(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 713 629 B1**

(51) Int. Cl.: **G01N 19/00** (2006.01)
G01P 15/00 (2006.01)
B23P 25/00 (2006.01)
C21D 10/00 (2006.01)
G01L 1/10 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00407/17

(22) Anmeldedatum: 27.03.2017

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.09.2018

(24) Patent erteilt: 29.01.2021

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.01.2021

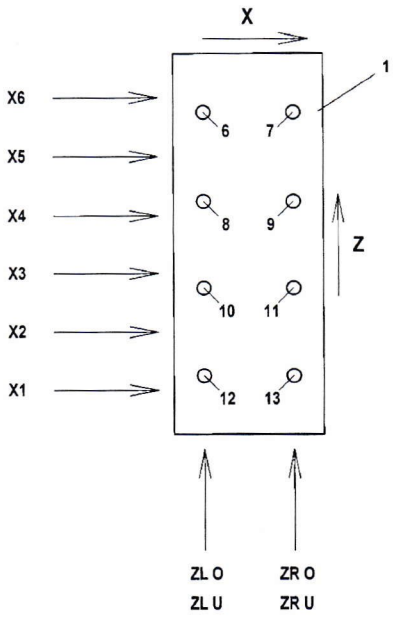
(73) Inhaber:
Hans-Peter Widmer,
c/o Verein Wiap International

(72) Erfinder:
Hans-Peter Widmer, 5745 Safenwil (CH)

(74) Vertreter:
Aldo Römpler Patentanwalt, Brendenweg 11 Postfach 154
9424 Rheineck (CH)

(54) Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken.

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken (1), das beim Vibrationsentspannen einsetzbar ist. Es ist für metallverarbeitende Betriebe praxistauglich. An einer Mehrzahl von Messpunkten (6 - 13) werden Beschleunigungswerte gemessen. Diese Messpunkte (6 - 13) liegen in mindestens zwei zueinander abgewinkelten Messachsen (X - Z), wobei jeweils mindestens zwei Messpunkte (6 - 13) pro Messachse (X - Z) vorgesehen sind. In jeder Dimension, also in der Breite, Höhe und/oder Länge des Werkstücks (1), können auch mehrere, parallele Messachsen vorhanden sein. Dadurch werden zuverlässige Messergebnisse erzielt und bei der Vibrationsentspannung Bereiche erkannt, in denen der Werkstoff des Werkstücks (1) anders als vorgegeben auf die induzierte Vibration reagiert. Dieses Verfahren ist zu Prüfzwecken auch bei Werkstücken (1) einsetzbar, die nicht durch Vibration, sondern beispielsweise durch Wärmen entspannt wurden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken während deren Vibration.

[0002] Beim Bearbeiten von Werkstücken aus Metall, beispielsweise beim Schweissen, entstehen im Werkstück Spannungen. Diese unerwünschten Spannungen bleiben im Werkstück zurück. Auch Giessen, Schmieden oder maschinelle Bearbeitungen können bleibende Spannungen hervorrufen. Diese Eigenspannungen verringern die Belastbarkeit des Werkstücks und können sich auch negativ auswirken, wenn das Werkstück einer weiteren, insbesondere Spanabhebenden Bearbeitung unterzogen werden soll. Neben der beeinträchtigten Formstabilität kann auch die spätere Korrosionsbeständigkeit des Werkstücks leiden. Bekannt und verbreitet ist das Entspannen von Werkstücken durch Erwärmen oder Glühen. Das ist aber zeitraubend, energieaufwendig und teuer. Es ist aber auch bezüglich des Werkstücks nicht unproblematisch, denn sowohl das Erwärmen als auch das Abkühlen können leicht dessen dimensionale Stabilität verändern und das Werkstück verziehen. Flammgerichtete Werkstücke weisen lokal einen Spannungszustand auf, der mit der Umgebung im Gleichgewicht steht. Wird dieses Werkstück geglüht, stellt sich durch Deformation ein neuer Spannungszustand ein und das Werkstück ist dann krumm. Eine nachträgliche Bearbeitung wird dann keinen grossen Einfluss auf die Geradlinigkeit haben. Zudem bildet sich während es Glühens Zunder, der in einem weiteren Arbeitsschritt wieder von der Werkstückoberfläche zu entfernen ist. Beispielsweise durch Sandstrahlen, was zu neuen Spannungen im Werkstück führen kann.

[0003] Bereits vor Jahrzehnten wurde vorgeschlagen, die im Metall durch die Bearbeitung verursachten Eigenspannungen durch Rütteln oder Vibration des Werkstücks wieder abzubauen. Hierzu wird das Werkstück auf einem Schwingungstisch oder mittels einer angesetzten Vibrationsvorrichtung gerüttelt oder in Vibrationen versetzt. Das kann über 5 bis 30 Minuten sein. Bei grösseren und schwereren Werkstücken wurden auch wesentlich längere Vibrationszeiten bekannt, was allerdings aus verschiedenen Gründen zu vermeiden ist. Beim Vibrieren werden die Eigenspannungen über das ganze Werkstück in ein Gleichgewicht gebracht, also nicht nur an der Oberfläche. Das Werkstück kann weiter bearbeitet werden. Der Eigenspannungsabbau ist zu Beginn der Vibration am stärksten, die Wirksamkeit flacht danach aber recht schnell ab. Dieses Verfahren ist häufig mit mehreren Unbekannten verbunden und bedarf einiger Werkstoff- und Sachkenntnis oder entsprechender Anleitung. Obwohl es gegenüber dem Wärmeentspannen zahlreiche Vorteile aufweist, nämlich geringer Zeit- und Energieaufwand, Vermeidung des Wärmeverzugs und von Zunderverunreinigungen des Werkstücks, wird der Einsatz des Vibrationsentspannens häufig gescheut.

[0004] Es gibt drei Arten von Eigenspannungen. Die Eigenspannung erster Art ist makroskopisch und entsteht thermisch dadurch, dass sich der Rand und der Kern eines Werkstücks nach entsprechender Erwärmung unterschiedlich schnell abkühlen. Bei den Eigenspannungen zweiter Art kommt es durch Phasenumwandlungen oder Bildung von Ausscheidungen zu lokalen Gefügeverspannungen. Bei den Eigenspannungen dritter Art sind Versetzungen von einem Spannungsfeld umgeben.

[0005] Voraussetzung für die vielfach nachgewiesene, erfolgreiche Formstabilisierung durch Vibration ist ein Abbau der makroskopischen Eigenspannungen im Werkstück, das heisst, der Spannungen erster Art. Der Spannungsabbau bedingt ein zumindest lokales Überschreiten der Fliessgrenze, was durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Genannt seien hohe Eigenspannungen, die von gleichgerichteten Lastspannungen überlagert sind oder lokale Überhöhungen von Last- und Eigenspannungen durch Kerben, Risse oder Fehlstellen.

[0006] Die Schwierigkeit liegt darin, dass die Eigenspannungen eines Werkstücks bisher kaum messbar sind. Zumal das Werkstück zu diesem Zweck nicht zerstört werden darf. Vielmehr werden Begleiterscheinungen gemessen. Zwar hat man beispielsweise versucht, Werkstücke zu röntgen, doch erkennt man damit nur oberflächennahe Bereiche. In Metall verarbeitenden Fabriken und Werkstätten sind diese eher für Testlabore tauglichen Vorgehensweisen kaum durchführbar. Es wurde auch versucht mit Bohrlöchern den Spannungsabbau nachvollziehen zu können, was aber bestenfalls nur Rückschlüssen auf den Bohrlochbereich erlaubt. Ferner hat man mit beschränktem Erfolg versucht, durch Messung des sich verändernden Stromverbrauchs des zum Antrieb eines Exzenters eingesetzten Elektromotors Rückschlüsse auf den Fortgang der Vibrationsentspannung zu ziehen. Auch das ist letztlich nur wenig aussagekräftig. Selbst das Ansetzen eines Sensors am Werkstück selbst, führt nicht wirklich zu zuverlässigen Ergebnissen.

[0007] Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse setzt sich die Erfindung die Aufgabe, ein Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken zu schaffen, das beim Vibrationsentspannen einsetzbar ist, für metallverarbeitende Betriebe praxistauglich ist und zu zuverlässigen Messergebnissen führt.

[0008] Dank der durch das erfindungsgemässe Verfahren gewonnen Werte hinsichtlich der Eigenspannung von Werkstücken, lässt sich die darauf folgenden Entspannung, das heisst, der Spannungsabbau und die Formstabilisierung der Werkstücke besser und zielgerichteter durchführen. Dies gilt insbesondere für die Vibrationsentspannung. Hauptsächlich zu Prüfzwecken, ist dieses Mess-Verfahren aber auch allgemein zur Feststellung von Eigenspannungen einsetzbar, selbstredend auch bei Werkstücken, die auf anderem Weg entspannt wurden.

[0009] Das erfindungsgemässe Verfahren entspricht den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1. Weitere vorteilhafte Ausbildungen des Erfindungsgedankens sind aus den abhängigen Patentansprüchen ersichtlich.

[0010] Man hat immer gedacht, ein Werkstück vibriere bei der Vibrationsentspannung gleichmässig, das heisst, an jeder Stelle seiner Fläche und seines Volumens annähernd gleich. Durch viele Versuche mit dem vorliegenden Verfahren wurde jedoch erkannt, dass dem gar nicht so ist. Tatsächlich ergeben sich bei der Vibrationsentspannung Bereiche, in denen der Werkstoff des Werkstücks anders auf die induzierte Vibration reagiert. Der G-Wert, wobei 1G = 9,81 m/s^2 entspricht, ist nicht überall gleich. Vielmehr verschiebt und verändert sich dieser G-Wert über die Vibrationsachse unterschiedlich, entsprechend den dort jeweils herrschenden, unterschiedlichen Eigenspannungen des jeweiligen Werkstücks. Durch das erfindungsgemässe Verfahren wird dies exakt erkannt, was zu deutlich besseren Entspannungsergebnissen durch die Vibrationsentspannung genutzt werden kann. Durch gezielteres Arbeiten können zudem sowohl der Zeit- als auch der Energieaufwand verringert werden.

[0011] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung beschrieben.

Fig. 1	zeigt ein geometrisch einfaches, längliches Werkstück von seiner Schmalseite her, das heisst, der Länge nach;
Fig. 2	zeigt dasselbe Werkstück von oben, das heisst die Oberseite der Darstellung nach Fig. 1.

[0012] Das zu messende und zu entspannende Werkstück 1 ist aus Metall, beispielsweise Stahl. Der Einfachheit halber ist ein stabförmiges Werkstück dargestellt. In der Praxis wird es sich häufiger um komplexere, verschweisste Werkstücke handeln, die teilweise auch runde Querschnitte haben können.

[0013] Am Werkstück 1 wird eine nicht dargestellte Vorrichtung zur Vibrationsentspannung kraftschlüssig aber lösbar angesetzt. Beispielsweise kann dies durch Klemmen oder mittels robusten Schraubzwingen erfolgen. Das Werkstück 1 muss hingegen so gelagert sein, dass Vibrationen möglich sind und nicht etwa durch eine Halterung oder einen Werktisch behindert werden. Bekannt sind zum Beispiel Gummiunterlagen verschiedenster Art und Form. Die nicht dargestellte, technisch jedoch bekannte Vorrichtung zur Vibrationsentspannung weist üblicherweise mindestens einen Exzenter auf, der durch einen Antrieb, beispielsweise einem Elektromotor in Rotation versetzt wird.

[0014] Erfindungsgemäss wird am Werkstück 1 an einer Mehrzahl von Messpunkten gemessen, die über dieses Werkstück 1 verteilt sind. Im vorliegenden Beispiel sind es zwölf Messpunkte 2 bis 13. Deren genaue Anzahl ist jedoch nicht massgeblich. Entscheidend ist, dass in mehr als einer Messachse jeweils mindestens zwei Messpunkte 2 bis 13 vorhanden sind. Die allgemeine Ausrichtung dieser Messachsen entspricht auch der jeweiligen Vibrationsachse, also der Richtung, in der das Werkstück 1 zur Vibrationsentspannung einer raschen Folge von Hubbewegungen, beziehungsweise Unwuchtbewegungen unterliegt. Im Beispiel nach den Fig. 1 und 2 der Zeichnung sind in allen drei Dimensionen X, Y und Z Messachsen vorhanden, sprich in der Breite, Höhe und Länge des Werkstücks.

[0015] In Fig. 1, also in der Sicht auf die Schmalseite des Werkstücks 1, sind eine obere und eine untere Messachse X O, das heisst X Oben, und X U, also X Unten, zu sehen. In der oberen Messachse sind zwei Messpunkte 2 und 3 vorgesehen und in der unteren Messachse ebenfalls zwei Messpunkte 4 und 5. Die vorgenannten Messpunkte der Dimension X beziehen sich somit auf die Breite des Werkstücks 1. Bezogen auf die Dimension Y, also auf die Höhe des Werkstücks 1, sind zwei Messachsen Y1 L, das heisst, eine erste Messachse Links und Y1 R, also eine erste Messachse Rechts erkennbar. Die beiden nächsten Achsen Y1 L und Y1 R in Fig. 1 sind auf die Oberseite des Werkstücks 1 gerichtet und liegen in Draufsicht nach Fig. 2 von oben senkrecht zu den dortigen Messpunkten 6 - 13. Die Achsen ZL O, ZL U sowie ZR O und ZR U beziehen sich auf die dritte Dimension Z, nämlich die Länge des Werkstücks 1, wobei hier auf der Oberseite die Messpunkte 12, 10, 8 und 6 einerseits sowie 13, 11, 9 und 7 andererseits zu sehen sind. Entsprechendes wäre in diesem Beispiel von der Unterseite des Werkstücks 1 zu sehen. Zusammenfassend können also in jeder Dimension X, Y und Z mehrere, parallele Messachsen vorhanden sein.

[0016] Zum eigentlichen Mess-Verfahren: An den genannten Messpunkten 2 - 13 wird jeweils ein Sensor angesetzt, genauer gesagt ein Beschleunigungssensor. Solche Beschleunigungssensoren sind technisch unter verschiedenen Bezeichnungen bekannt, auch als Accelerometer oder G-Sensoren. Gemessen wird die Beschleunigung. Dies erfolgt meistens indem die auf eine Testmasse, hier das Werkstück 1, wirkende Trägheitskraft bestimmt wird. Damit kann gemessen werden, ob eine Verschiebung des G-Wertes stattfindet. Aufgezeichnete Messwerte werden als Akzelerogramm bezeichnet. In der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise mit Beschleunigungssensoren, die einer Kontrolleinrichtung verbunden sind, gleichzeitig an allen Messpunkten gemessen. Es wäre aber auch möglich, manuell einen stiftartigen Beschleunigungssensor nacheinander an diesen Messpunkten 2 - 13 anzusetzen, wobei natürlich keine ununterbrochene, durchgehende Kontrolle stattfindet.

[0017] Nun wird die Vorrichtung zur Vibrationsentspannung eingeschaltet und damit die Vibration des Werkstücks 1 hochgefahren. Die Vibration der Vorrichtung zur Vibrationsentspannung wird so lange verstärkt, bis - als Folge davon - die Eigenresonanz des Werkstücks 1 nahezu erreicht ist. Das heisst, es erfolgt im Werkstück 1 ein Antasten an den G-Wert. Dieser ist aufgrund der Formstabilität werkstückabhängig. Dieser G-Wert kann bei einem als Vollkörper ausgebildeten Werkstück 1 wie folgt definiert sein: 1G = 9,81 m/s^2. Der G-Wert darf bei dieser Messung, im Sinn der angestrebten Vibrationsentspannung des Werkstücks 1, an keinem der diversen, an ihm angeordneten Messpunkte 2 - 13 überschritten werden.

[0018] Falls das Werkstück 1 jedoch von einer Normgrösse abweicht, sei es weil es andere Masse, ein anderer Werkstoff und/oder potentielle Schwachstellen aufweist, wie beispielsweise Schweissnähte von angeschweissten Stegen oder dergleichen, wird ein tieferer oder höherer Wert als der vorgenannte G-Wert als Grenzwert für die Eigenresonanz des Werkstücks 1 angenommen.

[0019] Ein solcher Grenzwert kann auch errechnet werden, indem man eine Normgrösse annimmt. Wenn zum Beispiel als Normgrösse von einem Werkstück ausgegangen wird, das ein Vollkörper aus Stahl ist und die Masse 100 x 100 x 100 cm aufweist, dann kann dies als Faktor 100% angenommen werden.

[0020] Ist dieses würfelförmige Werkstück aber ein Hohlkörper, dann verringert sich das Gewicht bei gleichbleibendem Volumen. Das heisst, das Werkstück hat einen geringeren Stahlanteil. Entsprechend wird, ausgehend von den besagten 100%, werkstückabhängig ein beispielsweise um 20% bis 35% verringerter Grenzwert errechnet. Letzterer Grenzwert ist beim vorgenannten hohlen Werkstück zulässig, ohne dass es beim Vibrationsentspannen zu Beschädigungen kommen kann. Entsprechend würde, im theoretischen Fall, dass das tatsächlich zu Vibrationsentspannende Werkstück 1 ein Volumen und Gewicht von über 100% aufweist, andersherum vorgegangen. Ebenso kann verfahren werden, wenn sich aufgrund der Werkstoffwahl nur das Gewicht, nicht aber das Volumen ändert.

[0021] Durch ein Anpassen der Beschleunigungswerte der Vibrationsentspannung kann der für jedes Werkstück 1 geeignete Wert als Grenzwert vorgegeben werden. Damit können zum Beispiel auch Werkstücke in Form eines dünnwandigen Hohlkörpers vibrationsentspannt werden. Wobei auch in diesem Fall durch die beschriebenen Messpunktreihen, beziehungsweise Messachsen, allfällige Schwachpunkte zuverlässig erkannt werden.

[0022] Ein Beispiel einer Verfahrensweise: Die Vibration wird so lange hochgefahren bis die kritische Eigenresonanz des Werkstücks angetastet, sprich nahezu erreicht ist. Das kann schon bei circa 2800 U/min des die Vibration erzeugenden Exzenters sein. Das hängt aber auch von der Art des eingesetzten Exzenters sowie von dessen Einstellungsstufen ab. Erfahrungsgemäss kommt es meistens bei circa 3300 bis 6000 U/min zur Eigenresonanz, die nicht überschritten werden darf, damit das Werkstück 1 nicht in unkontrollierte Erregung versetzt wird, was im ungünstigsten Fall sogar die Vorrichtung zur Vibrationsentspannung vom Werkstück 1 lösen könnte. Wenn ein Eigenresonanz- oder kritischer Grenzwert nahezu erreicht ist, wird das Hochfahren der Vibration angehalten und/oder etwas heruntergefahren, zum Beispiel um 5%. Die Vibration wird eine gewisse Zeit stabil gehalten, zum Beispiel während 2 Minuten, so dass sich das Werkstück wieder beruhigen kann. Während dieser Zeit wird ständig oder regelmässig gemessen, beispielsweise alle 5 Sekunden, und ein Durchschnittswert errechnet. Das bezieht sich auf alle Messachsen X, Y und/ oder Z, wobei die vorgenannte Verfahrensweise auch mehrmals wiederholt werden sollte. Der Messunterschied zwischen Vorher und Nachher ist die G-Verschiebung, sprich die Veränderung der gemessenen Werte. Das ist der Nachweis, dass eine Spannung im Werkstück 1 abgebaut wurde. Dank der Messung in mehreren Messachsen und mit mehreren Beschleunigungssensoren kann zudem erkannt werden, wo Spannungen abgebaut wurden und wo nicht.

[0023] Die erwähnte Kontrolleinrichtung kann entweder direkt oder über eine zweite Kontrolleinrichtung, die der Steuerung der Vibrationsentspannung dient, die Vibration optimal regeln oder erforderlichenfalls beenden, sei es durch normales Herunterfahren oder im Notfall durch sofortiges Stoppen. Alternativ oder zusätzlich kann das Regeln oder Beenden der Vibrationsentspannung manuell aufgrund der von den Beschleunigungssensoren, beziehungsweise von der Kontrolleinrichtung angezeigten Werte erfolgen. Eine Anzeige der Messwerte ist offensichtlich in jedem Fall sinnvoll.

[0024] Eine zusätzliche Möglichkeit, das Vibrationsentspannen und das diesem unterliegende Werkstück 1 noch besser zu überwachen liegt darin, mindestens einen akustischen Sensor einzusetzen. Wenn sich beispielsweise eine Aufspannbride, eine das Werkstück 1 haltende Schraubzwinge oder auch eine Schweissnaht des Werkstücks 1 zu lösen beginnt, verändert sich der durch die Vibration entstehende Ton. Das ermöglicht es, die Vibration zu stoppen, noch bevor allenfalls Schaden oder gar Verletzungen des Bedienungspersonals entstehen können.

[0025] Das Verfahren kann im Einzelnen, im Rahmen des Patentanspruchs 1, auch anders als illustriert ausgeführt werden, zumal die Fig. 1 und 2 die Grundidee nur schematisch darstellen. In den meisten Fällen mag es sinnvoll sein, die Messpunkte 2 - 13 in regelmässigen Abständen anzuordnen, da aber die unterschiedlichsten Werkstücke zu entspannen sind, kann es natürlich auch zu Abweichungen von dieser Regelmässigkeit kommen. Unter anderem aus demselben Grund, kann es fallweise sinnvoll sein, die mindestens zwei Messachsen X und/oder Y und/oder Z in einem anderen Winkel zueinander auszurichten als, wie im Beispiel gezeichnet, annähernd im 90°-Winkel. In jedem Fall ist in jeder gewählten Messachse eine Reihe von mindestens zwei Messpunkten 1 - 13 vorzusehen.

[0026] Abschliessend sei festgestellt, dass das erfindungsgemässe Verfahren zur Messung der Eigenspannung auch bei solchen Werkstücken 1 zu Prüfzwecken einsetzbar ist, die nicht durch Vibration, sondern beispielsweise durch Wärmen oder Glühen entspannt wurden. Das Messverfahren bedingt allerdings eine Vibration.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken (1) während deren Vibration, dadurch gekennzeichnet, dass an einer Mehrzahl von Messpunkten (2 - 13) Beschleunigungswerte während der Vibration gemessen werden, wobei diese Messpunkte (2 - 13) in mindestens zwei zueinander abgewinkelten Messachsen (X, Y, Z) liegen, mit jeweils mindestens zwei Messpunkten (2 - 13) pro Messachse (X, Y, Z).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens zwei Dimensionen des Werkstücks (1), nämlich Breite, Höhe und/oder Länge, mindestens je eine der Messachsen (X, Y, Z) vorhanden ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass an jedem Messpunkt (2 - 13) mit je einem separaten Beschleunigungssensor die Beschleunigungswerte gleichzeitig gemessen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass an jedem Messpunkt (2 - 13) jeweils ein einziger, jeweils nacheinander angesetzter Beschleunigungssensor verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass im Verlauf der Vibration mindestens zwei Messungen der Beschleunigungswerte in einem zeitlichen Abstand durchgeführt werden, um einen Unterschied eines G-Wertes zwischen diesen mindestens zwei Messungen feststellen zu können, welcher Unterschied ein Nachweis von Spannungsverschiebungen oder für einen Abbau von Eigenspannungen im Werkstück (1) ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, dass die Vibration in ihrem Verlauf so weit verstärkt wird, bis eine Eigenresonanz oder ein vorgegebener Vibrationsgrenzwert des Werkstücks (1) erreicht und/oder solange an keinem der Messpunkte (2- 13) überschritten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Mass für den Beschleunigungswert der Vibrationsspannung am Werkstück (1) ein G-Wert angenommen wird, wobei $G \cdot g = 9.81\ m/s^2$ mit $G = 1$ entspricht, und als theoretischer Ausgangswert einer Normgrösse eines Werkstücks (1) angenommen wird, wobei Abweichungen des Werkstücks von dieser Normgrösse in Bezug auf sein Volumen und/oder sein Gewicht zu einem als Eigenresonanz des Werkstücks (1) vorgegebenen Grenzwert umgerechnet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Mass für den Beschleunigungswert der Vibrationsspannung eines potentielle Schwachstellen aufweisenden Werkstücks (1), wie beispielsweise Schweissnähte, ein Wert angenommen wird der kleiner als 1 ist, wobei $G \cdot g < 9.81\ m/s^2$ mit $G < 1$ entspricht, wobei Abweichungen des Werkstücks von dieser Normgrösse in Bezug auf sein Volumen und/oder sein Gewicht zu einem als Eigenresonanz des Werkstücks (1) vorgegebenen Grenzwert umgerechnet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Normgrösse von einem als Vollkörper ausgebildeten Werkstück (1) aus Stahl, mit den Massen 100 x 100 x 100 cm ausgegangen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7, 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die besagte Normgrösse als 100% angenommen wird, von der Abweichungen abgezogen oder dazugerechnet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6-10, dadurch gekennzeichnet, dass die Vibration beim Erreichen des vorgegebenen Grenzwertes des Werkstücks (1) verringert und danach eine gewisse Zeit stabil gehalten wird, wobei während dieser Zeit mindestens zwei Mal Beschleunigungswerte gemessen werden und aus ihnen je Messpunkt ein Durchschnittswert errechnet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6-11, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Messungen des oder der Beschleunigungssensoren einer Kontrolleinrichtung zugeführt werden zur Anzeige der Messwerte und/oder zur Steuerung einer Vibrationsentspannung, zum Beispiel eines einen Exzenter antreibenden Elektromotors.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-12, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Messachsen (X, Y, Z) im 90°-Winkel zueinander ausgerichtet sind.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-12, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Messachsen (X, Y, Z) in einem vom 90°-Winkel abweichenden Winkel zueinander ausgerichtet sind.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-14, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein akustischer Sensor verwendet wird, zur Feststellung einer Veränderung eines durch eine Vibrationsentspannung entstehenden Tons, der durch eine Lösung einer Verbindung zwischen dem Werkstück (1) und einer Vorrichtung zur Vibrationsentspannung oder eine Lösung einer Schweissnaht des Werkstücks (1) entsteht, wobei bei einer entsprechenden Ton-Veränderung die Vibration stoppbar ist.

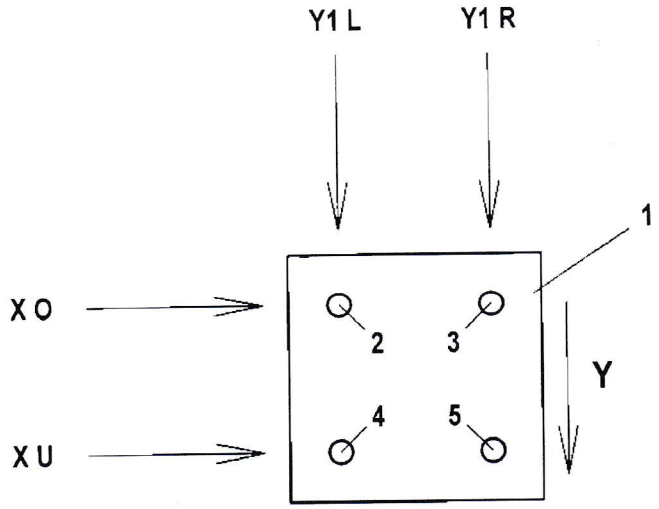

Y1 L
Y1 R
1
X O
X U
2
3
4
5
Y

Fig. 1

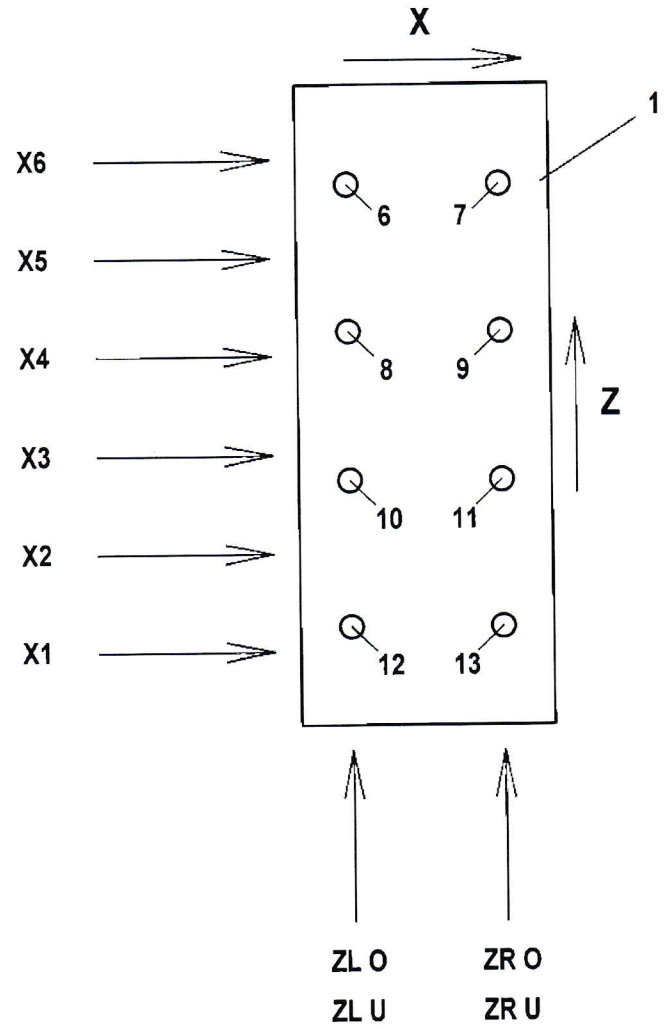

X
1
X6
X5
X4
X3
X2
X1
6
7
8
9
10
11
12
13
Z
ZL O
ZL U
ZR O
ZR U

Fig. 2