



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 14 591 T2 2005.06.09**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 157 222 B1**

(51) Int Cl.7: **F16F 15/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 14 591.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE00/00242**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 908 170.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/47408**

(86) PCT-Anmeldetag: **08.02.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **17.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.11.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **06.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.06.2005**

(30) Unionspriorität:
9900441 10.02.1999 SE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:
Sandvik AB, Sandviken, SE

(72) Erfinder:
LUNDBLAD, Mikael, S-805 95 Gävle, SE

(74) Vertreter:
**Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183
Wiesbaden**

(54) Bezeichnung: **AKTIVES, SCHWINGUNGSDÄMPFENDES SYSTEM FÜR SCHNEIDEWERKZEUGE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technischer Bereich der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Werkzeug, das für die spanbeseitigende Bearbeitung entsprechend dem Oberbegriff des beigefügten Anspruchs 1 vorgesehen ist.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Während der spanbeseitigenden Bearbeitung, wie etwa dem Drehen oder Bohren, treten häufig Probleme bezüglich der Vibration auf, und zwar insbesondere in den Fällen, bei denen die Länge des Schaftes oder des Werkzeugs mindestens vier- bis fünfmal größer als dessen Durchmesser ist. Eine Art von Vibration ist die Krümmungsvibration, wobei der Schaft auf und ab gekrümmt wird und Krümmungsverformungen ausgesetzt wird. Dieses Phänomen stellt ein häufiges Problem zum Beispiel während des Drehens, insbesondere des Innendrehens, dar, wobei der Schaft in Form einer Bohrstange lang sein muß, um das Werkstück zu erreichen, während gleichzeitig der Durchmesser der Stange durch die Abmessung des Loches begrenzt wird, in welchem die Bearbeitung durchgeführt wird. Während solcher Bohr-, Dreh- und Fräsvorgänge, bei denen der Abstand zum Werkstück lang ist, werden Verlängerungseinheiten verwendet, welche oft eine Krümmungsvibration verursachen, die nicht nur zu einer verschlechterten Abmessungsgenauigkeit und Unregelmäßigkeiten des beziehungsweise beim Werkstück führt sondern auch zu einer verringerten Lebensdauer des Frässhneiders und seines Schneideinsatzes oder dessen Bearbeitungselements.

[0003] Eine andere Art von Vibration ist die Torsionsvibration, bei welcher der Schaft um seine Längsachse gedreht oder hin und her geschraubt wird, währenddessen Scherbeanspruchung erzeugt wird. Eine solche Vibration tritt zum Beispiel während des Bohrens auf, besonders bei hoher Geschwindigkeit. Auch führt die Torsionsvibration zu einer geringeren Qualität der bearbeiteten Oberfläche sowie zu einer verringerten Lebensdauer von Werkzeugen und Schneideinsatzes. Ein wichtiges Ärgernis ist auch das Problem des Arbeitsumfeldes, das durch Torsionsvibrationen erhöht wird, und zwar, indem ein schrilles Geräusch während der Rotation erzeugt wird.

Stand der Technik

[0004] Das Dämpfen von Vibrationen in Werkzeugen für spanabhebende Bearbeitung fand bislang durch rein mechanische Dämpfung statt, wobei der Schaft mit einem Hohlraum ausgebildet wurde, in dem zum Beispiel eine Masse aus gegenvibrieren-

dem Schwermetall angebracht ist. Dadurch wird das Gewicht und die Position der Masse verändert, um eine Dämpfung der Vibration innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches hervorzubringen. Der Hohlraum wird dann mit einer viskosen Flüssigkeit, z.B. Öl, gefüllt und wird verstopft. Jedoch wirkt dieses Verfahren nur in den Fällen ziemlich gut, bei denen die Länge des Schaftes ungefähr vier- bis zehnmal länger als dessen Durchmesser ist. Zusätzlich zu dieser Beschränkung hat die rein mechanische Dämpfung insoweit einen offensichtlichen Nachteil als der Bereich der Frequenzen, innerhalb dessen die Dämpfung wirkt, sehr begrenzt ist. Ein zusätzliches Ärgernis besteht in der Schwächung der strukturellen Stärke, welche der in dem Schaft gebildete Hohlraum mit sich bringt.

[0005] In vollständig anderen Technologiefeldern wurde die Entwicklung wirksamerer, anpassungsfähiger Dämpfungsverfahren – unter anderem durch Nutzung von Piezoelementen – in Gang gesetzt. Ein Piezoelement besteht aus einem Material, oftmals keramischer Art, welches auf Kompression oder Beanspruchung in einer bestimmten Richtung – der Polarisationsrichtung – ein elektrisches Feld in dieser Richtung erzeugt. Das Piezoelement hat üblicherweise die Form einer rechteckigen Platte mit einer Polarisierungsrichtung, welche parallel zu der Hauptachse der Platte liegt. Durch Anschluß des Piezoelements an einen Stromkreis, einschließlich eines Steuermoduls, und durch Zusammenpressen oder Dehnen des Piezoelements in Richtung der Polarisierung wird ein elektrischer Strom und ein Fluß in dem Schaltkreis erzeugt, wobei in dem Steuermodul enthaltene Elektrowiderstandskomponenten gemäß bekannter physikalischer Grundlagen Wärme freisetzen. Dadurch wird Vibrationsenergie in thermische Energie umgewandelt, wodurch eine passive Dämpfung, jedoch keine vollständig neutralisierende Auswirkung auf die Vibration erzielt wird. Außerdem können durch Ausbildung des Steuermoduls mit einer geeigneten Kombination aus Widerstands- und Reaktionsbestandteilen, sogenannten Weichen, ausgewählte Frequenzen besonders effektiv gedämpft werden. Solche Frequenzen sind vorteilhafterweise die sogenannten "Eigenwert"-Frequenzen der ausgestellten Eigenzustände des jeweiligen Gegenstandes, welche jene sind, die besonders angeregt sind.

[0006] Umgekehrt kann ein Piezoelement durch die Tatsache, daß eine elektrische Spannung über dem Piezoelement aufgebracht wird, zusammengepreßt oder gedehnt werden, und dies kann als eine Steuerungseinrichtung oder Betriebseinrichtung (Auslöser) verwendet werden. Dies kann dann aufgrund der Tatsache, daß die Polarität der aufgebrachten elektrischen Spannung auf eine solche Weise ausgewählt wird, daß die mechanische Belastung der Betriebseinrichtung in die entgegengesetzte Richtung wirkt,

für eine aktive Vibrationsverringerung als eine äußere mechanische Belastung verwendet werden, wobei die Entstehung von Vibration durch die Tatsache unterdrückt wird, daß es anderer kinetischer Energie, zum Beispiel Rotationsenergie, nicht gestattet wird, sich in Vibrationsenergie umzuwandeln. Die Synchronisierung der aufgebrachten elektrischen Spannung in Bezug auf die äußere mechanische Spannung, deren Wirkung entgegengewirkt werden soll, wird dann aufgrund der Tatsache ausgeführt, daß ein Rückkopplungssignal von einem Verformungsmeßsensor in eine Steuerungseinrichtung in Form eines logischen Steuerungskreises, z. B. eines programmierbaren Mikroprozessors, eingespeist wird, in welchem das Signal verarbeitet wird, um fast augenblicklich die über der Steuerungseinrichtung aufgebrachte elektrische Spannung zu kontrollieren. Die Steuerungsfunktion, d.h. das Verhältnis zwischen dem Eingangssignal von dem Sensor und der Ausgangsspannung kann dann sehr komplex gemacht werden. Zum Beispiel ist ein selbstlernendes System für die Anpassung an unterschiedliche Bedingungen möglich. Der Sensor kann aus einer separaten verformungsempfindlichen Meßeinrichtung, z.B. einem zweiten Piezoelement, bestehen oder gemeinsam mit der Betreibereinrichtung sein.

[0007] Beispiele realisierter Anwendungen und derzeitiger Entwicklungsbereiche zur Nutzung von Piezoelementen zu Vibrationsdämpfungszwecken werden in Mechanical Engineering, Nov. 1995, auf den Seiten 76 – 81 beschrieben. So wurden Skier für alpines Skifahren (K2 Four Ski, K2 Corp., USA) mit einem Piezoelement mit dem Zweck ausgestattet, unerwünschte Vibration zu unterdrücken, welche ansonsten den Kontakt mit dem Boden vermindert und dadurch die Aussicht des Skifahrers auf ein stabiles und kontrolliertes Skifahren verringert hätte. Darüber hinaus werden Anwendungen, wie etwa die erhöhte Flügelstabilität von Flugzeugen, der verbesserte Komfort bei Kraftfahrzeugen, die Vibrationsunterdrückung von Bearbeitungsplattformen für die flexible Herstellung und die verbesserte Treffergenauigkeit militärischer Waffen erwähnt. In Datenblättern der Active Control eXperts (ACX) Inc., USA (Hersteller von Piezoelementen) wird auch die Vibrationsunterdrückung von Snowboards, und allgemein von Bearbeitungswerkzeugen, erwähnt.

[0008] Die JP-A-63- 180 401 gibt den neuesten Stand der Technik wider und beschreibt ein Werkzeug für die spanabhebende Bearbeitung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Ziele und Merkmale der Erfindung

[0009] Die vorliegende Erfindung zielt ab auf die Behebung der Nachteile bislang bekannter Werkzeuge für die spanabhebende Bearbeitung, welche in der Einleitung erwähnt wurden, und auf die Bereitstellung

eines Werkzeugs mit einer verbesserten Vibrationsdämpfung. So ist es ein erstes Ziel der Erfindung, ein robustes Werkzeug mit der Fähigkeit bereitzustellen, Vibrationen über einen großen Frequenzbereich hinweg effektiv zu dämpfen, zum Beispiel, wo die Länge des Schaftes drei- bis fünfzehnmal größer als dessen Durchmesser ist, und vorzugsweise ungefähr vier- bis sechsmal größer als dessen Durchmesser ist. Es ist auch ein Ziel, ein Werkzeug für die spanabhebende Bearbeitung bereitzustellen, das, verglichen mit bislang bekannten Werkzeugen, eine längere Lebensdauer des Werkzeugs an sich als auch für dessen Schneidelement mit sich bringt. Zusätzliche Ziele des Werkzeugs sind, daß dessen Verwendung zu einer erhöhten Qualität der Oberfläche des bearbeiteten Werkstücks und zu einem verbesserten Arbeitsumfeld durch Reduzierung eines Hochfrequenzgeräusches führen sollte.

[0010] Gemäß der Erfindung wird zumindest das erste Ziel durch die in dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 definierten Merkmale erreicht.

Kurze Beschreibung der beigefügten Zeichnungen

[0011] [Fig. 1](#) ist eine schematische Seitenansicht eines langen schmalen Körpers in Form eines Werkzeugschaftes während einer Krümmungsverformung beim Drehen (1. Resonanzfrequenz),

[0012] [Fig. 2](#) ist eine Grafik, die das Krümmungsmoment in dem Körper zeigt,

[0013] [Fig. 3](#) ist eine Seitenansicht eines Querschnitt-Endabschnitts des Körpers nahe an einem Klemmende, um so die zu der Beanspruchung in dem Körper während der Krümmungsverformung proportionale Spannung zu veranschaulichen,

[0014] [Fig. 4](#) ist eine transparente perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Werkzeugschaftes,

[0015] [Fig. 5](#) ist eine perspektivische Ansicht einer Stangenverlängerung für Fräswerkzeuge, die mit rundem Querschnitt ausgebildet ist,

[0016] die [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) sind perspektivische Ansichten von Werkzeugschaften mit quadratischen Querschnitten und in unterschiedlichen alternativen Ausführungsformen, und

[0017] [Fig. 9](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Werkzeugs für aktive Vibrationsdämpfung, das in einem Träger befestigt ist.

Kurze Beschreibung allgemeiner Verformungsfälle

[0018] In den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) sind schematisch Fälle von Verformungen gezeigt, während denen Oszil-

lationen oder Vibrationen auftreten können.

[0019] In [Fig. 1](#) wird ein langer schmaler Körper dargestellt, welcher aus einem Werkzeug oder einem Schaft eines Werkzeugs bestehen kann. Der Körper **1** hat ein Klemmende **2** und ein freies äußeres Ende **3**. Der Körper hat eine äußere Oberfläche **4**, welche aus einer Umhüllungsfläche bestehen kann, wenn der Körper zylindrisch ist. Er kann auch mehrere ebene Oberflächen einschließen, wenn der Körper eine polygonale, z.B. eckige Querschnittsform hat. Der Körper **1** kann eine willkürliche Querschnittsform haben, üblich sind jedoch zumeist runde oder quadratische. In [Fig. 1](#) bezeichnet die Ziffer **5** ein Teil, in welches der Körper **1** geklemmt ist, wobei sich der Körper konsolenartig von dem Klemmteil aus erstreckt. In [Fig. 1](#) wird der Körper **1** in einem Zustand gezeigt, in dem er in einem ersten Krümmungseigenzustand verformt worden ist. Darüber hinaus wird in [Fig. 2](#) eine Grafik gezeigt, welche darstellt, wie das Krümmungsmoment M_b in diesem Falle entlang des Körpers variiert. Wie in der Grafik zu sehen, tritt ein größtes Krümmungsmoment, und damit eine größte Beanspruchung bei oder nahe an dem Klemmende **2** auf. Das Gleiche gilt für alle geringeren Zustände, welche normalerweise über die Energie während der Krümmungsvibration von Werkzeugen für die spanabhebende Bearbeitung vorherrschen. In [Fig. 3](#) wird ein Abschnitt des durch die Verformung in [Fig. 1](#) verformten Körpers **1** in dem Bereich des Klemmendes gezeigt. Dadurch wird erläutert, wie die Beanspruchung bei der Krümmungsverformung in dem Querschnitt des Körpers variiert (die Beanspruchung ist zu Erläuterungszwecken stark übertrieben). Wie in der Figur zu sehen, werden die größten Beanspruchungen an der Umhüllungs- oder äußeren Oberfläche **4** des Körpers erreicht.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung

[0020] In [Fig. 4](#) wird eine grundlegende Ausgestaltung eines langen schmalen Werkzeugs oder Schaftes **1** schematisch gezeigt, bei welchem zwei flache, rechteckige Piezoelemente **8** an gegenüberliegenden länglichen ebenen Oberflächen **4** des mit eckigem Querschnitt ausgebildeten Schaftes **4** befestigt sind. Die Piezoelemente **8** sind in dem Bereich nahe dem Klemmende **2** des Schaftes platziert. An dem äußeren Ende **3** davon hat der Schaft ein Bearbeitungselement in Form eines Schneideinsatzes **9**. Somit sind die Piezoelemente **8** in einem Bereich positioniert, wo die größte Beanspruchung bei der Krümmungsverformung als auch bei der Drehverformung auftritt. Obwohl die Stelle bevorzugt wird, sind auch andere Stellen möglich. Darüber hinaus sind die Piezoelemente **8** den Hauptachsen im wesentlichen parallel zu der Längenausdehnung des Schaftes **2** ausgerichtet, und die Piezoelemente **8** werden während der Krümmungsvibration verformt, obgleich sie eine

rechtwinklige Form behalten, während die gleichen bei Drehvibration zu einer rhombischen Form verformt werden. Die Richtung der Polarisierung der flachen, rechteckigen Piezoelemente **8** wird hier und im folgenden als parallel zu den Hauptachsen derselben vorausgesetzt, obwohl eine andere Form als auch eine andere Richtung der Polarisierung möglich ist. Dadurch dienen die Piezoelemente bei der fraglichen Ausrichtung derselben äußerst wirksam zum Dämpfen der Krümmungsvibration, da dieselben in diesem Fall entlang der Richtung der Polarisierung eine Verformung mit maximalem Durchschnitt erfahren.

[0021] Das Verhältnis zwischen der Größe der Piezoelemente **8** und der Größe des Schaftes in [Fig. 4](#) und den folgenden Figuren sollte nicht als beschränkend verstanden werden, sondern sind nur gewählt, um die beispielhafte Stellung und Ausrichtung der Piezoelemente klarzumachen. Die Anzahl an Piezoelementen und ihre in den Figuren gezeigte Ausrichtung sollte nicht als beschränkend sondern nur als beispielhaft betrachtet werden. Auch brauchen mehrere an dem Schaft geformte Piezoelemente nicht die gleiche Stellung, Größe, Form oder Ausrichtung zu haben. Die Anzahl an Piezoelementen kann variieren, jedoch sollte aus Gründen des Gleichgewichts die Menge zumindest aus zwei bestehen.

[0022] In [Fig. 5](#) wird eine Ausführungsform gezeigt, gemäß welcher der Körper **1** aus einer Stangenverlängerung mit einem runden Querschnitt besteht, die für Fräswerkzeuge vorgesehen ist. In diesem Fall ist ein Bearbeitungselement **9** in Form einer nahe bei einer Spantasche **10** an dem freien Ende **3** der Stangenverlängerung liegenden Kante ausgebildet. Ein Piezoelement **8** ist an der Umhüllungsfläche **4** der Stangenverlängerung in einem Bereich nahe dem Klemmende **2** befestigt. Die Hauptachse des Piezoelements ist parallel zu der Längserstreckung der Stangenverlängerung. Folglich dient das Piezoelement **9** mit dieser Ausrichtung auch hier äußerst effizient dem Dämpfen von Krümmungsvibration.

[0023] Für eine gleichzeitige Dämpfung von Krümmungs- und Drehvibrationen ist der Schaft des Werkzeugs vorteilhafterweise mit mehreren Piezoelementen ausgebildet, von denen einige mit ihren langen Seiten im wesentlichen parallel zu der Längenausdehnung des Schaftes ausgerichtet sind, während andere in einem Winkel von ungefähr 45° ausgerichtet sind. Alternativ dazu haben ein oder mehrere Piezoelemente andere Ausrichtungen zwischen diesen Ausrichtungen, um jeweils eine Empfindlichkeit sowohl für Krümmungs- als auch Drehvibrationen zu erreichen.

[0024] Piezoelemente sind üblicherweise zerbrechlich, insbesondere jene keramischer Art. Daher sollten sie bei anspruchsvollen Umgebungen eine Art von Schutz haben, um eine akzeptable Lebensdauer

zu erreichen. In den [Fig. 6](#) – [Fig. 8](#) wird ein Werkzeugschaft mit quadratischem Querschnitt gezeigt, wobei die Piezoelemente **8** auf unterschiedliche Weise befestigt und geschätzt werden. In allen Fällen sind die Piezoelemente in einem Bereich nahe dem Klemmteil **5** plaziert (dieses kann aus herkömmlicher Klemmvorrichtung bestehen, in welcher das Werkzeug herausnehmbar befestigt ist). In [Fig. 6](#) ist das Piezoelement **8** in einer Ausnehmung **11** befestigt und wird vorteilhafterweise von einem Schutzüberzug abgedeckt, zum Beispiel einem solchen vom Epoxytyp. In [Fig. 7](#) wird vorausgesetzt, daß das Piezoelement in der Vertiefung **11** befestigt und von einem steifen Deckel **12** abgedeckt wird. In [Fig. 8](#) ist das Piezoelement **8** an der Außenseite des Schaftes befestigt und wird z.B. durch Zement fixiert. Diese Alternativen sollten nur als Beispiel betrachtet werden, von denen die in den [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) gezeigten bevorzugt werden. Es versteht sich, daß der gleiche Typ an Schutz für die Piezoelemente unabhängig von der Querschnittsform des Werkzeugschaftes ist.

[0025] Erfindungsgemäß können die Piezoelemente mit Einrichtungen für elektrische Steuerung oder Lenkung derselben zusammenwirken. In [Fig. 9](#) wird ein Beispiel gezeigt, wie das Werkzeug **1** mit solchen Steuerungseinrichtungen ausgebildet worden ist. In diesem Fall ist das Werkzeug in einem Träger **13** befestigt.

[0026] [Fig. 9](#) stellt eine Steuerungseinrichtung für aktive Dämpfung in Form eines herausgenommenen logischen Steuerungskreislaufs **16**, z.B. eines programmierbaren Mikroprozessors, für die getrennte oder gemeinsame Steuerung der (über die schematisch gezeigte elektrische Verbindung **15**) über dem Piezoelement **8** aufgebrachten Spannung. In der Praxis kann die Verbindung **15** in diesem Fall Schleifstücke oder ähnliches umfassen. Selbst wenn die Piezoelemente **8** in der in [Fig. 9](#) beispielhaft dargestellten Ausführungsform für aktive Dämpfung zugleich sowohl als Betriebsvorrichtungen als auch Sensoren dienen, ist es möglich, diese beiden Funktionen durch getrennte Betriebsvorrichtung und Sensoren zu erreichen, da die Sensoren nicht aus Piezoelementen zu bestehen brauchen. Obwohl die beispielhaft dargestellte Stellung des logischen Steuerungsschaltkreises **16** bevorzugt wird, sind auch andere Stellungen möglich.

[0027] Durch die Erfindung wird ein robustes Werkzeug für die spanabhebende Bearbeitung mit der Fähigkeit zur aktiven Dämpfung von Krümmungsvibrationen über einen weiten Frequenzbereich hinweg bereitgestellt. Darüber hinaus wird ein Werkzeug bereitgestellt, welches einerseits eine längere Lebensdauer für das Werkzeug selbst als auch für die Schneide- oder Bearbeitungselemente davon bietet, und andererseits eine erhöhte Qualität der Oberfläche auf dem bearbeiteten Werkstück hervorbringt. Zusätzlich wird

im Vergleich zu bisher bekannten Werkzeugen ein verbessertes Arbeitsumfeld durch die Verringerung des Hochfrequenzgeräusches erzielt.

Mögliche Modifikationen der Erfindung

[0028] Die Erfindung ist nicht allein auf die beschriebenen und in den Zeichnungen gezeigten Ausführungsformen und Anwendungen beschränkt. So ist es durch aktive Steuerung der Piezoelemente möglich, Vibrationen einzuführen oder zu verstärken, falls diese gewünscht sind, z.B. während des Spanbrechens. eingeführte Für eingeführte oder verstärkte Vibrationen können verhältnismäßig große Amplituden mit Frequenzen nahe den Eigenwertfrequenzen des Werkzeugs erreicht werden.

Patentansprüche

1. Werkzeug für spanabhebende Bearbeitung mit einem Schaft (**1**) mit einem Klemmende (**2**) und mit einem Schneideinsatz (**9**) am entgegengesetzten Ende plus einer Anzahl von Piezoelementen (**8**) mit dem Zweck einer Dämpfung von Vibrationen darin, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Paar von zusammenarbeitenden flachgeformten Piezoelementen (**8**) mit Längen, die kürzer als jene des Schaftes sind, an diametral einander gegenüberliegenden Seiten des Schaftes in einem Bereich nahe dem, wo der Schaft in der Maschine zu befestigen ist (**2**), genauer in einer Position nahe der äußeren Oberfläche des Schaftes angeordnet sind, wobei die Polarisierungsrichtung der Piezoelemente im wesentlichen parallel zu der Längsachse des Schaftes (**1**) ist, damit die beiden Piezoelemente (**8**) miteinander primär die Biegeschwingungen des Schaftes dämpfen können, und worin die Piezoelemente (**8**) durch die Anwendung einer Spannung von einer Elektrizitätsquelle über eine Steuereinrichtung in der Form eines Verknüpfungsteuerungsschaltkreises aktiv steuerbar sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

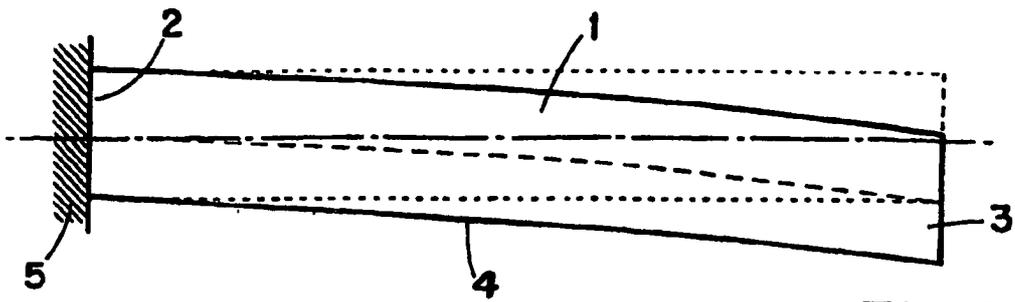


Fig. 1

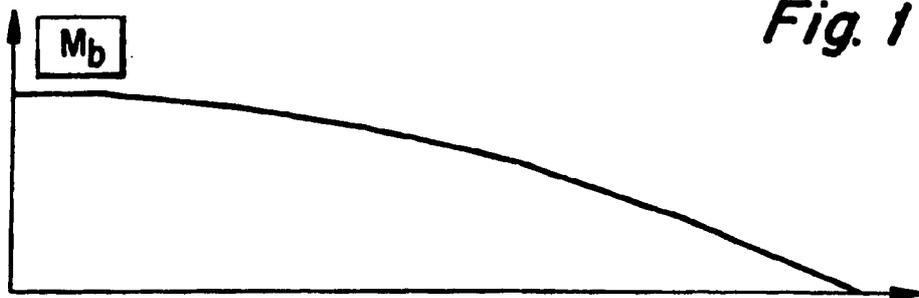


Fig. 2

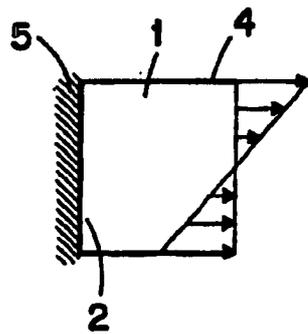
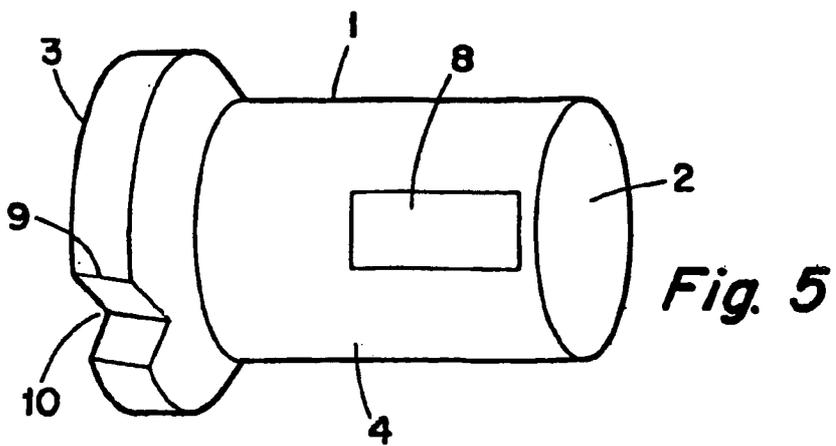
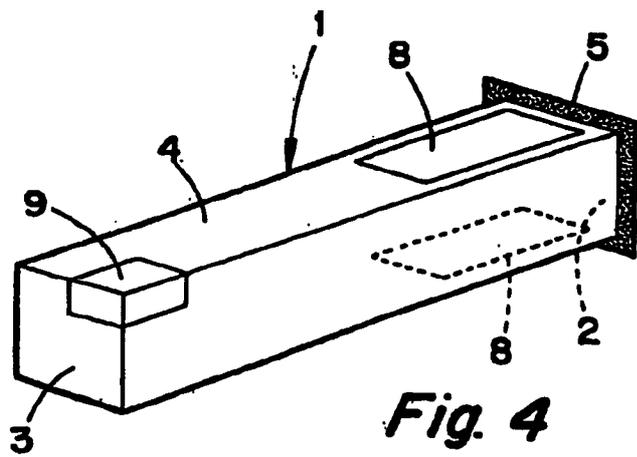


Fig. 3



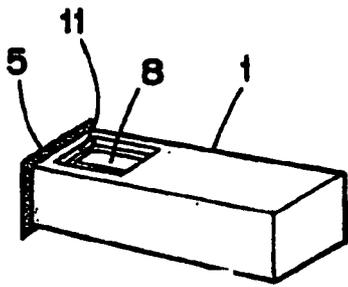


Fig. 6

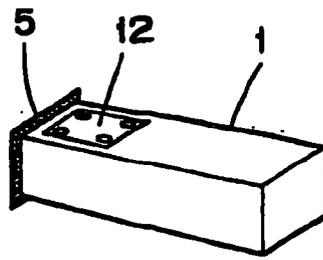


Fig. 7

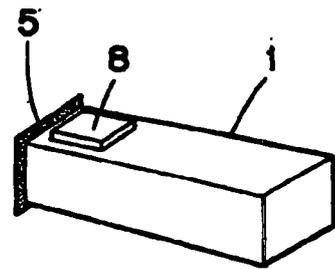


Fig. 8

Fig. 9

