

(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
26. Juli 2012 (26.07.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/097799 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/000036
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. Januar 2012 (16.01.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 008 774.5
18. Januar 2011 (18.01.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BAMBERG, Joachim** [DE/DE]; Krankenhausstrasse 14, 85221 Dachau (DE). **SATZGER, Wilhelm** [DE/DE]; Hagedornstrasse 13, 80804 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, BR, BW, BY,

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: PROCESS AND APPARATUS FOR TESTING THE GENERATIVE PRODUCTION OF A COMPONENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR PRÜFUNG DER GENERATIVEN HERSTELLUNG EINES BAUTEILS

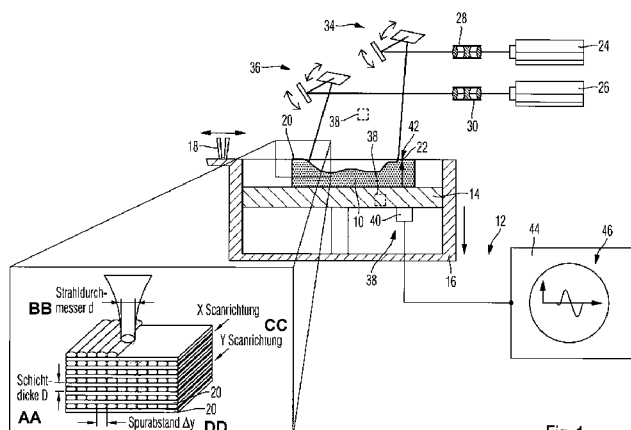


Fig. 1

BB Beam diameter
CC Scanning direction
AA Layer thickness
DD Track spacing

(57) Abstract: The invention relates to a process for testing the generative production of a component, the process comprising the following steps: at least one ultrasonic transducer device having a transmitter device for emitting ultrasonic signals is provided; at least one receiver device for receiving ultrasonic signals and determining at least one parameter of the ultrasonic signals is provided; an evaluation device for evaluating the at least one parameter is provided; at least one powder layer consisting of a powder which can be solidified by energy radiation is applied to a building platform and a selected region of the powder layer is solidified by energy radiation to form a component region; at least one partial region of the solidified component region is acted upon by ultrasonic signals by means of the transmitter device; the reflected ultrasonic signals are received; at least one parameter of the reflected ultrasonic signals is determined; and the at least one parameter is evaluated by the evaluation device.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Prüfen der generativen Herstellung eines Bauteils, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Bereitstellen wenigstens einer Ultraschallwandlereinrichtung mit einer Sendereinrichtung zum Aussenden von Ultraschallsignalen; Bereitstellen wenigstens einer Empfängereinrichtung zum Empfangen von Ultraschallsignalen und Bestimmen wenigstens eines Parameters der Ultraschallsignale; Bereitstellen einer Auswerteinrichtung zum Auswerten des wenigstens einen Parameters; Auftragen wenigstens einer Pulverschicht aus einem durch Energiestrahlung verfestigbaren Pulvers auf eine Bauplatzform und Verfestigen eines ausgewählten Bereichs der Pulverschicht durch Energie Strahlung zum Ausbilden eines Bauteilbereichs; Beaufschlagen zumindest eines Teilbereichs des verfestigten Bauteilbereichs mit Ultraschallsignalen mittels der Sendereinrichtung; Empfangen der reflektierten Ultraschallsignale; Bestimmen wenigstens eines Parameters der reflektierten Ultraschallsignale; und Auswerten des wenigstens einen Parameters durch die Auswerteinrichtung.

Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung der generativen Herstellung eines Bauteils

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle bzw. Prüfung der generativen Herstellung eines Bauteils.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle bzw. Prüfung der generativen Herstellung eines Bauteils, wobei ein Pulver schichtweise aufgetragen und selektiv verfestigt wird mittels eines geeigneten Energiestrahls. Das Bauteil ist hier z.B. ein Schaufelelement, insbesondere ein Schaufelelement einer Turbine, z.B. einer Gasturbine eines Flugzeugtriebwerks.

Der generative Aufbau von Bauteilen erfolgt üblicherweise durch das schichtweise Sintern von Metallpulvern durch einen beliebig in einer Ebene geführten Punktlaser. Bei einer generativen Herstellung, beispielsweise beim sog. Additive Manufacturing oder beim sog. Rapid Prototyping, können durch Prozessschwankungen Fertigungsfehler entstehen, wie beispielsweise Pulververklumpungen usw.. Solche Fertigungsfehler können die Stabilität des ganzen, generativ erzeugten Bauteils beeinträchtigen oder das Bauteil sogar nicht mehr verwendungsfähig machen. Dies resultiert in einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand.

Nach Abschluss des Fertigungsprozesses werden Bauteile im Wesentlichen mittels Röntgentechnik und Eindringprüfung untersucht. Mikrostrukturen und Gefüge sind nur durch eine zerstörende metallographische Untersuchung möglich.

Aus der DE 36 00 039 A1 ist ein Probenkörper bekannt, der zur Auswertung der Ergebnisse einer zerstörungsfreien Materialprüfung, insbesondere zur Auswertung von vorbestimmten Fehler-elementen, verwendet wird. In dem Probenkörper werden dazu künstliche Fehler-elemente vorgesehen und der Probenkörper anschließend mittels Ultraschallverfahren überprüft. Die Ergebnisse der Überprüfung des Probenkörpers werden dann verwendet, um die Ergebnisse einer zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils auszuwerten.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle oder Prüfung des generativen Herstellens eines Bauteils bereitzustellen.

Gemäß der Erfindung wird ein Verfahren zum Prüfen der generativen Herstellung eines Bauteils bereitgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Bereitstellen wenigstens einer Ultraschallwandlereinrichtung mit einer Sendereinrichtung zum Aussenden von Ultraschallsignalen; Bereitstellen wenigstens einer Empfängereinrichtung zum Empfangen von Ultraschallsignalen und Bestimmen wenigstens eines Parameters der Ultraschallsignale; Bereitstellen einer Auswerteeinrichtung zum Auswerten des wenigstens einen Parameters; Auftragen wenigstens einer Pulverschicht aus einem durch Energiestrahlung verfestigbaren Pulvers auf eine Bauplattform und Verfestigen eines ausgewählten Bereichs der Pulverschicht durch Energiestrahlung zum Ausbilden eines Bauteilbereichs; Beaufschlagen zumindest eines Teilbereichs des verfestigten Bauteilbereichs mit Ultraschallsignalen mittels der Sendereinrichtung; Empfangen der reflektierten Ultraschallsignale; Bestimmen wenigstens eines Parameters der reflektierten Ultraschallsignale und Auswerten des wenigstens einen Parameters durch die Auswerteeinrichtung.

Das Verfahren hat den Vorteil, dass durch die Ultraschallbeaufschlagung, das Bauteil während seiner generativen Herstellung geprüft werden kann. Dazu können die von dem Bauteil reflektierten Ultraschallwellen ausgewertet werden und entsprechend bei Abweichungen beispielsweise geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden oder eine Nachbearbeitung der jeweiligen Bauteilschicht durchgeführt werden, z.B. durch erneutes Bestrahlen mit einer Energiestrahlung, wie z.B. einem Laserstrahl und/oder Elektronenstrahl. Ebenso kann die Bauteilfertigung sogar ganz abgebrochen werden. Dadurch können Bauteile mit einer höheren Qualität hergestellt werden oder Ausschuss früher aus dem Fertigungsprozess entfernt werden.

Des Weiteren wird eine Vorrichtung zum Prüfen der generativen Herstellung eines Bauteils bereitgestellt, aufweisend: Eine Bauplattform zum Auftragen wenigstens einer durch Energiestrahlung verfestigbaren Pulverschicht; Wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung mit einer Sendereinrichtung zum Aussenden von Ultraschallsignalen auf wenigstens einen Teilbereich eines durch Energiestrahlung verfestigten vorbestimmten Bereiches der wenigstens einen Pulverschicht; Wenigstens eine Empfängereinrichtung zum Empfangen von durch den Teilbereich reflektierten Ultraschallsignalen und Bestimmen wenigstens eines Parameters der Ultraschallsignale; und eine Auswerteeinrichtung zum Auswerten des wenigstens einen Parameters.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform ist als Parameter die Laufzeit der reflektierten Ultraschallsignale, die Schallamplitude der reflektierten Ultraschallsignale oder wenigstens ein Frequenzanteil der reflektierten Ultraschallsignale bestimmbar. Der Parameter ist insbesondere über eine vorbestimmte Zeitspanne bestimmbar. Die genannten Parameter lassen einen direkten oder indirekten Rückschluss auf die Qualität bzw. Struktur oder Gefüge des Bauteils zu, z.B. ob Lunker, Ablagerungen, eine mangelnde oder lückenhafte Verfestigung einer Bauteilschicht vorliegt usw., wobei die Erfindung auf die genannten Parameter nicht beschränkt ist.

Gemäß einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform weist das Verfahren die Schritte auf: Vergleichen des wenigstens einen Parameters mit einem vorgegebenen Soll-Wert durch die Auswerteeinrichtung und Durchführen einer Gegenmaßnahme und/oder einer Nachbearbeitung zur zumindest teilweisen Kompensation der Abweichung des Parameters, wenn der wenigstens eine Parameter außerhalb eines Toleranzbereichs liegt. Dies hat den Vorteil, dass das Bauteil mit einer besseren Qualität hergestellt werden kann, da z.B. eine Nachbearbeitung des Bauteils während der Herstellungsprozesses erfolgen kann.

In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform weist das Verfahren ferner den Schritt auf: Vergleichen des wenigstens einen Parameters mit einem vorgegebenen Soll-Wert durch die Auswerteeinrichtung und beenden der Fortsetzung der Herstellung des Bauteils, wenn der Sollwert außerhalb eines Toleranzbereichs liegt, in welchem keine Gegenmaßnahme und/oder Nachbearbeitung möglich ist. Dies hat den Vorteil, dass ein Bauteil bereits vor seiner Fertigstellung als Ausschuss aussortiert werden kann.

Gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform ist die Ultraschallwandlereinrichtung unterhalb, oberhalb oder seitlich der Bauplattform angeordnet. Eine unterhalb der Bauplattform angeordnete Ultraschallwandlereinrichtung hat den Vorteil, dass keine großen baulichen Veränderungen erforderlich sind bei einer bestehenden Anlage zur generativen Herstellung eines Bauteils.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer generativen Herstellung eines Bauteils, wobei das Bauteil einer Kontrolle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung unterzogen wird; und

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens.

In Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer generativen Herstellung eines Bauteils 10 gezeigt, wobei eine Kontrolle der Herstellung des Bauteils 10 durch ein Kontroll- bzw. Prüfverfahren und eine Kontroll- bzw. Prüfvorrichtung 12 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt.

Die Erfindung ist auf das Anwendungsgebiet der generativen Herstellung von Bauteilen gerichtet. Dazu gehört das sog. Rapid Manufacturing und das sog. Rapid Prototyping. Bei der generativen Fertigung werden Bauteile insbesondere schichtweise durch Materialauftrag aufgebaut. Dabei wird bei den entsprechenden Verfahren, die als Electron Beam Melting (EBM), LaserCusing, Selective Laser Sintering (SLS), Selective Laser Melting (SLM) oder 3D-Printing bekannt sind, der hinzuzufügende oder aufzutragende Werkstoff in Pulverform verarbeitet. Das Pulver wird dabei insbesondere schichtweise auf eine Bauplattform aufgetragen. Anschließend wird die Pulverschicht zum Ausbilden des Bauteils selektiv mittels einer Energiestrahlung, wie z.B. eines Laserstrahls und/oder Elektronenstrahls, einer Energiestrahlungsquelle verfestigt. Die Verfestigung der jeweiligen Pulverschicht erfolgt dabei üblicherweise auf Basis von Geometriedaten des herzustellenden Bauteils.

Dabei kann der Bereich der Pulverschicht z.B. abgescannt und der zu der entsprechenden Bauteilschicht gehörende Abschnitt der Pulverschicht mittels Energiestrahlung verfestigt werden. Durch Einwirken der Energiestrahlung schmilzt oder versintert das Pulver in diesem Bereich. Im Fall des 3D-Printings wird die Pulverschicht verfestigt, indem ein Binder selektiv in die zum Bauteil gehörenden Bereiche eingebracht wird. Anschließend kann die Bauplattform um eine Schichtdicke verfahren, z.B. abgesenkt werden. Daraufhin wird eine neue Pulverschicht darüber aufgetragen und wiederum verfestigt. Auf diese Weise kann Schicht für Schicht das Bauteil, wie beispielsweise ein Schaufelelement einer Gasturbine eines Flugzeugtriebwerks oder ein Teil eines Schaufelelements, aufgebaut oder ergänzt werden, z.B. im Falle einer Reparatur.

In Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der generativen Herstellung eines Bauteils 10 gezeigt. Dabei ist eine Bauplattform 14 vorgesehen, auf welcher wenigstens ein Bauteil generativ herstellbar ist. Die Bauplattform 14 ist hierbei in einem feststehenden Rahmen 16 auf und ab beweglich bzw. in Z-Richtung absenkbar vorgesehen. Der Rahmen 16 begrenzt die Bauplattform 14, so dass ein Pulver darin aufgenommen werden kann. Auf die Bauplattform 14 wird über eine Beschichtungseinrichtung 18 ein Pulver schichtweise aufgebracht. Als Beschichtungseinrichtung 18 kann dabei beispielsweise eine Abstreifervorrichtung, wie in dem Ausführungsbeispiel in Fig. 1 gezeigt ist, eine oder mehrere Pulverzufühdüsen und/oder ein Rakel usw. vorgesehen werden.

Wie in dem Ausführungsbeispiel in Fig. 1 gezeigt ist, kann die Bauplattform 14 zur Herstellung des Bauteils 10 in Pfeilrichtung bzw. Z-Richtung um eine jeweilige Pulverschicht 20 abgesenkt werden zum Auftragen der jeweils nächsten Pulverschicht 20. Die Pulverschichtdicke einer Pulverschicht 20 ist in dem vergrößerten Ausschnitt in Fig. 1 als Pulverschichtdicke D_z bezeichnet. Nachdem eine Pulverschicht 20 auf die Bauplattform 14 oder auf die letzte Pulverschicht 20 durch die Beschichtungseinrichtung 18 aufgetragen wurde, erfolgt die Verfestigung eines ausgewählten Bereichs der aufgetragenen Pulverschicht 20 zur Bildung eines Bauteilbereichs 22. Dabei kann die jeweilige Pulverschicht 20 einmal oder, wie in dem vergrößerten Ausschnitt in Fig. 1 gezeigt ist, auch mehrmals bearbeitet werden, beispielsweise einmal in X-Richtung und einmal in Y-Richtung. In dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Laserstrahl der jeweiligen Lasereinrichtung 24, 26 hierbei durch eine geeignete Optikeinrichtung 28, 30 auf die Bearbeitungsebene 32 fokussiert und weist einen Strahldurchmesser d auf, wie in dem vergrößerten Ausschnitt in Fig. 1 illustriert ist. Die Bearbeitungsebene 32 entspricht in der Regel der Oberfläche der zu bearbeitenden Pulverschicht 20 und liegt in dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel in einer X-/ Y- Ebene bzw. einer horizontalen Ebene.

Der Laserstrahl der Lasereinrichtung 24, 26 wird in eine zugeordnete Scannereinrichtung 34, 36 eingekoppelt, wobei in dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel eine erste Lasereinrichtung 24 und eine erste Scannereinrichtung 34 für die X-Richtung und eine zweite Lasereinrichtung 26 und eine zweite Scannereinrichtung 36 für die Y-Richtung vorgesehen sind, zum Scannen und Verfestigen der Pulverschicht 20 in einem vorbestimmten Bereich zur Bildung eines Bauteilbereichs 22. Dabei wird, wie in dem vergrößerten Ausschnitt in Fig. 1 gezeigt ist, beispielsweise die Pulverschicht 20 einmal in X-Richtung abgescannt und in dem ausgewählten Bereich verfestigt durch die erste Lasereinrichtung 24 und die erste Scannereinrichtung 34. Anschließend wird

die Pulverschicht 20 z.B. in Y-Richtung abgescannt und in dem ausgewählten Bereich verfestigt mittels der zweiten Lasereinrichtung 26 und der zweiten Scannereinrichtung 36 zur Bildung des fertigen Bauteilbereichs 22. Der Spurabstand Δy des Laserstrahls in Y-Richtung ist dabei in dem vergrößerten Ausschnitt in Fig. 1 gezeigt.

Zum Lenken des Laserstrahls weist die Scannereinrichtung 34, 36 beispielsweise jeweils wenigstens einen Ablenkspiegel und/oder eine Linse auf. In dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die erste bzw. zweite Scannereinrichtung 34, 36 z.B. zwei Ablenkspiegel auf zum Lenken des Laserstrahls der ersten bzw. zweiten Lasereinrichtung 24, 26 entlang der Pulverschicht 20 und zum Verfestigen der Pulverschicht 20 in einem ausgewählten Bereich zur Bildung eines Bauteilbereichs 22. Außerdem sind eine erste und zweite Optikeinrichtung 28, 30 vorgesehen zum Fokussieren des Laserstrahls der zugeordneten ersten bzw. zweiten Lasereinrichtung 24, 26. Die Optikeinrichtungen 28, 30 weisen dabei jeweils eine oder mehrere Linsen zum Fokussieren des zugeordneten Laserstrahls der ersten bzw. zweiten Lasereinrichtung 24, 26 auf.

Die Erfindung ist auf das in Fig. 1 gezeigte Ausführungsbeispiel einer generativen Herstellung eines Bauteils 10 nicht beschränkt. Insbesondere ist die Erfindung nicht auf das Vorsehen von zwei Scannereinrichtungen 34, 36 und zwei Lasereinrichtungen 24, 26, sowie das Verfestigen eines ausgewählten Bereichs einer Pulverschicht 20 in zwei Richtungen, hier der X-Richtung und der Y-Richtung, beschränkt. Die Erfindung kann auf jede Form der generativen Herstellung eines Bauteils 10 angewendet werden. Der in Fig. 1 gezeigte Aufbau ist lediglich beispielhaft und dient zur Erläuterung der Erfindung.

Bisher wird ein generativ hergestelltes Bauteil 10 nach Abschluss des Herstellungsprozesses, wie er beispielhaft in Fig. 1 illustriert ist, mittels Röntgentechnik und Eindringprüfung untersucht. Eine Mikrostruktur und ein Gefüge des Bauteils 10 können dabei jedoch nur durch eine zerstörende metallographische Untersuchung kontrolliert bzw. beurteilt werden. Eine optische Kontrolle des Schichtaufbaus zur Beurteilung einer Gefügestruktur und Mikrostruktur ist mit diesem Verfahren prinzipbedingt nicht möglich.

Erfindungsgemäß erfolgt daher eine Ultraschallmessung oder Ultraschallprüfung, insbesondere eine Online-Ultraschallmessung bzw. -Ultraschallprüfung, des generativen Aufbaus, beispielsweise über die Bauplattform 14. Die Ultraschallmessung oder -prüfung basiert auf der Reflexion von Schall an Grenzflächen. Als Schallquelle wird dabei meist ein Ultraschallkopf eingesetzt.

Beim Implusechoverfahren gibt der Ultraschallkopf keine kontinuierliche Strahlung ab, sondern sehr kurze Schallimpulse. Der von einem Sender des Ultraschallkopfes ausgehende Impuls durchläuft mit der betreffenden Schallgeschwindigkeit das zu untersuchende Bauteil und wird an der Grenzfläche Metall/Luft zumindest teilweise oder fast vollständig reflektiert. Der Ultraschallkopf kann dabei z.B. Impulse nicht nur aussenden und als Sender fungieren, sondern auch ankommende Impulse in elektrische Messsignale umwandeln und somit auch als Empfänger arbeiten. Die Zeit beispielsweise die der Schallimpuls durch das Bauteil 10 und wieder zurück benötigt kann mit einem angeschlossenen Oszilloskop oder einer angeschlossenen Rechneinheit, gemessen werden, der ein Analog/Digitalwandler vorgeschaltet ist.

Bei der Ultraschallmessung mittels wenigstens eines oder einer Vielzahl von Ultraschallwandlereinrichtungen 38 können ein oder mehrere Parameter bestimmt werden, wobei die Parameter beispielsweise zur Bestimmung der Herstellungsqualität des Bauteils 10 geeignet sind. Dazu können Parameter gewählt werden welche z.B. einen direkten oder indirekten Rückschluss auf die Struktur, Aufbau und/oder das Gefüge des Bauteils 10 zulassen.

Als Parameter können beispielsweise die Laufzeit eines Ultraschallechos, die Schallamplitude eines Ultraschallechos, Frequenzanteile von einem Ultraschallecho und/oder die zeitliche Veränderung eines Ultraschallechos gemessen oder bestimmt werden. Zum Beispiel können eine Laufzeit eines Ultraschallechos, eine Schallamplitude eines Ultraschallechos und/oder Frequenzanteile von einem Ultraschallecho an einer gerade aufgebauten Oberfläche oder an einer gerade mittels Energiestrahlung verfestigten Oberfläche bzw. Pulverschicht gemessen oder bestimmt werden. Auch die zeitliche Veränderung des Ultraschallechos kann erfasst und ausgenutzt bzw. ausgewertet werden.

Die Ultraschallmessung durch wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung 38 kann dabei direkt an dem Bauteil 10, insbesondere während dessen Herstellung, an einer Stützstruktur (nicht dargestellt) oder einem Kontrollkörper (nicht dargestellt) durchgeführt werden.

In dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel ist z.B. eine Ultraschallwandlereinrichtung 38 vorgesehen. Diese ist beispielsweise unterhalb der Bauplattform 14 angeordnet und, wie in dem Ausführungsbeispiel in Fig. 1 gezeigt ist, z.B. direkt an der Unterseite der Bauplattform 14 oder an dem Boden des Rahmens 16 unterhalb der Bauplattform 14 angebracht (nicht dargestellt). Die Montage der Ultraschallwandlereinrichtung 38 unterhalb der Bauplattform 14 hat den Vorteil,

dass keine größeren Umbaumaßnahmen an der Fertigungsanlage nötig sind. Grundsätzlich kann die Ultraschallwandlereinrichtung 38 an einer beliebigen Stelle angeordnet werden, die geeignet ist, eine Prüfung des generativ herzustellenden Bauteils durchzuführen.

Die Ultraschallwandlereinrichtung 38 kann eine Sendereinrichtung 40 aufweisen zum Senden von Ultraschallimpulsen. Die Ultraschallimpulse werden dabei z.B. mit einer Pulsfolgefrequenz mittels der Sendereinrichtung 40 der Ultraschallwandlereinrichtung 38 in das zu untersuchende Bauteil 10, insbesondere während dessen generativer Herstellung, abgeschallt oder abgesendet. Wie zuvor beschrieben durchläuft der ausgesendete Impuls mit der betreffenden Schallgeschwindigkeit das zu untersuchende Bauteil 10 oder den bisher aufgebauten Teil des Bauteils 10. Die Ultraschallimpulse können an Grenzflächen des Bauteils 10 reflektiert werden, zumindest teilweise oder fast vollständig reflektiert werden. Der Begriff der Grenzfläche ist dabei weit auszulegen. Beispielsweise handelt es sich um eine äußere Grenzfläche 42, d.h. das Bauteil 10 begrenzende Wandflächen oder die Wandflächen des bis dahin hergestellten Teils des Bauteils 10, oder aber um eine innere Grenzfläche, d.h. z.B. einen Fehler im Inneren des Werkstücks, wie z.B. einen Hohlraum oder Lunker, einen Einschluss, einen Riss, unterschiedliche Materialkonzentrationen oder Materialverwerfungen oder eine andere Trennung im Gefüge.

In dem Ausführungsbeispiel in Fig. 1 wird der jeweilige Ultraschallimpuls beispielsweise durch den verfestigten Bauteilbereich 22 der zuletzt aufgetragenen Pulverschicht 20 zumindest teilweise reflektiert. Der reflektierte Ultraschall bildet dabei das Ultraschall-Echo. Dieses Ultraschall-Echo oder die reflektierten Impulse können von einer Empfängereinrichtung 44 aufgenommen und in elektrische Messsignale umgewandelt werden, die einem angeschlossenen Ultraschallgerät zugeführt werden zur Auswertung und beispielsweise Darstellung der Messergebnisse. Die Empfängereinrichtung 44 kann dabei Teil der Ultraschallwandlereinrichtung 38 sein oder mit dieser gekoppelt sein. Die Empfängereinrichtung 44 kann dabei insbesondere wenigstens einen Parameter der reflektierten Ultraschallimpulse erfassen und auswerten. Wobei der Parameter beispielsweise zur Auswertung und/oder Weiterleitung in elektrische Signale umgewandelt wird.

Wie zuvor beschrieben, kann als Parameter beispielsweise die Zeit, die der Schallimpuls durch das Bauteil 10 und wieder zurück benötigt, mit einem angeschlossenen Oszilloskop oder einer angeschlossenen Rechneinheit bzw. Computer, erfasst oder gemessen werden, der ein Analog/Digitalwandler vorgeschaltet ist. Die aufgezeichneten Signale können in einer zeit- und/oder ortsabhängigen Darstellung zur Anzeige gebracht werden, beispielsweise mittels des Oszil-

loskops oder einem Computerprogrammprodukt, das auf der angeschlossenen Rechneinheit bzw. Ultraschallgerät 46 oder dem Computer mit einer Anzeigevorrichtung ausgeführt wird. Das Oszilloskop und/oder die Rechneinheit bzw. der Computer können hierbei Teil des Ultraschallgeräts sein oder mit diesem gekoppelt sein. Die ortsabhängige Darstellung kann dabei z.B. über die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit der zeitabhängigen Darstellung verknüpft sein.

Die Ultraschallwandlereinrichtung 38 kann des Weiteren in die Bauplattform 14 integriert ausgebildet sein und beispielsweise auch an der Oberseite der Bauplattform 14 angeordnet oder eingelassen sein, wie mit einer gestrichelten Linie in Fig. 1 angedeutet ist. Ebenso kann die Ultraschallwandlereinrichtung 38 auch seitlich an dem Rahmen 16 angeordnet sein, wie mit einer gepunkteten Linie angedeutet ist. Außerdem kann die Ultraschallwandlereinrichtung 38 auch oberhalb der Bauplattform 14 und des herzustellenden Bauteils 10 angeordnet sein, wie mit einer strichpunktierten Linie in Fig. 1 angedeutet ist. Die Ultraschallwandleranordnung 38 kann dabei fest vorgesehen oder beweglich in wenigstens der X-Richtung, Y-Richtung und/oder Z-Richtung ausgebildet sein, je nach Funktion und Einsatzzweck.

Des Weiteren können mehrere Ultraschallwandlereinrichtungen 38 oder mehrere Ultraschallprüfköpfe eingesetzt werden. Insbesondere können ein oder mehrere Arrays aus Ultraschallwandlereinrichtungen oder Ultraschallprüfköpfen vorgesehen werden, wobei die Arrays als Phased Arrays elektronisch angesteuert werden. Die Ultraschallwandlereinrichtungen 38 oder Ultraschallprüfköpfe werden hierbei phasenversetzt angesteuert (phased array).

Durch die Verwendung mehrerer Ultraschallwandlereinrichtungen 38 oder mehrerer Ultraschallprüfköpfe bzw. den Einsatz von Phased Arrays können auch mehrere Bereiche des entstehenden Bauteils 10 untersucht werden und wahlweise zusätzlich differentiell in Zeit und Ort analysiert werden.

Durch eine Online-Kontrolle oder Online-Prüfung findet so eine ständige Materialcharakterisierung des Bauteils 10 statt, insbesondere von der Entstehung des Bauteils 10 bis zu seiner Fertigstellung. Diese Kennwerte können zur Qualitätssicherung genutzt und beispielsweise abrufbar abgespeichert werden. Eventuelle Unregelmäßigkeiten im Fertigungsprozess können so direkt erkannt und geeignete Maßnahmen ergriffen werden, wie beispielsweise ein geeignetes Gegensteuern und/oder Überarbeiten, insbesondere im Sinne eines Regelprozesses. Als Maßnahme zum Gegensteuern kann beispielsweise ein Nachstellen oder Nachjustieren von Herstellungsgrö-

ßen erfolgen, wie beispielsweise ein Anpassen der Laserenergie, der Bearbeitungszeit des Lasers, der Bearbeitungsschritte usw. oder ein vorzeitiges Abschaltung des Bauteilherstellungsprozesses. Dadurch kann ein unnötiger Zeitaufwand und außerdem eine Vergeudungen von teurem Pulvermaterial vermieden werden.

In Fig. 2 ist ein Ausführungsbeispiel eines Ablaufdiagramms des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens zur Prüfung der generativen Herstellung eines Bauteils gezeigt.

Dabei wird während der generativen Herstellung eines Bauteils in einem Schritt S1 zunächst zumindest ein vorbestimmter Bereich des bis dahin hergestellten Teils des Bauteils abgeschallt oder mit Ultraschall beaufschlagt. Dazu gibt wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung mit ihrer Sendereinrichtung Ultraschallsignale oder Ultraschallimpulse ab. Die Ultraschallsignale oder Ultraschallimpulse werden z.B. von dem vorbestimmten Bereich des bis dahin hergestellten Bauteils zumindest teilweise reflektiert und als Ultraschall-Echo über wenigstens eine Empfängereinrichtung in einem Schritt S2 erfasst. Dabei wird wenigstens ein Parameter des reflektierten Ultraschalls oder Ultraschallechos erfasst und ausgewertet und in entsprechende elektrische Messsignale umgewandelt. Die Empfängereinrichtung kann hierbei Teil der Ultraschallwandlereinrichtung sein oder mit dieser gekoppelt sein. Der erfasste Parameter oder Ist-Wert des Parameters wird in einem Schritt S3 in einer Auswerteeinrichtung eines mit der Empfängereinrichtung gekoppelten Ultraschallgeräts ausgewertet und beispielsweise mit vorgegebenen Parameter-Soll-Wert verglichen. Wird dabei in Schritt S3 festgestellt, dass der Parameter-Ist-Wert von einem vorgegebenen Soll-Wert nicht abweicht oder in einer vorbestimmten Toleranz oder einem vorbestimmten Toleranzbereich liegt, so wird die Beaufschlagung durch Ultraschall des bis dahin hergestellten Teils des Bauteils gemäß Schritt S1 wiederholt.

Wird in Schritt S3 dagegen festgestellt, dass der Parameter bzw. dessen Ist-Wert von dem vorgegebenen Soll-Wert abweicht und die Abweichung dabei außerhalb der vorgegebenen Toleranz oder des vorgegebenen Toleranzbereichs liegt, in welchem noch keine Gegenmaßnahme oder keine Nachbearbeitung ergriffen werden muss, so wird in einem Schritt S4 wenigstens eine geeignete Gegenmaßnahme und/oder wenigstens eine geeignete Nachbearbeitung durchgeführt. Die Gegenmaßnahme oder Nachbearbeitung kann dabei beispielsweise so gewählt werden, dass zum zumindest teilweise der festgestellten Abweichung entgegengewirkt werden kann. Anschließend wird die Beaufschlagung des bis dahin fertig gestellten Teils des Bauteils gemäß Schritt S1 mit Ultraschall durch wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung wiederholt.

Wird in Schritt S3 wiederum festgestellt, dass der Parameter bzw. dessen Ist-Wert auch außerhalb einer Toleranz oder eines Toleranzbereichs liegt, in welchem Gegenmaßnahmen und/oder Nachbearbeitungen möglich oder geeignet sind, so wird in einem Schritt S5 das generative Verfahren zur Herstellung des Bauteils abgebrochen.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar. Insbesondere sind die zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele miteinander kombinierbar, insbesondere einzelne Merkmale davon.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Prüfen der generativen Herstellung eines Bauteils (10), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
Bereitstellen wenigstens einer Ultraschallwandlereinrichtung (38) mit einer Sendereinrichtung (40) zum Aussenden von Ultraschallsignalen;
Bereitstellen wenigstens einer Empfängereinrichtung (44) zum Empfangen von Ultraschallsignalen und Bestimmen wenigstens eines Parameters der Ultraschallsignale;
Bereitstellen einer Auswerteeinrichtung (46) zum Auswerten des wenigstens einen Parameters;
Auftragen wenigstens einer Pulverschicht (20) aus einem durch Energiestrahlung verfestigbaren Pulvers auf eine Bauplattform (14) und Verfestigen eines ausgewählten Bereichs der Pulverschicht (20) durch Energiestrahlung zum Ausbilden eines Bauteilbereichs (22);
Beaufschlagen zumindest eines Teilbereichs des verfestigten Bauteilbereichs (22) mit Ultraschallsignalen mittels der Sendereinrichtung (40);
Empfangen der reflektierten Ultraschallsignale;
Bestimmen wenigstens eines Parameters der reflektierten Ultraschallsignale; und
Auswerten des wenigstens einen Parameters durch die Auswerteeinrichtung (46).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Parameter die Laufzeit der reflektierten Ultraschallsignale, die Schallamplitude der reflektierten Ultraschallsignale oder wenigstens ein Frequenzanteil der reflektierten Ultraschallsignale bestimmbar ist, wobei der wenigstens eine Parameter insbesondere über eine vorbestimmte Zeitspanne bestimmbar ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner die Schritte aufweist:
Vergleichen des wenigstens einen Parameters mit einem vorgegebenen Sollwert durch die Auswerteeinrichtung (46) und Durchführen einer Gegenmaßnahme und/oder einer Nachbearbeitung zur zumindest teilweisen Kompensierung der Abweichung des wenigstens einen Parameters, wenn der wenigstens eine Parameter außerhalb eines Toleranzbereichs liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner den Schritt aufweist:
Vergleichen des wenigstens einen Parameters mit einem vorgegebenen Soll-Wert durch die Auswerteeinrichtung (46) und beenden der Fortsetzung der Herstellung des Bauteils (10), wenn der Sollwert außerhalb eines Toleranzbereichs liegt, in welchem keine Gegenmaßnahme und/oder keine Nachbearbeitung möglich ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner den Schritt aufweist:
Vorsehen zumindest der Ultraschallwandlereinrichtung (38) unterhalb, oberhalb oder seitlich der Bauplattform (14).
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner den Schritt aufweist:
Bereitstellen mehrerer Ultraschallwandlereinrichtungen (38) und Vorsehen der Ultraschallwandlereinrichtungen (38) als Array, wobei die Ultraschallwandlereinrichtungen (38) insbesondere phasenversetzt ansteuerbar sind.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren den folgenden Schritt aufweist:
Erfassen und Auswerten des wenigstens einen Parameters in Abhängigkeit von Zeit und/oder Ort.
8. Bauteil, wobei zumindest ein Teilbereich des Bauteils (10) mittels des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 prüfbar ist.
9. Bauteil nach Anspruch 8, wobei das Bauteil (10) als ein Schaufelelement, insbesondere ein Schaufelelement einer Gasturbine eines Flugzeugtriebwerks, ausgebildet ist.
10. Vorrichtung zum Prüfen der generativen Herstellung eines Bauteils (10), aufweisend:
eine Bauplattform (14) zum Auftragen wenigstens einer durch Energiestrahlung verfestigbaren Pulverschicht (20);

wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung (38) mit einer Sendereinrichtung (40) zum Aussenden von Ultraschallsignalen auf wenigstens einen Teilbereich eines durch Energiestrahlung verfestigten vorbestimmten Bereiches der wenigstens einen Pulverschicht (20); wenigstens eine Empfängereinrichtung (44) zum Empfangen von durch den Teilbereich reflektierten Ultraschallsignalen und Bestimmen wenigstens eines Parameters der Ultraschallsignale; und eine Auswerteeinrichtung (46) zum Auswerten des wenigstens einen Parameters.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Ultraschallwandlereinrichtung (38) oberhalb, unterhalb oder seitlich der Bauplattform (14) angeordnet ist und insbesondere unterhalb an der Bauplattform (14) befestigt ist.

1/2

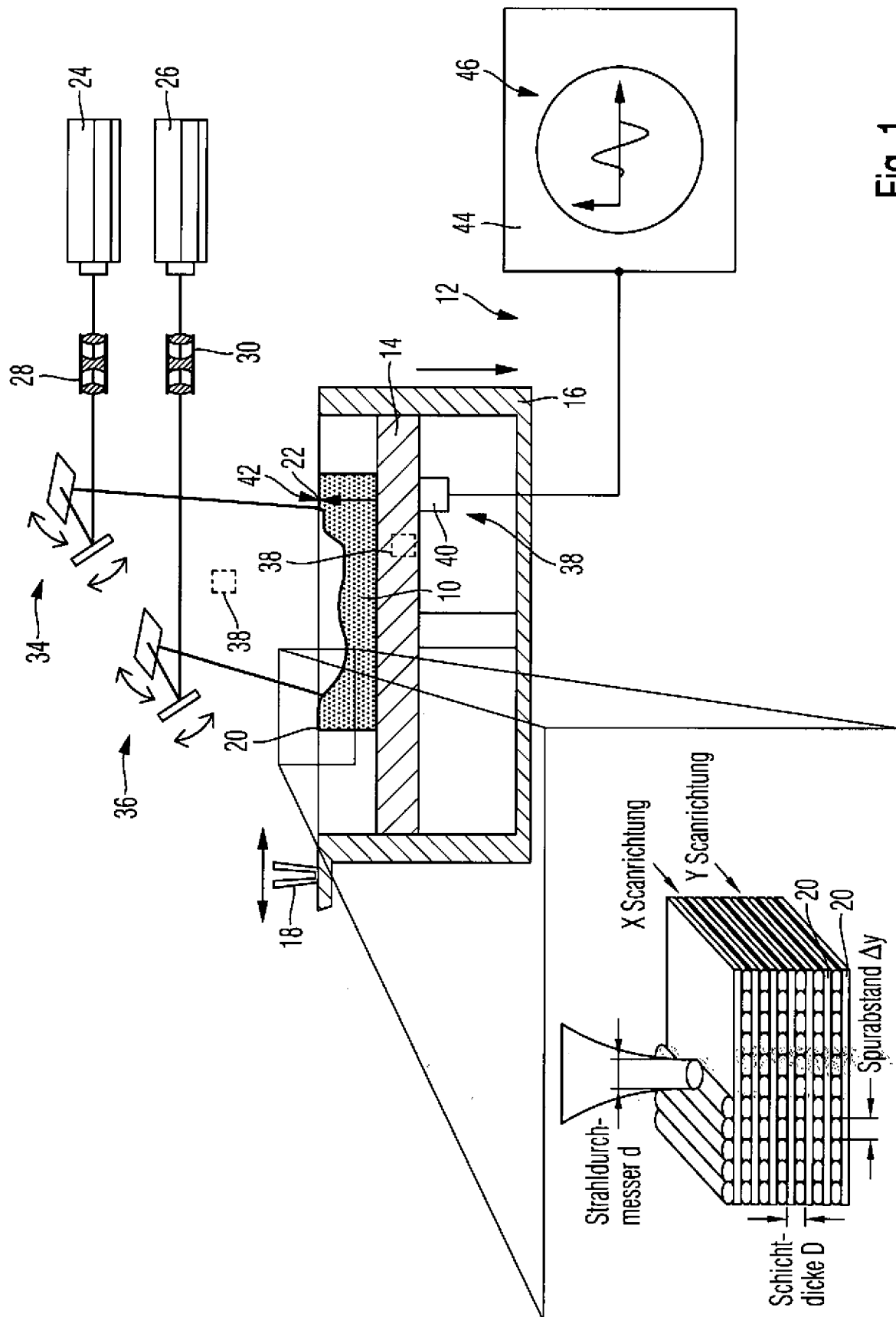


Fig. 1

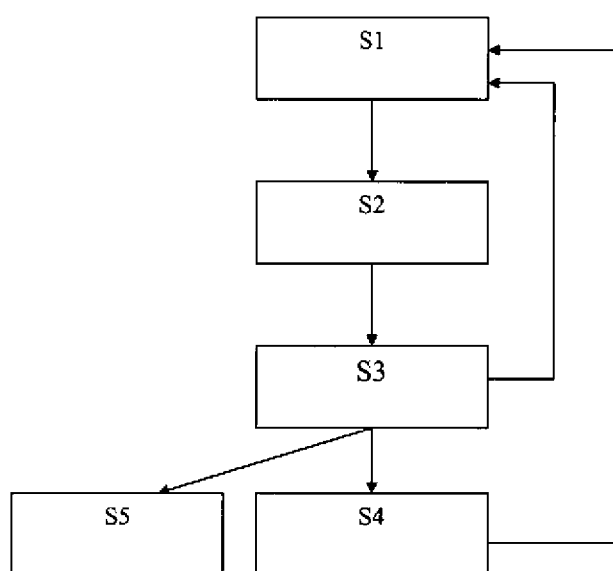


Fig. 2