

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 375 077 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

02.01.2004 Patentblatt 2004/01

(51) Int Cl.7: **B25D 17/06, B25D 9/00**

(21) Anmeldenummer: **03405286.0**

(22) Anmeldetag: **23.04.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK

(30) Priorität: **03.05.2002 DE 10219950**

(71) Anmelder: **HILTI Aktiengesellschaft
9494 Schaan (LI)**

(72) Erfinder:

- **Schad, Hanspeter
9472 Grabs (CH)**

- **Böni, Hans**

9470 Buchs/SG (CH)

- **Hoop, Alexander**

9494 Schaan (CH)

- **Binder, Albert**

9470 Buchs (CH)

- **Würsch, Cristoph**

9470 Werdenberg (CH)

(74) Vertreter: **Wildi, Roland et al**

Hilti Aktiengesellschaft,

Feldkircherstrasse 100,

Postfach 333

9494 Schaan (LI)

(54) **Pneumatisches Schlagwerk**

(57) Ein pneumatisches Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten, schlagend beanspruchten Flugkolben (2), wobei diesem radial ein berührungslos angeordneter magnetfeldempfindlicher Sensor (3) zuge-

ordnet ist, dass der Flugkolben (2) zumindest radial ausser ferromagnetisches Material aufweist und dass der Flugkolben (2) mehrere axial beabstandete Bereiche (4) unterschiedlicher magnetischer Permeabilität aufweist.

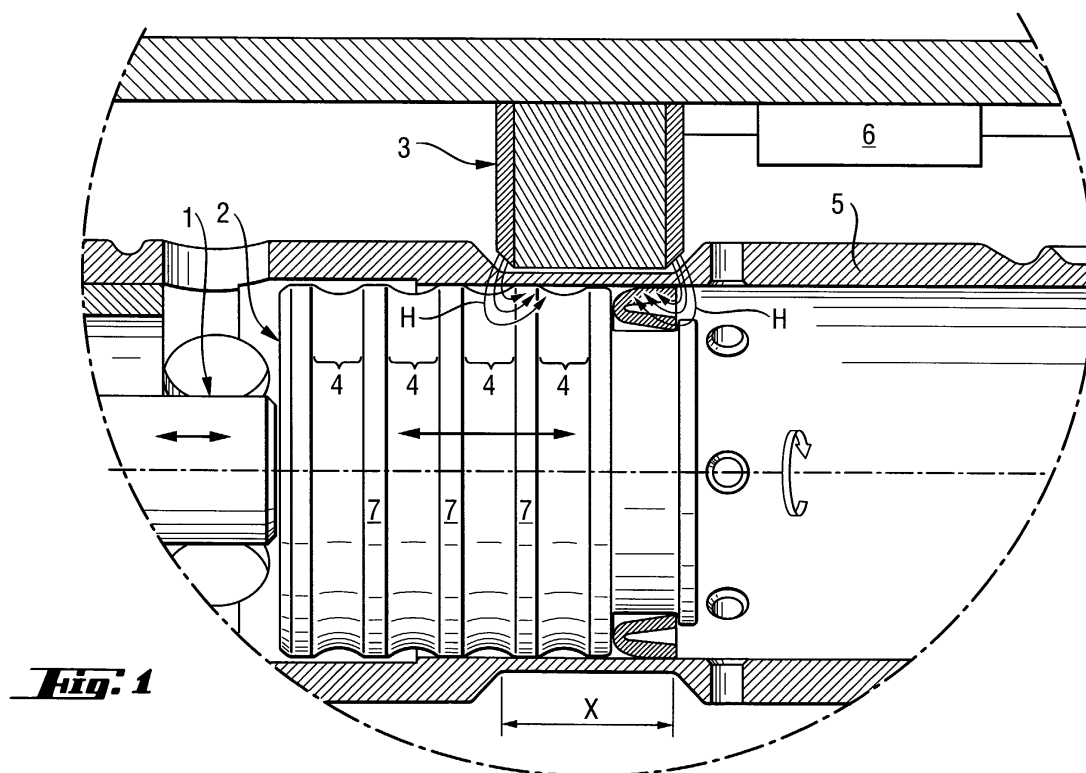


Fig. 1

EP 1 375 077 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezeichnet ein pneumatisches Schlagwerk mit einem Flugkolben, insbesondere für eine zumindest teilweise schlagende Werkzeugmaschine, wie einen Bohrer oder Meisselhammer.

[0002] Bei einer üblichen zumindest teilweise schlagenden Werkzeugmaschine mit einem pneumatischen Schlagwerk, ist in einem teilweise drehbaren Führungsrohr über eine Gasfeder ein, auf einen Döpper und weiter auf das Stirnende eines Werkzeugs, schlagender Flugkolben hin- und her bewegbar. Durch die Erregung der Gasfeder über einen Erregerkolben einerseits und die Wechselwirkung des Werkzeugs mit dem zu bearbeitenden Material andererseits, unterliegt der Flugkolben einer komplexen Schwingungskinetik, deren eingeschwungener Schwingungszustand charakteristisch von den Randbedingungen abhängt. Üblicherweise wird die Schwingungskinetik des Flugkolbens gemeinsam mit den weiteren bewegten Teilen durch Simulationsrechnungen und praktische Versuche optimiert und konstruktiv realisiert.

[0003] Nach der US3464503 erfasst ein piezoelektrischer Sensor die Schläge des Schlagwerks auf das Werkzeug und gestattet in Kombination mit einer Auswertelektronik eine geregelte Adaption des Schlagwerkverhaltens an das zu bearbeitende Material. Eine derartige Schlagimpulsmessung ermöglicht keine umfassende Aussage über den Schwingungszustand des Flugkolbens.

[0004] Zudem wird nach der DE19956313 bei einem Arbeitszylinder die Position eines fluidgeführten Kolbens mit einem Permanentmagneten mit einem ausserhalb des Führungsrohrs angeordneten Sensor magnetisch erfasst. Eine derartige Anordnung eines Permanentmagneten eignet sich bevorzugt für langsame Kolben, welche nicht schlagend beansprucht werden.

[0005] Zudem wird nach der DE3210716 mit einem radial aussen, berührungslos zugeordneten magneto-resistiven Sensors eine hohe Geschwindigkeit eines, mit mehreren axial beabstandeten Ringbereichen unterschiedlicher Permeabilität versehenen, Kolbens magnetisch erfasst, indem die Änderung des magnetischen Flusses radial aussen durch den Kolben erfasst wird.

[0006] Es ist die Aufgabe der Erfindung bei einem pneumatischen Schlagwerk mit einem Flugkolben dessen Bewegung zumindest stückweise messtechnisch zu erfassen. Ein weiterer Aspekt besteht in der Realisierung einer Werkzeugmaschine mit einer auf einer Messung der Bewegung des Flugkolbens beruhenden Steuerung bzw. Regelung.

[0007] Die Aufgabe wird im wesentlichen durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhaft Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0008] Erfindungsgemäss weist ein pneumatisches Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten,

schlagend beanspruchten Flugkolben einen radial zu diesem berührungslos angeordneten magnetfeldempfindlichen Sensor auf, wobei der Flugkolben zumindest radial aussen ferromagnetisches Material aufweist und mehrere axial beabstandete Bereiche unterschiedlicher magnetischer Permeabilität aufweist.

[0009] Durch den berührungslos angeordneten magnetfeldempfindlichen Sensor, welcher optional in sich einen Permanentmagneten zur Erzeugung des magnetischen Flusses aufweist, ist die Bewegung eines axial hin- und herbewegten, schlagend beanspruchten Flugkolbens messbar. Die Bereiche unterschiedlicher magnetischer Permeabilität im Flugkolben erzeugen am Ausgang des magnetfeldempfindlichen Sensors nahezu ein sinusförmiges Signal, dessen Amplitude abhängig vom Abstand des Sensors zum Flugkolben ist.

[0010] Vorteilhaft ist der magnetfeldempfindliche Sensor als, weiter vorteilhaft differentiell geschalteter, solid-state Magnetfeldsensor wie (Hall -Sensor, AMR (anisotropic magneto resistance) -Sensor, GMR (giant magneto resistance) - Sensor, MR (magnetor resistance) - Sensor, MI (magneto impedance) -Sensor oder als induktiver Sensor inklusive Spule und Flussführung ausgeführt, welche jeweils als Standardbauteile verfügbar sind. Differentielle Sensoren sind unempfindlicher auf das radiale Spiel des Flugkolbens. Sie messen nur den Fluss-Unterschied zwischen zwei benachbarten Positionen.

[0011] Die Geometrie dieser Bereiche ist vom Luftspalt und vom Abstand der differentiell geschalteten magnetfeldempfindlichen Sensoren abhängig, wobei vorteilhaft die axiale Strukturgrösse der Bereiche mindestens dem Luftspalt (Abstand Sensorvorderkante zum Flugkolben) entspricht. Etwas grössere Strukturweiten sind vorteilhaft, um die Signalamplituden zu vergrössern. Für die Messung des Geschwindigkeitsverlaufes des Flugkolbens sind möglichst viele axial beabstandete Bereiche auf dem Kolben von Vorteil.

[0012] Wertet man z.B. nur die Nulldurchgänge aus, so erhält man pro Periode der Bereiche zwei Geschwindigkeitsinformationen. Ist bei differentiell geschalteten Sensoren der axiale Abstand T dieser beiden Sensoren gegeben (z.B. $T_{\text{sens}} = 0.8$ oder 2.0 mm), so sollte sich die Periode der Bereiche an diesem Abstand orientieren. Die optimale Periode der Bereiche wäre dann das Doppelte des Abstandes der Sensoren ($T_{\text{Bereich}} = 1.6$ mm bzw. 4 mm). Weiter vorteilhaft ist zudem, die Sensoren phasenversetzt im Abstand $(2n+1)/2 \cdot T_{\text{Bereich}}$ zu platzieren ($n = 0, 1, 2, \dots$).

[0013] Vorteilhaft sind die Bereiche unterschiedlicher magnetischer Permeabilität durch mehrere axial beabstandete, luftgefüllte Radialrillen ausgebildet, welche technologisch einfach herstellbar sind.

[0014] Vorteilhaft sind die Radialrillen $0,1 - 1,5$ mm, optimal $0,8$ mm tief und $0,5 - 5,0$ mm, optimal $3,2$ mm breit und bilden einen verbleibenden von $0,1 - 3,0$ mm, optimal $1,6$ mm breiten axialen Zwischensteg aus, wodurch grosse Permeabilitätsunterschiede bei der Vor-

beibewegung am Sensor auftreten.

[0015] Vorteilhaft ist der Sensor radial ausserhalb eines optional drehbaren Führungsrohres für den Flugkolben berührungslos angeordnet, wodurch eine Messung durch das Führungsrohr hindurch möglich ist.

[0016] Vorteilhaft ist das Führungsrohr im axialen Messstellenbereich aussen radial auf 0,1 - 2,0 mm, optimal 0,2 mm verjüngt, wodurch bei einem hinreichend beulsteifen / biegesteifen Führungsrohr der Abstand des Sensors zum Flugkolben verringerbar ist.

[0017] Vorteilhaft besteht das Führungsrohr aus nichtferromagnetischem Material, wodurch das Führungsrohr einen geringeren Einfluss auf das den Flugkolben radial aussen durchsetzende Messmagnetfeld ausübt.

[0018] Vorteilhaft ist der Sensor mit einer Recheneinheit verbunden, welche aus dem zeitlichen Verlauf des Sensorsignals, welches den vom Sensor erfassten Permeabilitätsschwankungen bei der Vorbeibewegung der Bereiche unterschiedlicher Permeabilität entspricht, eine Position und/oder Geschwindigkeit des Flugkolbens ermittelt, wodurch ein Rückschluss auf den eingeschwingenen Schwingungszustand des Flugkolbens möglich ist. Die Recheneinheit verwendet dazu übliche Methoden der Signalverarbeitung wie:

- Nulldurchgänge, Maxima und Minima
- Curve-Fitting (Stückweise cos-Fit, nonlinear least-queres fit)
- Demodulation
- Fourier-Transformation, Power-Spektrum
- Filterung (Autoregressive Filter zur Spektralschätzung)
- Frequenzschätzmethoden (time-frequency analysis)

[0019] Vorteilhaft weist die Recheneinheit bezüglich der Kinematik des Flugkolbens selektiv aktivierbare Klassifikationsmittel, wie Frequenzfilter auf, wodurch unterschiedliche Schlagzustände detektierbar und zuordenbar sind, bspw. beim Auftreffen eines Werkzeuges auf einen in Beton eingebetteten Baustahl.

[0020] Vorteilhaft weist eine zumindest teilweise schlagende Werkzeugmaschine mit einem pneumatischen Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten, schlagend beanspruchten Flugkolben eine derartige Messanordnung auf, wodurch bei einer Werkzeugmaschine die Kinematik des Flugkolbens zumindest stückweise direkt messbar ist.

[0021] Vorteilhaft steuert die Recheneinheit in Abhängigkeit der, den unterschiedlichen Schlagzuständen des Flugkolbens, aktivierten Klassifikationsmittel entsprechende Steuermittel an, bspw. zur Reduzierung der Mo-

tordrehzahl und/oder der Drehzahl des Werkzeuges und/oder der Unterbrechung oder der Regelung des Schlagantriebs und damit der Schlagleistung.

[0022] Vorteilhaft ist die Recheneinheit mit einem Sollwertspeicher für ein die optimale Kinematik des Flugkolbens sowie optional weiteren Randbedingungen wie Schlagenergie, Stosszahl, Drehzahl usw. für unterschiedliche zu bearbeitende Materialien verbunden, welcher weiter vorteilhaft als mehrdimensionales Array organisiert ist, wodurch die Werkzeugmaschine selbsttätig adaptiv auf eine optimale Kinematik des Flugkolbens und somit auf optimale Abbauleistung einregelbar ist.

[0023] Vorteilhaft ist über die Recheneinheit eine Leerschlagposition des Flugkolbens aus dem Sensorsignal ermittelbar sowie über entsprechende Steuermittel, wie dem Elektromotor das Schlagwerk deaktivierbar, wodurch zusätzliche Fangmittel für den Flugkolben, welche Platz benötigen und dadurch die Werkzeugmaschine verlängern, entfallen können.

[0024] Vorteilhaft ist über die Recheneinheit eine Schlagwerkstemperatur aus dem Sensorsignal ermittelbar sowie über entsprechende Steuermittel wie dem Elektromotor das Schlagwerk deaktivierbar, wodurch die Lebensdauer erhöhbar ist.

[0025] Die Erfindung wird bezüglich eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels näher erläutert mit:

Fig. 1 als pneumatisches Schlagwerk mit einem Flugkolben

Fig. 2 als Sensorsignal

[0026] Nach Fig. 1 weist ein pneumatisches Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten, auf einen Döpper 1 schlagenden Flugkolben 2 einen radial zu diesem berührungslos angeordneten magnetfeldempfindlichen Sensor 3 auf, wobei der Flugkolben 2 vollständig aus ferromagnetischem Material in Form von Stahl besteht und vier axial beabstandete Bereiche 4 unterschiedlicher magnetischer Permeabilität in Form von vier luftgefüllten Radialrillen aufweist. Der Sensor 3 ist als ein intern differentiell geschalteter, solid-state Magnetfeldsensor ausgebildet und erzeugt ein Messmagnetfeld H, dessen Magnetfluss in den radialen Randbereich des Flugkolbens 2 eindringt. Die Radialrillen des Flugkolbens 2 sind 0,8 mm tief und 3,2 mm breit und bilden einen verbleibenden 1,6 mm breiten axialen Zwischensteg 7 aus. Der Sensor 3 ist radial ausserhalb eines drehbaren Führungsrohres 5 aus nichtferromagnetischem Chromstahl in einem aussen radial auf 0,2 mm verjüngten, axialen Messstellenbereich X berührungslos fest angeordnet. Der Sensor 3 ist mit einer Recheneinheit 6 in Form eines Mikrocontrollers verbunden, welche weiter mit der nicht dargestellten Motor-elektronik des ebenfalls nicht dargestellten Elektromotors verbunden ist.

[0027] Nach Fig. 2 ist das Sensorsignal beim Auf-

schlagen des Flugkolbens während des eingeschwungenen Betriebszustandes dargestellt. Ein wesentliches Merkmal dieses Sensorsignals ist der grosse Signalhub am Anfang, dadurch verursacht, dass der Flugkolben selbst in den Bereich des Sensors gelangt. Dieser Signalhub ist immer grösser als die übrigen Oszillationen, da die Flussänderung durch die Masse des Flugkolbens selbst grösser ist als jene, die durch die Rillen generiert wird. Dieser charakteristische Signalhub wird als Triggersignal T für die Datenerfassung benutzt. Im Sensorsignal sind von links nach rechts die Signalabschnitte A - E erkennbar, welche von der Recheneinheit selektiert und entsprechend ausgewertet werden.

A) Der Führungsdurchmesser des Flugkolbens läuft unter dem Sensor durch, wodurch ein erster Ausschlag (nach unten) initiiert wird, der als Triggersignal T dient.

B) Die vier axial beabstandeten Rillen des Flugkolbens laufen unter dem Sensor durch, wodurch (vier gleichmässige) Schwingungsperioden nachweisbar sind.

C) Der Flugkolben schlägt auf den Döpper, wodurch die Schwingungsperioden nachweisbar unterbrochen sind.

D) Der Flugkolben fliegt langsamer wieder zurück, wodurch (vier gleichmässige) Schwingungsperioden geringerer Frequenz nachweisbar sind.

E) Der Führungsdurchmesser des Flugkolbens beginnt wieder, nun rückwärts, unter dem Sensor durchzulaufen (letzter Ausschlag nach oben).

[0028] Damit ergeben sich bspw. für einen Bohrhämmer vorteilhafte Anwendungsmöglichkeiten zur:

1. Untergrunderkennung:

Je nach Untergrund wird der Flugkolben verschieden schnell beim Auftreffen auf den Döpper bzw. das Stirnende des Werkzeugs reflektiert. Anhand der Rückwärtsbewegung des Flugkolbens kann aus dem detektierten Sensorsignal mit Methoden der Signalverarbeitung (bspw. über die Berechnung und Zuordnung der untergrundspezifischen Schlagenergie und Stosszahl), mittels Mustererkennung und Fuzzy-Logik oder mit neuronalen Netzen die Art des bearbeiteten Untergrundes ermittelt werden.

2. Messung der Schlagleistung, Zustand bzw. Funktionstüchtigkeit des Gerätes:

Das Verhältnis der Geschwindigkeit des Flugkolbens vor dem Auftreffen auf den Döpper zur Rückfluggeschwindigkeit ist die Stosszahl. Diese ist das Mass für die Abbauleistung. Beim Bearbei-

ten eines definierten Untergrundes, z.B. Beton, kann über diese Parameter die Qualität bzw. der Zustand des Bohrhammers / Werkzeugs überprüft werden.

3. Messung und Regelung der Schlagenergie:

Anhand der Geschwindigkeit des Flugkolbens vor dem Auftreffen kann die Schlagenergie und die Schlagleistung in üblicher Weise von der Recheneinheit berechnet werden. Diese wird als Mass für eine leistungsabhängige Regelung des Bohrhammers benötigt. Über diese Regelung, bspw. über die Drehzahl des Elektromotors, kann die Schlagenergie von der Recheneinheit stufenlos geregelt werden. Ausserdem kann während des Bohrens über die Untergrunderkennung in Kombination mit der Regelung der Schlagenergie ein intelligenter Bohrhämmer realisiert werden, der z. B. beim Bohren auf eine Fliese automatisch detektiert, dass es sich hier um eine zerbrechliche Keramik handelt und somit in einen 'soft mode' schaltet, bei welchem die Schlagenergie beispielsweise auf 1.0 Joule begrenzt ist. Sobald die Fliese durchbohrt ist und sich der Untergrund ändert, wird dies von der Recheneinheit detektiert, und die Schlagenergie des Bohrhammers auf die maximale Schlagleistung erhöht. Durch dieser Regelung wird ohne zusätzliche Massnahmen des Nutzers eine Bohrung mit glattem Rand ermöglicht.

4. Verhindern des Nachschlagens:

Aus dem Sensorsignal lässt sich die Position des Flugkolbens von der Recheneinheit ermitteln. Falls der Flugkolben nach vorne über die Schlagposition hinausfliegt kann zur Verhinderung des Nachschlagens der Elektromotor von der Recheneinheit sofort abgeschaltet oder ausgekoppelt und insbesondere bei einem SR (switched reluctance) - Motor aktiv gebremst werden.

5. Temperaturmessung des Schlagwerks:

Ein magnetfeldempfindlicher Sensor am Schlagwerk ermöglicht eine Temperaturmessung. Die Schlagwerkstemperatur ist ein Indikator für den Schmier- und den aktuellen Verschleisszustand des Schlagwerks. Die magnetische Permeabilität der meisten ferromagnetischen Materialien nimmt mit zunehmender Temperatur ab. Am Curie-Punkt selbst nimmt sie den Wert $\mu=1$ an. Bei der Messung der Flugkolbengeschwindigkeit ist diese Permeabilitätsverminderung von der Recheneinheit aus dem Sensorsignal detektierbar, da die Signalamplitude mit zunehmender Temperatur abnimmt. In einem Temperaturbereich von $T=-10^{\circ}\text{C}$ bis $T=100^{\circ}\text{C}$ beträgt dies bis zu 30%. Über diesen Rückgang der Signalamplitude kann von der Recheneinheit auf die Temperatur des Schlagwerkes zurückgeschlossen und gegebenenfalls Notmassnahmen, wie das

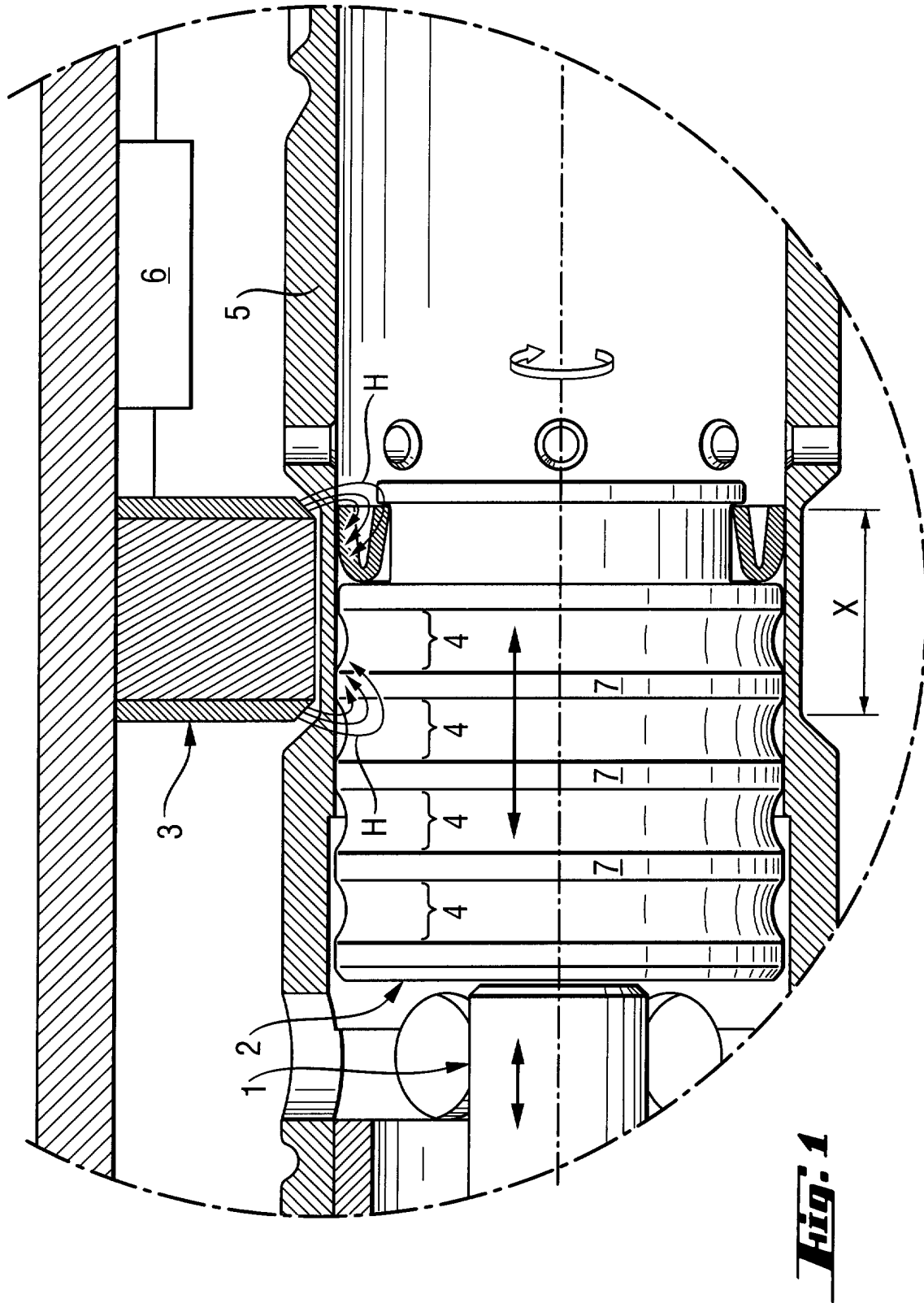
Vermindern der Drehzahl des Elektromotors getroffen werden.

Patentansprüche

1. Pneumatisches Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten, schlagend beanspruchten Flugkolben (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** diesem radial ein berührungslos angeordneter magnetfeldempfindlicher Sensor (3) zugeordnet ist, dass der Flugkolben (2) zumindest radial aussen ferromagnetisches Material aufweist und dass der Flugkolben (2) mehrere axial beabstandete Bereiche (4) unterschiedlicher magnetischer Permeabilität aufweist. 5
2. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (3) als solid-state Magnetfeldsensor oder induktiver Sensor ausgeführt und optional intern differentiell geschaltet ist. 10
3. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine axiale Strukturgrosse der Bereiche (4) mindestens dem effektiven Luftspalt im Messmagnetfeld (H) entspricht. 15
4. Pneumatisches Schlagwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bereiche (4) unterschiedlicher magnetischer Permeabilität durch mehrere axial beabstandete, luftgefüllte Radialrillen ausgebildet sind. 20
5. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Radialrillen 0,1 - 1,5 mm tief und 0,5 - 5,0 mm breit sind sowie einen verbleibenden 0,1 - 3,0 mm breiten axialen Zwischensteg (7) ausbilden. 25
6. Pneumatisches Schlagwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (3) radial ausserhalb eines optional drehbaren Führungsrohres (5) für den Flugkolben (2) berührungslos angeordnet ist. 30
7. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Führungsrohr (5) im axialen Messstellenbereich (X) aussen radial auf 0,1 - 2,0 mm verjüngt ist. 35
8. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Führungsrohr (5) mindestens im axialen Messstellenbereich (X) aus nichtferromagnetischem Material besteht. 40
9. Pneumatisches Schlagwerk nach einem der vor- 45

hergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (3) mit einer Recheneinheit (6) zur Ermittlung einer Position und/oder Geschwindigkeit des Flugkolbens (2) aus dem zeitlichen Verlauf des Sensorsignals verbunden ist.

10. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (6) bezüglich der Kinematik des Flugkolbens (2) selektiv aktivierbare Klassifikationsmittel aufweist. 50
11. Werkzeugmaschine mit einem pneumatischen Schlagwerk mit einem axial hin- und herbewegten, schlagend beanspruchten Flugkolben (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** das pneumatische Schlagwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Messung der Bewegung des Flugkolbens (2) ausgebildet ist. 55
12. Werkzeugmaschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (6) mit Steuermitteln verbunden ist, welche in Abhängigkeit der aktivierten Klassifikationsmittel entsprechend ansteuerbar sind.
13. Werkzeugmaschine nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (6) mit einem Sollwertspeicher verbunden ist, wobei der Sollwertspeicher Daten bezüglich der optimalen Kinematik des Flugkolbens (2) sowie optionalen weiteren Randbedingungen für unterschiedliche zu bearbeitende Materialien beinhaltet.
14. Werkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Recheneinheit (6) eine Leerschlagposition des Flugkolbens (2) aus dem Sensorsignal ermittelbar sowie über entsprechende Steuermittel das Schlagwerk deaktivierbar ist.
15. Werkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Recheneinheit (6) eine Schlagwerkstemperatur aus dem Sensorsignal ermittelbar sowie über entsprechende Steuermittel das Schlagwerk deaktivierbar ist.



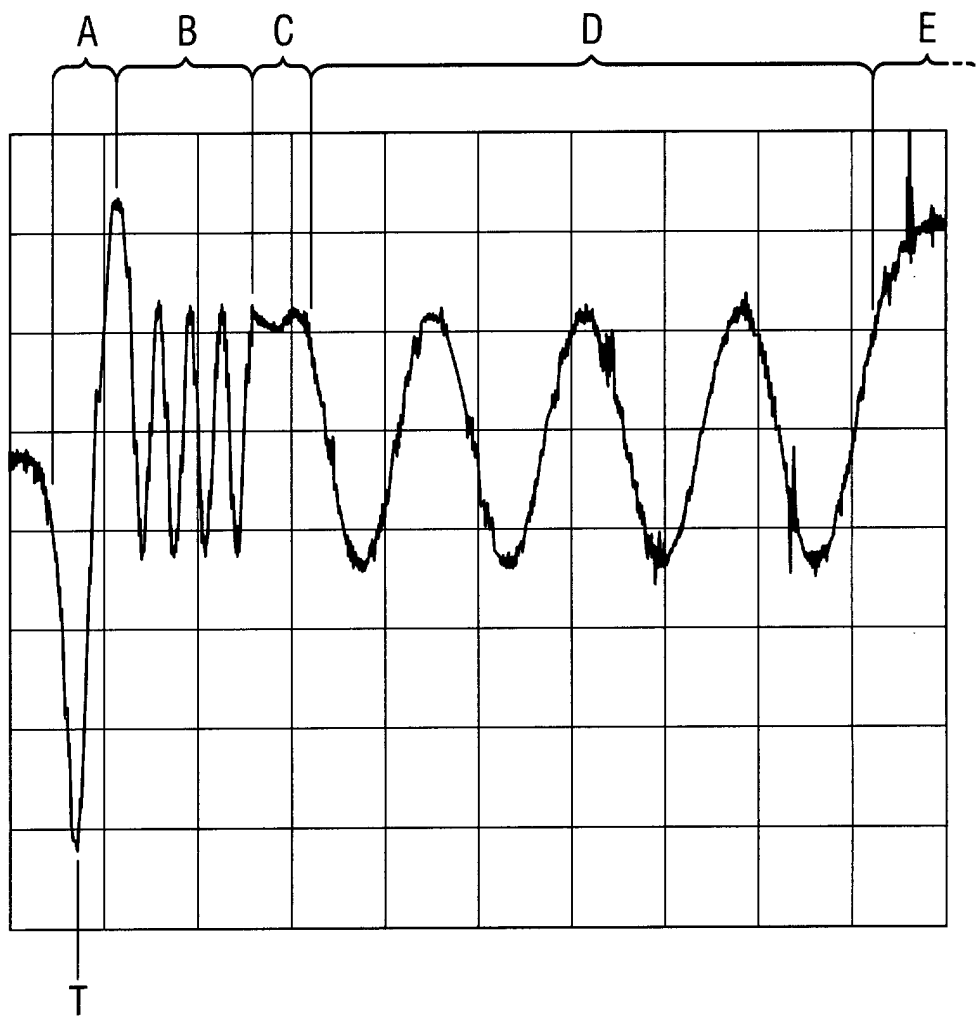


Fig. 2