(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 383 038 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
30.04.2014 Patentblatt 2014/18

(51) Int Cl.:
B03B 5/24 *(2006.01)* ***B03B 5/20*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **11160071.4**

(22) Anmeldetag: **28.03.2011**

(54) Verfahren zum Betrieb einer Setzmaschine

Method for operating a jigging machine

Procédé de fonctionnement d'une bac à piston

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA

(30) Priorität: **27.04.2010 DE 102010018976**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.11.2011 Patentblatt 2011/44

(73) Patentinhaber: **MBE Coal & Minerals Technology GmbH**
51105 Köln (DE)

(72) Erfinder:
- **Twitting, Michael**
  58313 Herdecke (DE)
- **Patryas, Hans-Peter**
  45659 Recklinghausen (DE)
- **Juranek, Jürgen**
  45326 Essen (DE)

(74) Vertreter: **Castell, Klaus**
Patentanwaltskanzlei
Liermann - Castell
Willi-Bleicher-Strasse 7
52353 Düren (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 2 411 386
DE-B- 1 217 292
US-A- 6 070 738

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 383 038 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Flüssigkeitshubs einer pneumatisch betriebenen Setzmaschine zur Trennung von Mineralgemischen, wobei die Setzmaschine eine Luftkammer und eine Setzkammer mit darüber angeordnetem Setzbett aufweist und wobei der Hub der in der Setzmaschine verwendeten Flüssigkeit abhängig ist von der Lufteinlasszeit in die Luftkammer.

[0002] Zum Trennen von gebrochenen, mineralischen Stoffgemischen im industriellen Maßstab, beispielsweise Kohle von Berge oder Eisenerz von Verunreinigungen, werden in der Regel Setzmaschinen eingesetzt, welche mit Hilfe eines regelmäßig variierenden Flüssigkeitsstands in einem Setzbett die einzelnen Stoffe voneinander trennt. Hierzu wird das Stoffgemisch in ein Becken geleitet, in welchem der Wasserstand etwa mit einer Frequenz von 1 Hz variiert und dabei einen Hub von mehreren Zentimetern bis max. ca. 50 cm durchläuft. Bei der schnellen Variation des Wasserstands werden solche Teilchen bei steigendem Wasserspiegel leichter mit dem Wasser nach oben gespült, die eine geringere Dichte als die durchschnittliche Dichte des Materiales haben und beim Absenken des Wasserspiegels folgen solche Teilchen schneller dem fallenden Wasserspiegel, die eine höhere Dichte haben. Solange sich das zu trennende Stoffgemisch im Setzbett in Bewegung befindet, liegt das Stoffgemisch in physikalisch getrennter Form vor. Durch den Abfluss des Trennwassers in verschiedene Becken mit Hilfe von Trennblechen, die etwa in der Höhe der Grenze zwischen den verschiedenen Stofffraktionen angeordnet sind, lässt sich eine Aufteilung des Stoffgemisches nach Dichte erreichen.

[0003] Derartige Setzmaschinen werden in der Regel für ein bestimmtes Stoffgemisch als Trenngut eingestellt, welches sich in seiner Zusammensetzung und in seiner Kornverteilung über einen vorherbestimmbaren Zeitraum nicht wesentlich ändert. Ist die Setzmaschine einmal parametriert, läuft ein Trennvorgang bei gleichmäßiger Beschickung mit dem Trenngut in der Regel störungsfrei. Ändert sich die Zusammensetzung oder die Kornverteilung oder variiert die Kornverteilung des Trennguts, so ist es gegebenenfalls notwendig, die Setzmaschine erneut zu parametrieren, um ein durchgehend optimales Trennergebnis zu erzielen.

[0004] Um den Hub und die Frequenz des Wassers in der Setzkammer einzustellen, ist es bekannt, mit Hilfe von elektronischen Ventilen die Lufteinlasszeiten und die Luftauslasszeiten zu steuern. Beim Einstellen der Ventilzeiten stehen in der Regel eine Frequenzvariation und eine Variation des Puls-Pause-Verhältnis zur Verfügung, wobei das Puls-Pause-Verhältnis das Verhältnis der Lufteinlasszeit zur Luftauslasszeit bestimmt. Ein Bediener der Setzmaschine variiert diese Parameter, bis die Setzmaschine optimal arbeitet. Die Kontrolle der Arbeitsweise der Setzmaschine wird dabei durch Sichten des sich in Bewegung befindlichen Setzbettes vorgenommen.

[0005] Um bei einer einmal gewählten Einstellung zu verhindern, dass bei plötzlichen Änderungen der Stoffzusammensetzung des zu trennenden Stoffgemisches eine Störung auftritt, werden neben der reinen Zeitsteuerung auch Regelvorrichtungen eingesetzt, die über Messsysteme den Flüssigkeitsstand in der Setzkammer überwachen und bei einem Maximalpegel und einem Minimalpegel eine Umkehr oder ein Fortschreiten des Belüftungszyklus der Luftkammer bewirken.

[0006] Nach der Auslegeschrift DE 1217292 B hat man zunächst auf Schwimmer in der Setzkammer zurückgegriffen, um den aktuellen Wasserstand in der Setzkammer zu beobachten. Da sich der Flüssigkeitsstand aber mit einer Frequenz von ca. 1 Hz bewegt, ist die Flüssigkeitsmessung mit einem Schwimmer nicht dauerhaft geeignet, den aktuellen Wasserstand innerhalb eines Trennzyklus mit genügender Präzision zu detektieren.

[0007] Daher ist man gemäß Patentschrift DE 24 11 386 C3 dazu übergegangen, den Wasserstand in der Setzkammer mit Hilfe von kapazitiven Elementen zu messen, die sich über die gesamte Höhe der Setzkammer oder der Luftkammer erstrecken. Zwar hat der Einsatz der kapazitiven Elemente eine Verbesserung bei der Messung des Wasserstandes in der Setzkammer bewirkt. Dennoch wäre es wünschenswert, die Funktion einer Setzmaschine noch präziser überwachen zu können, um die optimalen Arbeitsparameter während des Betriebes der Setzmaschine automatisch nachregeln zu können.

[0008] Eine erste Lösung war, den Wasserstand nicht in der Setzkammer zu messen, sondern in der Luftkammer unterhalb der Setzkammer. Weil der Wasserstand in der Luftkammer, die ein kleineres Volumen aufweist als die Setzkammer, aufgrund des hydraulischen Prinzips mit größerem Hub als der Wasserstand in der Setzkammer variiert und dort frei ist von die Messung störendem Trenngut, war der Wasserstand in der Setzkammer noch besser bestimmbar.

[0009] Aber auch diese Methode zur Überwachung der Funktion einer Setzmaschine hat noch nicht zu einer wünschenswerten Funktionsüberwachung geführt.

[0010] Die Messung des Wasserstands ist von einer Vielzahl von Artefakten bei der Messung überlagert. Eine erste Quelle sind Schwingungen des Wasserstands in der Luftkammer und der Setzkammer, die aufgrund von Resonanzschwingungen des Wasserstands auftreten und eine höhere Frequenz aufweisen als der erzwungene Hub des Wassers im Setzbett. Neben diesen regelmäßigen Schwingungen, die bei optimaler Einstellung der Setzmaschine nicht angeregt werden, existieren auch nicht regelmäßige Schwingungen des Wasserstands im Setzbett, die sich auf die Höhe des Wasserstands in der Luftkammer übertragen. Diese unregelmäßigen Schwingungen werden erzeugt durch eine unerwünschte Wellenausbildung im Setzbett beim Beschicken mit Trenngut.

[0011] Weitere Artefakte können durch ein Mitschwin-

gen von Blechen als Kammerwand der Setzmaschine entstehen, wenn durch die Variation des Wasserstands der Wasserdruck auf ein Blechelement ebenfalls variiert.

[0012] Noch weitere Artefakte können auch durch die Art des Lufteinlasses und des Luftauslasses angeregt werden oder auch durch mitschwingende Pressluftbehälter oder Maschinenteile, wie Tellerventile, die eine für eine Schwingungsanregung nicht mehr vernachlässigbare Masse aufweisen oder durch Kompressoren in der Nähe der Setzmaschine. Auch wenn die tatsächliche Kräfte von äußeren Schwingungen, die auf die Setzmaschine wirken, sehr klein sind im Vergleich zu der bewegten Wassermasse und des bewegten Trennguts, so reichen diese Kräfte, unerwünschte Schwingungen zu erregen, die einem erwünschten gleichmäßigen Ansteigen und wieder Abfallen des Wassers im Setzbett entgegenwirken.

[0013] Die ideale Bewegung des Wassers im Setzbett verhält sich wie eine sich hebende und wieder herabsenkende Ebene, unterhalb derer die Trennung des Trennguts stattfindet. Im Stand der Technik wird dieser Idealzustand mit einer optimalen Einstellung der Setzmaschine durch geschultes Fachpersonal erreicht, wobei sich die Beschickungsleistung und die Zusammensetzung wie auch die Korngrößenverteilung des Trenngut im Idealfall nicht ändert oder zumindest in einem kleinen Toleranzfenster bewegt. Sofern aber die Beschickungsleistung, die Zusammensetzung des Trennguts oder die Korngrößenverteilung des Trennguts im Betrieb variiert, sinkt die Trennleistung der Setzmaschine aufgrund einer nicht idealen Parametrierung.

[0014] Aus der Patentschrift US 6070738 A ist es bekannt die absoluten Drücke in der Luft- bzw. Setzkammer zu messen, um diese für eine Steuerung der Setzmaschine zu verwenden.

[0015] Aufgabe ist es daher, ein Verfahren zur Steuerung des Flüssigkeitshubs einer pneumatisch betriebenen Setzmaschine zur Trennung von Mineralgemischen zur Verfügung zu stellen, welches die Nachteile aus dem Stand der Technik überwindet.

[0016] Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird gelöst durch die Verfahrensschritte gemäß Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den Unteransprüchen angegeben.

[0017] Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, zur Steuerung des Flüssigkeitshubs auf eine Messung des Differenzdrucks zwischen dem Druck in der Luftkammer und dem Druck in der Flüssigkeitssäule in der Setzkammer zurückzugreifen.

[0018] Die Verfolgung des Differenzdruckes während eines Setzzyklus erlaubt eine Fehlfunktion oder eine Fehlparametrierung der Setzmaschine in Bezug auf das zu trennende Stoffgemisch automatisch zu erkennen. Die durch die Messung des Differenzdrucks detektierten Signale erlauben des Weiteren Artefakte bei der Realzeitmessung zu diskriminieren, so dass eine exakte Steuerung der Maschine auch unterzyklisch möglich ist. Eine Steuerung mit derart hoher Präzision war mit den bisher eingesetzten Messgrößen nicht möglich. Durch die hohe Präzision wird die Trennleistung einer Setzmaschine erheblich verbessert.

[0019] Statt der Bestimmung des Wasserstands wird gemäß der Erfindung nicht der Wasserstand selbst gemessen, sondern der Differenzdruck zwischen der Luftkammer und der Setzkammer. Sofern sich die Luftkammer und die Setzkammer im hydrostatischen Gleichgewicht befinden, ist der Differenzdruck gleich Null. Die Setzmaschine bewegt aber ein erhebliches Wasservolumen zwischen beiden Kammern, so dass ein Gleichgewichtszustand nur kurzzeitig innerhalb eines Zyklus vorliegt. Die Differenzmessung erlaubt vielmehr das Ungleichgewicht zwischen beiden Kammern zu verfolgen, welches im Wesentlichen dominiert ist von der Resonanzfrequenz des schwingenden Wasservolumens, der Erregerfrequenz, nämlich dem variierenden Luftdruck in der Luftkammer, und der Dämpfung durch Reibung des Wassers in den Kammern und durch die Energiedissipation beim Trennvorgang. Da die bewegte Wassermenge trotz Zulauf und Ablauf, wobei sich die Wassermasse in einem stationären Zustand befindet, konstant ist, die Wasserreibung konstant ist, die Erregerfrequenz durch die Steuerung kontrolliert ist, bleibt als wesentlicher Einflussfaktor die Energiedissipation durch die Trennleistung der Setzmaschine im Setzbett. Sofern hier eine Störung vorliegt, ist dies an dem zeitlichen Verlauf des Differenzdrucks gut erkennbar und eine Steuerungsvorrichtung kann aufgrund von erkannten Störungen mit einer in einem Steuerungsprogramm hinterlegten Steuerungsstrategie der Störung entgegenwirken. Dabei ist von Vorteil, dass die oben beschriebenen Artefakte sich weitgehend gleichartig auf den Druck in der Luftkammer und in der Setzkammer auswirken, so dass die Messung des Differenzdrucks zwischen Luftkammer und Setzkammer eine artefaktarme Beobachtung des tatsächlichen Trennvorgangs im Setzbett zulässt.

[0020] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert.

[0021] Es zeigt

Figur 1 ein Schaltdiagramm einer Setzmaschine, die nach einer ersten Verfahrensvariante arbeitet,

Figur 2 eine Skizze verschiedener Zustände des Setzbettes einer Setzmaschine

[0022] In Figur 1 ist ein Schaltdiagramm einer Setzmaschine 10 dargestellt, die nach einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens arbeitet. Setzmaschine 10 weist eine Setzkammer 15 und eine Luftkammer 20 auf, die durch eine glockenförmige Anordnung aus Blech 25 von der Setzkammer 15 getrennt, zur Unterseite hin offen und mit der Setzkammer 15 verbunden ist. Im Ruhezustand der Setzmaschine 10 sind die Setzkammer 15 und die Luftkammer 20 mit Wasser gefüllt. Im Betriebszustand der Setzmaschine 10 wird die Luftkammer

20 über den Lufteinlass 30 periodisch über eine gesteuerte Druckluftzuleitung 35 mit Druckluft beaufschlagt. Dabei steuert ein erstes angetriebenes Ventil 40 den Lufteinlass aus einem Drucklufttank 45, der stets mit Druckluft gefüllt wird. Im Wechsel mit einem zweiten angetriebenen Ventil 50 wird die Luftkammer 20 innerhalb einer Periode zunächst mit Druckluft beaufschlagt und danach durch das angetriebene Ventil 50 in die freie Atmosphäre entlüftet. Durch die wiederkehrende Beaufschlagung mit Druckluft und Entlüftung füllt sich der obere Raum der Luftkammer 20 und presst dabei das in der Luftkammer 20 stehende Wasser nach unten in die Setzkammer 15. Das Wasservolumen aus der Luftkammer 20 hebt dabei den Flüssigkeitspegel 151 der Setzkammer 15 im Bereich des Setzbetts 152 an. Durch die periodische Beaufschlagung mit Luft schwingt das zuvor beschriebene Wasservolumen zwischen der Setzkammer 15 und der Luftkammer 20 hin- und her. In Folge davon hebt und senkt sich der Flüssigkeitsspiegel 151 im Bereich des Setzbetts synchron mit der Beaufschlagung der Luftkammer 15 mit Druckluft. Im Bereich des Setzbettes 152 wird die Setzkammer 15 oberhalb des Siebs 60 mit einem zu trennendes Stoffgemisch über nicht eingezeichnete Rutschen gefüllt. Durch die periodische Auf- und Abwärtsbewegung des Flüssigkeitspegels 151 wird geringer dichtes Material innerhalb des Wasservolumens zwischen dem Sieb 60 und dem Flüssigkeitspegel 151 nach oben transportiert. Hingegen sinkt dichteres Material innerhalb desselben Volumens in untere Bereiche des dort vorhandenen Wasservolumens in die Nähe des Siebs 60. Über nicht eingezeichnete Abläufe im oberen und unteren Bereich des zuvor genannten Wasservolumens fließt das Wasser im Setzbett 152 ab und nimmt dabei das weniger dichte Material in einen ersten Ablauf mit. Hingegen wird das dichtere Material des zu trennenden Stoffgemisches durch das Wasser in der Setzkammer 152 in einen zweiten, nicht eingezeichneten Ablauf geleitet. Das durch den Ablauf verlorene Wasser wird durch eine Wasserzufuhrleitung im unteren Bereich der Setzkammer 15 stets nachgefüllt. Sofern die nachfließende Menge Wasser zu groß ist, ist die Fließgeschwindigkeit im Setzbett 152 zu groß. Die Trennleistung der Setzmaschine 10 wird geringer. Ist die nachfließende Menge Wasser zu klein, wird das zu trennende Material in dem Setzbett 152 solange festgehalten, bis weiteres Wasser in die Abläufe fließt. Die Trennleistung der Setzmaschine 10 bleibt erhalten, jedoch ist der Durchsatz der Setzmaschine 10 in diesem Fall gegenüber der optimalen Leistung verringert.

[0023] Zur Optimierung der Trennleistung der Setzmaschine 10 ist es wichtig, sowohl die Frequenz wie auch das Puls-Pause-Verhältnis des sich hebenden und wieder senkenden Wasserspiegels in dem Setzbett 152 an das zu trennende Stoffgemisch anzupassen. Bei idealer Einstellung der Setzmaschine 10 ist schon nach wenigen Zyklen eine Trennung der weniger dichten und dichten Stoffmischungsbestandteile erreicht. Eine nicht angemessene Einstellung der Lufteinlasszeiten und Auslasszeiten von Luft in die Luftkammer 20 hat aber nicht nur Auswirkungen auf die Trennleistung und den Durchsatz der Setzmaschine 10. Bei unsachgemäßer Einstellung der Setzmaschine 10 können weitere Effekte die Trennleistung der Setzmaschine 10 erheblich stören.

[0024] Eine erste Folge einer unsachgemäßen Einstellung ist die Ausbildung einer stehenden Wasserwelle im Setzbett 152. Die Stabilisierung einer stehenden Wasserwelle im Setzbett 152 ist abhängig von der Frequenz des sich hebenden und senkenden Flüssigkeitspegels 151 im Setzbett 152 und von dem Puls-Pause-Verhältnis, das bedeutet, das relative Verhältnis der Zeit innerhalb einer Periode, in welcher der Flüssigkeitspegels 151 am oberen Maximum verweilt und der Zeit innerhalb einer Periode, in welcher der Flüssigkeitspegel 151 am unteren Minimum verweilt. Ein weiterer Faktor, von dem die Ausbildung einer stehenden Welle abhängt, ist die Oberfläche und die Kantenlänge des Setzbetts 152. Passen Frequenz, Puls-Pause-Verhältnis und die Geometrie des Setzbettes zusammen, bildet sich eine unerwünschte stehende Wasserwelle aus, die der erwünschten Trennwirkung entgegenwirkt. Im Betrieb einer unsachgemäßen Parametrierung der Setzmaschine wird die Ausbildung einer stehenden Welle in der Regel gestört durch den Materialzulauf. Dennoch wird durch die Unruhe des Flüssigkeitspegels 151 bei unsachgemäßer Einstellung eine unerwünscht geringe Trennleistung erzielt. Diese Störung kommt im Betrieb einer Setzmaschine bei unsachgemäßer Einstellung vergleichsweise häufig vor.

[0025] Eine weitere Störung der Setzmaschine wird durch mechanische Resonanzen der gesamten Anlage ausgelöst. In der Regel sind die Luftkammer und die Setzkammer, sowie einige andere Aggregate aus Blechen aufgebaut, die eine Resonanzfrequenz im Hertz-Bereich zeigen können. Trifft die Anregungsfrequenz des Flüssigkeitspegels 151 die Resonanzfrequenz dieser Bleche, so wird ein ruhiges Setzbett 152 ebenfalls gestört, wodurch die Trennleistung ebenfalls abnimmt.

[0026] Aber nicht nur eine zu hohe oder eine Resonanzfrequenz treffende Frequenz beim Heben und Senken des Flüssigkeitspegels 151 im Setzbett 152 beeinflussen die erwünschte Trennleistung. Auch wenn die Frequenz zu gering ist oder das Puls-Pause-Verhältnis zu groß oder klein ist, kann das Setzbett 152 "sterben". Dies bedeutet, im Setzbett 152 sackt der Schweber, die weniger dichte Fraktion des zu trennenden Stoffgemisches, ab und kommt auf dem Sinker zu liegen, der höher dichten Fraktion des zu trennenden Stoffgemisches. Ein gestorbenes Setzbett 152 muss erst durch eine angemessene Einstellung der Luftzeiten wiederbelebt werden.

[0027] Schließlich ist eine weitere Folge einer unsachgemäßen Einstellung das Durchschießen der Luft, wenn diese sämtliches Wasser aus der Luftkammer 20 verdrängt hat und über die Setzkammer 15 aus der Luftkammer entweicht. Dadurch wird das Setzbett 152 in Unruhe gebracht und die Trennleistung der Setzmaschine 10 sinkt rapide ab.

[0028] Um die oben beschriebenen Fehlfunktionen zu vermeiden, ist es nach der der Aufgabe der Erfindung vorgesehen, die Parameter der Lufteinlasszeit und Luftauslasszeit automatisch zu ermitteln und die Steuerung des Setzbettes anzupassen. An dieser Stelle setzt die Erfindung an. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass ein Differenzdruck zwischen dem Druck in der Luftkammer 20 und dem Druck in der Flüssigkeitssäule der Setzkammer 15 gemessen wird, um aus dem Differenzdruckverlauf die ordnungsgemäße Funktion der Setzmaschine 10 zu überwachen und die Setzmaschinensteuerung anzupassen, wenn eine Störung detektiert wird. Die Steuerung der Lufteinlasszeit wird in Abhängigkeit von dem gemessenen Differenzdruck vorgenommen.

[0029] In Figur 1 ist gezeigt, dass eine erste Leitung 120 eines Differenzdruckgebers 110 den Druck in der Setzkammer 15 aufnimmt und eine zweite Leitung 100 nimmt den Druck in der Luftkammer 20 auf. Dabei ist vorgesehen, dass nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung der Druck in der Luftkammer 20 im Bereich der Flüssigkeit gemessen wird.

[0030] Dadurch, dass das Volumen der Luftkammer 20 wesentlich kleiner ist, als das Volumen der Setzkammer 15, sind die beiden Kammern 15 und 20 nach dem hydraulischen Prinzip miteinander verbunden. Ein Absenken des Flüssigkeitspegels 201 in der Luftkammer 20 hat einen Anstieg des Flüssigkeitspegels 151 im Setzbett 152 um einen Bruchteil der Hubhöhe der Absenkung des Flüssigkeitspegels 201 in der Luftkammer 20 zur Folge. Die Variation des Flüssigkeitspegels 201 gemäß des eingezeichneten Doppelpfeils als Hub 205 ist also weit größer als der Hub 155 gemäß des eingezeichneten Doppelpfeils. Trotz der unterschiedlichen Flüssigkeitspegel ist der Druck an beiden Messorten im Gleichgewichtszustand der Setzmaschine 10 identisch, weil der Druck in der Luftkammer 20 zusammengesetzt ist aus dem Druck der darin stehenden Flüssigkeitssäule und dem Druck in dem oberen Luftraum der Luftkammer 20.

[0031] Das Wasser im unteren Teil der Luftkammer 20 schwingt gemäß der eingezeichneten Rundpfeile entlang der Schwingungswege 208 und 210 zwischen der Luftkammer 20 und der Setzkammer 15 hin und her. Die Resonanzfrequenz der bewegten Wassermasse in der Setzkammer 15 und der Luftkammer 20 liegt in der Größenordnung der Anregungsfrequenz der Beaufschlagung der Luftkammer 20 mit Druckluft. Aus der wohlbekannten Theorie einer erzwungenen Schwingung geht hervor, dass die Resonanzfrequenz mit höherer schwingender Masse bei gleichbleibender Rückstellkraft, hier die Schwerkraft, sinkt und mit geringerer schwingender Masse steigt. Des Weiteren wird die Resonanzfrequenz der schwingenden Wassermasse mit steigender Dämpfung, hier die die Dissipation der kinetischen Energie der schwingenden Wassermasse durch den Trennvorgang, verringert. Da sich die im System befindliche Wassermasse in einem stationären Zustand befindet, ist die Resonanzfrequenz der bewegten Wassermasse abhängig von der Dämpfung durch die Trennleistung im Setzbett 152. Aus der Theorie der erzwungenen Schwingung geht auch hervor, dass die Phasenlage des Schwingers mit der Phase des Erregers bei Erregerfrequenzen kleiner als die Resonanzfrequenz nahezu übereinstimmt und bei Näherung an die Resonanzfrequenz eilt die Phase des Erregers der Phase des Schwingers voraus. Da die Setzmaschine 10 so betrieben wird, dass durch die periodische Beaufschlagung der Luftkammer 20 mit Druckluft der Flüssigkeitspegel 151 unterhalb, aber in der Nähe der Resonanzfrequenz variiert wird, ändert sich die Phasenlage der bewegten Wassermasse in Bezug zur Beaufschlagung mit Druckluft bei Änderung der Dämpfung.

[0032] In der sich zwischen Luftkammer 20 und Setzkammer 15 bewegenden Wassermasse entsteht genau dann ein Differenzdruck, wenn die Summe aus Luftdruck in der Luftkammer 20 und der Wassersäule in der Luftkammer 20 nicht mit dem Druck der Wassersäule in der Setzkammer übereinstimmt. Dies passiert exakt dann, wenn die schwingende Wassermasse nicht in Phase liegt mit dem Luftdruck im Luftraum der Luftkammer 20. Im Betrieb ist dies stets der Fall. Da die Phasenlage in der Nähe der Resonanzfrequenz stark mit der Dämpfung variiert, ist durch die Messung der Druckdifferenz zwischen Luftkammer und Setzkammer eine Verstimmung der Setzmaschine gut detektierbar, wenn eine Änderung im Setzbett 152 Änderungen der Dämpfung hervorruft. Ist eine Verstimmung der Setzmaschine 10 durch eine Störung im Setzbett 152 detektiert, so kann durch in einer Steuerungseinheit hinterlegte Steuerungsstrategie der Störung entgegen gewirkt werden.

[0033] Der zeitabhängige Differenzdruck zwischen Luftkammer 20 und Setzkammer 15 und damit zusammenhängende Größen sind in dem rechts in Figur 1 dargestellten Signaldiagramm dargestellt. Signaldiagramm a) zeigt den Öffnungszustand des Lufteinlassventils 40 über die Zeit. Korrespondierend mit der Öffnung des Lufteinlassventils 40 steigt, wie in Signaldiagramm b) gezeigt ist, der Druck im Luftraum der Luftkammer 20 an, wobei die Druckzunahme mit fortschreitender Zeit exponentiell abnimmt, bedingt durch den immer geringer werdenden Druckunterschied zwischen Drucklufttank 45 und Luftraum in der Luftkammer 20. Durch den ansteigenden Druck im Luftraum der Luftkammer 20 wird Wasser aus der Luftkammer 20 in die Setzkammer 15 verdrängt, wie dies als Druck der Wassersäule in der Setzkammer 15 in Signaldiagramm c) dargestellt ist.

[0034] Da die Wassermasse in der Setzkammer 15 und der Luftkammer 20 dem im Luftraum der Luftkammer 20 ansteigenden Druck bedingt durch die Massenträgheit nicht sofort folgt, baut sich zunächst ein positiver Druckunterschied auf, in dem der Druck in der Luftkammer größer ist als in der Setzkammer 15. Dies ist in Signaldiagramm d) dargestellt. Erst beim Erreichen des oberen Totpunktes des Flüssigkeitspegels 151 stellt sich kurzzeitig ein Gleichgewicht ein, wodurch der Differenzdruck null wird. Oberschwingungen bedingen eine nicht ideale Linie in Signaldiagramm d). Nach Ablassen der

Luft aus dem Luftraum in der Luftkammer 20 fällt die Wassermasse zurück in die Luftkammer 20, wobei auch hier die Trägheit der schwingenden Wassermasse dazu führt, dass der Druck in der Luftkammer 20 geringer ist als in der Setzkammer 15. Erst nach Einstellen eines erneuten Gleichgewichts ist der Differenzdruck wieder null und ein neuer Zyklus beginnt.

[0035] In Figur 2 sind verschiedene Zustände eines Setzbettes 152 dargestellt. Dabei repräsentieren stärker geschwärzte Punkte Trenngutkörner mit höherer Dichte und weniger geschwärzte Punkte Trenngutkörner mit geringerer Dichte. Das zuoberst dargestellte Trennbett 1521 stellt ein ideal eingestelltes Setzbett 152 während es Betriebes der Setzmaschine 10 dar. Der Flüssigkeitspegel 151 variiert gemäß dem am links eingezeichneten Hub 155. Die weniger dichten Körner und die dichteren Körner des Trennguts sind in verschiedenen Höhenlagen innerhalb des Setzbettes 152 vorhanden und können durch Abflüsse in unterschiedlichen Höhen abgeschöpft werden. Die Energiedissipation durch die Trennung der verschieden dichten Fraktionen ändert sich mit unterschiedlicher Phasentrennung, bis die Dissipation ein Maximum erreicht bei einem sogenannten gestorbenen Bett, dargestellt durch Setzbett 1524. Bei extremeren Störungen, beispielsweise durch eine Veränderung der Körnung oder eine Änderung der zugeführten Trenngutmenge ändert sich auch die durch das Setzbett bewegte Masse. Die Phasenlage ändert sich, in Folge davon ändert sich auch der innerhalb einer Phase gemessene Differenzdruck.

[0036] Bei der Hinterlegung einer Steuerungsstrategie kommt es nicht vorrangig auf das exakte Verständnis der Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Setzbettzustand und Phasenlage an. Vielmehr ist die Messung des Differenzdrucks ein Indikator für eine Störung des Setzbetts 152. Ist eine einmal eingestellte Arbeitsweise der Setzmaschine 10 bekannt, so kann der zu erwartende Druckdifferenzverlauf durch ein prädiktives Modell abgespeichert werden und innerhalb der Steuerung 300 für die Beaufschlagung mit Luft wird die Soll-Ist-Abweichung während des Betriebs der Setzmaschine 10 verfolgt. Eine Abweichung des Differenzdrucks vom prädiktiven Modell ist in der in der automatischen Steuerung 300 Anlass zur Änderung der Lufteinlasszeiten.

[0037] Es hat sich herausgestellt, dass einer Störung im Setzbett 152 wie folgt entgegengewirkt werden kann. Wenn der aktuelle gemessene Differenzdruck den durch das prädiktive Modell zum Messzeitpunkt berechneten Druck unterschreitet, so wird die Lufteinlasszeit verlängert. Im Gegensatz dazu wird die Lufteinlasszeit dann verkürzt, wenn der aktuelle gemessene Differenzdruck den durch das prädiktive Modell zum Messzeitpunkt berechneten Druck überschreitet.

[0038] Um Artefakte bei der Differenzdruckmessung durch Oberschwingungen zu unterdrücken, ist vorgesehen, dass der gemessene Differenzdruck zeitlich gedämpft wird, wobei Vorzugsweise die Dämpfungsintensität synchron mit der Hubfrequenz des Flüssigkeitspegels in der Setzmaschine variiert wird. Durch die Variation der Dämpfung wird ein Effekt erreicht, der ähnlich wie ein Lock-In-Verstärker wirkt. Dadurch werden höherfrequente Anteile im Vergleich mit der Erregerfrequenz aus dem gemessenen Signal bevorzugt unterdrückt, hingegen wird das Signal mit der Frequenz der Erregerfrequenz bevorzugt und gegenüber den störenden Artefakten verstärkt.

[0039] Wenn Messdaten des absoluten Drucks ebenso vorhanden sind, dann ist es vorteilhaft, wenn die Lufteinlasszeit frühestens dann beginnt, wenn die Differenz aus dem absoluten Druck in der Luftkammer am Ende eines vorhergehenden Zyklus und dem aktuellen Druck in der Luftkammer Null beträgt. Auf diese Weise wird verhindert, dass sich Luft in der Luftkammer über mehrere Zyklen ansammelt, weil die Luftkammer 20 nicht um die Luftmenge entlüftet wird, die beim Einlassen der Luft eingeströmt ist. Durch ein Ansammeln der Luft in der Luftkammer 20 entsteht ein Durchschuss, wenn Luft aus der Luftkammer 20 in die Setzkammer 15 entweicht und damit das Setzbett 152 stört.

[0040] Wenn Messdaten des absoluten Drucks ebenso vorhanden sind, dann ist es auch vorteilhaft, wenn die Lufteinlasszeit spätestens dann beendet wird, wenn die Differenz aus dem absoluten Druck in der Luftkammer 20 am Ende eines vorhergehenden Zyklus und dem aktuellen Druck in der Luftkammer einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet. Hierdurch wird verhindert, dass die Luftkammer 20 überfüllt wird, wodurch ebenfalls ein Durchschuss entsteht.

[0041] Der Differenzdruck weist während des Betriebes der Setzmaschine 10 neben den Hauptkomponenten auch höherfrequente Druckanteile auf. Werden diese höherfrequenten Anteile detektiert und überschreiten einen vorbestimmten Anteil im Gesamtsignal, dann könnte dies ein Hinweis auf die Ausbildung einer unerwünschten Resonanz sein. Zur Regelstrategie hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Frequenz des Lufteinlasses dann verringert wird, wenn ein Frequenzanteil im zeitlichen Verlauf des Differenzdrucks detektiert wird, dessen Anteil einen vorbestimmten Wert überschreitet und dessen Frequenz höher ist als die Frequenz des Lufteinlasses.

[0042] Ein besonderer Fall tritt ein, wenn nach Beendigung des Luftauslasses der Differenzdruck erneut ansteigt. Dieser erneute Anstieg kann ein Hinweis darauf sein, dass sich im Setzbett 152 die sich in Bewegung befindlichen Fraktionen auf dem Sieb 60 sammeln. Das Setzbett 152 beginnt, zu sterben. Dadurch wird die Wassersäule im Setzbett 152 leichter, weil das Gewicht des Trennguts nun durch das Sieb 60 gehalten wird und nicht mehr durch die Wassersäule aufgenommen wird und daher entsteht ein Differenzdruck. In diesem Fall wird die Frequenz des Lufteinlasses dann erhöht, wenn nach Beendigung des Luftauslasses der Differenzdruck einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

[0043] Zur Messung des Differenzdruckes zwischen Setzkammer 15 und Luftkammer 20 kann der Druck in

der Luftkammer 20 im Wasserraum oder im Luftraum gemessen werden. Die Messung des Drucks in der Luftkammer 20 im Luftraum hat den Vorteil, dass die Phasenänderung besser detektiert werden kann, wodurch die Auflösung der Messmethodik besser wird und gute Steuerungsergebnisse erzielt werden. Die Messung des Drucks in der Luftkammer 20 im Wasserraum hat hingegen den Vorteil, dass sich Artefakte bei der Messung, ausgelöst durch stehende Wellen im Setzbett 152 zumindest zum Teil kompensieren. Dadurch wird die Signalqualität des gemessenen Differenzdrucks besser.

[0044] Das hier vorgestellte Verfahren zur Steuerung einer Setzmaschine eignet sich zur Trennung von Kohle und Berge oder zur Trennung von Eisenerz und Silikatverunreinigungen.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0045]

10 Setzmaschine

100 Leitung

110 Differenzdruckgebers

120 Leitung

15 Setzkammer

151 Flüssigkeitspegel

152 Setzbett

155 Hub

20 Luftkammer

201 Flüssigkeitspegel

205 Hub

208 Schwingungsweg

210 Schwingungsweg

25 Blech

30 Lufteinlass

35 Druckluftzuleitung

40 Ventil

45 Drucklufttank

50 Ventil

60 Sieb

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Flüssigkeitshubs (151) einer pneumatisch betriebenen Setzmaschine (10) zur Trennung von Mineralgemischen, wobei die Setzmaschine (10) eine Luftkammer (20) und eine Setzkammer (15) mit darüber angeordnetem Setzbett (152) aufweist und wobei der Hub (151) der in der Setzmaschine (10) verwendeten Flüssigkeit abhängig ist von der Lufteinlasszeit in die Luftkammer (20),
gekennzeichnet durch folgende Schritte:

   - Messen des Differenzdruckes zwischen dem Druck in der Luftkammer (20) und dem Druck in der Flüssigkeitssäule in der Setzkammer (15),
   - Steuern der Lufteinlasszeit in Abhängigkeit von dem gemessenen Differenzdruck.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Druck in der Luftkammer (20) im Bereich der Flüssigkeit oder im Bereich des Lufteinlasses (30) gemessen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3
dadurch gekennzeichnet, dass
die Zeitpunkte für die Lufteinlasszeit bestimmt werden durch ein prädiktives Modell des Differenzdruckverlaufs, wobei eine Abweichung vom prädiktiven Modell Anlass zur Änderung der Lufteinlasszeiten ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Lufteinlasszeit dann verlängert wird, wenn der aktuelle gemessene Differenzdruck den durch das prädiktive Modell zum Messzeitpunkt berechneten Druck unterschreitet und dass die Lufteinlasszeit dann verkürzt wird, wenn der aktuelle gemessene Differenzdruck den durch das prädiktive Modell zum Messzeitpunkt berechneten Druck überschreitet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der gemessene Differenzdruck zeitlich gedämpft wird, wobei Vorzugsweise die Dämpfungsintensität synchron mit der Hubfrequenz des Flüssigkeitspegels (151) in der Setzmaschine (10) variiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Lufteinlasszeit frühestens dann begonnen wird, wenn die Differenz aus dem absoluten Druck in der Luftkammer (20) am Ende eines vorhergehenden

Zyklus und dem aktuellen Druck in der Luftkammer (20) Null beträgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lufteinlasszeit spätestens dann beendet wird, wenn die Differenz aus dem absoluten Druck in der Luftkammer (20) am Ende eines vorhergehenden Zyklus und dem aktuellen Druck in der Luftkammer (29) einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenz des Lufteinlasses dann verringert wird, wenn ein Frequenzanteil im zeitlichen Verlauf des Differenzdrucks detektiert wird, dessen Anteil einen vorbestimmten Wert überschreitet und dessen Frequenz höher ist als die Frequenz des Lufteinlasses.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenz des Lufteinlasses dann erhöht wird, wenn nach Beendigung des Luftauslasses der Differenzdruck einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

10. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auf die Trennung von Kohle und Berge oder auf die Trennung von Eisenerz und Silikatverunreinigungen.

Claims

1. A method for controlling the liquid stroke (151) of a pneumatically driven jigging machine (10) for separating mineral mixtures, wherein the jigging machine (10) comprises an air chamber (20) and a jigging chamber (15) with a jig bed (152) disposed over the latter and wherein the stroke (151) of the liquid used in the jigging machine (10) is dependent on the air admission time into the air chamber (20), ***characterized*** **by** the following steps:

- measuring of the differential pressure between the pressure in the air chamber (20) and the pressure in the liquid column in the jigging chamber (15),
- controlling the air admission time as a function of the measured differential pressure.

2. The method according to claim 1, ***characterized in that*** the pressure in the air chamber (20) is measured in the region of the liquid or in the region of the air admission (30).

3. The method according to any one of claims 1 to 3, ***characterized in that*** the time points for the air admission time are determined by a predictive model of the differential pressure curve, wherein a divergence from the predictive model gives rise to the change in the air admission times.

4. The method according to claim 3, ***characterized in that*** the air admission time is lengthened when the current measured differential pressure falls below the pressure calculated by the predictive model at the time of measurement and that the air admission time is shortened when the current measured differential pressure exceeds the pressure calculated by the predictive model at the time of measurement.

5. The method according to any one of claims 1 to 4, ***characterized in that*** the measured differential pressure is temporally attenuated, wherein the intensity of the attenuation is preferably varied in synchrony with the stroke frequency of the liquid level (151) in the jigging machine (10).

6. The method according to any one of claims 1 to 5, ***characterized in that*** the air admission time is started at the earliest when the difference between the absolute pressure in the air chamber (20) at the end of a preceding cycle and the current pressure in the air chamber (20) amounts to zero.

7. The method according to any one of claims 1 to 6, ***characterized in that*** the air admission time is ended at the latest when the difference between the absolute pressure in the air chamber (20) at the end of a preceding cycle and the current pressure in the air chamber (29) falls below a predetermined limiting value.

8. The method according to any one of claims 1 to 7, ***characterized in that*** the frequency of the air admission is reduced when a frequency component in the temporal course of the differential pressure is detected, whereof the component exceeds a predetermined value and whereof the frequency is higher than the frequency of the air admission.

9. The method according to any one of claims 1 to 8, ***characterized in that*** the frequency of the air admission is increased when, after the end of the air exit, the differential pressure exceeds a predetermined limiting value.

10. Use of the method according to any one of claims 1

to 9 for the separation of coal and mining waste or for the separation of iron ore and silicate impurities.

Revendications

1. Procédé de commande du levage de liquide (151) d'un bac à piston (10) actionné pneumatiquement pour séparer des mélanges de minéraux, dans lequel le bas à piston (10) présente une chambre d'air (20) et une chambre à crible (15) avec un lit de crible (152) déposé par-dessus et dans lequel la levage (151) du liquide employé dans le bac à piston (10) dépend du temps d'entrée d'air dans la chambre d'air (20),
***caractérisé* par** les étapes suivantes consistant à :

   - mesurer la différence de pression entre la pression dans la chambre d'air (20) et la pression dans la colonne de liquide dans le bac à piston (15),
   - commander le temps d'entrée d'air en fonction de la différence de pression mesurée.

2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
la pression dans la chambre d'air (20) au mesurée au niveau du liquide ou au niveau de l'entrée d'air (30).

3. Procédé selon une des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que
les points temporels du temps d'entrée d'air sont déterminés par un modèle prédictif de la courbe de différence de pression, dans lequel un écart par rapport au modèle prédictif est un motif de modification des temps d'entrée d'air.

4. Procédé selon la revendication 3,
caractérisé en ce que
le temps d'entrée d'air est prolongé quand la différence de pression actuelle mesurée reste en dessous de la pression calculée au point temporel de mesure par le modèle prédictif et **en ce que**
le temps d'entrée d'air est raccourci quand la différence de pression actuelle mesurée dépasse la pression calculée au point temporel de mesure par le modèle prédictif.

5. Procédé selon une des revendications 1 à 4,
caractérisé en ce que
la différence de pression mesurée est amortie temporellement, dans lequel de préférence l'intensité d'amortissement est variée dans le bac à piston (10) de manière synchrone à la fréquence de levage du niveau de liquide (151).

6. Procédé selon une des revendications 1 à 5,
caractérisé en ce que
le temps d'entrée d'air commence au plus tôt, quand la différence entre la pression absolue dans la chambre d'air (20) à la fin d'un cycle prescrit et la pression actuelle dans la chambre d'air (20) s'élève à zéro.

7. Procédé selon une des revendications 1 à 6,
caractérisé en ce que
le temps d'entrée d'air se termine au plus tard, quand la différence entre la pression absolue dans la chambre d'air (20) à la fin d'un cycle prescrit et la pression actuelle dans la chambre d'air (29) dépasse une valeur limite prescrite.

8. Procédé selon une des revendications 1 à 7,
caractérisé en ce que
la fréquence de l'entrée d'air est diminuée, quand une fraction de fréquence dans le cours temporel de la différence de pression est détectée, dont la fraction dépasse une valeur prédéterminée et donc la fréquence est lus haute qua la fréquence de l'entrée d'air.

9. Procédé selon une des revendications 1 à 8,
caractérisé en ce que
la fréquence de l'entrée d'air est augmentée, quand après la fin de l'échappement d'air la différence de pression dépasse une valeur limite prédéterminée.

10. Utilisation du procédé selon une des revendications 1 à 9 pour la séparation des charbons et minerais et pour la séparation du minerai de fer et des impuretés du silicate.

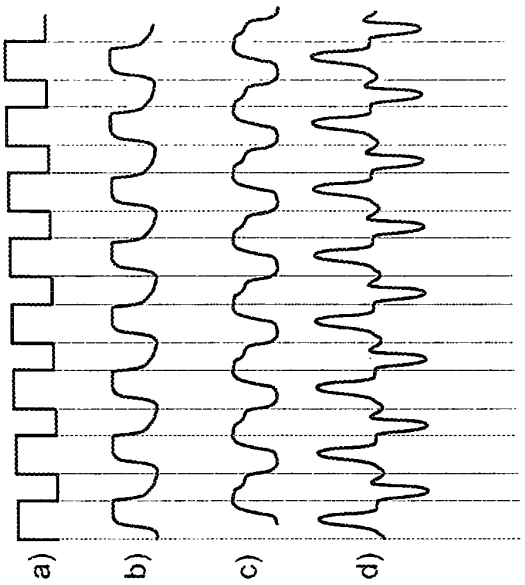
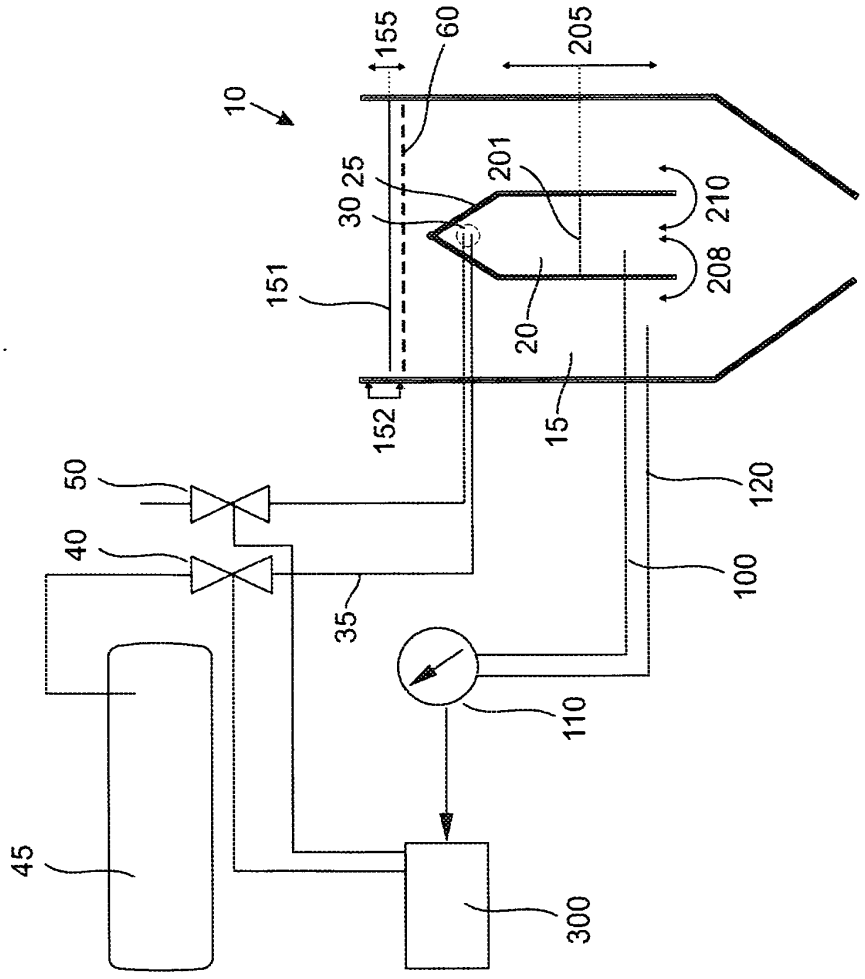

a)
b)
c)
d)

Fig. 1


10
155
60
205
30
25
201
210
208
151
20
152
15
120
50
40
100
35
110
45
300

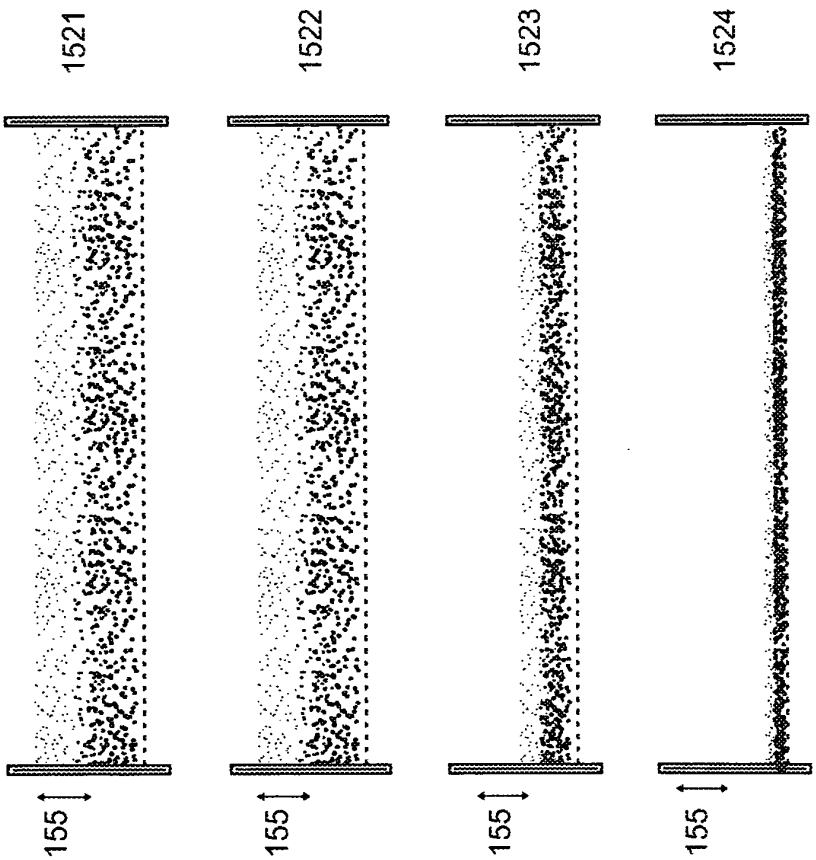


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 1217292 B **[0006]**
- DE 2411386 C3 **[0007]**
- US 6070738 A **[0014]**