



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP B 25 B / 277 574 4

(22) 20.06.85

(45) 16.12.87

(71) VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig – Grimma – Stammbetrieb, Bahnhofstraße 3/5, Grimma, 7240, DD

(72) Wenske, Hanno; Gallien, Arnold, Dipl.-Ing.; Kauschinger, Martin; Unger, Klaus; Brendel, Josef; Lampe, Lutz, Dipl.-Phys., DD

(54) Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen, das im Maschinen- und Apparatebau aber auch auf feinmechanischem Gebiet einsetzbar ist. Ziel und Aufgabe ist es, einen Schraubprozeß mit hoher Genauigkeit bis zu einer bestimmten Spannkraft leicht regelbar und energiesparend durchzuführen, der sich beim Betätigen einer Vielzahl von Schraubverbindungen ein hohes Maß an Gleichmäßigkeit gewährleistet. Weiterhin soll das Verfahren zu einer wesentlichen Verringerung der physischen Belastung der Bedienenden führen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Schraubenbolzen zu Longitudinalschwingungen angeregt, die Eigenfrequenz desselben gemessen und die Erregerfrequenz während des Schraubprozesses auf die sich ändernde Eigenfrequenz mit einer minimal erforderlichen Erregerenergie nachgeführt wird, so daß sich der Schraubenbolzen in einem Zustand permanenter Resonanz befindet. Fig. 1

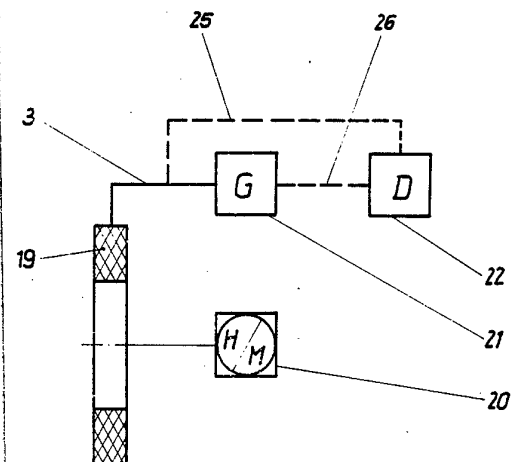


Fig. 1

Patentanspruch:

1. Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen unter Verwendung von Schwingungsenergie, wobei ein Schraubenbolzen oder eine Mutter vorzugsweise motorisch gedreht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schraubenbolzen zu Longitudinalschwingungen angeregt, die Eigenfrequenz desselben gemessen und die Erregerfrequenz während des Schraubprozesses auf die sich ändernde Eigenfrequenz nachgeführt wird, so daß der Schraubenbolzen in Resonanz gerät, und daß die Erregerenergie derart angepaßt wird, daß der schwingende Schraubenbolzen in der Phase maximaler Streckung bzw. Kontraktion weitgehend von Zugspannung bzw. Druckspannung entlastet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Eigenfrequenz als Maß für die Spannung des Schraubenbolzens verwendet und mit einem vorgegebenen Sollwert, welcher mit der vorgesehenen Endspannung des Schraubenbolzens korrespondiert, verglichen wird, bei dessen Erreichen die Schwingungserregung abgebrochen und somit der Schraubprozeß beendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Sicherung des Schraubenbolzens gegen Überlastung die Signale der Eigenfrequenz in diskreten Zeitabständen oder nach Durchlauf einer bestimmten Zahl von Schwingungen miteinander verglichen werden und daß der Schraubprozeß sofort gestoppt wird, sobald der zuletzt gemessene Wert der Eigenfrequenz unterhalb des zuvor gemessenen Wertes liegt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Sicherung des Schraubenbolzens gegen Überlastung dessen Eigenfrequenz mit der Erregerfrequenz in einem Differenzialglied verglichen wird und daß bei Vorzeichenwechsel des Vergleichsergebnisses und gegebenenfalls bei gleichzeitiger betragsmäßiger Überschreitung dieses Vergleichsergebnisses, die betragsmäßig größer als der maximale Wert der Überschreitung der Erregerfrequenz beim Nachführen auf die Eigenfrequenz ist, der Schraubprozeß sofort gestoppt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Realisierung des Schraubprozesses ein piezoelektrischer Motor mit gleicher Frequenz wie die Erregerfrequenz bzw. Eigenfrequenz des Schraubenbolzens angesteuert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zum gleichzeitigen, gleichmäßigen Anziehen von mindestens zwei schraubbaren Verbindungen eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens als Leiteinrichtung eingesetzt wird, deren Schwingungsgeber für alle weiteren Einrichtungen auf die Erzeugung eines gleitenden Sollwertes Einfluß nimmt.
7. Verfahren nach Anspruch 1 und 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Triftgeschwindigkeit des gleitenden Sollwertes um die Zeit $t_v = (0,05 \dots 0,2) \frac{n}{f_0}$ verzögert wird, wobei
 n — die Anzahl der Schwingungen eines Intervalls, des in Intervallen durchgeführten Verfahrens und
 f_0 — die Erregerfrequenz zu Beginn eines Intervalles
 bedeuten.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zum gleichzeitigen und gleichmäßigen Anziehen mindestens zwei schraubbaren Verbindungen das Verfahren gestuft derart durchgeführt wird, das zunächst ein Anziehen bis zum ersten Sollwert erfolgt, der einer bestimmten maximalen Vorspannkraft entspricht, und daß, nach dem alle Verbindungen den ersten Sollwert erreicht haben, der Schraubprozeß, gegebenenfalls über weitere abgestufte Sollwerte in analoger Weise, bis zum Erreichen des letzten Sollwertes fortgesetzt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anpassung der Erregerenergie während des Schraubprozesses dadurch erfolgt, daß die Erregerenergie kontinuierlich oder schrittweise erhöht wird, sobald die Eigenfrequenz des Schraubenbolzens in Folge des stagnierenden Schraubprozesses konstant bleibt und so lange, bis der Sollwert erreicht ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen und ist einsetzbar im Maschinen- und Apparatebau und ähnlichem, wo Schraubverbindungen oft große Kräfte übertragen müssen, wie auch beispielsweise auf feinmechanischem Gebiet, wo es oft darauf ankommt, einen Komplex solcher Verbindungen mit großer Gleichmäßigkeit und präzise bis zu einer bestimmten Belastung zu spannen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen ist eine große Zahl von Geräten bekannt, die sich durch die Art des verwendeten Antriebes, durch die Art und Weise der Kraft- und Bewegungsfortleitung, durch ihre Handhabung und anderes unterscheiden. Dennoch lassen sich diese Geräte im wesentlichen entsprechend dem Funktionsprinzip in drei Gruppen einteilen: Kraftschrauber, Schlagschrauber und solche, die durch Vibrationen den Reibungswiderstand zwischen den Gleit- bzw. Gewindeflächen herabsetzen. Die Arbeitsweise der Kraftschrauber erfolgt in strenger Analogie zum manuellen Schraubprozeß durch Kraftübertragung mittels Hebel auf einen Schraubenschlüssel oder dergleichen, nur daß die menschliche von maschineller Kraft ersetzt ist und von elektrischen, pneumatischen Antrieben erzeugt wird. So zeigen die DE-OS 2529818 und das DD-WP 62789 dieses Prinzip benutzende Konstruktionen. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Art der Elemente, die zur Kraftübertragung auf die zu drehende Schraube benutzt werden. Während erstere ein Klemmband verwendet, kommt bei der anderen eine Kombination von Sperrkränzen und Klinken zur Anwendung.

Schlagschrauber realisieren die Schraubbewegung durch die schnelle Folge von Schlägen einer schlagend drehenden Einheit auf die zu schraubende Mutter u. ä., wodurch die Impulsenergie dieser Einheit in ruckartige Bewegungen der Mutter umgewandelt wird. Sogenannte Hochfrequenzschlagschrauber, angetrieben durch Wechselströme, arbeiten mit einer Schlagfrequenz bis zu ca. 500 Hz.

Auch für Schlagschrauber werden alle schon erwähnten Antriebsarten eingesetzt. Jedoch bedient man sich häufig eines primären elektrischen Antriebes, der erst über einen zwischengeschalteten hydraulischen oder pneumatischen Mechanismus die drehend schlagende Bewegung erzeugt. Eine entsprechende Ausführung offenbart die DE-OS 3231902.

Der Betrieb von Schlagschraubern ist mit der Verursachung von unangenehmen Vibrationen und Geräuschen verbunden, so daß deren Handhabung über längere Zeiträume eine starke körperliche Belastung darstellt. Verglichen mit Kraftschraubern besitzen diese Geräte bezüglich des maximalen Drehmoments eine größere Masse und werden deshalb nur für relativ geringe Drehmomente als Handgeräte hergestellt.

Des weiteren ist eine eindeutige Drehmomentbegrenzung nicht möglich, da die Oberflächenbeschaffenheit, die Art der aufeinander reibenden Materialien sowie der durch mögliche Vibrationen herabgesetzte Reibungskoeffizient gerade im Endlastbereich einen steigenden Einfluß auf das für eine Drehbewegung notwendige Moment ausüben. Die große mechanische Beanspruchung der Geräte durch die schlagende Bewegung stellt hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit vieler Einzelteile.

In vielen Anwendungsfällen ist eine genaue und für alle Schraubverbindungen gleichmäßige Spannkraft erwünscht, was gerade in automatischen Anlagen eine hohe Übereinstimmung des Punktes der Drehmomentenabschaltung der einzelnen Einrichtungen untereinander erfordert. Dies ist zum Beispiel mit Rutschkupplung nicht zu erreichen.

Eine Schaltungsanordnung für eine Drehmomentenabschaltung eines elektromotorisch angetriebenen drehzahlgesteuerten Schlagschraubers wird in der DE-OS 2835382 beschrieben und sieht vor, an Lastwiderständen eine der Belastung des Motors proportionale Spannung abzugreifen, wobei der Stromfluß während des Schlagvorganges in einem Integrator einen Aufsummierungsvorgang hervorruft, dessen Endbetrag ein Maß für die aufgenommene Schlagenergie darstellt. In einem Kompensator wird eine dieser Energie proportionale Spannung mit dem Sollwert verglichen, bei dessen Überschreitung die Stromzufuhr zum Motor unterbrochen wird.

Diese Schaltungsanordnung ist zwar geeignet, den Schraubprozeß mit einer maximalen Drehmomentenüberschreitung, die der Energiezufuhr des letzten Schlages entspricht, zu unterbrechen, jedoch werden dadurch nicht die negativen Einflüsse, resultierend aus oberflächen- und materialabhängigen sowie zugkraftabhängigen Reibkräften, ausgeglichen oder aufgehoben. Dennoch, hohe Genauigkeiten sind nur durch den Aufwand häufiger Eichungen möglich, die alle Abhängigkeiten bzw. Veränderungen erfassen, also auch beispielsweise die, wenn lediglich die Auflagefläche der Mutter variiert.

Ein der dritten Gruppe entsprechendes Verfahren, das Vibrationen im Frequenzbereich von 4 bis 60 kHz verwendet, wird in der DE-OS 2354346 beschrieben. Demgemäß wird während des Anziehprozesses das dazu verwendete Werkzeug, die Schraube oder eines der zu verbindenden Bauelemente mit Vibrationsenergie beaufschlagt, wobei man mit einer vorher gewählten Frequenz arbeitet.

Zwar läßt sich dadurch der Reibungswiderstand — und somit das notwendige Drehmoment — erheblich herabsetzen, jedoch mit dem Nachteil, daß das Drehmoment als indirektes Maß für die Zugspannung des Schraubenbolzens keine Verwendung mehr finden kann. Aussagen darüber, wie Informationen über die Zugspannung als die eigentliche Zielgröße der meisten technischen Schraubprozesse gewonnen werden können, enthält die o. g. Offenlegungsschrift nicht. Vielleicht stellten die diesbezüglichen Probleme den Hauptgrund für die unbedeutende Verbreitung derartiger Verfahren und Einrichtungen dar.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein energiesparendes Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen zu entwickeln, das einen exakt steuerbaren und jegliche Materialüberbeanspruchung vermeidenden Schraubprozeß gewährleistet.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen zu schaffen, das für Schraubverbindungen und Schraubkräfte unterschiedlichster Größenordnung bei gleichermaßen hoher Präzision anwendbar ist und insbesondere das gleichzeitige und gleichmäßige Anziehen einer Vielzahl von Schraubverbindungen genau steuerbar ermöglicht.

Weiterhin soll das Verfahren zu einer wesentlichen Verminderung der physischen Belastung des Bedienungspersonals führen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Schraubenbolzen oder dergleichen zu Longitudinalschwingungen angeregt, die Eigenfrequenz desselben gemessen und die Erregerfrequenz während des Schraubprozesses auf die sich ändernde Eigenfrequenz nachgeführt wird, so daß der Schraubenbolzen in permanente Resonanz gerät. Die Eigenfrequenz des Schraubenbolzens wird dabei als Maß für seine Spannung verwendet, die von einem Schwingungssensor gemessen wird. Der Schwingungsgeber, welcher sich im Kontakt mit dem Schraubenkopf,

der Mutter oder dem Schraubenbolzen oder einem Schwingungsübertrager befindet, ist als piezoelektrisches Element ausgeführt und steht mit einem Wechselspannungsgenerator in Verbindung, der seinerseits mit einem Differenzierglied verbunden ist. Weiterhin ist das Differenzierglied mit dem Schwingungssensor verschaltet und mit dem Wechselspannungsgenerator rückgekoppelt. Vorzugsweise wird mit einer kompakten Schwingungsgeber-Sensor-Einheit gearbeitet, die sowohl Schwingungsgeber als auch Schwingungssensor in Form einer piezoelektrischen Ringscheibe ist. Besonders vorteilhaft ist das Betreiben des Schraubprozesses mit einem piezoelektrischen Motor, der mit gleicher Frequenz wie die Erregerfrequenz bzw. Eigenfrequenz des Schraubenbolzens angesteuert wird. Zum gleichzeitigen, gleichmäßigen Anziehen mehrerer Schraubverbindungen kann eine Einrichtung als Leiteinrichtung eingesetzt werden, deren Schwingungsgeber erzeugt für die anderen Einrichtungen einen gleitenden Sollwert.

Eine weitere Variante des gleichmäßigen Anziehens schraubbarer Verbindungen besteht darin, das Verfahren zunächst bis zum Erreichen eines ersten Sollwertes zu betreiben, der einer gewählten Vorspannkraft entspricht. Nachdem alle Verbindungen diesen Sollwert erreicht haben, wird der Schraubprozeß über weitere gestufte Sollwerte oder gleich bis zum Erreichen des letzten Sollwertes, der der gewünschten Bolzenspannung entspricht, fortgesetzt.

Die Erregerenergie wird während des Schraubprozesses kontinuierlich oder schrittweise erhöht, wenn es sich um einen Anziehprozeß handelt — sobald sich die Eigenfrequenz des Schraubenbolzens in Folge des stagnierenden Schraubprozesses nicht mehr verändert und noch nicht der gewünschten Bolzenspannung entspricht. Außerdem wird dadurch erreicht, daß ein für den Antrieb maximal vorgegebenes bzw. gewünschtes Anziehmoment gerade nicht überschritten wird.

Nachfolgend wird die Erfindung in einem Ausführungsbeispiel und anhand der Figuren näher erläutert. Dabei stellt dar:

Figur 1: Grundschialtung des erfindungsgemäßen Verfahrens

Figur 2: Mehrstellereinrichtung, über gemeinsamen Sollwertgeber gekoppelt

Figur 3: Verstelleinrichtung mit gemeinsamen Regelteil und Programmwahlschalter

Das erfindungsgemäße Verfahren ist an die Bedürfnisse vielfältigster Anwendungsmöglichkeiten anpaßbar. Dies betrifft die Größe der zu übertragenden Kraft ebenso, wie den Einsatz in hochtechnologischen Prozessen, zum Beispiel in Verbindung mit der Robotertechnik. Aber auch auf Baustellen sind Einrichtungen, die dieses Verfahren realisieren, leicht zu handhaben, wobei ein motorischer oder manueller Antrieb zur Anwendung kommen kann.

Figur 1 gibt die Grundschialtung des Verfahrens unter Verwendung einer kompakten Schwingungsgeber-Sensor-Einheit 19 wieder, die den Minimalanforderungen gerecht wird. Das dafür vorgesehene piezoelektrische Element ist über Energie- und Signalleitungen 3 mit einem Wechselspannungsgenerator 21 variierbarer Frequenzen und Leistung verbunden, der das piezoelektrische Element in Schwingungen versetzt. Um Schraubprozesse an Verbindungen unterschiedlichster Dimensionierung mit nur einem Typ eines Wechselspannungsgenerators 21 tätigen zu können, muß dieser einen weiten Frequenzbereich aufweisen, der sich von etwa 50 Hz bis $5 \cdot 10^3$ MHz erstrecken sollte. Ähnliches gilt für die bereitzustellende Leistung, die um so größer sein muß, je größer die schwingungsfähige Masse ist und je größer die Spannung der schraubbaren Verbindung und damit dessen Eigenfrequenz ist.

Meßseitig besteht eine Verbindung zwischen Wechselspannungsgenerator 21 und dem piezoelektrischen Element als Schwingungssensor einerseits und einem Differenzierglied 22 andererseits über die Signalleitung 25. Dies ist bei kompakten Schwingungsgeber-Sensor-Einheiten 19 über nur eine Signalleitung 25 möglich, da auch die Energie- und Signalleitung 3 als solche in einem Strang fungieren kann und das Messen von Eigen- und Erregerfrequenzen über die genannte Energie- bzw. Signalleitung 25 analog der Meß- und Erregerphase zeitversetzt erfolgt. Bei Verwendung eines separaten Schwingungssensors ist eine entsprechend zusätzliche Verbindung zum Differenzierglied 22 herzustellen. Eine weitere Signalleitung 26 dient der Rückkopplung vom Differenzierglied 22 zum Wechselspannungsgenerator 21 zwecks Einflußnahme auf die Erregerfrequenzen und die Erregerleistung. In diesem Beispiel besteht zwischen dem Antrieb 20 und dem Regelkreis keinerlei Beeinflussung. Der Antrieb kann beliebiger motorischer aber auch manueller Art sein.

Figur 2 zeigt eine Mehrstelleneinrichtung aufgebaut aus Einzeleinrichtungen der oben beschriebenen Grundschialtung, die über einen gemeinsamen Sollwertgeber 23 miteinander gekoppelt sind. Die besonders vorteilhaft einsetzbaren piezomechanischen Antriebe 24 werden über die Energieleitung 28 vom Wechselspannungsgenerator 21 mit gleicher Frequenz wie die piezoelektrischen Elemente gespeist, wodurch ein außerordentlich hoher energetischer Wirkungsgrad erreichbar ist.

Der gerätetechnische Aufwand kann bei Verwendung von Vielstelleneinrichtungen, wie in Figur 3 dargestellt, dadurch reduziert werden, daß einer Anzahl von aus Antrieben 24 und piezoelektrischen Elementen bestehenden Einheiten nur ein Regelkreis mit Wechselspannungsgenerator 21 und Differenzierglied 22 zugeordnet ist. Die Verbindung beider Komplexe gewährleistet die Energie- und Signalleitung 29, die durch den Programmwahlschalter 30 unterbrochen ist. Der Programmwahlschalter 30 stellt gemäß einer vorher festgelegten Reihenfolge die entsprechenden Verknüpfungen her. Bei Verwendung eines abgestuften Sollwertes, der dem Differenzierglied 22 über Signalleitung 27 vom Sollwertgeber 23 aufgeschaltet wird, erreicht man einen den Bedürfnissen vieler Einsatzfälle genügenden hinreichend gleichmäßigen Anziehprozeß, trotz des Umstandes, daß immer nur eine der in der Vielstelleneinrichtung zusammengefaßten Einrichtungen in Aktion tritt.

Nachfolgend soll das Verfahren in seiner Funktion beschrieben werden:

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die Fähigkeit starrer elastischer Körper, bei genügender Anregung Schwingungen auszuführen, wobei sie periodisch in gewissen Grenzen ihre geometrischen Abmessungen ändern. Um das Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen zu erleichtern, ist es also wünschenswert, den Schraubenbolzen, das Gewinderohr oder ähnliches während des Schraubvorganges weitgehend von seiner Zug- bzw. Druckspannung zu entlasten. Dies ist möglich in einfacher Weise, dadurch, daß der Schraubenbolzen zu Longitudinalschwingungen angeregt und in Resonanz versetzt wird. Dazu werden Schwingungsgeber, vorzugsweise piezoelektrische Elemente benutzt, deren Erregerfrequenz man auf die Eigenfrequenzen, die sich wegen der während des Schraubvorganges variierenden Spannung auch ändert, nachführt. Um eine ausreichende Streckung bzw. Kontraktion des Schraubenbolzens zu erreichen, wird die Erregerenergie solange erhöht, bis ein hinreichend leichtes Drehen der Mutter oder des Schraubenkopfes möglich ist. Die aufzubringende energetische Leistung, eine schraubbare Verbindung in entsprechende resonante Schwingungen zu versetzen, beträgt nur einen Bruchteil der für herkömmliche Verfahren und Einrichtungen notwendigen Leistung zum Betätigen von Schraubverbindungen. Die Erfindung nutzt damit den Umstand, daß kurzzeitige Änderungen der Abmessungen von Werkstücken im elastischen Bereich ihrer Werkstoffe wesentlich

günstiger durch die Erzeugung des Resonanzfalls bewirkt werden können. Je nach Maß der übertragenen Erregerenergie erfolgt eine mehr oder minder starke Entlastung des Schraubenbolzens in der Periode der Resonanzfrequenz.

Dadurch ist quasi ein ständiges, relativ leichtes Gleiten zwischen den sich berührenden Gewindeflächen als auch der Stirnfläche der Mutter mit dem piezoelektrischen Element während des Schraubprozesses möglich. Außerdem spielt die zu überwindende Haftreibung keine dominierende Rolle mehr, sie kann bei hinreichend starker Erregung fast vollständig aufgehoben werden. Die Eigenfrequenz dient als Maß für die Spannung des Schraubenbolzens und unterliegt bei proportionaler Erhöhung einem progressiven Anstieg. Daher sind für Präzisionsschraubverbindungen auch sehr gut übereinstimmende Spannungswerte erzielbar. Durch eine Eichung des Schraubenbolzens wird der Zusammenhang zwischen dem Wert der Spannung und der Eigenfrequenz ermittelt. Durch Vergleich der sich während des Schraubprozesses ändernden Eigenfrequenz mit einem aus der Eichkurve festgestellten Sollwert wird der Schraubprozeß begrenzt. Die Unterbrechung der Energiezufuhr zum Schwingungsgeber über die Energie- und Signalleitung 3 bzw. Energieleitung 28 beendet auch den Schwingungszustand des Schraubenbolzens; die Mutter sitzt augenblicklich fest und läßt sich nur noch unter Anwendung großer Kräfte drehen. Vorteilhaft ist bei Anwendung dieses Verfahrens auch, daß bei Belastung schlanker Schraubenbolzen auch mit größten Spannungen keine sich auswirkende Verdrillung mehr auftritt.

Zur Sicherung des Schraubenbolzens gegen Überlastung, zum Beispiel wegen Ausfalls des Sollwertgebers 23, gibt es zwei Möglichkeiten. Einerseits durch Vergleichen nacheinander gemessener Eigenfrequenzen des Schraubenbolzens, die nach Überschreitung der maximalen Zugfestigkeit stark abfallen und andererseits durch Vergleich der Eigenfrequenz mit der Erregerfrequenz des Wechselspannungsgenerators 21 in einem Differenzglied 22, der bei Überschreitung der maximalen Belastungsgrenze zum Vorzeichenwechsel führt. In beiden Fällen erfolgt eine sofortige Beendigung des Schraubprozesses und sinnvollerweise die Signalisierung des Ansprechens der Überlastungssicherung. Im zuletzt genannten Fall kann es aber notwendig sein, ein betragsmäßiges bzw. relatives Überschreiten der Erregerfrequenz zuzulassen, wenn beim Nachführen der Erregerfrequenz ein Überspringen über die Eigenfrequenz möglich ist.

Eine besonders günstige Antriebsvariante stellt ein piezomechanischer Motor dar, der mit der gleichen Frequenz wie die Erregerfrequenz bzw. Eigenfrequenz des Schraubenbolzens angesteuert wird. Dies gewährleistet, daß der Antrieb 24 nur dann Energie verbraucht, wenn sich der Schraubenbolzen in der Streckungsphase befindet und somit durch Drehung der Mutter Arbeit verrichten kann.

Besteht die Aufgabe des gleichzeitigen und gleichmäßigen Anziehens mehrerer schraubbarer Verbindungen, so ist es günstig, mit einem gleitenden Sollwert, das heißt, einem geregelten, dem Zielwert zustrebenden Sollwert, zu arbeiten. Dabei übernimmt die Einrichtung einer Schraubverbindung die Funktion einer Leitstelle, deren Schwingungsfrequenz dem sogenannten gleitenden Sollwert entspricht, während nur die Leiteinrichtung mit einem Zielsollwert beaufschlagt ist. Für sehr hohe Genauigkeitsanforderungen besteht noch die Möglichkeit, über die Verzögerung der Driftgeschwindigkeit hinaus, einer Rückkopplung der Untereinrichtung zur Leiteinrichtung zu schaffen, so daß der gleitende Sollwert erst dann erhöht wird, wenn alle Untereinrichtungen den momentanen Sollwert erreicht haben. Diesen Aufwand zu betreiben wird sicher selten sein, da der Verlauf der Zunahme der Spannung degressiv verläuft, so daß anfängliche Unterschiede der Spannung durch den immer langsamer verlaufenden Schraubprozeß bald ausgeglichen sein werden. Die technisch bedingten Unterschiede, insbesondere mit Auswirkungen auf die anfängliche Schraubgeschwindigkeit lassen sich allein dadurch schon unwirksam machen, daß die

Drift zwischen Leit- und Untereinrichtungen pauschal auf einen Zeitwert $t_v = (0,05 \dots 0,2) \frac{n}{f_0}$ festgelegt wird, mit

n — Anzahl der Schwingungen eines Intervalls, des in Intervallen durchgeführten Schraubprozesses und

f_0 — Erregerfrequenz zu Beginn eines Intervalls.

Um eine bessere Überwachung gewährleisten zu können, sollte das Nichterreichen des Sollwertes, nämlich des Zielsollwertes, signalisiert werden.

Die Erfindung soll nun zusammenfassend noch einmal an der in Figur 2 dargestellten Variante erläutert werden, deren Einzeleinrichtungen die Grundschaltung gemäß der Figur 1 beinhalten. Außerdem wird davon ausgegangen, daß kompakte Schwingungsgeber-Sensor-Einheiten 19 und piezomechanische Antriebe 24 verwendet werden. Weiterhin soll ein einfacher gestufter Sollwert, der als erstes das Signal entsprechend einer gewählten gemeinsamen Vorspannung und nach dessen Erreichen durch alle Einrichtungen den Zielsollwert vorgibt. Dazu sind alle Einrichtungen über Signalleitungen 27 mit dem Sollwertgeber 23 gekoppelt.

Die unterste Erregerfrequenz des Wechselspannungsgenerators 21 kann so vorgewählt werden, daß sie nahe unterhalb der Eigenfrequenz des Schraubenbolzens liegt. Über die Energie- und Signalleitung 3 erfolgt die Anregung des piezoelektrischen Elements. Die Schwingungen werden über die Mutter bzw. über einen Schwingungsübertrager auf den Schraubenbolzen übertragen und regen diesen zu Schwingungen an. Gleichzeitig wird der piezomechanische Antrieb 24 über Energieleitung 28 gespeist. Das Differenzglied 22 erhält Meßsignale der Erregerfrequenz über Signalleitung 25 und vergleicht diese mit Meßsignalen der Eigenfrequenz des Schraubenbolzens über die gleiche Signalleitung 25. Dazu unterbricht ein hier nicht dargestelltes Zeitglied für einen sehr kurzen Zeitraum den Betrieb des Wechselspannungsgenerators 21. Nun überträgt der zu Eigenschwingungen angeregte Schraubenbolzen 1 seine Schwingungen direkt oder indirekt auf das piezoelektrische Element, wodurch dieses ein Meßsignal abgibt. Unterscheidet sich die Eigenfrequenz, erfolgt über die Signalleitung 26 eine Rückkopplung und die Erregerfrequenz wird der Eigenfrequenz angeglichen, um die Resonanz aufrecht erhalten zu können. Dies geschieht solange, bis die im Sollwertgeber 23 gespeicherte Zielgröße, in diesem Fall das Signal der gewünschten Vorspannung von der Eigenfrequenz, erreicht ist. Im Differenzglied wird auch kontrolliert, ob sich die Eigenfrequenz von einem Meßintervall zum anderen verändert hat. Ist das nicht der Fall, so konnte kein Schraubprozeß stattfinden, weil die Erregerenergie für eine hinreichende Entspannung des Schraubenbolzens nicht ausreicht. Auch hier erfolgt die Rückkopplung zur Erhöhung der Erregerenergie über Signalleitung 26.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß alle genannten Unterbrechungen des Schraubprozesses zum Messen oder Nachregeln im Bereich von Bruchteilen einer Sekunde liegen.

Ist der Sollwert, der der gewählten Vorspannung entspricht, von allen Einrichtungen erreicht, schaltet der Sollwertgeber 23 automatisch auf den Zielsollwert um. Mit dieser einfachen Methode ist ein sehr gleichmäßiger Schraubprozeß realisierbar, der alle Verbindungen zu jedem Zeitpunkt gleichermaßen stark belastet.

Vorteile der Erfindung

Das Verfahren ist

- auf Schraubverbindungen unterschiedlichster Dimensionierung und Spannung anwendbar,
- unfallsicher,
- energiesparend,
- exakt steuer- bzw. regelbar und
- unter Vermeidung physischer Belastung des Bedienungspersonals betreibbar.

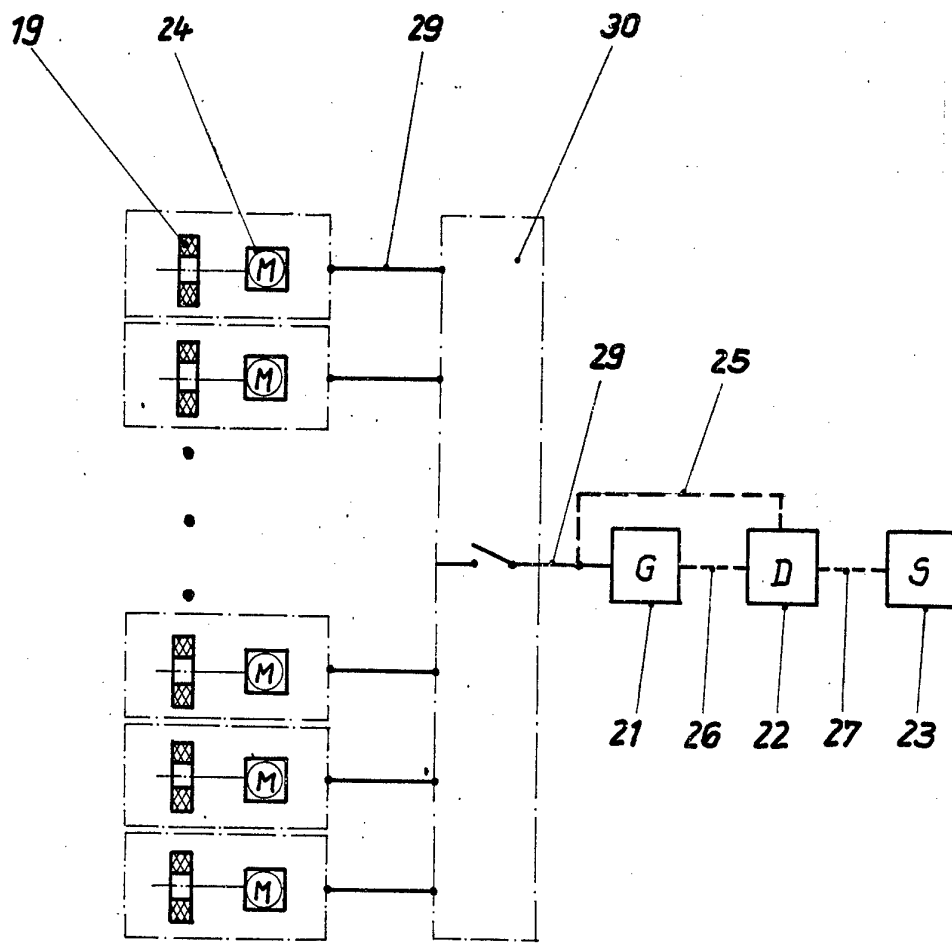


Fig. 3