



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.08.2010 Patentblatt 2010/31

(51) Int Cl.:
B25D 11/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09179004.8**

(22) Anmeldetag: **14.12.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(72) Erfinder:
• **John, Alexander**
8565, St. Johann ob Hohenburg (AT)
• **Schulz, Reinhard**
10557 Berlin (DE)
• **Pfeiffer, Eduard**
87642, Halblech (DE)

(30) Priorität: **30.01.2009 DE 102009008190**

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

(74) Vertreter: **Söllner, Oliver et al**
Hilti Aktiengesellschaft
Corporate Intellectual Property
Feldkircherstrasse 100
9494 Schaan (LI)

(54) **Pneumatisches Schlagwerk**

(57) Das pneumatisches Schlagwerk 5 weist auf: einen Flugkolben 13, der längs einer Schlagachse 8 beweglich ist; eine Schlagfläche 27, die eine Bewegung des Flugkolbens 13 längs der Schlagachse 8 in Schlagrichtung 99 begrenzt; einen Erregerkolben 12, der eine Bewegung des Flugkolbens 13 längs der Schlagachse 8 entgegengesetzt der Schlagrichtung 99 begrenzt; ei-

nen pneumatischen Raum 19 zwischen Flugkolben 13 und Erregerkolben 12, einen Antrieb 3 zum periodischen Bewegen des Erregerkolbens 12 mit einem Hub H längs der Schlagachse 8, wodurch der Flugkolben 13 zu einer periodischen Bewegung zwischen der Schlagfläche 27 und einer minimalen Annäherung an den Erregerkolben 12 angeregt ist. Ein Längenverhältnis der maximalen Länge L zu dem Hub H ist kleiner als 1,55 gewählt.

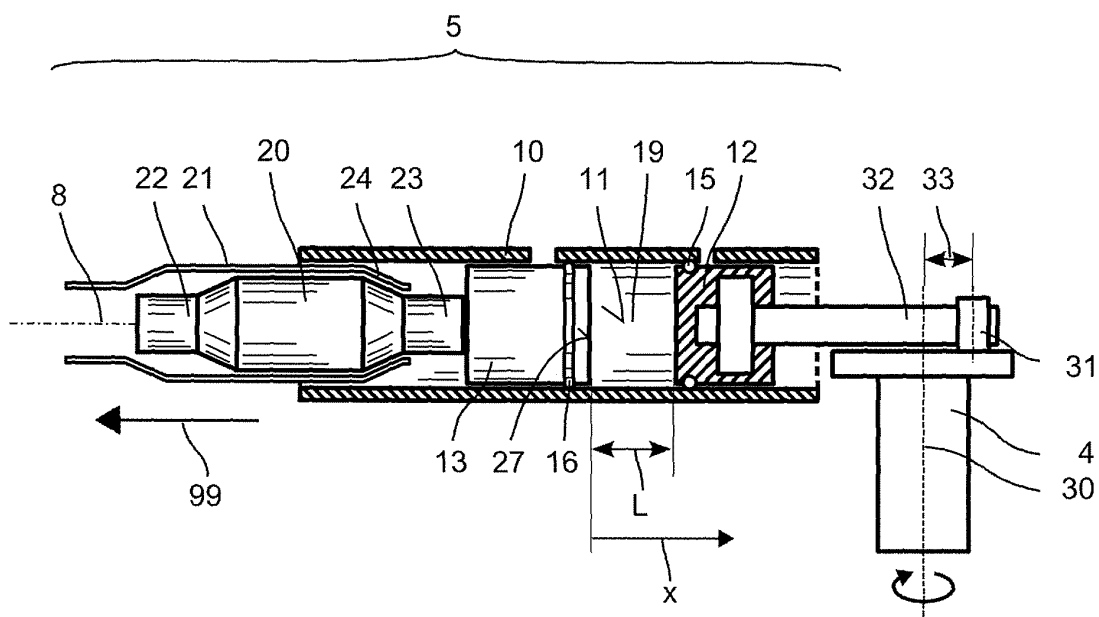


Fig. 4

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein pneumatisches Schlagwerk, insbesondere ein elektrisch angetriebenes, pneumatisches Schlagwerk, für eine Werkzeugmaschine, insbesondere eine Handwerkzeugmaschine, z.B. einen Meisselhammer.

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

10 **[0002]** Ein elektrisch betriebener Meisselhammer mit einem pneumatischen Schlagwerk ist unter Anderem aus der EP 1 779 980 A2 bekannt, deren schematische Darstellung des Schlagwerks 501 aus Fig. 6 ist in Fig. 1 übernommen.

[0003] In einem Führungsrohr 530 ist ein Flugkolben 569 zwischen einem Erregerkolben 520 und einem Endstück eines Werkzeugs 599 angeordnet. Der Flugkolben 569 und der Erregerkolben 520 schliessen luftdicht mit einer Wandung des Führungsrohrs ab, so dass sich ein luftdicht geschlossener Raum 580 zwischen dem Flugkolben 569 und dem Erregerkolben 520 ausbildet. Der Raum 580 wird nachfolgend pneumatischer Raum 580 genannt.

15 **[0004]** Der Erregerkolben 520 bewegt sich, getrieben durch einen Exzenterantrieb 522, 523, 531, periodisch in dem Führungsrohr 530 hin- und her. Der Flugkolben 569 wird aufgrund seiner Kopplung an den Erregerkolben 520 mittels des pneumatischen Raums 580 ebenfalls zu einer periodischen Bewegung zwischen dem Erregerkolben 520 und dem Endstück des Werkzeugs 599 angeregt.

20 **[0005]** Fig. 2 zeigt schematisch den Verlauf der Bewegung von Erregerkolben 520 und Flugkolben 580 über die Zeit t; der Verlauf ist unter Anderem auch in der Fig. 13A der EP 1 779 980 A2 dargestellt. Die Ortsachse x gibt den Abstand zum Endstück des Werkzeugs 599 an. Wenn sich der Erregerkolben 520 mit seiner höchsten Geschwindigkeit in Richtung zu dem Werkzeug 599 bewegt (zu kleinen x-Werten), kommen sich der Erregerkolben 520 und der Flugkolben 569 am nächsten. Der pneumatische Raum 569 wird dabei stark komprimiert und beschleunigt in Folge den Flugkolben 569 in Richtung zu dem Werkzeug 599. Der Flugkolben 569 schlägt danach ungedämpft auf dem Endstück des Werkzeugs 599 auf. Ein Teil der kinetischen Energie des Flugkolbens 569 wird dabei auf das Werkzeug übertragen. Wie bei einem teilelastischen Stoss mit einem schweren Stosspartner kehrt der Flugkolben 569 seine Bewegungsrichtung um und bewegt sich mit verminderter Geschwindigkeit in Richtung zu dem Erregerkolben 520. Der Hub H des Erregerkolbens 520, die Winkelgeschwindigkeit des Erregerkolbens 520 und die maximale Länge a des pneumatischen Raums 580 sind derart aufeinander abgestimmt, dass die Bewegung des Flugkolbens 569, wie dargestellt, resonant durch den Erregerkolben 520 angeregt wird.

25 **[0006]** Es besteht der Bedarf die Schlagwirkung des Meisselhammers weiter zu erhöhen, ohne dabei eine Leistungsaufnahme des Meisselhammers zu erhöhen. Die Schlagwirkung des Meisselhammers ergibt sich im Wesentlichen aus der bei einem Schlag in ein Werkstück abgegebene Energie. Die Leistungsaufnahme ergibt sich aus dem Produkt der pro Schlag abgegebenen Energie und der Schlagfrequenz der Schläge. Folglich muss die Schlagfrequenz der Schläge abgesenkt werden.

30 **[0007]** Die abgegebene Energie pro Schlag ist abhängig von der kinetischen Energie, die der Flugkolben 569 bis zum Stoss aufnimmt. Die Beschleunigungsarbeit wird von den Erregerkolben 520 geleistet, die mit zunehmender Geschwindigkeit des Erregerkolbens 520 in dem Führungsrohr 530 steigt. Die Geschwindigkeit des Erregerkolbens 520 ist durch die Winkelgeschwindigkeit und den Hub H des Erregerkolbens 520 vorgeben. Zwar ist ein Erhöhen der Winkelgeschwindigkeit aufgrund der damit steigenden Schlagfrequenz der Schläge nicht geeignet, jedoch kann der Hub H des Erregerkolbens 520 erhöht werden. Dies erfordert allerdings eine grössere maximale Länge a des pneumatischen Raums 580 und somit ein längeres Schlagwerk, um eine resonante Anregung des Flugkolbens 569 zu gewährleisten.

35 **[0008]** Damit der Meisselhammer im Betrieb von einem Anwender ergonomisch gehalten werden kann, sind jedoch die Abmessungen des Meisselhammers und damit auch des Schlagwerks begrenzt.

[0009] Die kinetische Energie des Flugkolbens 569 kann auch durch ein Erhöhen seiner Masse erreicht werden, jedoch erfährt dann ein Bediener einen höheren Rückschlag beim Beschleunigen des Flugkolbens 569 durch den Erregerkolben 520.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

40 **[0010]** Eine Aufgabe besteht darin, eine schlagende Werkzeugmaschine bereitzustellen, die eine verbesserte Schlagwirkung unter Berücksichtigung der ergonomischen Gesichtspunkte ermöglicht.

45 **[0011]** Das pneumatische Schlagwerk weist auf: einen Flugkolben der längs einer Schlagachsebeweglich ist; eine Schlagfläche die eine Bewegung des Flugkolbens längs der Schlagachse ein Schlagrichtung begrenzt; einen Erregerkolben der eine Bewegung des Flugkolbens längs der Schlagachse entgegengesetzt der Schlagrichtung begrenzt; einen pneumatischen Raum zwischen Flugkolben und Erregerkolben einen Antrieb zum periodischen Bewegen des Erreger-

kolbens mit einem Hub H längs der Schlagachse wodurch der Flugkolben zu einer periodischen Bewegung zwischen der Schlagfläche und einer minimalen Annäherung an den Erregerkolben angeregt ist. Ein Längenverhältnis der maximalen Länge L zu dem Hub H ist kleiner als 1,55, gewählt.

[0012] Die maximale Länge des pneumatischen Raums ist der Abstand des Erregerkolbens zu dem Flugkolben, wenn der Erregerkolben in seiner der Werkzeugaufnahme entfernten Stellung und der Flugkolben angrenzend an die Schlagfläche angeordnet ist. Die maximale Länge dient als Grösse zum Auslegen und Charakterisieren des Schlagwerks. Während des Betriebs nimmt der pneumatische Raum in der Regel zu keinem Zeitpunkt die maximale Länge ein.

[0013] Ein Umlauf des Flugkolbens in dem Schlagwerk setzt sich aus einer ersten Phase mit einer Bewegung von der minimalen Annäherung an den Erregerkolben zu dem Schlag und einer zweiten Phase mit einer Bewegung von der Schlagposition zu der nächsten minimalen Annäherung an den Erregerkolben zusammen. Die erste Phase und die zweite Phase werden zusammen innerhalb einer Zeitspanne abgeschlossen, die durch die Periodendauer der Bewegung des Erregerkolbens vorgegeben ist. Aufgrund des Abbremsens des Flugkolbens bis zum kurzzeitigen Stillstand, erhöht sich die Dauer der zweiten Phase zu Lasten der Dauer der ersten Phase. Der Flugkolben bewältigt den Abstand zwischen minimaler Annäherung und dem Schlag in kürzerer Zeit, ergo, wie gewünscht, mit einer höheren Geschwindigkeit.

[0014] Das Abbremsen des Flugkolbens während der zweiten Phase erfolgt, wenn die Abmessungen von Hub und maximaler Länge des pneumatischen Raums geeignet gewählt sind. Am Anfang der zweiten Phase wird der pneumatische Raum komprimiert, da sich der Erregerkolben nach dem Schlag noch in Schlagrichtung bewegt oder der Flugkolben sich anfänglich mit einer grösseren Geschwindigkeit entgegen der Schlagrichtung bewegt als der Erregerkolben. Hierbei ergibt sich ein Druckanstieg in dem pneumatischen Raum, welcher den Flugkolben abbremst. Der Druckanstieg ist umso grösser, je kleiner das Volumen des pneumatischen Raums oder je grösser die noch verbleibende Hubbewegung des Erregerkolbens in Richtung Schlagfläche ist.

[0015] Gestützt durch realisierte Schlagwerke und numerische Simulationen wurde erkannt, dass bei typischen Parametern hinsichtlich der Masse des Flugkolbens, eines Durchmessers des pneumatischen Raums und einer Schlagfrequenz im Betrieb das genannte Verhältnis 1,55 eine Erhöhung der Schlagenergie aufgrund einer langsamen Bewegung des Flugkolbens in der zweiten Phase erreicht wird.

[0016] In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen des Schlagwerks beschrieben.

[0017] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass der Hub in Abhängigkeit der maximalen Länge des pneumatischen Raums derart gewählt ist, dass der Flugkolben bei der Bewegung zwischen der Schlagfläche und einer nächstfolgenden minimalen Annäherung an den Erregerkolben wenigstens einmal die Bewegungsrichtung ändert. Hierfür kann ein Verhältnis von weniger als 1,50 vorteilhaft sein. Eine Änderung der Bewegungsrichtung während der zweiten Phase führt zu einem längeren Weg, den der Flugkolben während eines Umlaufs zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Flugkolbens während der ersten Phase ist höher, auch unter Berücksichtigung der Randbedingung der vorgegebenen Zeitspanne für einen Umlauf.

[0018] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass der Hub in Abhängigkeit der maximalen Länge des pneumatischen Raums derart gewählt ist, dass der Flugkolben zwischen zwei aufeinanderfolgenden minimalen Annäherungen an den Erregerkolben wenigstens zweimal die Schlagfläche berührt. Hierfür kann ein Verhältnis von weniger als 1,40 vorteilhaft sein. Die Umkehr der Bewegungsrichtung durch den zweiten Schlag führt zu einer hohen Geschwindigkeit des Flugkolbens am Ende der zweiten Phase. Der Flugkolben kann sich daher dem Erregerkolben stark annähern und erfährt aufgrund des pneumatischen Raums danach eine höhere Beschleunigung in Richtung zu der Schlagfläche.

[0019] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass wenn die Masse des Flugkolbens grösser als 400 g ist, das Längenverhältnis kleiner 1,55 gewählt ist und wenn die Masse des Flugkolbens kleiner als 400 g ist, das Längenverhältnis kleiner 1,40 gewählt ist.

[0020] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass wenn ein Verhältnis der Masse des Döppers zu der Masse des Flugkolbens geringer als 1,2 ist, das Längenverhältnis kleiner 1,40 gewählt ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0021] Die nachfolgende Beschreibung erläutert die Erfindung anhand von exemplarischen Ausführungsformen und Figuren. In den Figuren zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch ein bekanntes Schlagwerk;

Fig. 2 eine Flugbahn eines Flugkolbens in dem bekannten Schlagwerk;

Fig. 3 einen Schnitt einer Ausführungsform einer schlagenden Handwerkzeugmaschine;

Fig. 4 einen Schnitt einer Ausführungsform eines Schlagwerks;

Fig. 5 eine Flugbahn eines Flugkolbens mit bekannten Parametern des Schlagwerks;

Fig. 6 eine Flugbahn des Flugkolbens einer Ausführungsform des Schlagwerks;

5 Fig. 7 bis 9 weitere Handwerkzeugmaschinen mit Schlagwerken.

[0022] Gleiche oder funktionsgleiche Elemente werden durch gleiche Bezugszeichen in den Figuren indiziert, soweit nicht anders angegeben.

10 AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

[0023] Fig. 3 zeigt schematisch als Beispiel für eine schlagende Handwerkzeugmaschine einen elektropneumatischen Meisselhammer 1, andere nicht dargestellte Beispiele sind unter anderem Bohrhämmer, Kombihämmer.

15 **[0024]** In einem Maschinengehäuse 2 ist ein Antriebsstrang mit einem primären Antrieb 3, einer Antriebswelle 4 und einem Schlagwerk 5 angeordnet. Zwischen den primären Antrieb 3 und die Antriebswelle 4 kann ein Getriebe 7 geschaltet sein. Der primäre Antrieb 3 ist vorzugsweise ein Elektromotor, beispielsweise ein Universalmotor oder ein bürstenloser Motor. Die Antriebswelle 4 wird mit Drehzahlen im Bereich zwischen 1 Hz und 100 Hz, zum Beispiel mit 10 Hz bis 60 Hz gedreht. Die Drehbewegung der Antriebswelle 4 wird durch das Schlagwerk 5 in eine periodische Schlagbewegung längs einer Schlagachse 8 übertragen. Ein in einer Werkzeughalterung 9 gehaltenes Werkzeug wird durch die periodi-
20 schen Schläge längs der Schlagachse 8 in Schlagrichtung 99 aus dem Meisselhammer 1 heraus getrieben. Ein Rückholen des Werkzeuges in den Meisselhammer 1 gegen die Schlagrichtung 99 erfolgt durch Anpressen des Meisselhammers 1 an ein Werkstück.

[0025] Fig. 4 zeigt einen beispielhaften Aufbau des Schlagwerks 5.

25 **[0026]** Das Schlagwerk 5 weist einen Erregerkolben 12 und einen Flugkolben 13 auf, die längs der Schlagachse 8 bewegbar sind. In der dargestellten Ausführung sind der Erregerkolben 12 und der Flugkolben durch eine Wand 11 eines Führungsrohrs 10 geführt.

[0027] An einem Werkzeug-seitigen Ende des Führungsrohrs 10 ist ein Döpper 20 in einer Döpperführung 21 gelagert. Ein Werkzeug-zugewandtes Ende 22 ist in Kontakt mit einem Werkzeug 8, das in der Werkzeughalterung 9 gehalten wird. Ein Werkzeug-abgewandtes Ende 23 des Döppers 20 ragt aus der Döpperführung 21 in den Innenraum des Führungsrohrs 10. Im schlagenden Betrieb liegt der Döpper 20 an einem Werkzeugabgewandten Ende 24 der Döpperführung 21 an. In dieser Stellung definiert das Werkzeugabgewandte Ende 23 des Döppers 20 die Position der Schlagfläche 27 des Schlagwerks 5.
30

[0028] Der Döpper 20 kann wie ausgeführt als Mittler zwischen dem Flugkolben 13 und einem Werkzeug 8 in dem Schlagwerk 5 vorgesehen sein. Dies ermöglicht insbesondere eine Auslegung des Schlagwerks 5, die einer Masse des eingesetzten Werkzeugs 8 unabhängig ist. Der Döpper 20 kann hierfür deutlich schwerer als die typische Masse des Werkzeugs 8 gewählt werden.
35

[0029] In einer anderen Ausgestaltung ist kein Döpper 20 vorgesehen. Der Flugkolben 13 schlägt unmittelbar auf eine Endfläche des Werkzeugs 8. Die Endfläche bildet in diesem Fall die Schlagfläche 27. Das Werkzeug 8 ist in der Werkzeugaufnahme 9 soweit als möglich in Richtung zu dem Schlagwerk 5 eingerückt. In dieser Stellung definiert das Werkzeug 8 die Schlagfläche.
40

[0030] Der Erregerkolben 12 wird durch die Antriebswelle 4 zu einer periodischen Bewegung längs der Schlagachse 14 gezwungen. Die Antriebswelle 4 wird um ihre Drehachse 30 gedreht und bewegt dabei einen zur Drehachse 30 exzentrisch angeordneten Taumelfinger 31. Der Taumelfinger 31 ist über ein Gestänge 32 mit dem Erregerkolben 12 verbunden. Ein Hub H des Erregerkolbens 12 wird als der Abstand zwischen den beiden Stellungen definiert, in welchen der Erregerkolben 12 der Schlagfläche 27 am nächsten bzw. am weitesten entfernt ist. Der Hub H des Erregerkolbens 12 ist durch den Abstand 33 des Taumelfingers 31 von der Drehachse 30 vorgegeben und entspricht näherungsweise dem Doppelten des Kurbelradius 33 des Taumelfingers 31. Die Bewegung des Erregerkolbens 12 ist periodisch und je nach Gestaltung des exzentrischen Antriebs 4 ist die Bewegung sinusförmig oder in guter Näherung sinusförmig.
45

[0031] Der Erregerkolben 12 und der Flugkolben 13 begrenzen einen zwischen ihnen liegenden luftdicht abgeschlossenen Raum, den pneumatischen Raum 19. Eine Querschnittsfläche A des pneumatischen Raums 19 entspricht in etwa einer Querschnittsfläche des Flugkolbens 13 und des Erregerkolbens 12. Ein luftdichter Abschluss kann z.B. durch Dichtungsringe 15, 16 erreicht werden. Der pneumatische Raum 19 hat eine maximale Länge L, wenn der Erregerkolben 12 in maximaler Distanz zu der Schlagfläche 27 ist und der Flugkolben 13 an die Schlagfläche 27 angrenzt.
50

[0032] Ein einfaches Modell der Flugbahn des Flugkolbens 13 wird nachfolgend anhand eines herkömmlichen Schlagwerks und eines Schlagwerk 5 gemäß einer Ausführungsform erläutert. Das Modell dient dazu Parameter des Schlagwerks 5 aufzufinden, bei denen der Flugkolben 13 zwischen einem Schlag auf die Schlagfläche 27 und einem nächstfolgenden minimalen Abstand zu dem Erregerkolben 12 wenigstens zum Stillstand abgebremst wird oder sogar seine Bewegungsrichtung ändert.
55

[0033] Fig. 5 zeigt dazu eine Flugbahn 100 des Flugkolbens 13 für ein herkömmliches, langes Schlagwerk, aufgetragen über die Zeit t . Die Flugbahn 100 ist mittels einer ad-initio Simulation ermittelt. Die Parameter des Schlagwerks sind: Schlagfrequenz $f = 14,5$ Hz; Masse des Döppers $m_1 = 2,119$ kg; Masse des Flugkolbens $m_2 = 1,248$ kg; Hub $H = 0,094$ m; maximale Länge des pneumatischen Raums $L = 0,204$ m; Querschnittsfläche des pneumatischen Raums $A = 0,0034$ m²; Schlagzahl $q = 0,25$. Die Bahnkurve 101 des Erregerkolbens 12 ist ebenfalls eingezeichnet. Fig. 6 zeigt eine Flugbahn 200 des Flugkolbens 13 für ein kurzes Schlagwerk 5 gemäss einer Ausführungsform. Der einzig gegenüber Fig. 5 geänderte Parameter ist die maximale Länge L des pneumatischen Raums: $L = 0,139$ m.

[0034] Die Flugbahn 100 des langen Schlagwerks kann in zwei Phasen 102, 103 begrenzt durch Umkehrpunkte 104, 105 der Flugbahn 100 unterteilt werden. Der erste Umkehrpunkt 104 ergibt sich bei dem minimalen Abstand des Flugkolbens 13 an den Erregerkolben 12. Der zweite Umkehrpunkt 105 ergibt sich durch den Schlag des Flugkolbens 13 auf die Schlagfläche 27.

[0035] Die Flugbahn im Bereich des ersten Umkehrpunkts 104 kann durch einen Stoss des Flugkolbens 13 an dem bewegten Erregerkolben 12 beschrieben werden. Die effektive Masse des Erregerkolbens 12 wird als unendlich angenommen, weil der Erregerkolben 12 an den Antrieb starr angekoppelt ist. Typisch für eine resonante Anregung fällt der erste Umkehrpunkt 104 mit der maximalen Geschwindigkeit des Erregerkolbens 12 zusammen. Die Geschwindigkeit v_1 des Flugkolbens 13 nach dem ersten Umkehrpunkt 104 ist somit näherungsweise $v_1 = 2\pi \cdot H \cdot f + v_3$, wobei v_2 die Geschwindigkeit vor dem ersten Umkehrpunkt 104 bezeichnet.

[0036] Bei dem Stoss des Flugkolbens 13 mit dem Döpper 20 bzw. dem Werkzeug ist der Betrag der Geschwindigkeit v_2 des Flugkolbens 13 nach dem Stoss geringer als die Geschwindigkeit v_1 vor dem Stoss, da ein Teil der kinetischen Energie des Flugkolbens 12 in den Döpper 20 übertragen wird. Das Verhältnis (Schlagzahl q) der Geschwindigkeiten v_2 / v_1 ist durch die Masse m_2 des Flugkolbens 13, die Masse m_1 des Döppers 20 und einen Formfaktor e der Stosspartner

vorgegeben: $k = e \cdot \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}$. Der Formfaktor e weist Werte von 0 bis 1 auf; für kurze gedrungene Stosspartner in

der Nähe von 1 und für eher länglich aufgebaute Stosspartner in der Nähe von 0. Beispielhafte Werte für den Schlagzahl k liegen im Bereich von 0,05 bis 0,35. Beispielhaft kann die Stosszahl (q) zu 0,22 gewählt sein, wenn ein Verhältnis m_1 / m_2 der Masse (m_1) des Döppers zu der Masse (m_2) des Flugkolbens (13) grösser als 1,2 ist und andernfalls die Stosszahl (q) zu 0,12 gewählt sein.

[0037] Während der ersten Phase 102 und der zweiten Phase 103 ändert sich das Volumen V des pneumatischen Raums 19. In Folge ändert sich auch der Druck p innerhalb des pneumatischen Raums 19. Eine Kraft auf den Flugkolben 13 ergibt aufgrund des Druckunterschieds der Umgebung (ca. 1 bar) und dem Druck p innerhalb des pneumatischen Raums 19. Der Flugkolben 13 erfährt also auch zwischen den beiden Umkehrpunkten 104, 105 eine Beschleunigung, die seine Geschwindigkeit v_1 , v_2 erhöht oder verringert.

[0038] Der Druck p kann durch eine adiabatische Näherung abgeschätzt werden, bei der $(p \cdot V)^\kappa$ konstant ist, wobei κ (kappa) den Isentropenexponenten (etwa 1,4 für Luft in dem vorherrschenden Druckbereich von 0,5 bar bis 10 bar) und V das Volumen des pneumatischen Raums 19 bezeichnet. Es wird angenommen, dass ein neutrales Volumen V_0 bei dem ein Druck p in dem pneumatischen Raum 19 etwa dem Normaldruck p_0 der Umgebung (etwa 1 bar) entspricht, der Hälfte der maximalen Länge des pneumatischen Raums 19 entspricht, d.h. wenn der Abstand x des Flugkolbens 13 zum Erregerkolben 12 $x = L/2$ ist.

[0039] Bei dem langen Schlagwerk ändert sich das Volumen des pneumatischen Raums 2 in der ersten und zweiten Phase 102, 103 verglichen zu dem neutralen Volumen V_0 nur geringfügig. Dies ist zum Teil durch den, zur maximalen Länge L verglichen, geringen Hub H bedingt. Entsprechend ergeben sich auch nur minimale Abweichungen zu dem Umgebungsdruck p_0 und geringe Kräfte auf den Flugkolben 13. Der Einfluss des pneumatischen Raums 19 auf die Bewegung des Flugkolbens 13 bei dem langen Schlagwerk ist vernachlässigbar. Die Geschwindigkeit v_1 bleibt während der ersten Phase 102 und die Geschwindigkeit v_2 während der zweiten Phase 103 näherungsweise konstant.

[0040] Näherungsweise wird angenommen, der Flugkolben 13 und der Erregerkolben 12 berühren sich beim ersten Umkehrpunkt 14, im Abstand $x = L - \frac{1}{2}H$ von der Schlagfläche 27. Unter der Randbedingung, dass innerhalb einer Periode, also der Zeitspanne f^{-1} , die Strecke $L - \frac{1}{2}H$ von dem Flugkolben 13 einmal mit der ersten Geschwindigkeit v_1 und einmal mit der zweiten Geschwindigkeit v_2 zurückgelegt wird, ergibt sich für die erste Geschwindigkeit:

$$v_1 = \frac{2\pi \cdot f \cdot H}{1 - q}.$$

[0041] Bei dem kurzen Schlagwerk 5 weist die Flugbahn 200 ebenfalls die beiden Umkehrpunkte 204, 205 auf, welche

sich durch eine minimale Annäherung an den Erregerkolben 13 und einen nachfolgenden Schlag auf die Schlagfläche 27 ergeben.

[0042] Während der ersten Phase 202 bewegt sich der Flugkolben 13 von dem ersten Umkehrpunkt 204 zum zweiten Umkehrpunkt 205, in ähnlicher Weise wie bei einem langen Schlagwerk. Die Geschwindigkeit v_1 ist näherungsweise konstant und beträgt etwa $v_1 \approx 2\pi \cdot H \cdot f + v_3$, wobei v_3 die Geschwindigkeit kurz vor dem ersten Umkehrpunkt 204 ist. Für eine Schätzung der Geschwindigkeit $v_3 = 2f \cdot (a - \frac{1}{2}H)$ kann angenommen werden, dass die Bewegung von der Schlagfläche 27 bis zum ersten Umkehrpunkt 203 in etwa während einer halben Periode ($\frac{1}{2}f^{-1}$) erfolgt.

[0043] Die zweite Phase 203 des kurzen Schlagwerks 5 unterscheidet sich von der zweiten Phase 103 des langen Schlagwerks. Die Geschwindigkeit des Flugkolbens 13 wird auf Null herabgebremst, in dem dargestellten Beispiel kehrt die Bewegung des Flugkolbens 13 sogar um. Die treibende Kraft für das Abbremsen ergibt sich durch die starke Kopplung des Flugkolbens 13 an den Erregerkolben 12 mittels des pneumatischen Raums 19.

[0044] Nachfolgenden werden Parameter des Schlagwerks 5 geschätzt, bei denen die Geschwindigkeit v_2 des Flugkolbens 13 nach dem zweiten Umkehrpunkt 205 wenigstens auf Null abgebremst wird.

[0045] Die abbremsende Kraft ergibt sich durch den Überdruck $(p - p_0)$ des pneumatischen Raums 19 gegenüber der Umgebung, der auf die Querschnittsfläche A des pneumatischen Raums 19 wirkt. Aufgrund der Bewegung des Flugkolbens 13 in Richtung zu dem Erregerkolben 12 verkleinert sich zudem das Volumen V des pneumatischen Raums 19 und entsprechend erhöht sich der Überdruck $(p - p_0)$. Die Druckänderung kann basierend auf der adiabatischen Näherung $p \cdot V^\kappa = p_0 V_0^\kappa$ bestimmt werden.

[0046] Das Abbremsen erfolgt typischerweise spätestens innerhalb einem Viertel einer Periode ($T = \frac{1}{4}f^{-1}$) nach dem zweiten Umkehrpunkt 205. Während dieser Zeitspanne T bewegt sich der Erregerkolben 12 langsam. Eine Änderung des Drucks p in dem pneumatischen Raum 19 wird während der Zeitspanne T durch die Bewegung des Flugkolbens 13 dominiert. Nach der Zeitspanne T erreicht der Erregerkolben 12 eine Geschwindigkeit, die deutlich grösser als die Geschwindigkeit v_2 des Flugkolbens 13 ist. Der relative Abstand vergrössert sich rasch und ist bald grösser als $\frac{1}{2}L$, weshalb der Flugkolben 13 wieder in Richtung zum Erregerkolben 12 beschleunigt wird.

[0047] Während der Zeitspanne T wird die Position x_1 des Erregerkolbens 12 als näherungsweise konstant gleich dem minimal möglichen Abstand zu der Schlagfläche 27 ($x_1 \approx L - H$) angenommen. Das Volumen des pneumatischen Raums V während der Zeitspanne T ergibt sich zu: $V = A(L - H - v_2 \cdot t)$, wobei die Geschwindigkeit v_2 zur Berechnung des Volumens V als konstant angenommen wird.

[0048] Der Flugkolben 13 stoppt, wenn das Integral der abbremsenden Kraft über die Zeitspanne T dem Impuls des Flugkolbens 13, d.h. $v_2 \cdot m_2$, nach dem zweiten Umkehrpunkt 204 entspricht:

$$v_2 \cdot m_2 < \int_0^T A \cdot p_0 \cdot \left[\left(\frac{V_0}{V} \right)^\kappa - 1 \right] dt.$$

[0049] Unter Einsetzen der obig beschriebenen Beziehungen und einer Reihenentwicklung nach der Zeit bis zur ersten Ordnung ergibt sich mit $T = (N f)^{-1}$:

$$\frac{L^\kappa}{2(L-H)^\kappa} \cdot \frac{\kappa}{L-H} + \left(\frac{L^\kappa}{2(L-H)^\kappa} - 1 \right) \cdot \frac{1-q}{q} \frac{N}{2\pi H} \geq \frac{m_2}{A \cdot p_0} \cdot N^2 f^2$$

[0050] Aus der Ungleichung wird ersichtlich, dass ein Erhöhen der Querschnittsfläche A, des Hubs H und/oder ein Verringern der Masse m_2 des Flugkolbens 13, der maximalen Länge L des pneumatischen Raums 19, der Schlagfrequenz f tendenziell zu einem Schlagwerk 5 führen, bei dem die Bewegung des Flugkolbens 13 bis zum Stillstand abgebremst wird.

[0051] Der Parameter N ist vorzugsweise grösser als 4, aufgrund der beschriebenen Annahme, dass ein Abbremsen innerhalb einer Viertel Periode $T = \frac{1}{4}f^{-1}$ erfolgt.

[0052] In der Einführung ist ausgeführt, dass einer Wahl der Schlagfrequenz f und der Masse m_2 des Flugkolbens 13 durch enge Grenzen aufgelegt sind. Die Querschnittsfläche A des pneumatischen Raums 19 ist eng mit der Form und Schlageigenschaften des Flugkolbens 13 gekoppelt. Die äusseren Randbedingungen können jedoch eine weitgehend freie Wahl der maximalen Länge L des pneumatischen Raums 19 und der Hub H des Erregerkolbens 13 erlauben.

[0053] Für schwere Schlagwerke 5 mit einem Flugkolben 13 der Masse m_2 grösser als 400 g deren sonst typischen Parametern, wie einer grossen Stosszahl ($q > 0,2$) eignet sich beispielsweise eine Wahl des Verhältnisses der maximalen

Länge L zu dem Hub H von: $L/H < 1,55$; und für leichte Schlagwerke 5 mit der Masse m_2 geringer als 400 g eine Wahl des Verhältnisses von: $L/H < 1,40$.

[0054] Das Schlagwerk 5 wird vorzugsweise derart resonant betrieben, dass der erste Umkehrpunkt 204 und die höchsten Geschwindigkeit des Erregerkolbens 12 zusammenfallen, d.h. eine Differenz der jeweiligen Zeitpunkte geringer als 2% der Periodendauer ($T = f^{-1}$) ist.

[0055] Bei dem resonanten Betrieb wird gestützt auf Untersuchungen an Simulationen und Prototypen angenommen, dass ein vollständiges Abbremsen innerhalb einer Zeitspanne $T_0 = \frac{3}{8} f^{-1}$ nach dem ersten Umkehrpunkt 204 erfolgt. Nach der Zeitspanne T_0 erhöht sich die Geschwindigkeit des Erregerkolbens auf 70% ihres Maximalwerts, wodurch ein rascher Abbau des bremsenden Überdrucks zu einem beschleunigenden Unterdruck erfolgt.

[0056] Der Flugkolben 12 benötigt etwa eine Zeitspanne von $\frac{1}{8} f^{-1}$ bis $\frac{1}{4} f^{-1}$ für seine Bewegung zu der Schlagfläche 27. Das Abbremsen kann innerhalb einer Zeitspanne von $\frac{1}{8} f^{-1}$ bis $\frac{1}{4} f^{-1}$ erfolgen, weshalb N wenigstens 4, vorzugsweise 6 oder 8 beträgt. Für einen resonanten Betrieb können die Parameter des Schlagwerks 5 gemäss obiger Ungleichung bestimmt werden mit dem gewählten N.

[0057] In einer weiteren Ausgestaltung werden die Parameter des Schlagwerks 5 derart gewählt, dass der Flugkolben 13 in dem Schlagwerk 5 nach dem zweiten Umkehrpunkt 205 ein weiteres Mal die Schlagfläche 27 berührt (Punkt 206), bevor der Flugkolben 13 bis zu dem ersten Umkehrpunkt 204 fliegt. Die Verlängerung der Flugbahn des Flugkolbens 13 erlaubt eine höhere Geschwindigkeit unter Beibehaltung der Schlagfrequenz f.

[0058] Damit der Flugkolben 13 bis zu der Schlagfläche 27 zurückgekehrt, muss das Abbremsen bis zum Stillstand frühzeitig erfolgen. Danach muss noch für eine ausreichend lange Zeitspanne ein Überdruck in dem pneumatischen Raum 19 vorherrschen, um den Flugkolben in Richtung der Schlagfläche 27 zu beschleunigen. Aus Untersuchungen wurde erkannt, dass dies bei einer Zeitspanne T_0 kleiner $\frac{2}{6} f^{-1}$ erreicht wird. Die Geschwindigkeit des Erregerkolbens 12 erreicht innerhalb der Zeitspanne T_0 nur 50% ihrer maximalen Geschwindigkeit. Das Schlagwerk 5 kann entsprechend der obigen Ungleichung ausgelegt werden, wobei N grösser als 5, vorzugsweise grösser als 8 oder 10 gewählt wird. Der Parameter N kann für das zweimalige Schlagen während eines Umlaufs des Flugkolbens grösser als 8 gewählt sein.

[0059] Die Anordnung der Elemente eines Schlagwerks kann in vielfältiger Weise erfolgen. Die Figuren 7 bis 9 zeigen weitere Ausgestaltungen. Die für die Auslegung des Schlagwerks von Fig. 4 obig aufgestellten Regeln können auch auf diese Schlagwerkstypen angewandt werden.

Patentansprüche

1. Pneumatisches Schlagwerk mit:

einem Flugkolben (13), der längs einer Schlagachse (8) beweglich ist,
einer Schlagfläche (27), die eine Bewegung des Flugkolbens (13) längs der Schlagachse (8) in Schlagrichtung (99) begrenzt,
einem Erregerkolben (12), der eine Bewegung des Flugkolbens (13) längs der Schlagachse (8) entgegengesetzt der Schlagrichtung (99) begrenzt,
einem pneumatischen Raum (19) zwischen Flugkolben (13) und Erregerkolben (12),
einem Antrieb (3) zum periodischen Bewegen des Erregerkolbens (12) mit einem Hub (H) längs der Schlagachse (8), wodurch der Flugkolben (13) zu einer periodischen Bewegung zwischen der Schlagfläche (27) und einer minimalen Annäherung an den Erregerkolben (12) angeregt ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Längenverhältnis der maximalen Länge (L) zu dem Hub (H) kleiner als 1,55 gewählt ist.

2. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenn die Masse (m_2) des Flugkolbens (13) grösser als 400 g ist, das Längenverhältnis kleiner 1,55 gewählt ist und wenn die Masse (m_2) des Flugkolbens (13) kleiner als 400 g ist, das Längenverhältnis kleiner 1,40 gewählt ist.

3. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenn ein Verhältnis m_1/m_2 der Masse (m_1) des Döppers zu der Masse (m_2) des Flugkolbens (13) geringer als 1,2 ist, das Längenverhältnis kleiner 1,40 gewählt ist.

4. Pneumatisches Schlagwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Masse (m_2) des Flugkolbens (13), eine Querschnittsfläche (A) des pneumatischen Raums, die maximale Länge (L) des pneumatischen Raums, der Hub (H) des Erregerkolbens (12) und eine Stosszahl (q) folgende Ungleichung erfüllen, wenn das Schlagwerk im schlagenden Betrieb eine Schlagfrequenz (f) aufweist:

$$\frac{L^{\kappa}}{2(L-H)^{\kappa}} \cdot \frac{\kappa}{L-H} + \left(\frac{L^{\kappa}}{2(L-H)^{\kappa}} - 1 \right) \cdot \frac{1-q}{q} \frac{N}{2\pi H} \geq \frac{m_2}{A \cdot p_0} \cdot N^2 f^2,$$

wobei der Parameter N wenigstens 4 beträgt, p_0 den Umgebungsdruck und κ den Isentropenkoeffizienten des Gases in dem pneumatischen Raum (19) bezeichnet.

5. Pneumatisches Schlagwerk nach Anspruch 4, wobei die Stosszahl (q) zu 0,22 gewählt ist, wenn ein Verhältnis m_1/m_2 der Masse (m_1) des Döppers zu der Masse (m_2) des Flugkolbens (13) grösser als 1,2 ist und andernfalls die Stosszahl (q) zu 0,12 gewählt ist.
6. Pneumatisches Schlagwerk nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei der Parameter N grösser als 5 gewählt ist.

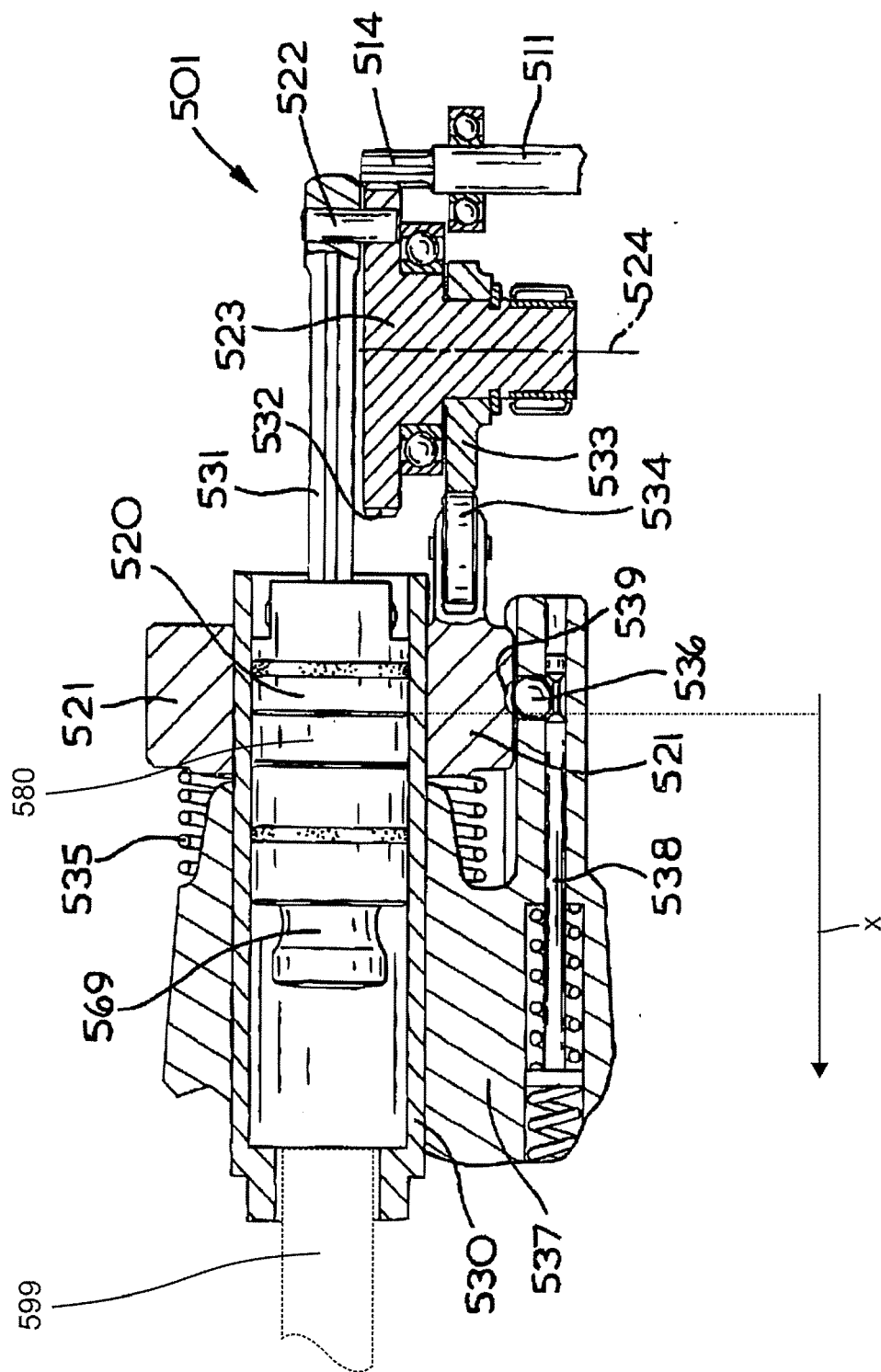


Fig. 1

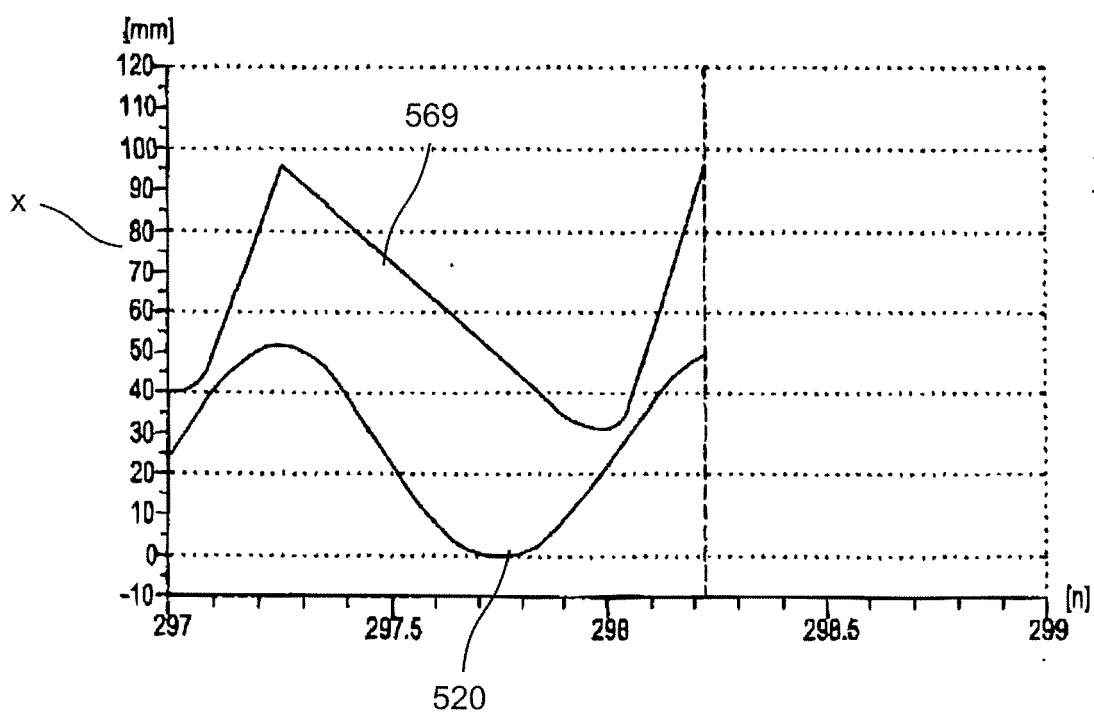


Fig. 2

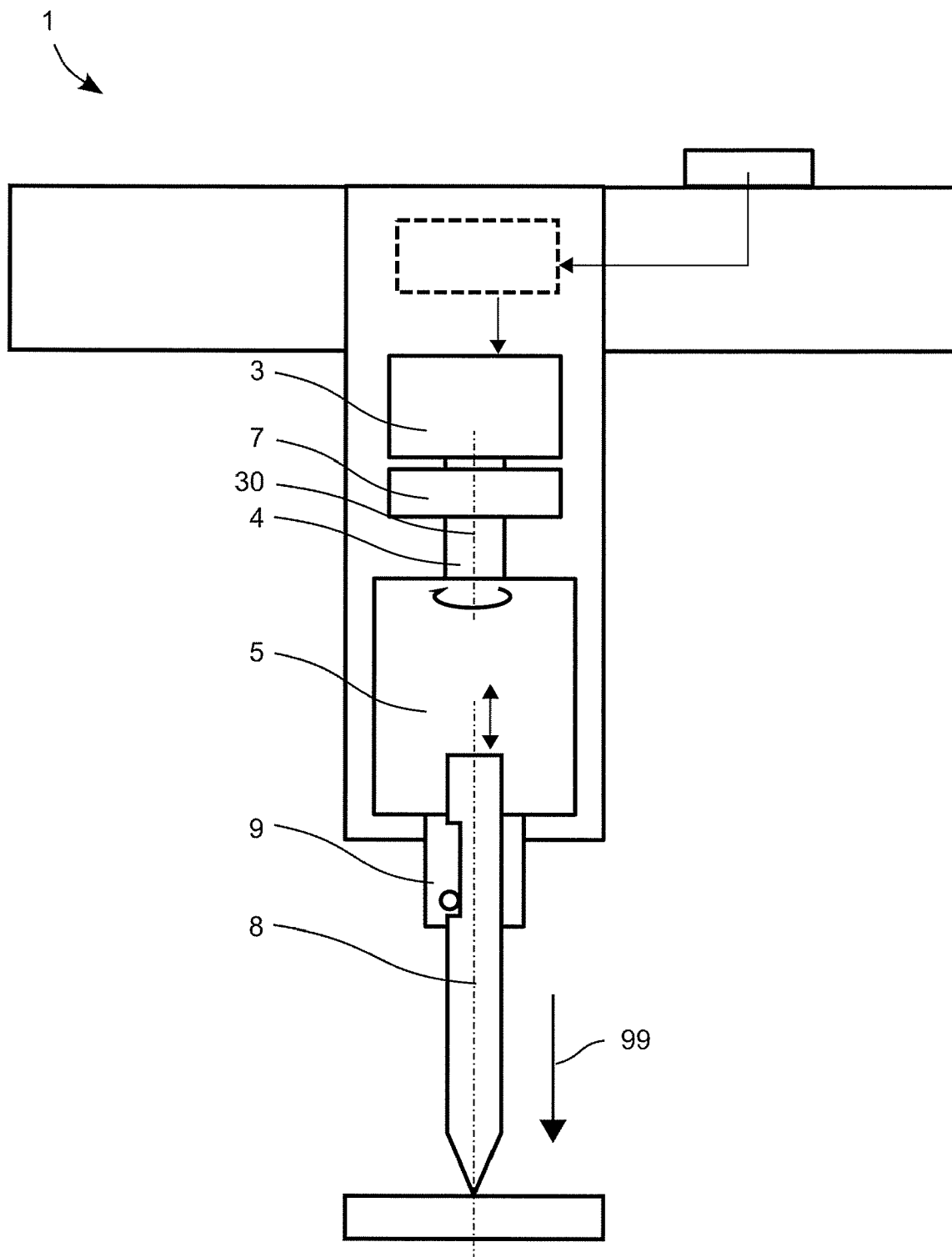


Fig. 3

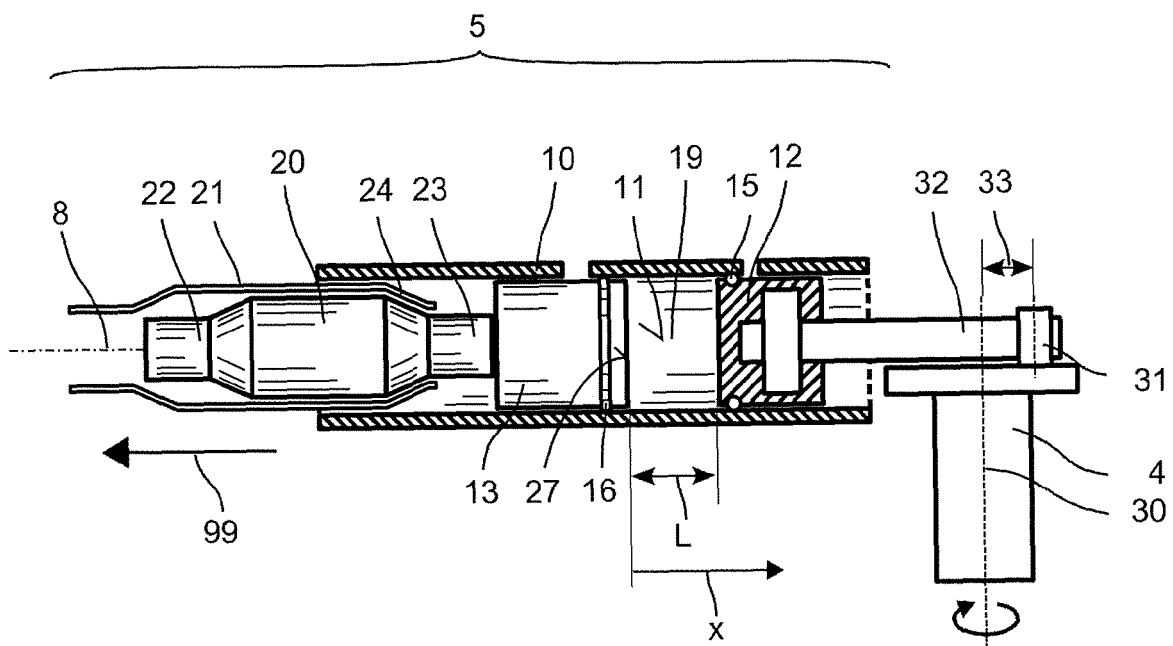


Fig. 4

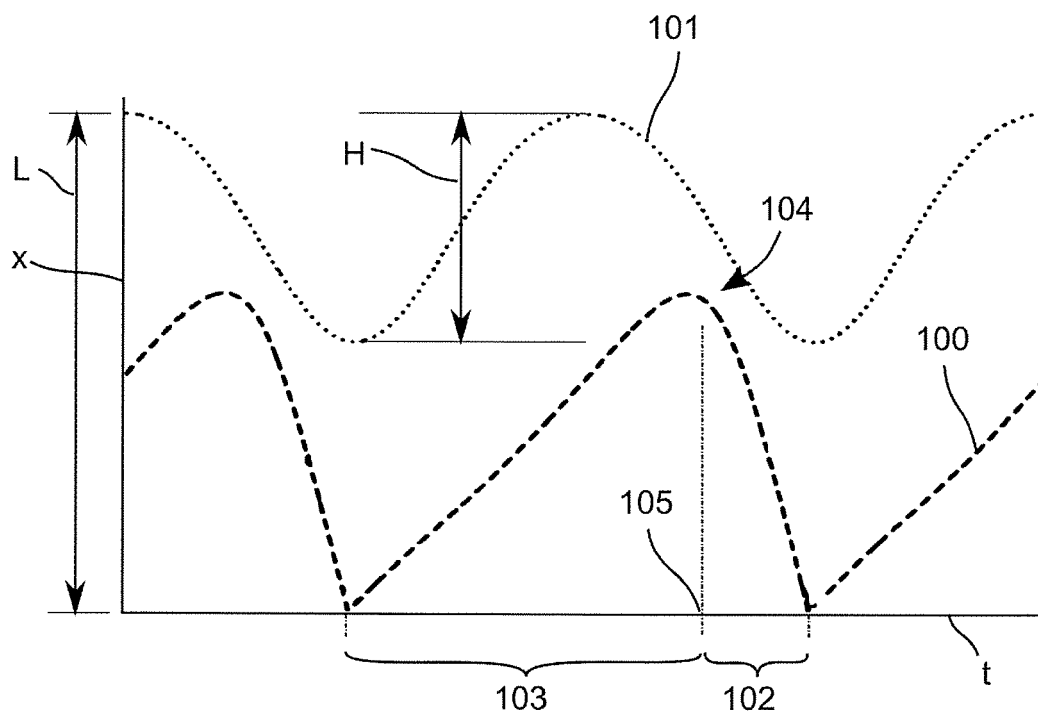


Fig. 5

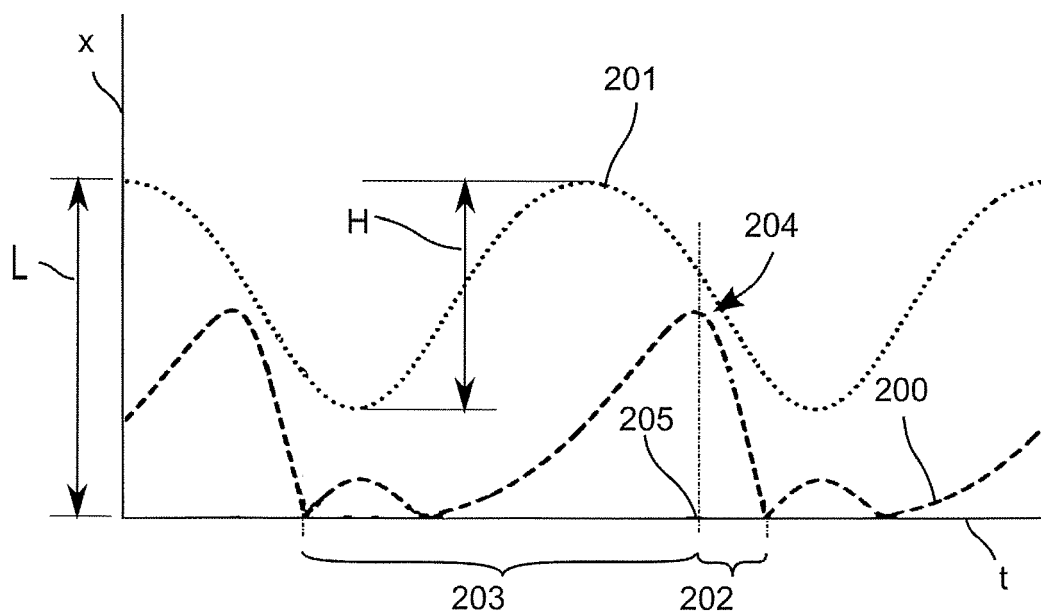


Fig. 6

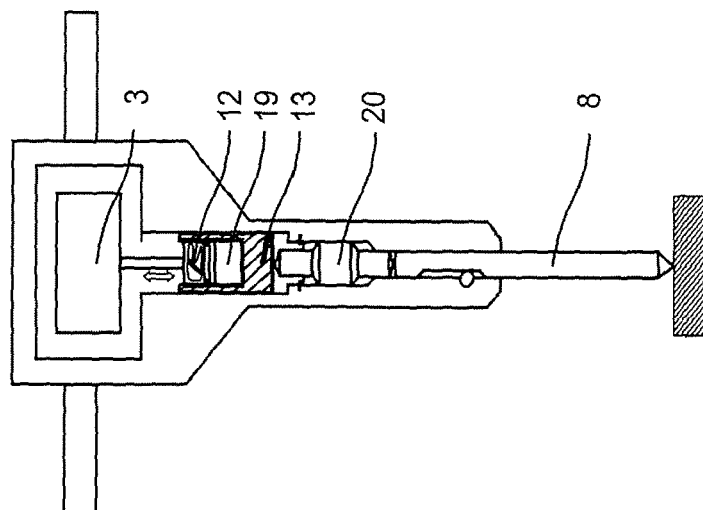


Fig. 7

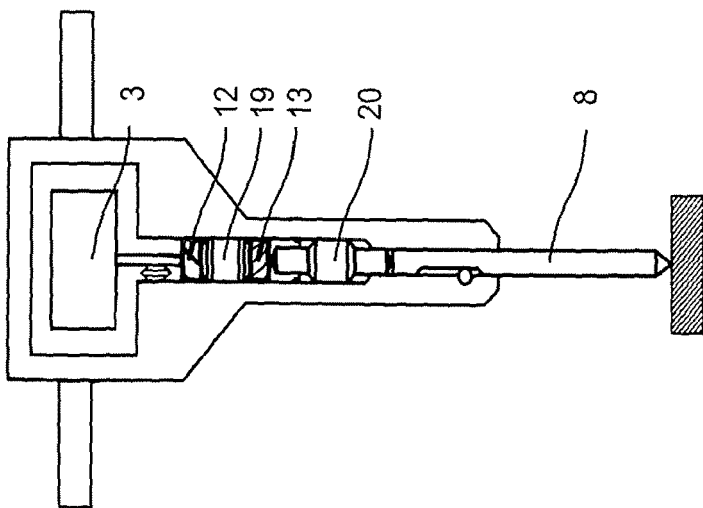


Fig. 8

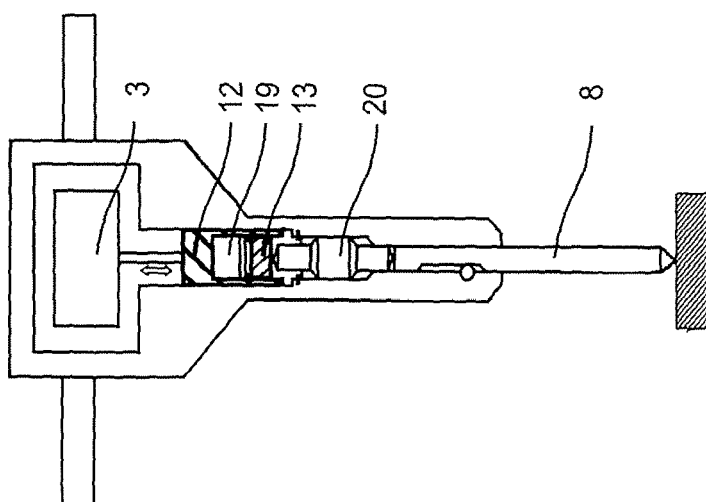


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 09 17 9004

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 39 10 598 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 4. Oktober 1990 (1990-10-04) * Spalte 2, Zeile 52 - Spalte 3, Zeile 33; Abbildungen *	1-6	INV. B25D11/12
X	SU 1 579 766 A1 (MO N PROIZV OB MEKH [SU]) 23. Juli 1990 (1990-07-23) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1-6	
A	US 4 014 392 A (ROSS FREDERICK W) 29. März 1977 (1977-03-29) * Spalte 4, Zeile 6 - Zeile 32 * * Spalte 6, Zeile 66 - Spalte 7, Zeile 6 *	1-6	
A	US 3 559 751 A (YAMADA SAKUJI) 2. Februar 1971 (1971-02-02) * Spalte 2, Zeile 55 - Spalte 3, Zeile 6; Abbildung 3 *	1-6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B25D
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. April 2010	Prüfer Barrow, Jeffrey
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 17 9004

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

28-04-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3910598	A1	04-10-1990	CH 680346 A5	14-08-1992
SU 1579766	A1	23-07-1990	KEINE	
US 4014392	A	29-03-1977	KEINE	
US 3559751	A	02-02-1971	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- EP 1779980 A2 [0002] [0005]