dem ein Prozesszustand hinterlegt sind.
35

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Anomaliewerts Daten eines Arbeitsbereiches (18) aus benachbarten Punkten (17, 17') mit einbezogen werden.

5

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsbereich (18) das räumliche Ausmaß einer zum Beobachtungszeitpunkt vorherrschenden flüssigen Phase (20) aufweist.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Punktwolke in einer räumlich strukturierten Datenstruktur in Form eines Octrees dargestellt wird.

15

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsbereich (18) durch ein Doppel-Ellipsoid (22) dargestellt wird.

20

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Achsen des Ellipsoids an die Dimension des Schmelzbades angepasst werden.

25

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung der Prozessparameter zur Behebung der Anomalie (8) einen höheren Wärmeeintrags umfasst.

30

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung der Prozessparameter zur Behebung der Anomalie (8) eine niedrigere Druckkopfgeschwindigkeit umfasst.

35

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das additive Fertigungsverfahren ein Lichtbogendrahtauftragsschweißen ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das additive Fertigungsverfahren ein Laser Metall Abscheideverfahren (LMD) ist.

FIG 1

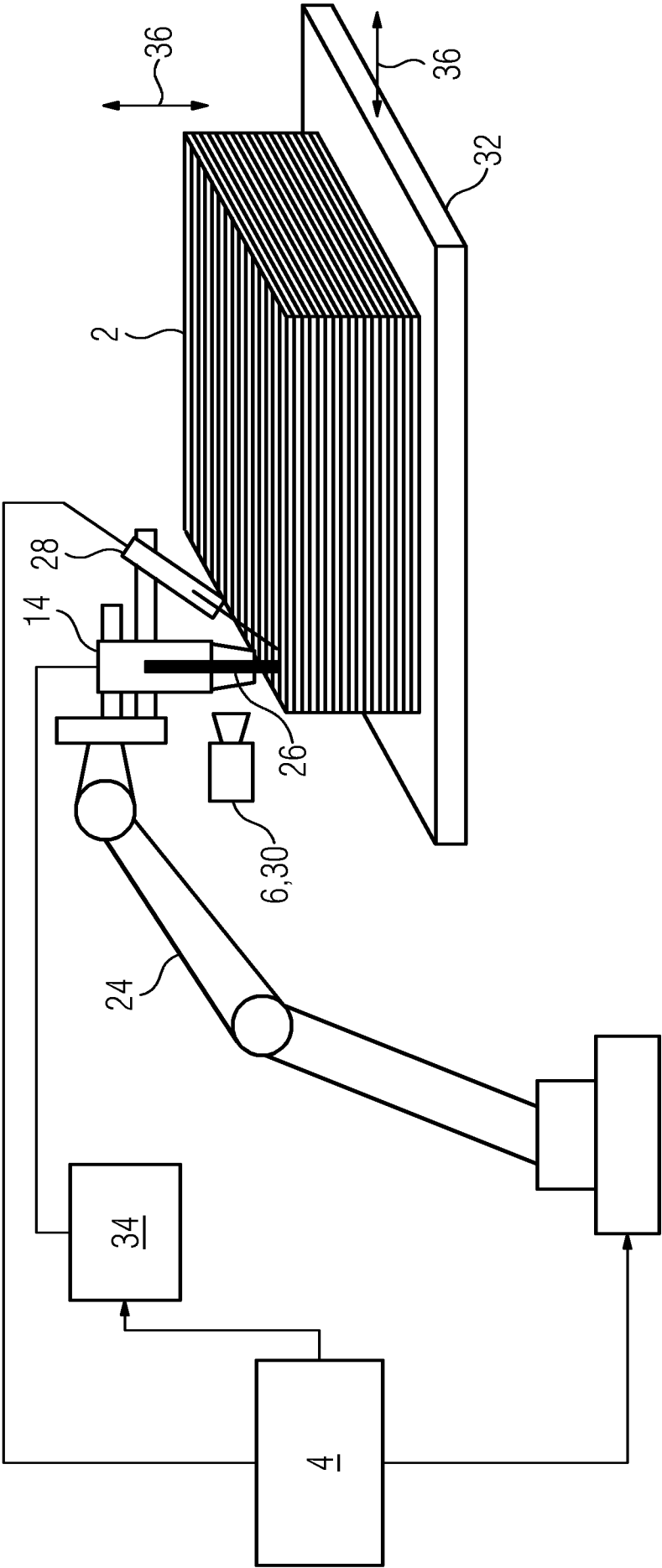


FIG 2

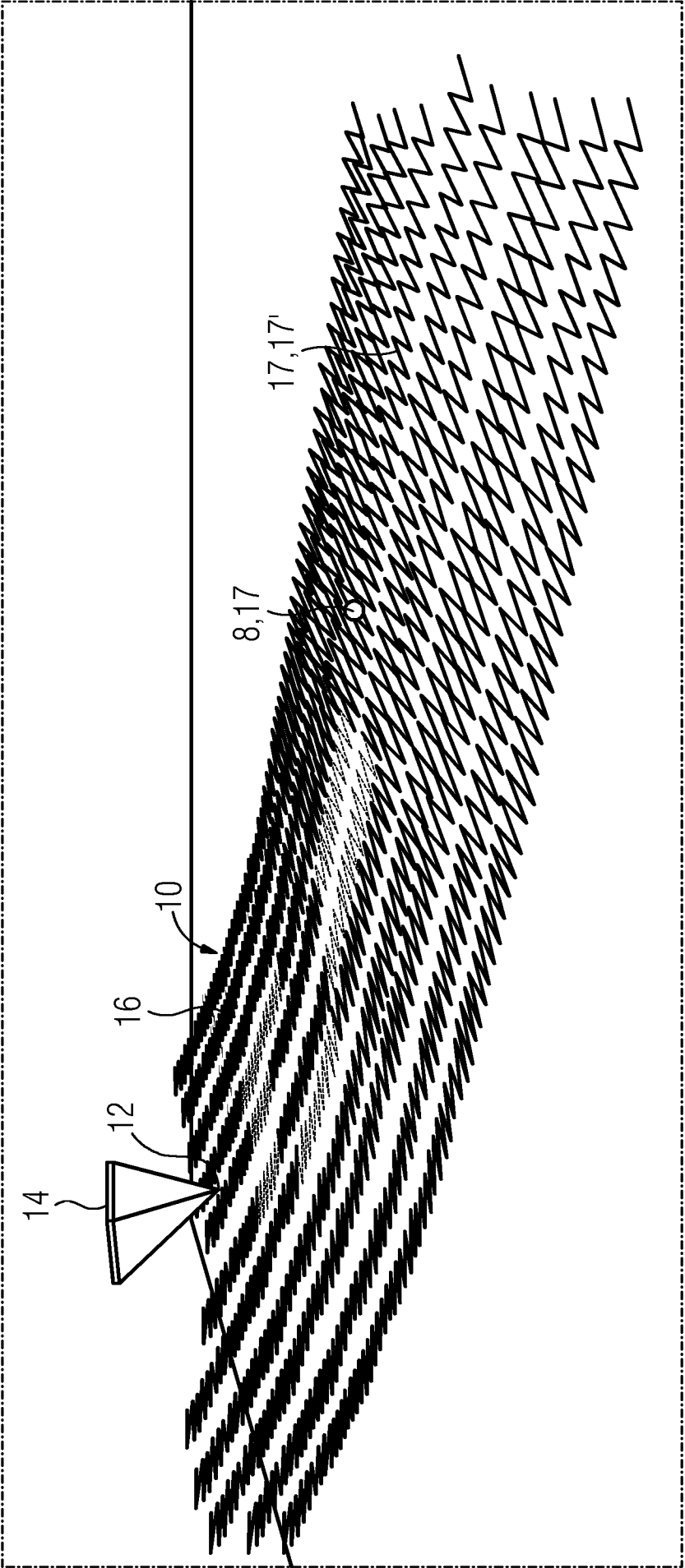
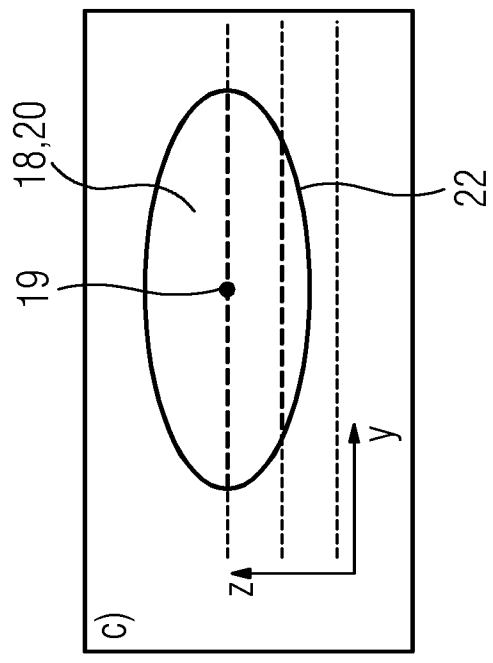
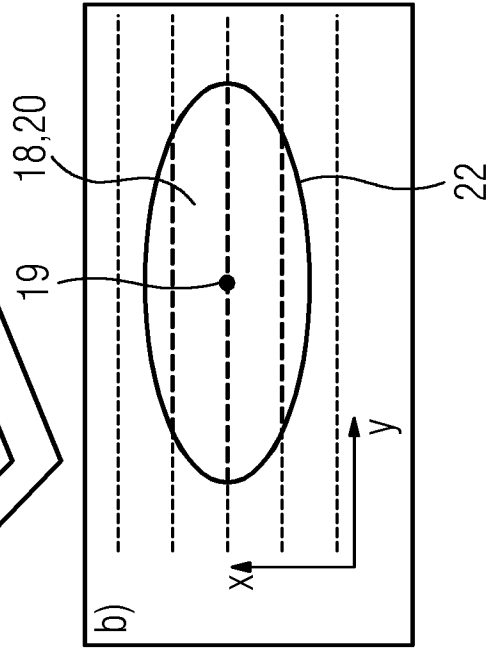
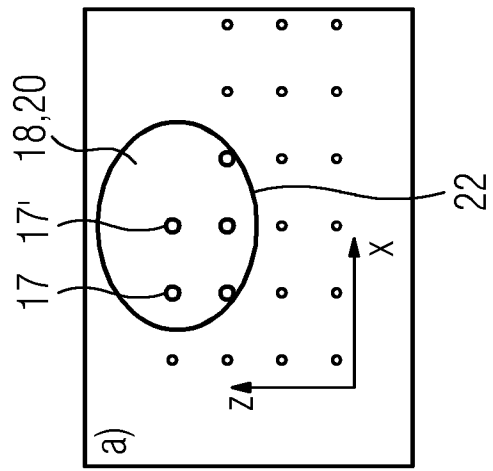
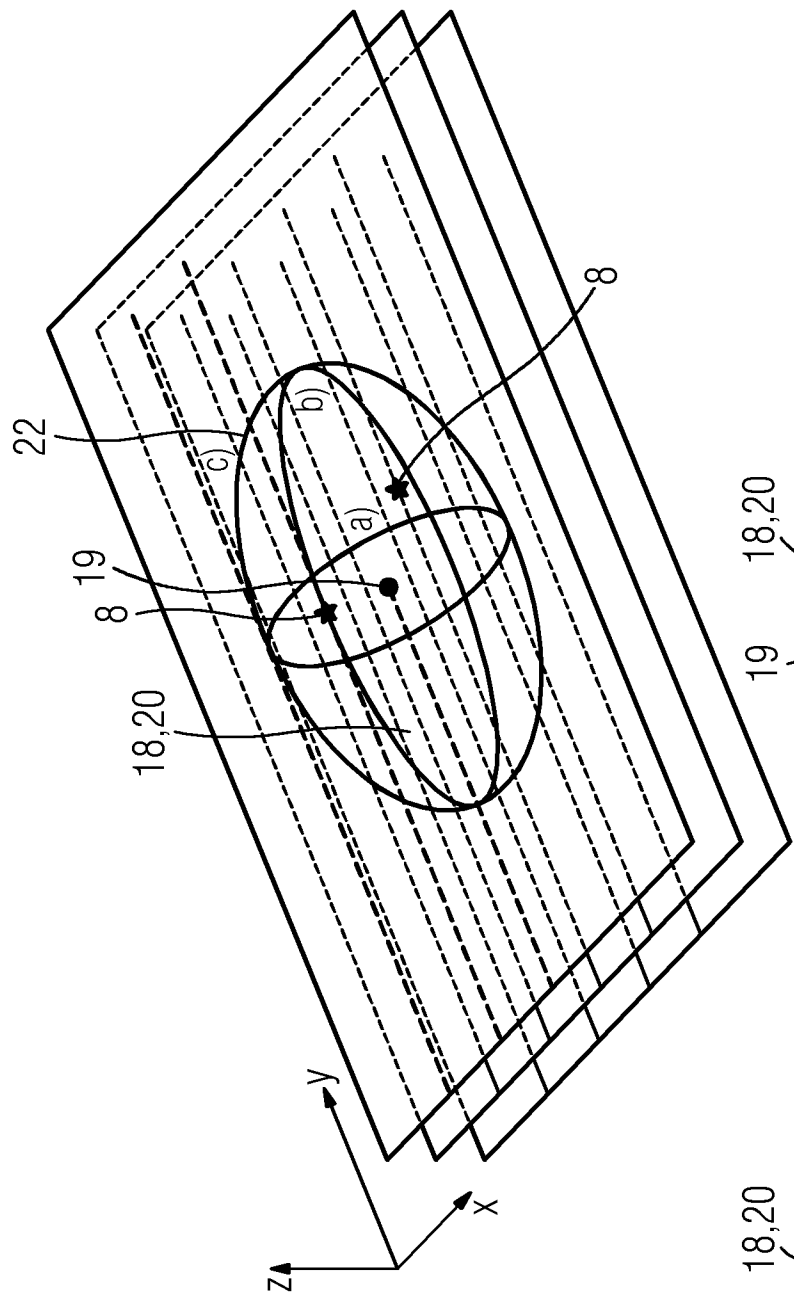


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/062247**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

B22F 10/20(2021.01)i; **B22F 10/30**(2021.01)i; **B22F 10/85**(2021.01)i; **B33Y 10/00**(2015.01)i; **B33Y 30/00**(2015.01)i; **B33Y 50/02**(2015.01)i; **B29C 64/118**(2017.01)i; **B29C 64/393**(2017.01)i; **G05B 19/18**(2006.01)i; **G05B 19/4099**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B22F; B33Y; B29C; G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 102017208497 A1 (HOMAG BOHRSYSTEME GMBH [DE]) 22 November 2018 (2018-11-22) paragraph [0044] claims 1-20	1-14
Y	US 2018229302 A1 (FURRER DAVID ULRICH [US] ET AL) 16 August 2018 (2018-08-16) paragraphs [0002], [0030], [0034], [0053], [0055] claims 1-17	1-14
A	CN 111882653 A (GUANGZHOU WANWEI INNOVATION TECH CO LTD) 03 November 2020 (2020-11-03) paragraphs [0015], [0016] Claim 2	5,8
A	US 2019384274 A1 (BHARADWAJ RAJ MOHAN [US] ET AL) 19 December 2019 (2019-12-19) claims 1-20	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 July 2022

Date of mailing of the international search report

12 July 2022

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Reich, Claus

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/062247

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2020393822 A1 (DAVIS STEPHEN JONATHAN [GB] ET AL) 17 December 2020 (2020-12-17) paragraph [0003] claims 1-20	1-14
A	US 10404569 B2 (GEN ELECTRIC [US]) 03 September 2019 (2019-09-03) claims 1-20	1-14
A	BARTHELMEY ANDRE ET AL. "Dynamic digital twin for predictive maintenance in flexible production systems" <i>IECON 2019 - 45TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, IEEE</i> , Vol. 1, 14 October 2019 (2019-10-14), pages 4209-4214 DOI: 10.1109/IECON.2019.8927397 XP033670196 paragraphs [000B], [000C]	1-14
A	CN 110682400 A (UNIV TSINGHUA) 14 January 2020 (2020-01-14) paragraphs [0050], [0051] figure 1	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/062247

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102017208497	A1	22 November 2018	DE	102017208497	A1	22 November 2018
				WO	2018211010	A1	22 November 2018
US	2018229302	A1	16 August 2018	EP	3354381	A1	01 August 2018
				US	2018229302	A1	16 August 2018
CN	111882653	A	03 November 2020	NONE			
US	2019384274	A1	19 December 2019	EP	3581380	A2	18 December 2019
				US	2019384274	A1	19 December 2019
				US	2021191381	A1	24 June 2021
US	2020393822	A1	17 December 2020	CN	112084569	A	15 December 2020
				EP	3751370	A1	16 December 2020
				US	2020393822	A1	17 December 2020
US	10404569	B2	03 September 2019	US	2018054376	A1	22 February 2018
				WO	2018038902	A1	01 March 2018
CN	110682400	A	14 January 2020	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B22F10/20	B22F10/30
	B33Y50/02	B29C64/118
ADD.	G05B19/4099	
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B22F B33Y B29C G05B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2017 208497 A1 (HOMAG BOHRSYSTEME GMBH [DE]) 22. November 2018 (2018-11-22) Absatz [0044] Ansprüche 1-20	1-14

Y	US 2018/229302 A1 (FURRER DAVID ULRICH [US] ET AL) 16. August 2018 (2018-08-16) Absätze [0002], [0030], [0034], [0053], [0055] Ansprüche 1-17	1-14

A	CN 111 882 653 A (GUANGZHOU WANWEI INNOVATION TECH CO LTD) 3. November 2020 (2020-11-03) Absätze [0015], [0016] Anspruch 2	5, 8

	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
4. Juli 2022		12/07/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Reich, Claus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2019/384274 A1 (BHARADWAJ RAJ MOHAN [US] ET AL) 19. Dezember 2019 (2019-12-19) Ansprüche 1-20 -----	1-14
A	US 2020/393822 A1 (DAVIS STEPHEN JONATHAN [GB] ET AL) 17. Dezember 2020 (2020-12-17) Absatz [0003] Ansprüche 1-20 -----	1-14
A	US 10 404 569 B2 (GEN ELECTRIC [US]) 3. September 2019 (2019-09-03) Ansprüche 1-20 -----	1-14
A	BARTHELMEY ANDRE ET AL: "Dynamic digital twin for predictive maintenance in flexible production systems", IECON 2019 - 45TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, IEEE, Bd. 1, 14. Oktober 2019 (2019-10-14), Seiten 4209-4214, XP033670196, DOI: 10.1109/IECON.2019.8927397 Absätze [000B], [000C] -----	1-14
A	CN 110 682 400 A (UNIV TSINGHUA) 14. Januar 2020 (2020-01-14) Absätze [0050], [0051] Abbildung 1 -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/062247

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102017208497 A1	22-11-2018	DE 102017208497 A1	22-11-2018
		WO 2018211010 A1	22-11-2018
US 2018229302 A1	16-08-2018	EP 3354381 A1	01-08-2018
		US 2018229302 A1	16-08-2018
CN 111882653 A	03-11-2020	KEINE	
US 2019384274 A1	19-12-2019	EP 3581380 A2	18-12-2019
		US 2019384274 A1	19-12-2019
		US 2021191381 A1	24-06-2021
US 2020393822 A1	17-12-2020	CN 112084569 A	15-12-2020
		EP 3751370 A1	16-12-2020
		US 2020393822 A1	17-12-2020
US 10404569 B2	03-09-2019	US 2018054376 A1	22-02-2018
		WO 2018038902 A1	01-03-2018
CN 110682400 A	14-01-2020	KEINE	