



(10) **DE 10 2009 055 966 B4** 2014.05.15

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 055 966.3**
(22) Anmeldetag: **27.11.2009**
(43) Offenlegungstag: **01.06.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **15.05.2014**

(51) Int Cl.: **B29C 67/00 (2006.01)**
C04B 35/622 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
voxeljet AG, 86316, Friedberg, DE

(72) Erfinder:
Ederer, Ingo, Dr., 82269, Geltendorf, DE;
Grasegger, Josef, 86391, Stadtbergen, DE

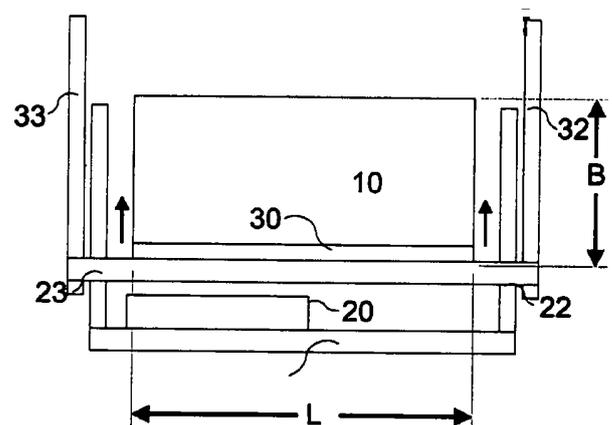
(74) Vertreter:
Wagner + Helbig Patentanwälte, 80538, München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 694 25 428 T2
DE 697 16 946 T3

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen dreidimensionaler Modelle**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Modelle mittels Schichtauftragstechnik, wobei fluides Baumaterial auf ein Baufeld aufgetragen wird und anschließend über einen Drucker Bindermaterial selektiv auf das Baumaterial aufgetragen wird, dadurch gekennzeichnet, dass nach Aufbringen des fluiden Baumaterials bei einem ersten Verfahren eines Druckkopfes (20) geringerer Druckbreite als der Länge des Baufeldes (10) über das Baufeld (10) im wesentlichen ein erster Teil der Länge des Baufeldes (10) bedruckt wird und bei einem zweiten Verfahren des Druckkopfes (20) über das Baufeld (10) der Druckkopf (20) versetzt wird und im wesentlichen ein zweiter, restlicher Teil der Länge des Baufeldes (10) bedruckt wird, wobei ein Druckkopf (20) mit einer etwas größeren Breite als die halbe Baufeldlänge eingesetzt wird und der Druckkopf nach dem ersten Verfahren um die Druckerbreite (sb) versetzt wird und die zweite Hälfte des Baufeldes (10) bedruckt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen dreidimensionaler Modelle gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] In der europäischen Patentschrift EP 0 431 924 B1 wird ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Objekte aus Computerdaten beschrieben. Dabei wird ein Partikelmaterial in einer dünnen Schicht auf eine Plattform aufgetragen und dieses selektiv mittels eines Druckkopfes mit einem Bindermaterial bedruckt. Der mit dem Binder bedruckte Partikelbereich verklebt und verfestigt sich unter dem Einfluss des Binders und gegebenenfalls eines zusätzlichen Härters. Anschließend wird die Plattform um eine Schichtdicke in einen Bauzylinder abgesenkt und mit einer neuen Schicht Partikelmaterial versehen, die ebenfalls, wie oben beschrieben, bedruckt wird. Diese Schritte werden wiederholt, bis eine gewisse, erwünschte Höhe des Objektes erreicht ist. Aus den bedruckten und verfestigten Bereichen entsteht so ein dreidimensionales Objekt.

[0003] Dieses aus verfestigtem Partikelmaterial hergestellte Objekt ist nach seiner Fertigstellung in losem Partikelmaterial eingebettet und wird anschließend davon befreit. Dies erfolgt beispielsweise mittels eines Saugers. Übrig bleiben danach die gewünschten Objekte, die dann vom Restpulver z. B. durch Abbürsten befreit werden.

[0004] In ähnlicher Weise arbeiten auch andere Pulver-gestützte Rapid-Prototyping-Prozesse, wie z. B. das selektive Lasersintern oder das Elektron-Beam-Sintern bei denen jeweils ebenso ein loses Partikelmaterial schichtweise ausgebracht und mit Hilfe einer gesteuerten physikalischen Strahlungsquelle selektiv verfestigt wird.

[0005] Die DE 694 25 428 T2 beschreibt ein System für dreidimensionales Drucken mit hoher Geschwindigkeit und hoher Qualität in Vielfachdurchläufen und Verschachtelung. Ein Verfahren oder eine Vorrichtung gemäß der Erfindung wird weder beschrieben noch nahe gelegt.

[0006] Die DE 694 16 946 T2 beschreibt ein Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Objekte, wobei selektiv Binder aufgebracht wird und so selektiv Schichten des Aufbaumaterials verfestigt werden. Ein Verfahren oder eine Vorrichtung gemäß der Erfindung wird weder beschrieben noch nahe gelegt.

[0007] Im Folgenden werden alle diese Verfahren unter dem Begriff „dreidimensionale Druckverfahren“ oder 3D-Druckverfahren zusammengefasst.

[0008] Das 3D-Drucken auf Basis pulverförmiger Werkstoffe ist unter den Schichtbautechniken das schnellste Verfahren. Dabei gibt es unterschiedliche Ausführungsformen mit unterschiedlicher Charakteristik.

[0009] Eine Ausführungsform ist beispielsweise in der Fig. 1 dargestellt. In der Fig. 1 ist eine Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Modellen in einer Draufsicht gezeigt. Der Beschichter 30 und die Druckkopfachse 21 verfahren bei der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung auf denselben Verfahrenseinheiten, nämlich den Verfahrachsen 22, 23.

[0010] Zum einem Zeitpunkt t_0 verfährt eine Einheit, bestehend aus Druckkopf 20, Druckkopfachse 21 und Beschichter 30 von der Befüllposition in die Startposition, siehe Fig. 1a) und beschichtet dann das Baufeld 10 mit einer Länge L und einer Breite B (Fig. 1b)) mit Pulver (Abschluss der Beschichtung zum Zeitpunkt t_1 , Fig. 1c)).

[0011] Anschließend erfolgt das Bedrucken des Baufeldes (Start zum Zeitpunkt t_2) mit einem Druckkopf 20 endlicher Breite. Der Druckkopf 20 kann in diesem Fall einen Streifen mit der Druckbreite S_b mit der gewünschten Auflösung in einem Durchgang über die Baufeldlänge L (X-Richtung) bedrucken. Dies ist in der Fig. 1d) dargestellt. In anderen Fällen, muss der Druckkopf 20 um die gewünschte Auflösung zu erzielen mehrfach über den Streifen drucken und dabei um kleine Strecken ($< S_b$) versetzt werden.

[0012] Im ersten Fall muss der Druckkopf, um eine Vollfläche zu bedrucken n-mal über das Baufeld geführt werden. Dabei wird Druckstreifen an Druckstreifen gesetzt, der Druckkopf also um die Druckkopfbreite in Y-Richtung nach jedem Streifen versetzt. Die Druckstreifen können dann entweder immer von der gleichen Seite (Unidirektionaldruck) oder wechselseitig (Bidirektionaldruck, siehe Abbildung) je nachdem wo der Druckkopf zuletzt stand angefahren werden.

[0013] Üblicherweise liefert der Unidirektionaldruck exaktere Druckanfangsseiten und damit saubere Bauteilkanten als der Bidirektionaldruck, da die Verzögerung der Tropfen im Flug immer auf die gleiche Weise wirkt. Im Bidirektionaldruck kann der Zeit-Unterschied des Tropfenfluges über einen Korrekturfaktor pro zweitem Streifen berücksichtigt werden.

[0014] Der Bidirektionaldruck ist die schnellere Variante des Druckens, da hier Leerfahrten des Druckkopfschlittens vermieden werden.

[0015] Die Zahl der notwendigen Druckstreifen ergibt sich als ganzzahliger Wert des Verhältnisses von Baufeldbreite B und Streifenbreite S_b Nachdem der Druckkopf 20 den letzten Streifen gedruckt hat (Zeit-

punkt t_3) fährt er über das Ziel hinaus, bis der an der Rückseite der Druckkopfachse **21** montierte Pulverauftragsmechanismus auf die Befüllposition kommt (siehe **Fig. 1e**). Zuletzt wird die Plattform **10** um eine Schichtstärke abgesenkt (Zeitpunkt t_4). Der Vorgang kann erneut beginnen.

[0016] Damit sich Düsenfehler (= ausgefallene und/oder verstopfte Düsen) nicht als Trennebenen im Bauteil abbilden, wird der erste Streifen in der Position in Beschichterrichtung leicht variiert.

[0017] In der **Fig. 1** sind die Zusatzaggregate zum Warten des Druckkopfes **20** wie beispielsweise Reinigungsstation und Cappingstation sowie die Befüllrichtung für den Beschichter **30** oder auch beispielsweise ein Druckkopf-Niveausensor, nicht dargestellt.

[0018] Berücksichtigt man Nebenzeiten wie zum Beispiel die Druckkopfreinigung oder das Druckkopfnachfüllen nicht, ergibt sich die Zeit T_1 pro prozessierter Schicht beim Bidirektionaldruck als:

$$T_1 = Tr_1(\text{Beschichtungszeit}) + Trn_1(\text{Nachfüllen des Beschichters}) + n \times (Ts_1(\text{Druckzeit pro Streifen}) + Tv_1(\text{Versatzzeit})) + Ta(\text{Absenken})$$

[0019] Dies ist in der **Fig. 2** in einem Diagramm dargestellt.

[0020] In einer weiteren bekannten Ausführungsform gemäß der **Fig. 3** verfahren Druckkopfachse **21** und Beschichter **30** auf getrennten Verfahreinheiten mit den jeweiligen Verfahrachsen **22**, **23** und **32**, **33**. Dies hat den Vorteil, dass Nebenzeiten für den Druckkopf **20** nicht anfallen, da beispielsweise die Druckkopfreinigung während des Beschichtungsvorganges ablaufen kann oder Nebenzeiten für den Beschichter nicht anfallen, da beispielsweise das Nachfüllen während des Druckens stattfinden kann.

[0021] Die Zeit T_2 pro Schicht lässt sich dann folgendermaßen berechnen:

$$T_2 = Tl_2(\text{Beschichterlehrfahrt}) + Tr_2(\text{Beschichtungszeit}) + n \times (Ts_2(\text{Druckzeit pro Streifen}) + Tv_2(\text{Versatzzeit})) + Ta(\text{Absenken})$$

[0022] Dies ist in **Fig. 4** graphisch dargestellt.

[0023] Im Idealfall lässt sich mit dieser Variante sogar ein Teil des Druckzyklus im Beschichtungsvorgang „verstecken“ und damit Prozesszeit einsparen. Wenn die Gesamtdruckzeit kleiner als die Beschichtungszeit ist, ergibt sich die verkürzte Schichtzeit zu $T_{21} = Tr_2 + Trn_2 + Tl_2 + Ta$, was in **Fig. 5** grafisch dargestellt ist.

[0024] Bei den Verfahrachsen **22**, **23**, **32**, **33** der Verfahreinheiten bewähren sich häufig auch Kombina-

tionen unterschiedlicher Ausführungsformen. So werden die schnellen Druckbewegungen, bei denen eine möglichst gleichbleibende Geschwindigkeit und ruhiger Lauf gefordert ist, überwiegend mit Achsen ausgeführt, die über Zahnriemen angetrieben werden. Als Motor werden vielfach Servoantriebe verwendet, die direkt oder über ein zwischengeschaltetes Getriebe an die Zahnriemenscheibe geflanscht werden. Damit die Schussimpulse für die einzelnen Düsen mit der Position auf dem Baufeld korrelieren, wird üblicherweise ein Linearencoder an der Achse während der Druckbewegung ausgewertet.

[0025] Für die genaue Positionsbewegung beim Versatz des Druckkopfes um eine Streifenbreite sb haben sich Linearachsen mit Kugelgewindetrieb als geeignet herausgestellt. Dabei reicht die Wiederholgenauigkeit der Spindeln aus, um mit einem angeflanschten Servo-Antrieb und dessen integrierten Drehgeber, die gewünschte Position mit ausreichender Genauigkeit anzufahren. Nachteilig bei diesen Achsen wirkt sich die durch die Spindel begrenzte maximale Verfahrgeschwindigkeit aus. Denn z. B. bei einer schnellen Rückholbewegungen limitiert die Achse die mögliche Geschwindigkeit.

[0026] Die Beschichter können sowohl mit Zahnriemenachsen als auch mit Spindeltrieben bewegt werden, da die möglichen Beschichtungsgeschwindigkeiten in der Regel relativ niedrig sind. Allerdings können auch hier Rückfahrten notwendig sein, die möglichst schnell ausgeführt werden sollten.

[0027] Neben den geschilderten Antrieben sind auch andere Varianten wie z. B. Linearantriebe oder Schritt- anstelle der Servo-Motoren denkbar.

[0028] Bei den oben genannten Beispielen werden üblicherweise Druckköpfe eingesetzt, deren Druckbreite und die damit mögliche Streifenbreite sb deutlich kleiner ist als die Breite des Baufeldes. Dieser Zusammenhang wird vornehmlich durch den hohen Aufwand und die damit verbundenen hohen Kosten begründet, der bei einer größeren Anzahl Düsen in etwa linear mit der Düsenzahl steigt.

[0029] In konkreten Zahlen ausgedrückt sind bei gewünschten 300 dpi Auflösung ($84 \mu\text{m}$) für eine Druckstreifenbreite von 100 mm 1.181 Düsen erforderlich.

[0030] In jüngster Zeit haben sich die Kosten pro Düse jedoch deutlich reduziert, so dass auch größere Druckbreiten wirtschaftlich darstellbar werden.

[0031] Nichtsdestotrotz wurde immer weiter versucht, den Verfahrensablauf kostengünstiger und die Vorrichtung beim 3D-Drucken einfacher zu gestalten und dabei immer noch hohe Baugeschwindigkeiten und damit angemessene Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

[0032] Es wurde nun also eine in der **Fig. 6** dargestellte Variante vorgeschlagen. Bei dieser gezeigten Ausführungsform weist der Druckkopf **20** eine Druckbreite auf, die etwas größer ist als die Breite **B** des Baufeldes **10**. Der Druckkopf ist an einer Beschichtereinheit **30** befestigt und bewegt sich mit dieser ähnlich, wie bei der in der **Fig. 1** dargestellten Vorrichtung, gemeinsam mit dieser Beschichtereinheit **30** über das Baufeld **10**.

[0033] Der Schichtvorgang startet bei der in der **Fig. 6** gezeigten Variante mit dem Beschichten des Baufeldes **10** über die lange Seite **L**. Anschließend wird der Beschichter **30** nachgefüllt. Dann verfährt die Druckkopfachse **21** in Druckposition und bedruckt das Baufeld **10** in einer Überfahrt.

[0034] Nachdem der Druckkopf **20** das Baufeld **10** überstrichen hat, wird er um einen kleinen Schritt in Richtung der kurzen Baufeldabmessung **B** versetzt, damit beim Bedrucken der nächsten Schicht gegebenenfalls auftretende Düsenfehler nicht zu überlagert werden. Diese Versatzbewegung des Druckkopfes **20** sollte mindestens um eine Düsenbreite erfolgen, noch besser ist es, wenn Druckkopf **20** um mehrere Teilungsschritte variabel verfahren werden kann. Dann ist es möglich, den Druckkopf **20** bei aufeinanderfolgenden Druckschichten unterschiedlich zu verfahren, womit Trennebenen und Düsenfehlern noch besser vorbeugt werden kann. Die Verfahrensbewegung des Druckkopfes **20** kann bei der gezeigten Ausführungsform über die schon oben beschriebenen Spindelachsen erfolgen, genauso sind aufgrund der geringen Wege auch Piezoantriebe denkbar. Danach wird das Baufeld um eine Schichtstärke abgesenkt und der Beschichtungsvorgang kann von Neuem beginnen.

[0035] Die Bauzeit ergibt sich bei einem derartigen Verfahren zu:

$$T3 = Tr3 + Trn3 + Ts3 + Tv3 + Ta.$$

[0036] Eine grafische Darstellung hierzu findet sich in **Fig. 7**.

[0037] Nicht berücksichtigt sind bei der Bauzeit allerdings beispielsweise Zeiten für die Druckkopfreinigung. Diese gestaltet sich aber bei dieser Ausführungsform relativ ungünstig, da der Bewegungsapparat ein Überstreichen aller Düsen z. B. über eine starke Gummilippe nur in Richtung der langen Baufeldabmessung **L** (X-Richtung) erlaubt. Das bedeutet, dass eine solche Gummilippe baufeldbreit sein müsste, was aus Gründen der Kantengenauigkeit der Lippe schwer darstellbar ist. Einfacher ist es, bei einer solchen Vorrichtung eine zusätzliche Achse zu integrieren, die die Reinigungslippe unter den Düsen in Y-Richtung verfährt und damit alle Düsen überstreicht. Diese Lippe kann dann deutlich schmaler ausfallen,

ist allerdings mit dem Nachteil behaftet, dass die Vorrichtung eine zusätzliche Achse aufweist.

[0038] Um die Geschwindigkeit des Aufbauprozesses weiter zu erhöhen, ist es bekannt, dass der mit Bezug aus **Fig. 6** oben beschriebenen Einheit eine weitere Beschichtereinheit hinzugefügt wird, so dass die vollständige Prozessierung einer Schicht in jeweils einer Überfahrt möglich und ein Zurückfahren der Beschichtereinheit überflüssig wird.

[0039] Eine solche Ausführungsform ist in **Fig. 8** gezeigt. Die Vorrichtung weist nun zwei Achsen **21a** und **21b** auf sowie zwei Beschichter **30a** und **30b**. Dies hat den Vorteil, dass der Druckkopf **20** bei jeder Überfahrt betrieben wird und nicht wie in Variante 3 beim Beschichten passiv mitfährt.

[0040] Die beiden Beschichter **30a** und **30b** befinden sich beidseitig des Druckkopfes **20** und werden wechselseitig je nach Verfahrrichtung betrieben.

[0041] Die Bauzeit ergibt sich bei dieser Ausgestaltung dann zu:

$$T4 = Tr4 + Trn4 + Tv4 + Ta$$

[0042] Grafisch ist dies wiederum in **Fig. 9** gezeigt.

[0043] Letztlich besteht die Bauzeit dann nur noch aus Beschichtungszeiten und ist damit nochmals kürzer als bei den anderen bisher beschriebenen Verfahren.

[0044] Der Verfahrensweg der Drucker-Recoater-Einheit vergrößert sich gegenüber der mit Bezug auf **Fig. 6** beschriebenen Variante allerdings etwas, da beim Überstreichen in eine Richtung nicht nur der Druckkopf aus dem Baufeld bewegt werden muss, sondern auch der zweite, momentan nicht aktive Beschichter **30a** bzw. **30b** wieder auf Startposition gebracht werden muss.

[0045] Nachteilig wirkt sich bei dieser Variante der doppelte Aufwand für den Beschichter **30a** und **30b** zusammen mit der Notwendigkeit einer zweiten Pulverversorgung aus. Desweiteren ist die Zugänglichkeit des Druckkopfes **20** durch die beiden montierten Beschichter **30a**, **30b** deutlich erschwert.

[0046] Bei der in der **Fig. 8** gezeigten Vorrichtung wird während der Beschichtung gedruckt, wobei Drucker **20** und Beschichter **30a**, **30b** auf einer Einheit montiert sind. Dabei können sich Schwingungen vom Beschichter **30a**, **30b** auf den Druckkopf **20** auswirken und zu einer Verschlechterung des Druckbildes führen.

[0047] Zudem muss jeweils der gerade passive Beschichter **30a** beziehungsweise **30b** angehoben wer-

den, um nicht im Kontakt mit der aktuellen Schicht zu sein und so das gerade aufgebrachte Druckbild zu beschädigen. Dazu ist eine steife und zuverlässige vertikale Bewegungseinheit auf beiden Beschichtern **30a**, **30b** notwendig.

[0048] Nicht zuletzt tritt hier wie bei der in der **Fig. 6** gezeigten Variante die Schwierigkeit auf, eine einfache Druckkopfreinigung beizustellen. Bei der in **Fig. 8** gezeigten Variante wirkt sich zudem erschwerend aus, dass stets ein Beschichter **30a**, **30b** die Druckkopfreinigung überqueren muss, bevor der Druckkopf **20** in Reinigungsposition gelangt. Dabei kann Partikelmaterial auf die Reinigungseinheit fallen und diese verschmutzen.

[0049] Ausgehend hiervon ist es daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein schnelles und dabei einfaches und kostengünstiges Verfahren beziehungsweise eine einfache und kostengünstige Vorrichtung bereitzustellen.

[0050] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem Patentanspruch 1 und eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 6 gelöst.

[0051] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es bei einem Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Modelle mittels Schichtauftragstechnik, bei dem fluides Baumaterial auf ein Baufeld aufgetragen wird und anschließend über einen Drucker Bindermaterial selektiv auf das Baumaterial aufgetragen wird, vorgesehen, dass nach Aufbringen des fluiden Baumaterials bei einem ersten Verfahren eines Druckkopfes geringerer Druckbreite als die Baufeldlänge L über das Baufeld im wesentlichen ein erster Teil der Länge des Baufeldes bedruckt wird und bei einem zweiten Verfahren des Druckkopfes über das Baufeld der Druckkopf versetzt wird und im wesentlichen ein zweiter Teil der Länge des Baufeldes bedruckt wird.

[0052] Durch die Verwendung eines relativ kurzen Druckkopfes, der kürzer ist als die Baufeldlänge L , kann ein Verfahren erreicht werden, das ein schnelles Aufbauen von Modellen ermöglicht und damit kostengünstiger ist.

[0053] Weiterhin wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung zum Herstellen dreidimensionaler Modelle mittels Schichtauftragstechnik, wobei Mittel zum Auftragen fluiden Baumaterials auf ein Baufeld vorgesehen sind und mindestens ein Druckkopf zum selektiven Auftrag von Bindermaterial auf das Baumaterial vorgesehen ist, gelöst, bei der eine Druckbreite des Druckkopfes in etwa der halben Baufeldlänge entspricht.

[0054] Durch die Verwendung eines Druckkopfes, der in etwa der halben Baufeldlänge entspricht, kann

eine einfache und kostengünstige Vorrichtung erzielt werden.

[0055] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen und den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen.

[0056] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren derart ausgeführt, dass der erste und der zweite Teil des Baufeldes im wesentlichen eine Hälfte der Baufeldlänge betragen. Bei einer derartigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Druckkopf bei sehr hoher Baugeschwindigkeit eine möglichst geringe Druckbreite aufweisen.

[0057] Gute Ergebnisse konnten auch erzielt werden, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren das Baufeld eine im Wesentlichen rechteckige Form aufweist und der Drucker über eine kurze Seite der Baufeldplattform verfahren wird.

[0058] Es ist auch möglich zusätzlich, Zeit bei einem erfindungsgemäßen Verfahren einzusparen, wenn der Drucker zum Bedrucken des ersten Teils in eine Richtung verfahren wird und zum Bedrucken des zweiten Teils in eine andere Richtung verfahren wird.

[0059] Darüberhinaus kann es auch vorteilhaft sein, wenn ein Beschichter zum Auftragen des fluiden Baumaterials auf das Baufeld zumindest teilweise gleichzeitig mit dem Drucker über das Baufeld verfahren wird.

[0060] Bei einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann gemäß einer bevorzugten Ausführungsform an einer Umkehrposition des Druckkopfes eine Reinigungsstation für den Druckkopf vorgesehen sein. Eine solche Ausgestaltung hätte den Vorteil, dass der Druckkopf in einer Umkehrposition auf einfache Weise gereinigt werden kann.

[0061] Darüberhinaus wäre es zudem denkbar, dass an einer anderen Umkehrposition des Druckkopfes eine Befüllungsvorrichtung für den Beschichter vorgesehen ist. Eine solche Ausgestaltung wäre deshalb von Vorteil, da dies einen einfachen Aufbau und sowohl für die Reinigungsstation als auch die Befüllungsvorrichtung eine gute Zugänglichkeit für den Bediener gegeben ist.

[0062] Zur näheren Erläuterung wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

[0063] In der Zeichnung zeigt dabei:

[0064] **Fig. 1** ein aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren;

[0065] Fig. 2 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß dem Verfahren von Fig. 1;

[0066] Fig. 3 ein weiteres aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren;

[0067] Fig. 4 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß einem Verfahren von Fig. 3;

[0068] Fig. 5 eine weitere grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß einem weiteren Verfahren von Fig. 3;

[0069] Fig. 6 ein weiteres aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren;

[0070] Fig. 7 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß dem Verfahren von Fig. 6;

[0071] Fig. 8 ein noch weiteres aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren;

[0072] Fig. 9 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß dem Verfahren von Fig. 8;

[0073] Fig. 10 eine bevorzugte Ausführungsform eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0074] Fig. 11 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß einem Verfahren von Fig. 10;

[0075] Fig. 12 eine grafische Darstellung der Schichtzeiten gemäß einem weiteren Verfahren von Fig. 10;

[0076] Fig. 13 eine Reinigungsstation für eine Vorrichtung zum Durchführen eines Verfahrens gemäß der Erfindung;

[0077] Fig. 14 eine Düsenplatte eines Druckkopfes in Draufsicht; und

[0078] Fig. 15 ein vergrößerter Ausschnitt der Düsenplatte von Fig. 14.

[0079] Mit Bezug auf Fig. 10 wird eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Bei der gezeigten Ausführungsform wird ein Druckkopf 20 mit einer etwas größeren Breite als die halbe Baufeldlänge L eingesetzt.

[0080] Der Druckkopf 20 und der Beschichter 30 verfahren ähnlich wie in der mit Bezug auf Fig. 3 beschriebenen Variante getrennt über das Baufeld. Entgegen der mit Bezug auf Fig. 3 beschriebenen Variante findet gemäß der gezeigten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung die Druckbewegung aber in Richtung der kurzen Baufeldseite in Richtung der Baufeldbreite B statt.

[0081] Bei dem gezeigten bevorzugten Verfahren wird mit einer Beschichterfahrt über das Baufeld 10 gestartet, um eine Pulverlage abzulegen. Dies ist in Fig. 10a) und Fig. 10b) dargestellt. Daran anschließend wird, während der Beschichter 30 nachgefüllt wird, der Druckkopf 20 zunächst über eine erste Hälfte des Baufeldes 10 bewegt, um dieses zu bedrucken (Fig. 10c)). Dann wird der Druckkopf 20 um die Druckerbreite versetzt und startet seinen zweiten Druckvorgang über der zweiten Hälfte des Baufeldes 10 (Fig. 10d) und Fig. 10e)). Dem Drucker 20 eilt dann der Beschichter 30 nach, um wieder in die Ausgangslage zu kommen. Zuletzt wird das Baufeld 10 um eine Schichtstärke abgesenkt und der Vorgang kann von Neuem beginnen.

[0082] Bei einem derartigen Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ergibt sich die Schichtzeit dann zu:

$T5 = Tr5 + Trn5 + Tl5 + Tv5 + Ta$, was in der Fig. 11 auch grafisch dargestellt ist.

[0083] Ist bei einem gezeigten erfindungsgemäßen Verfahren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform die Beschichtungszeit $Tr5$ gleich lang oder länger als die Druckzeit $Ts5$, dann kann der Ablauf des Verfahrens noch weiter optimiert werden. Dies kann dabei derart erfolgen, dass die erste der beiden Druckfahrten starten, wenn der Beschichter 30 sich noch über dem Baufeld 10 befindet. Die Leerfahrzeit des Beschichters 30 kann dann so angepasst werden, dass sich die Schichtzeit wie folgt verkürzt:

$T51 = Tr5 + Tv5 + Ts5 + Tv5 + Ta$, was auch in der Fig. 12 grafisch dargestellt ist.

[0084] Das gezeigte erfindungsgemäße Verfahren weist gegenüber dem in der Fig. 6 und Fig. 8 beschriebenen Stand der Technik die Vorteile auf, dass sich ein im wesentlichen gleicher Achs-Aufbau wie in den mit Bezug auf Fig. 1 und Fig. 3 beschriebenen Varianten ergibt.

[0085] Es kann dabei vorteilhaft sein, wenn für die Druckkopfachse 21 eine positioniergenaue Spindelachse verwendet wird. Die Druckstartposition des Druckkopfes 20 auf dem Baufeld soll vorteilhafterweise in Richtung der Baufeldlänge pro Schicht leicht innerhalb einer Variationsbreite variieren, um eine Überlagerung eventueller Düsenausfälle zu verhindern und damit Trennebenen im Modell zu vermeiden. Dazu muss die Druckbreite Sb mindestens um die Variationsbreite des Startpunktes größer sein als die halbe Baufeldlänge L. Die Variationsbreite sollte mehrere Düsenabstände groß sein, um wirksam zu werden. Bei einer Druckbreite sb von 400 mm kann die Variationsbreite z. B. 20 mm betragen. Vorteilhafterweise sollte der jeweils pro Schicht gewählte Versatz der Druckstartposition ein ungeradzahliges Vielfaches des Düsenabstandes in Druckrichtung sein.

[0086] Darüberhinaus kann vorteilhaftweise ein Maßstabssystem zur Positionsdetektion an eine der Achsen **22** oder **23** gesetzt werden, um die Schussimpulse für den Druckkopf auf die aktuelle Position über dem Baufeld **10** zu triggern. Mit solchen Veränderungen kann ein Aufbau wie in den mit Bezug auf **Fig. 1** und **Fig. 3** beschriebenen Varianten relativ einfach umgerüstet werden, um zu einem beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren zu gelangen.

[0087] Einer Druckkopfreinigung kann bei einer Vorrichtung, die zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet wird, beispielsweise mit einer stehenden Gummilippe erfolgen, da die Apparatur eine Bewegungsmöglichkeit des Druckkopfes in Richtung der Baufeldlänge L über die gesamte Druckbreite zulässt.

[0088] Die Zugänglichkeit zu Beschichter **30** und Druckkopf **20** sind dabei sehr gut.

[0089] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Baufeld eine rechteckige Form auf und der Drucker wird über die kurze Baufeldseite verfahren.

[0090] Um die Verbesserung durch die Erfindung gemäß einer solchen Ausführungsform im Vergleich zum Stand der Technik nochmals genauer zu beschreiben, werden im Folgenden die Prozesszeiten von gemäß dem mit Bezug auf **Fig. 12** beschriebenen Verfahren mit der mit Bezug auf **Fig. 8** beschriebenen Variante des Standes der Technik verglichen.

[0091] Nimmt man hierzu an, dass die Zeiten für den Druckkopfversatz, das Nachfüllen des Beschichters und das Schichtabsenken im Vergleich zur Beschichtungszeit und zum Drucken wesentlich kleiner sind, können diese vernachlässigt werden.

[0092] Die Schichtzeiten lauten dann wie folgt:

$$T_{51} = Tr_5 + Ts_5$$

$$T_4 = Tr_4$$

[0093] Bei gleichen Beschichtungsgeschwindigkeiten, gleichen Baufeldabmessungen und unter Vernachlässigung der kurzen Beschleunigungszeiten kann folgender Zusammenhang gefunden werden:

$$Tr_4 = L/B \times Tr_5$$

[0094] Weiterhin gilt, dass die Beschichtungszeit um einen konstanten Faktor für eine gleiche zu überwindende Strecke länger ist als die Druckzeit:

$$Tr_5 = c \times Ts_5$$

[0095] Unter diesen Bedingungen kann eine Regel gefunden werden, für die Variante gemäß **Fig. 12** kürzere Schichtzeiten erlaubt als die mit Bezug auf **Fig. 8** beschriebene Variante:

$$T_{51} < T_4$$

$$Tr_5 + Ts_5 < T_4$$

$$Tr_5 + Tr_5/c < L/B \times Tr_5$$

$$(1 + 1/c) \times B < L$$

[0096] Die Formel kann mit einfachen Zahlenbeispielen überprüft werden. Ist die Beschichtungsgeschwindigkeit gleich der Druckgeschwindigkeit gilt: $c = 1$

[0097] In diesem Fall sollte die Baufeldlänge L größer als die doppelte Breite B sein, damit die Variante gemäß **Fig. 12** gegenüber der Variante gemäß **Fig. 8** schneller ist.

[0098] Bei einem üblichen Geschwindigkeitsverhältnis von 1:2 gilt $c = 2$. Dann muss die Baufeldlänge nur noch 1,5 mal größer sein als die Baufeldbreite, damit die Variante gemäß **Fig. 12** gegenüber der Variante gemäß **Fig. 8** schneller ist.

[0099] Bei einer solchen Ausführungsform ist es dann also möglich, bei einfacherem Aufbau der Vorrichtung, einen schnelleren Modellaufbau zu erzielen.

[0100] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist ein geringerer Maschinenverschleiß an den Druckachsen und Antrieben gegenüber z. B. der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** aufgrund deutlich kleinerem Druckweg pro Schicht und geringerer Anzahl an Beschleunigungszyklen.

[0101] Im Folgenden sollen die gemäß der beschriebenen bevorzugten Ausführungsform verwendeten On demand Druckköpfe noch etwas genauer beschrieben werden. Diese verfügen über offene Düsen, die, falls einzelne Düsen über einen gewissen Zeitraum ungenutzt sind, eintrocknen oder auf andere Weise verstopfen können. Derartige Düsenausfälle führen mindestens zu Abbildungsfehlern im späteren Bauteil beziehungsweise können bei entsprechender Häufung das Bauteil ganz zerstören. Es ist daher notwendig, den Druckkopf in gewissen Abständen zu reinigen und so dafür zu sorgen, dass eventuell verstopfte Düsen wieder frei werden.

[0102] Dazu werden verschiedene Verfahrensschritte genutzt, die aus dem 2D-Druck bekannt sind. Die einfachste Methode ist, anstelle des Unterdrucks, der am Binder-Reservoir anliegt und dafür sorgt, dass im Stillstand kein Binder aus den Düsen austritt, einen Überdruck anzulegen.

[0103] Dieser Druck sorgt dafür, dass Binder aus den Düsen tropft und eingetrocknetes Material oder andere Verunreinigungen mit schwemmt. Der Druckkopf sollte für diesen Vorgang über einem Auffangbecken stehen, da relativ große Mengen Binder abtropfen. Bei diesem Vorgang bleiben in der Regel Bindertropfen an der Düsenplatte haften, die wiederum den normalen Druckbetrieb stören. Es ist daher notwendig, diese Tropfen z. B. mittels einer über die Düsenplatte streichenden Gummilippe oder einen Schwamm abzuziehen. Wird ein Schwamm verwendet, bietet es sich an, diesen mit einem Lösungsmittel zu tränken, um weitere Verunreinigungen an der Düsenplatte zu entfernen. Um sicher zu stellen, dass sich nach dem Abziehen mit dem Schwamm kein Lösungsmittel in den Düsen befindet, wird der Druckkopf kurzzeitig mit allen Düsen betrieben. Letzte Reste des Lösungsmittels werden so aus den Düsen entfernt. Nach dieser Prozedur ist der Druckkopf wieder einsatzbereit.

[0104] Für die Druckqualität wäre eine möglichst häufige Reinigung (z. B. jede Schicht) vorteilhaft. Allerdings kostet die Reinigung Prozesszeit, Binder und evtl. Lösungsmittel. Aus diesen Gründen sollte so wenig wie möglich gereinigt werden. Es hat sich herausgestellt, dass ein Reinigungsvorgang alle 5–50 Schichten erfolgen sollte.

[0105] Zweckmäßigerweise ist die Reinigungsstation so aufgebaut, dass alle Prozessschritte nacheinander ablaufen können und die Relativbewegung zwischen Druckkopf und Gummilippe und/oder Schwamm alleine von der Verfahrachse des Druckkopfes durchgeführt wird. Aus Platzspargründen sollte die Reinigungsstation möglichst nahe am Baufeld platziert sein, um unnötige Leerfahrten des Druckkopfes zu vermeiden. Im besten Fall liegt die Reinigungsstation in einem Bereich, den der Druckkopf z. B. aufgrund des Streifenversatzes bei jeder Schicht überstreichen muss. D. h. der Druckkopf führt dann keine zeitkostenden Zusatzbewegungen aus.

[0106] Fig. 13a) zeigt beispielhaft in der Draufsicht eine derartige Position der Reinigungsstation im vorderen Bereich der Anlage. Die Reinigungsstation besteht dabei aus einem Becken **40**, das den gesamten Düsenbereich überdeckt, um den Binder beim Betrieb aller Düsen nach dem Abziehen der Düsenplatte aufzufangen. Zur Anlagenmitte orientiert befindet sich die Wischlippe **41** in dem Becken **40**. Die Lippe **41** ist so angeordnet, dass die Düsen die Lippe **41** bei der Druckstreifenversatzbewegung überstreichen und die Lippe gleichmäßig an die Düsenplatte gedrückt wird. Des Weiteren kann die Lippe **41** zur Relativbewegung zwischen Lippe **41** und Druckkopf **20** leicht angestellt sein (nicht dargestellt), um den Binder von den Düsen weglaufen zu lassen. Damit die Reinigungsstation während der Schichten, bei denen nicht gereinigt werden soll, nicht den Druckbe-

trieb stört, ist es notwendig, dass die Lippe **41** den Druckkopf **20** dann nicht kontaktiert. Dies kann z. B. über einen Schwenkmechanismus erfolgen, der die Lippe **41** während dieser Phasen in das Becken **40** absenkt.

[0107] In Fig. 13b befindet sich der Druckkopf nun über der Cappingposition. Es findet nun der erste Reinigungsschritt mit dem Überdruckspülen statt. In der vorliegenden Bauform ist die Cappingstation mit einer Wanne **50** zum Aufnehmen des abtropfenden Binders beim Überdruckspülen ausgestattet.

[0108] Zwischen Fig. 13b und Fig. 13c fährt die Druckkopfachse **21** den Druckkopf **20** über die Reinigungslippe **41**. Restliche Bindertropfen und Verschmutzungen werden dadurch abgewischt. Der Druckkopf befindet sich jetzt in der Vollbetriebszone. Hier werden kurzzeitig alle Düsen betrieben, der Binder tropft in die Reinigungswanne **40**. Der Druckkopf **20** ist anschließend gereinigt und kann den 3D-Druck wieder aufnehmen (Fig. 13d).

[0109] Nach Prozessende wird ein Austrocknen der Düsen durch eine sogenannte Cappingstation verhindert. Dazu fährt der Druckkopf **20** in die Cappingposition (siehe Fig. 13b). Anschließend wird die Düsenplatte des Druckkopfes **20** abgedichtet. Dies erfolgt z. B. mittels einer Dichtwanne, die an die Rändern an der Düsenplatte gepresst wird, dabei aber die Düsen nicht berührt. Zwischen Boden der Dichtwanne und Düsen ist dann ein kleiner abgeschlossener Luftraum. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung eines Schwamms, der sich in der Wanne befindet und mit Lösungsmittel oder einem speziellen Feuchthaltemittel feucht gehalten wird. Der Schwamm liegt in Cappingposition an der Düsenplatte an.

[0110] In beiden Ausführungsformen wird der Druckkopf **20** auf eine Ruheposition über der Wanne **50** gefahren und die Dichtwanne über einen Hebemechanismus an den Druckkopf gepresst. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Ausführung des Mechanismus gleichmäßiges Anlegen der Dichtung an die Düsenplatte ermöglicht. Im Druckbetrieb ist die Dichtwanne hingegen in einer zurückgezogenen Position. Vorteilhafterweise ist die Dichtwanne in der zurückgezogenen Position derart abgedeckt, dass keine Verschmutzungen z. B. in Form von Partikelmaterial in die Dichtwanne fallen können.

[0111] Am Markt erhältliche Druckmodule weisen kleinere Abmessungen auf, als für den Druck eines halben Baufeldes notwendig. Deshalb werden die Module zu einem größeren Druckkopf zusammengestellt. Die Anordnung ist dabei so zu wählen, dass die Düsen über die einzelnen Module hinweg in exakter Teilung stehen. Daneben soll der Druckkopf möglichst klein bauen, um die Anlage insgesamt klein halten zu können.

[0112] In Fig. 14 ist die Draufsicht auf die Düsenplatte 70 eines Druckkopfes 20 zu sehen, der aus vier Druckmodulen 71, 72, 73, 74 aufgebaut ist. Der Pfeil gibt die Druckrichtung wieder. Jedes der Druckmodule 71, 72, 73, 74 weist einen Bereich I auf, der über eine vollständige Druckauflösung verfügt. Am jeweils linken und rechten Rand der Druckmodule 71, 72, 73, 74 finden sich dann Bereiche II, die über eine reduzierte Druckauflösung verfügen. Die Druckmodule 71, 72, 73, 74 sind so gemäß der gezeigten Ausführungsform derart angeordnet, dass sich z. B. der Bereiche II rechts des Moduls 71 und der Bereich II links des Moduls 72 überdecken. Der Abstand der beiden Module 71 und 72 ist dabei so gewählt, dass in dem Überdeckungsbereich wieder die volle Auflösung erreicht wird (siehe Fig. 15). Das Gleiche gilt für die weiteren Module.

Bezugszeichenliste

10	Baufeld
20	Druckkopf
21, 21a, 21b	Druckkopfachse
22	Verachse
23	Verfahrachse
30, 30a, 30b	Beschichter
32	Verfahrachse
33	Verfahrachse
40	Reinigungsbecken
41	Wischlippe
50	Wanne
70	Düsenplatte
71, 72, 73, 74	Düsenmodule

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Modelle mittels Schichtauftragstechnik, wobei fluides Baumaterial auf ein Baufeld aufgetragen wird und anschließend über einen Drucker Bindermaterial selektiv auf das Baumaterial aufgetragen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Aufbringen des fluiden Baumaterials bei einem ersten Verfahren eines Druckkopfes (20) geringerer Druckbreite als der Länge des Baufeldes (10) über das Baufeld (10) im wesentlichen ein erster Teil der Länge des Baufeldes (10) bedruckt wird und bei einem zweiten Verfahren des Druckkopfes (20) über das Baufeld (10) der Druckkopf (20) versetzt wird und im wesentlichen ein zweiter, restlicher Teil der Länge des Baufeldes (10) bedruckt wird, wobei ein Druckkopf (20) mit einer etwas größeren Breite als die halbe Baufeldlänge eingesetzt wird und der Druckkopf nach dem ersten Verfahren um die Druckerbreite (sb) versetzt wird und die zweite Hälfte des Baufeldes (10) bedruckt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste und der zweite Teil des Baufeldes (10) im Wesentlichen, jeweils eine Hälfte der Baufeldlänge betragen.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Baufeld (10) eine im Wesentlichen rechteckige Form aufweist und der Druckkopf (20) beim Bedrucken des Baufeldes (10) über eine kurze Seite der Baufeldplattform verfahren wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckkopf (20) zum Bedrucken des ersten Teils in eine Richtung verfahren wird und zum Bedrucken des zweiten Teils in eine andere Richtung verfahren wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Beschichter (30) zum Auftragen des fluiden Baumaterials auf das Baufeld (10) zumindest teilweise gleichzeitig mit dem Druckkopf (20) über das Baufeld (10) verfahren wird.

6. Vorrichtung zum Herstellen dreidimensionaler Modelle mittels Schichtauftragstechnik gemäß Anspruch 1, wobei Mittel zum Auftragen fluiden Baumaterials auf ein Baufeld (10) vorgesehen sind und mindestens ein Druckkopf (20) zum selektiven Auftrag von Bindermaterial auf das Baumaterial vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Druckbreite des Druckkopfes (20) in etwa der halben Baufeldlänge entspricht.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Baufeld (10) eine im Wesentlichen rechteckige Form aufweist und der Druckkopf (20) derart angeordnet ist, dass er über eine kurze Seite der Baufeldplattform verfahren wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass an einer Umkehrposition des Druckkopfes (20) eine Reinigungsstation für den Druckkopf (20) vorgesehen ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass an einer anderen Umkehrposition des Druckkopfes (20) eine Befüllungsvorrichtung für den Beschichter (30) vorgesehen ist.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

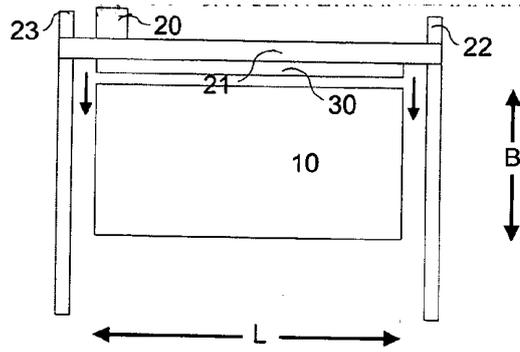


Fig. 1b

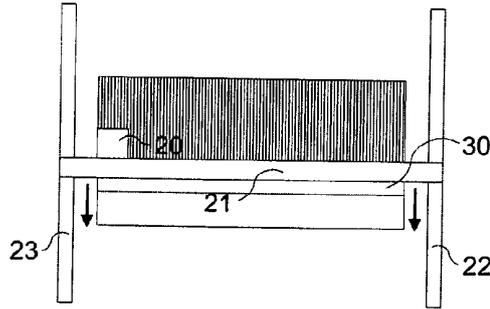


Fig. 1c

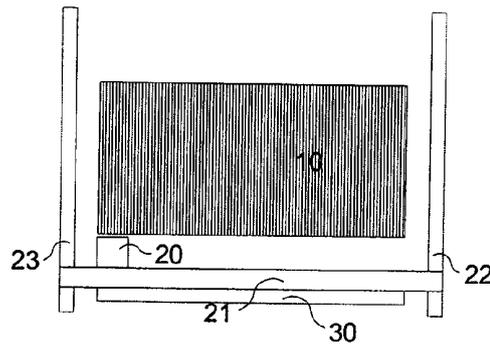


Fig. 1d

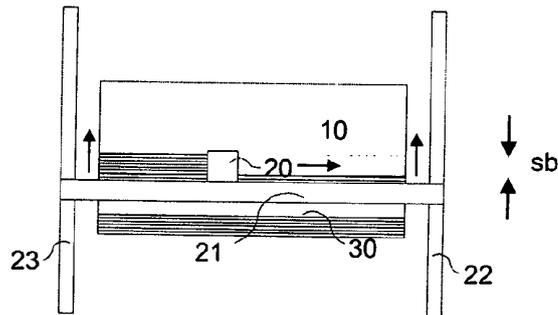
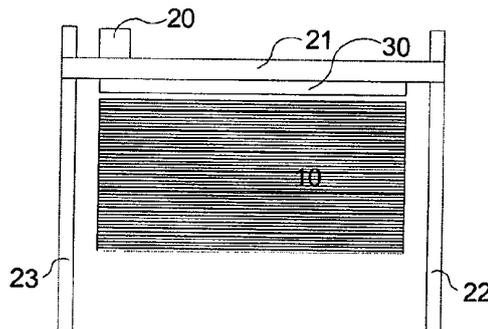
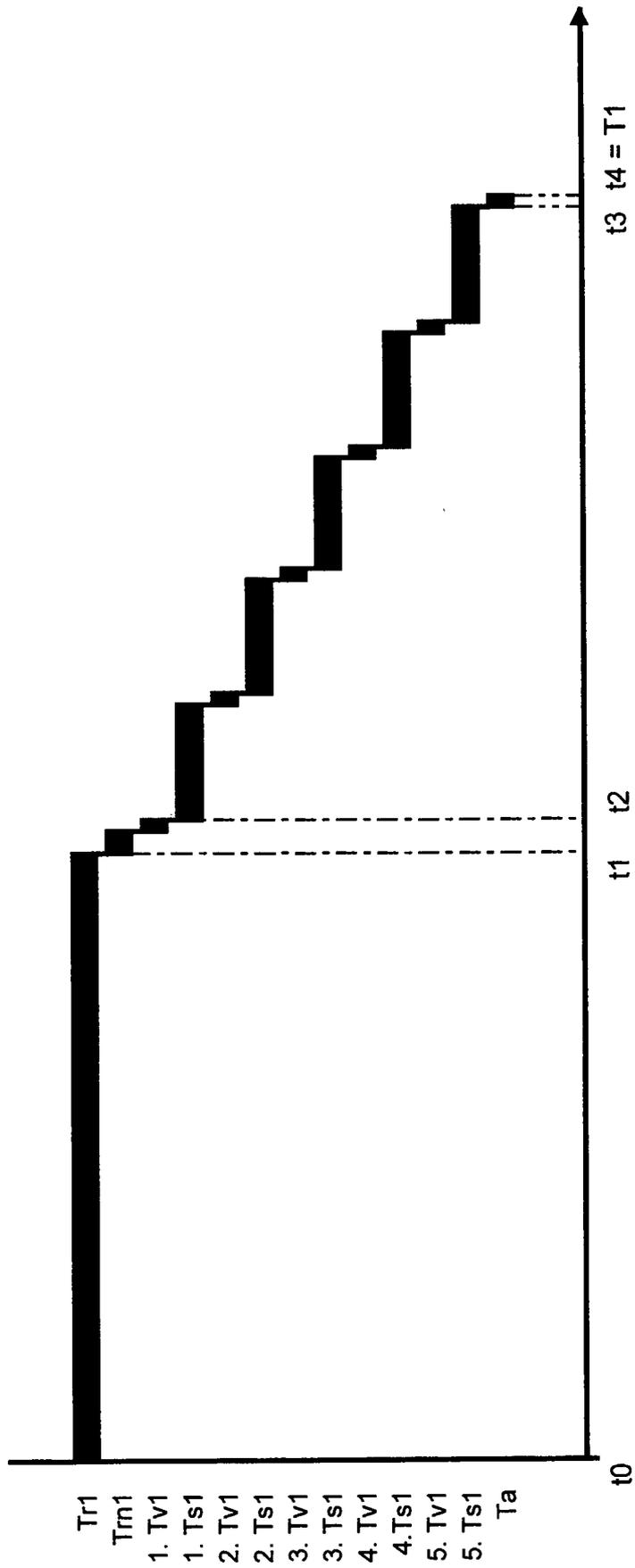


Fig. 1e



Figur 1



Figur 2

Fig. 3a

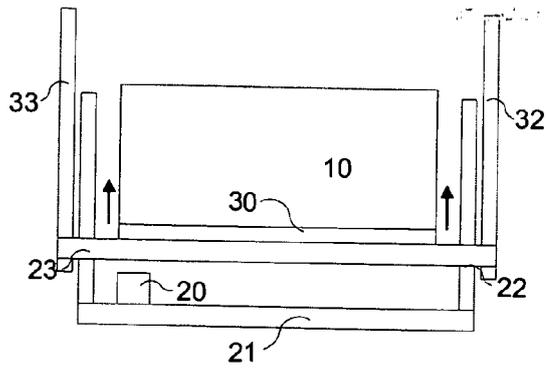


Fig. 3b

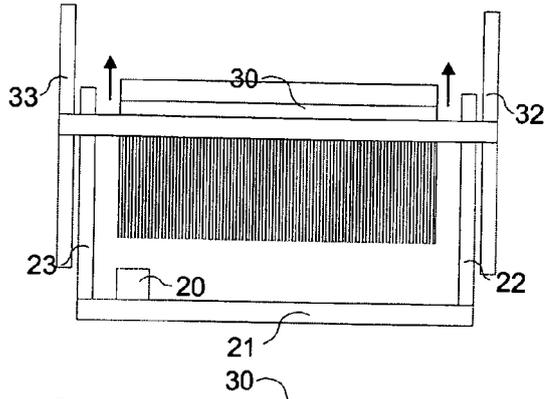


Fig. 3c

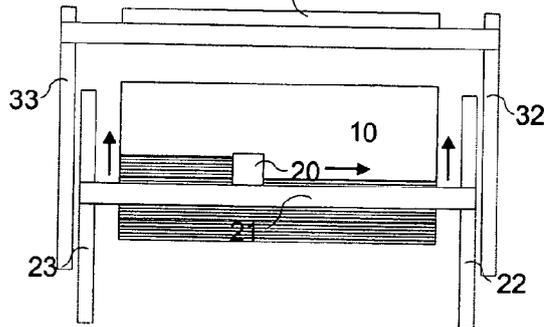


Fig. 3d

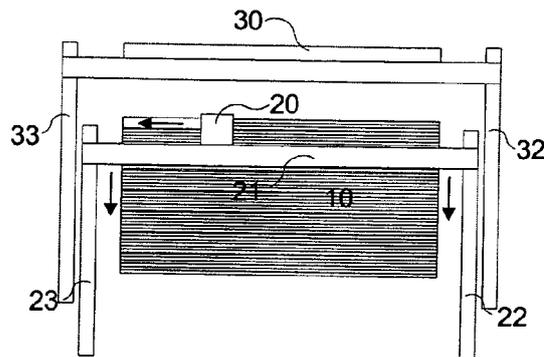


Fig. 3e

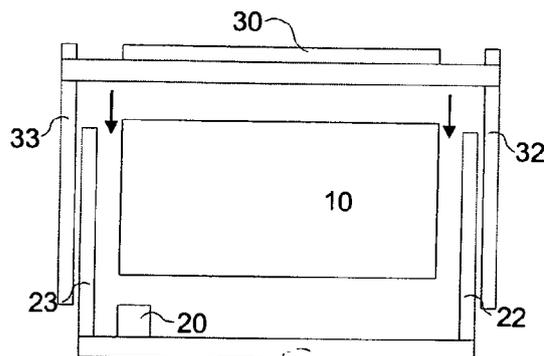


Figure 3

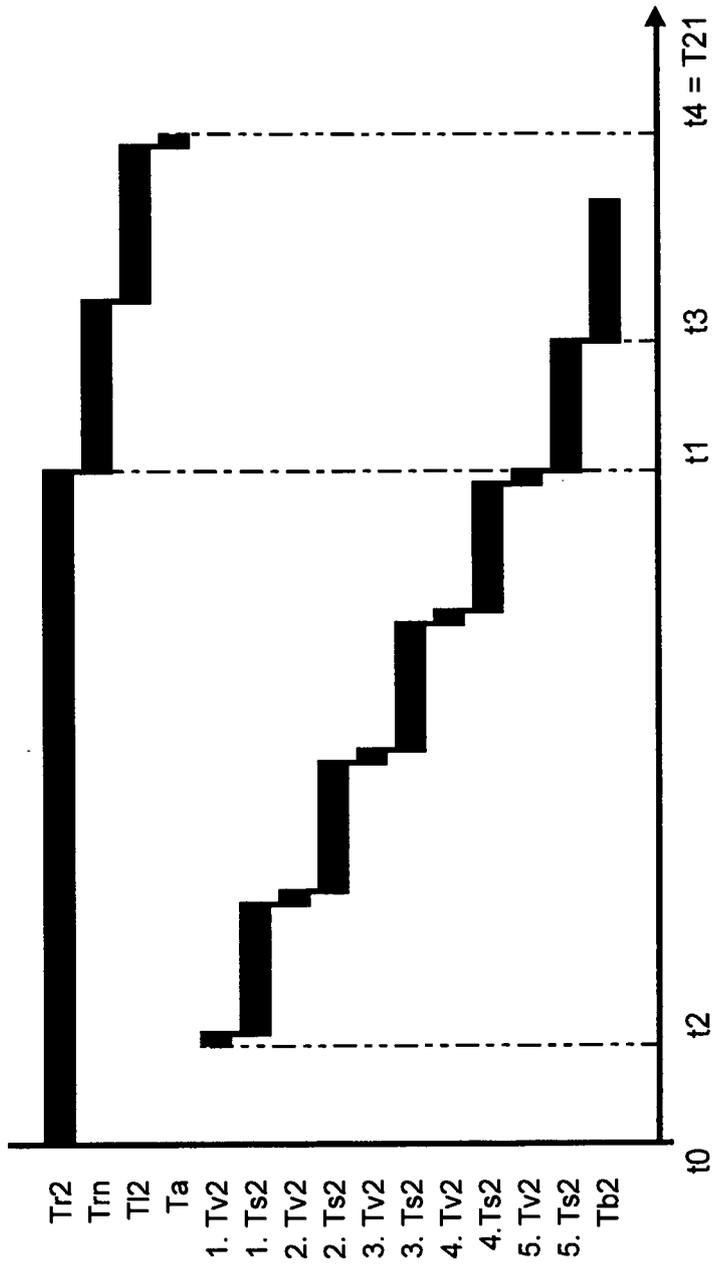


Figure 5

Fig. 6a

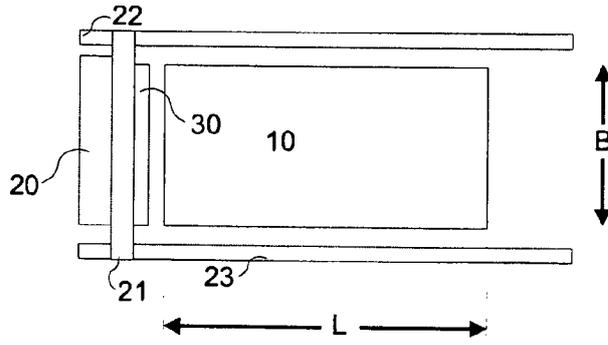


Fig. 6b

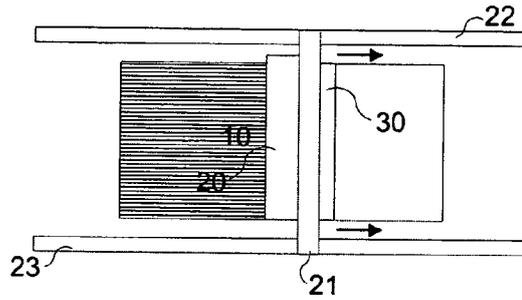


Fig. 6c

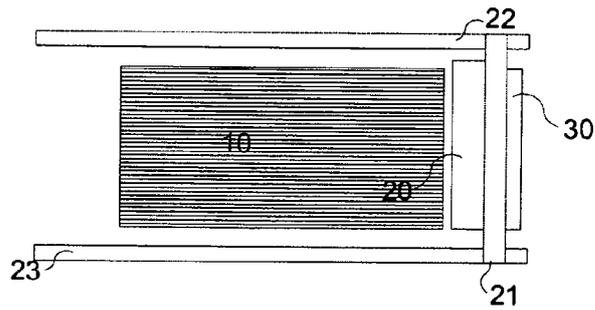


Fig. 6d

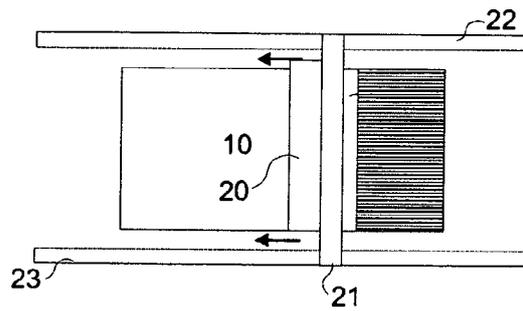
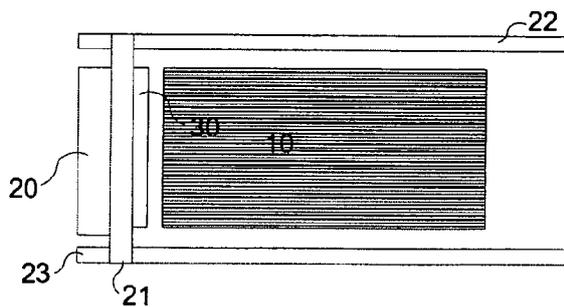
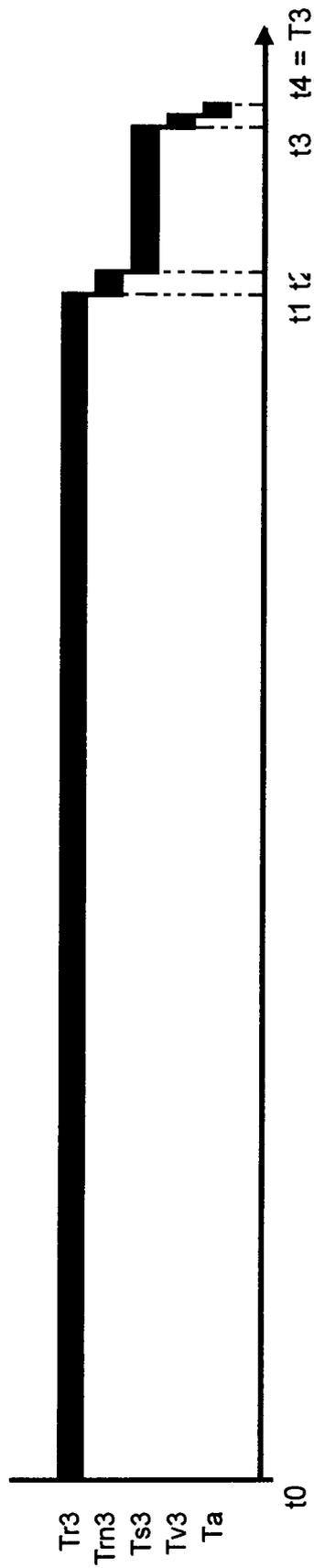


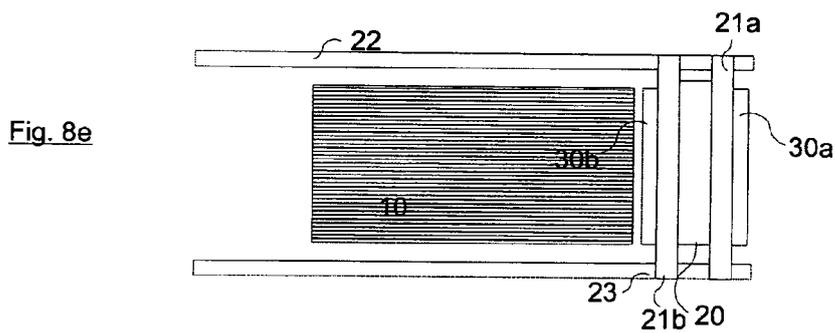
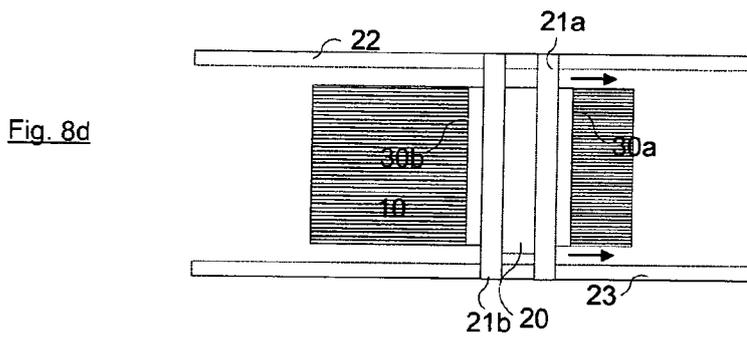
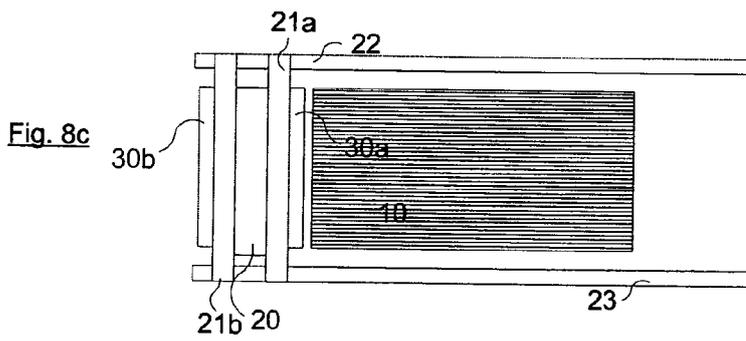
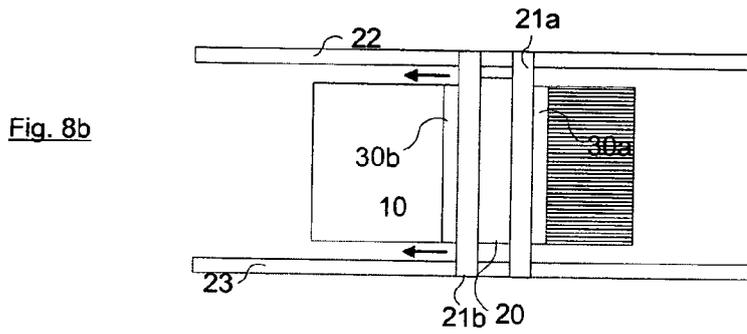
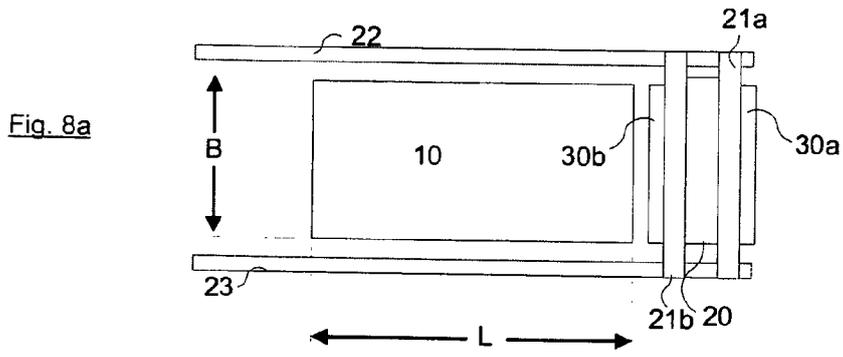
Fig. 6e



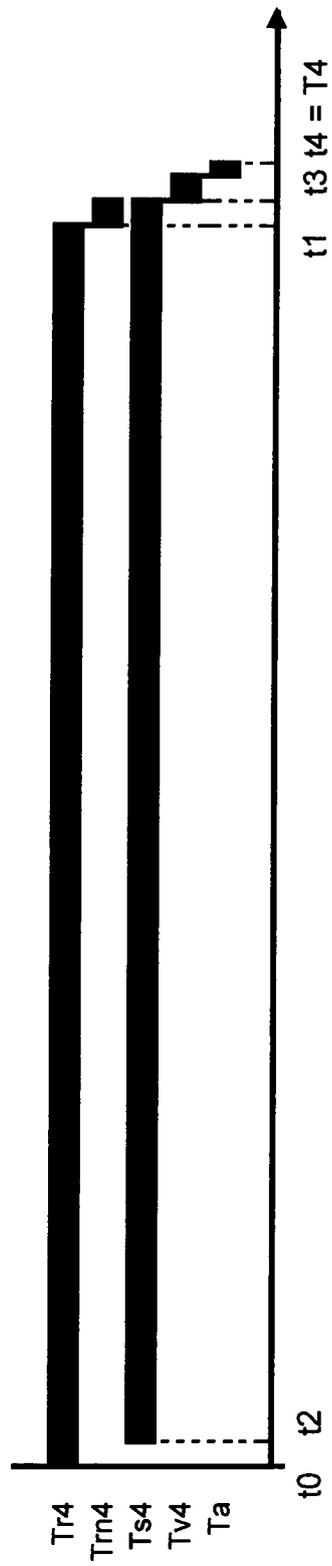
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9

Fig. 10a

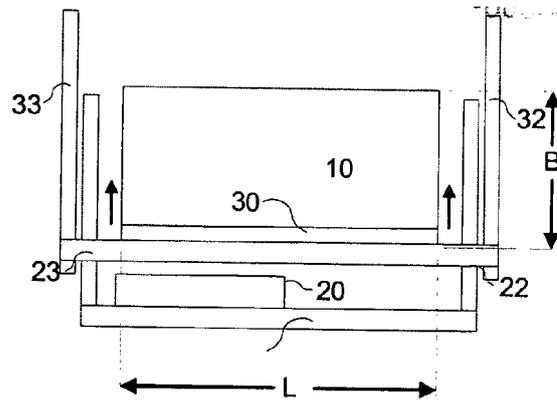


Fig. 10b

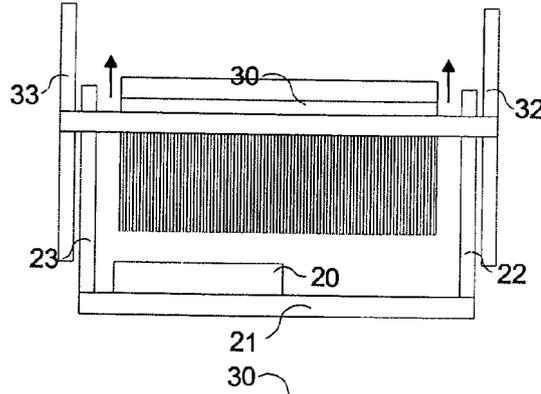


Fig. 10c

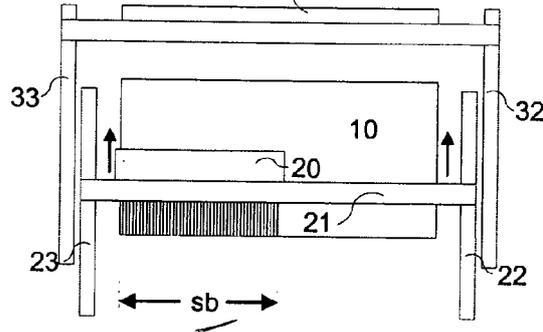


Fig. 10d

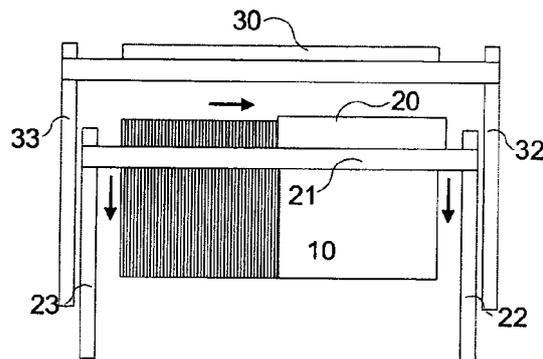
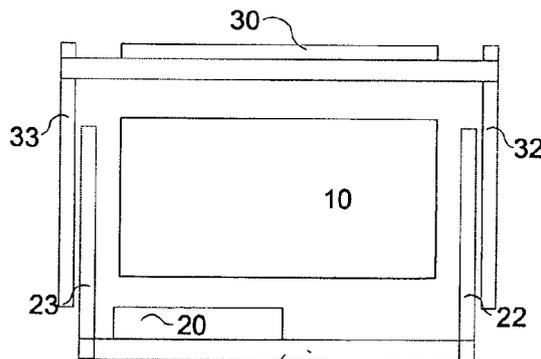
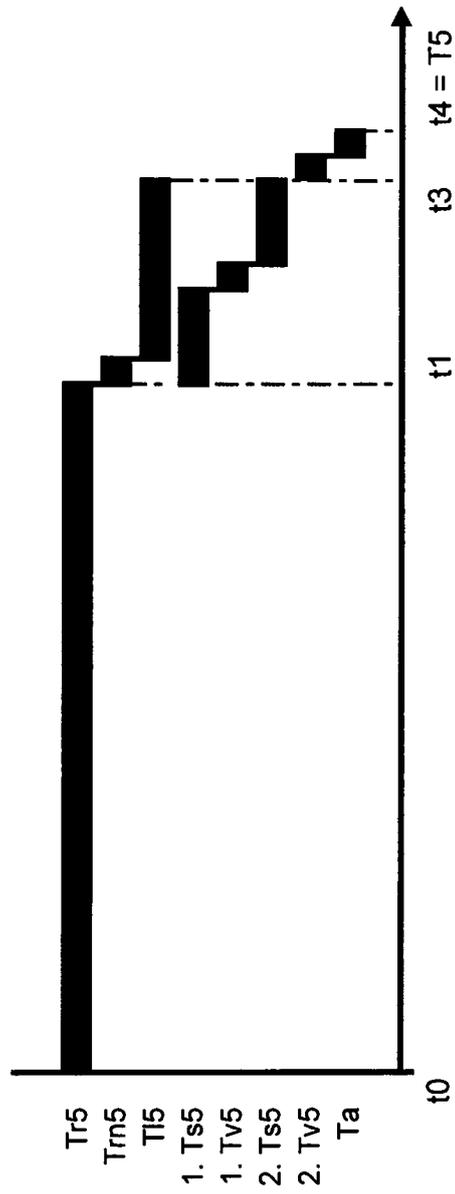


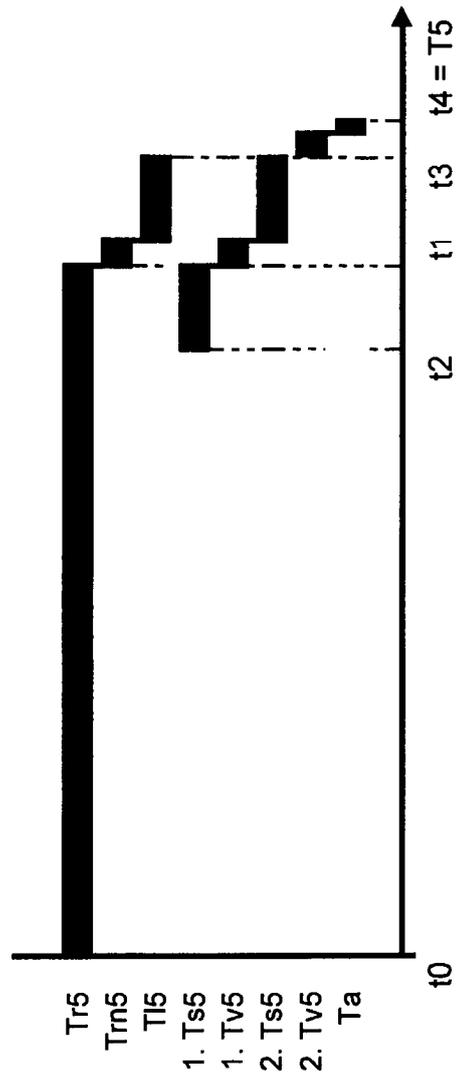
Fig. 10e



Figur 10



Figur 11



Figur 12

Fig. 13a

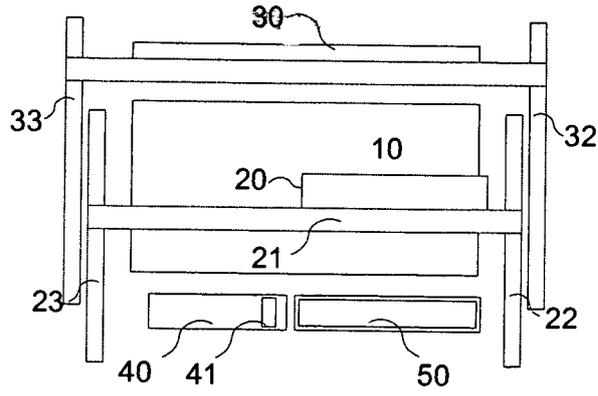


Fig. 13b

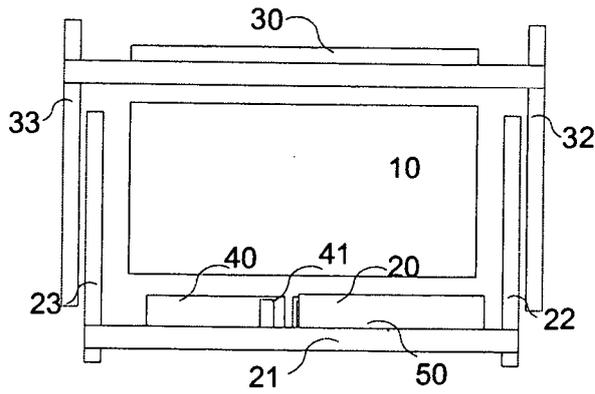


Fig. 13c

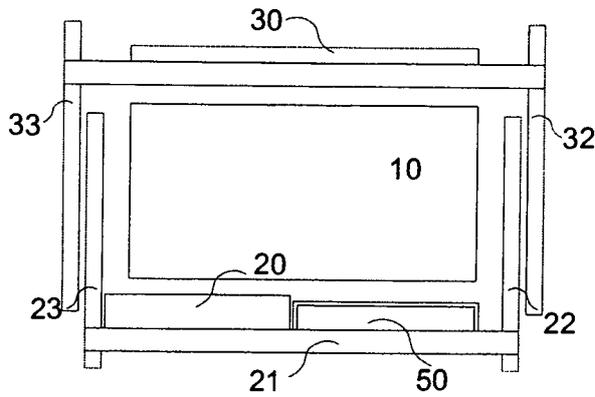
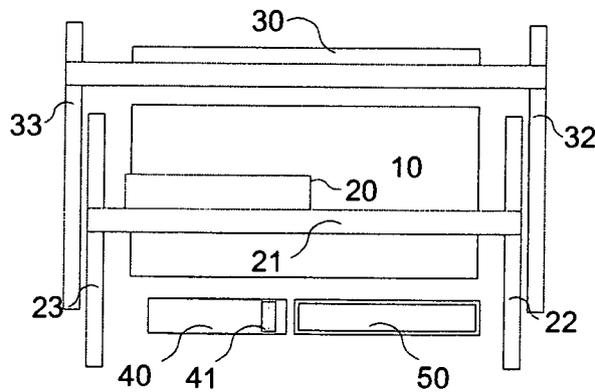
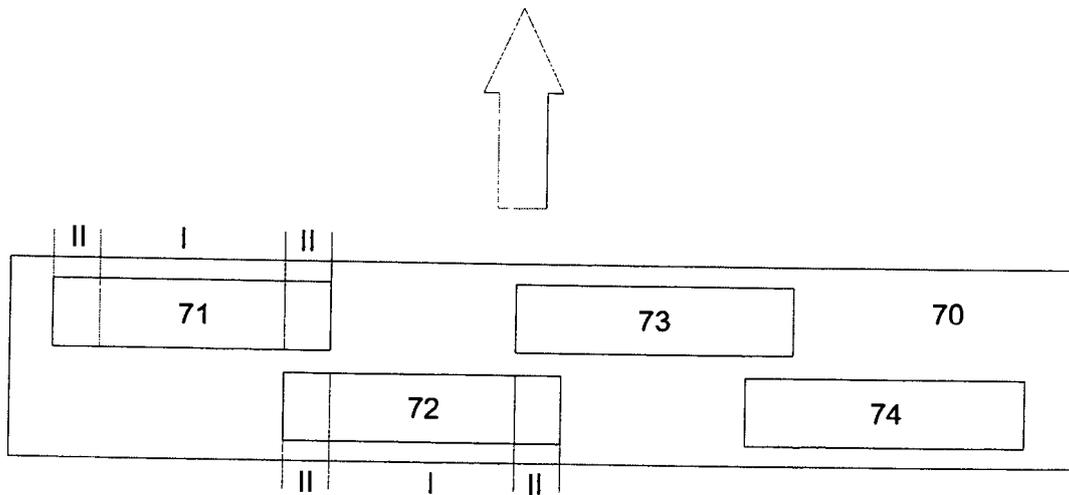


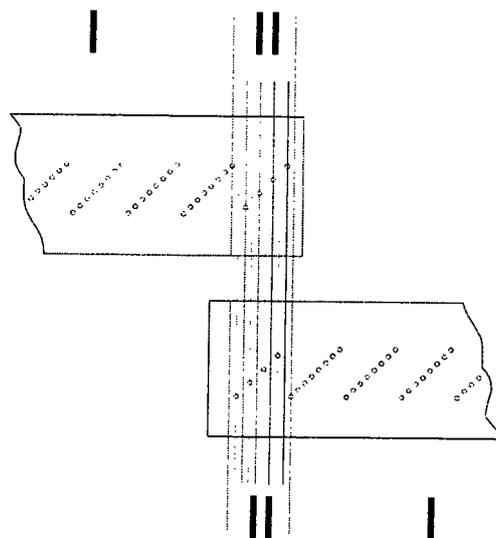
Fig. 13d



Figur 13



Figur 14



Figur 15