



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer: **0 261 273 A1**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 86113278.5

51 Int. Cl. 4: **B23P 25/00**, C21D 10/00

22 Anmeldetag: 26.09.86

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.03.88 Patentblatt 88/13

84 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **VSR Martin Engineering GmbH**
Bahnhofstrasse 52
D-6200 Wiesbaden(DE)

72 Erfinder: **Schneider, Dietmar**
Am Unterfeld 2
D-6229 Schlangenbad-Georgenborn(DE)

74 Vertreter: **Patentanwälte Grünecker,**
Kinkeldey, Stockmair & Partner
Maximilianstrasse 58
D-8000 München 22(DE)

54 Verfahren zum Betreiben einer Maschine zum Entspannen von Werkstücken durch Vibration.

57 Verfahren zum Betreiben einer Maschine zum Entspannen von Werkstücken, bei dem das Werkstück Vibrationen ausgewählter Drehzahlwerte eines Vibrators unterworfen wird und bei dem die Auswahl der Drehzahlwerte des Vibrators aus einer Messung entnommen wird, welche das Schwingverhalten des Werkstücks bei Anregung durch den Vibrator in seinem Arbeitsbereich wiedergibt und bei dem zu den einzelnen Drehzahlwerten des Vibrators in seinem Arbeitsbereich in einem definierten Oberwellenbereich die jeweiligen Oberwellen derjenigen Schwingungen ermittelt werden, in denen im Arbeitsbereich Resonanzen oder dergleichen stabile Schwingungszustände auftreten, und wobei zur Entspannung des Werkstücks diejenigen Drehzahlwerte ausgewählt werden, die für eine Häufung von Oberwellen im definierten Oberwellenbereich ursächlich sind.

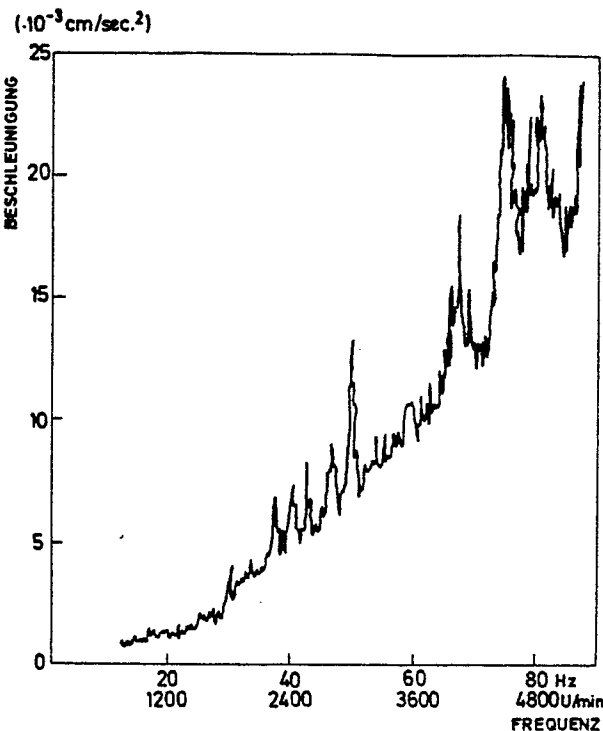


FIG.1

EP 0 261 273 A1

Verfahren zum Betreiben einer Maschine zum Entspannen von Werkstücken durch Vibration

Die Erfindung bezieht sich auf eine Maschine zum Entspannen von Werkstücken, bei dem das Werkstück Vibrationen ausgewählter Drehzahlwerte eines Vibrators unterworfen wird und bei dem die Auswahl der Drehzahlwerte des Vibrators aus einer Messung entnommen wird, welche das Schwingverhalten des Werkstücks bei Anregung durch den Vibrator wiedergibt.

Das obige Verfahren ist ausführlich beschrieben in der DE-U 70 05 792 oder der US-PS 36 77 831. Zur Entspannung von Werkstücken arbeitet man üblicherweise mit Drehzahlen des Vibrators von 1.200 bis 6.000 U/min oder auch bis 12.000 U/min, was Erregerfrequenzen von 20 - 100 Hz bzw. 200 Hz entspricht, wobei über diesen Arbeitsbereich zunächst in einem Meßlauf diejenigen Drehzahlen bzw. Frequenzen festgestellt werden, bei denen das Werkstück zu starken Schwingungen neigt. Das Schwingverhalten wird meist durch einen am Werkstück befestigten Beschleunigungsmesser festgestellt. Zur Entspannung wird das Werkstück anschließend einer Behandlung durch den Vibrator bei Drehzahlen unterworfen, bei denen das Werkstück im vorangegangenen Meßlauf Resonanzfrequenzen aufwies. Bei kompliziert aufgebauten Werkstücken existieren meist so viele Spitzen bzw. Maxima im Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm, daß man für die Auswahl der Drehzahlen des Vibrators für die Entspannungsbehandlung eine Auswahl treffen muß, wobei man üblicherweise nur diejenigen Drehzahlen mit deutlich ausgeprägten Spitzen herausgreift. Es tritt dabei nicht selten der Fall auf, daß einzelne der deutlich ausgeprägten Spitzen lediglich Oberwellenschwingungen einer Grundfrequenz darstellen, sodaß bei ihnen eine Entspannungsbehandlung nicht erforderlich ist, wenn bereits bei der zugehörigen Grundfrequenz gearbeitet wurde. Darüberhinaus sind häufig gerade die für die Entspannung wesentlichen Frequenzen im noch nicht entspannten Werkstück so wenig deutlich ausgeprägt, daß sie im Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm bei der Suche nach stark ausgeprägten Spitzen nicht zur Auswahl kommen. Es ist zwar bekannt, daß die im mikroskopischen Bereich liegenden Eigenspannungen nicht unmittelbar durch die Arbeitsfrequenzen des Vibrators, sondern durch deren Oberwellen entspannt werden, jedoch verließ man sich bisher darauf, daß im Meßlauf bei Erregung einer solchen Oberwelle auch im Arbeitsbereich des Vibrators eine deutlich ausgeprägte Spitze auftritt. Häufig bleiben jedoch solche Spitzen wenig ausgeprägt

und werden bei der Auswahl der stark ausgeprägten Spitzen nicht erfaßt, wodurch die tatsächliche Entspannung des Werkstücks meist weit unter der optimalen Entspannung zurückbleibt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Maschine der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem der optimale Grad der Entspannung gezielter als mit bisherigen Verfahren annäherbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 dadurch gelöst, daß zu den einzelnen Drehzahlwerten des Vibrators in seinem Arbeitsbereich (z. B. 1.200 bis 6.000 U/min bzw. 20 bis 100 Hz) in einem definierten Oberwellenbereich (z. B. 100 bis 2.000 Hz) die jeweiligen Oberwellen derjenigen Schwingungen ermittelt werden, in denen im Arbeitsbereich Resonanzen oder dergleichen stabile Schwingungszustände auftreten, und daß zur Entspannung des Werkstücks diejenigen Drehzahlwerte des Vibrators in seinem Arbeitsbereich ausgewählt werden, die für eine Häufung von Oberwellen im definierten Oberwellenbereich ursächlich sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die Verteilung der Oberwellen der sich in einem Werkstück aufgrund der Vibratorerregung ausbreitenden Schwingungen eine wesentliche bessere Auskunft darüber liefert, bei welchen Erregerfrequenzen des Vibrators in seinem Arbeitsbereich entspannt werden soll, als die im Arbeitsbereich selbst auftretenden Spitzen. Werkstücke müssen nicht sehr komplex aufgebaut sein, um eine Vielzahl von stabilen Schwingungszuständen aufzuweisen, die weit außerhalb des Frequenzbereichs liegen, in denen der Vibrator betrieben wird. Durch die Analyse des Oberwellenbereichs für die einzelnen Vibratordrehzahlen, bei denen das Werkstück zu stabilen Schwingungen neigt, erhält man Auskunft darüber, welche Vibratordrehzahlen zu einer Häufung von Schwingungen im Oberwellenbereich führt und welche Arbeitsdrehzahlen des Vibrators für die Entspannung wesentlich sind. Als wesentlich sind diejenigen Arbeitsschwingungen des Vibrators anzusehen, die zu einer möglichst hohen Anzahl von Erregungen im Oberwellenbereich führen.

Zur Ermittlung der Häufung von Oberwellen im definierten Oberwellenbereich kann man zwei unterschiedliche Wege gehen. Gemäß Anspruch 2 werden im Arbeitsbereich des Vibrators die Resonanzen bzw. die ihnen ähnlichen sonstigen stabilen Schwingungszustände festgestellt, und es werden zu den ermittelten Spitzen im Schwingungsverhalten die zugehörigen Oberwellen rechnerisch ermit-

telt. Es wird dann aus diesen rechnerisch ermittelten Oberwellenwerten festgestellt, welche der Werte aus dem Arbeitsbereich des Vibrators für eine Häufung von Oberwellen ursächlich sind.

In einer Alternative zu Anspruch 2 werden gemäß Anspruch 3 die Oberwellen meßtechnisch ermittelt. Hier kann man mit üblichen Methoden der Frequenzanalyse vorgehen, indem das Werkstück beispielsweise über den Vibrator mit kontinuierlich ansteigender Drehzahl oder auch in kleinen Drehzahlschritten erregt wird oder auch ein definierter Stoß auf das Werkstück ausgeübt wird, um die Oberwellenschwingungen zu ermitteln.

In der bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens nach Anspruch 4 werden die Amplituden der gemessenen Oberwellen als zusätzliches Auswahlkriterium herausgezogen. Je höher die Amplitude umso mehr ist die zu dieser Oberwelle gehörende Arbeitsfrequenz zur Vibratorentspannung geeignet. In dem Verfahren nach Anspruch 4 wird deshalb die Häufung der Oberwellen mit der jeweiligen Amplitude korreliert, beispielsweise multipliziert, um dann aus dem so gewonnenen Diagramm die Auswahl zu treffen.

Im Anspruch 5 ist eine bevorzugte Weiterbildung angegeben, die zu einer weiteren Optimierung der Auswahl der Drehzahlwerte des Vibrators für die Entspannung führt. Dieses Verfahren läßt sich sowohl bei der rechnerischen Ermittlung der Oberwellen (Anspruch 2), als auch bei ihrer meßtechnischen Ermittlung (Anspruch 3) anwenden. Das Verfahren nach Anspruch 5 eignet sich insbesondere für die Auswertung durch einen Rechner. Durch die Aufteilung des Oberwellenbereichs in einander benachbarte Fenster mit einer definierten Bandbreite von beispielsweise jeweils 7 Hz, erhält man eine unmittelbare Aussage darüber, in welchen Frequenzbereichen Oberwellen gehäuft auftreten. Da die statistische Verteilung der Oberwellen im Oberwellenbereich nicht gleichmäßig ist, sondern bei relativ niedrigen Werten ein Maximum aufweist, erhält man eine verbesserte Aussage über die Häufung von Oberwellen, wenn das dem Werkstück zugeordnete Ergebnis der Verteilung der Oberwellen mit der statistischen Verteilung verglichen wird, um festzustellen, in welchen Oberwellenbereichen tatsächlich gegenüber der statistischen Verteilung eine Häufung von Oberwellen auftritt.

Die Weiterbildung gemäß Anspruch 6 führt zu einer noch besseren Optimierung der Auswahl der Drehzahlwerte des Vibrators, da nicht nur eine Häufung von Oberwellen im Oberwellenbereich berücksichtigt wird, sondern darüberhinaus auch noch nach dem Kriterium ausgewählt wird, daß diejenigen Drehzahlwerte des Vibrators bevorzugt werden, die möglichst viele Oberwellenbereiche mit Häufungen von Oberwellen erregen.

In dem Verfahren nach Anspruch 7 werden die weiteren Drehzahlwerte zur Vibratorentspannung aus der Rangfolge der Drehzahlwerte ermittelt, die jeweils die höchste Zahl von ausgewählten Fensterbereichen mit Oberwellen versorgt haben.

Im Gegensatz zu dem Auswahlkriterium nach Anspruch 7 wird bei dem Auswahlkriterium nach Anspruch 8 so vorgegangen, daß diejenigen Oberwellen, die aus bereits ausgewählten Drehzahlwerten des Vibrators resultieren, keine Berücksichtigung mehr finden. Es wird also jeweils ein Drehzahlwert ausgewählt, und es werden dann die ausgewählten Fensterbereiche neu festgelegt. Da diejenigen Oberwellen, die zu der bereits ausgewählten Drehzahl gehören, keine Berücksichtigung mehr finden, fallen damit eventuell vorher ausgewählt gewesene Fensterbereiche weg, und es wird aus den verbleibenden bzw. neu ausgewählten Fensterbereichen jeweils die nächste Arbeitsdrehzahl des Vibrators ausgewählt.

Anspruch 9 gibt unterschiedliche Möglichkeiten an, das Meßdiagramm festzulegen, von dem aus die Oberwellen bestimmt werden. In der Praxis hat man sich bisher üblicherweise des Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms bedient. Bei Anregung des Werkstücks durch den Vibrator wird am Werkstück zur Erfassung des Schwingungsverhaltens mindestens ein Beschleunigungsmesser angebracht, der relativ gut angibt, auf welchem Frequenzen die bevorzugten Schwingungen des Werkstücks liegen. Statt eines solchen Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms, kann man sich auch eines Amplituden/Drehzahl-Diagramms bedienen oder eines Verzerrungsfaktor/Drehzahl-Diagramms. Das Verzerrungsfaktor/Drehzahl-Diagramm hat den Vorteil, daß es nicht wie das Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm mit steigenden Frequenzen einen quadratischen Anstieg aufweist, sondern, abgesehen von den darin enthaltenen Spitzen einen über der Drehzahl konstanten Verlauf hat.

Anhand von in der Zeichnung dargestellten Schemaskizzen wird die Erfindung im folgenden näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel eines Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms eines Werkstücks;

Fig. 2 ein vereinfachtes Schaubild eines Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms mit zugeordnetem Oberwellendiagramm, und

Fig. 3 eine stark vereinfachte Darstellung der Zuordnung der Oberwellen von zwei Fensterbereichen aus dem Oberwellenbereich zu den zu selektierenden Arbeitsdrehzahlen des Vibrators.

In Fig. 1 ist ein typisches Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm eines Werkstücks über einem Drehzahlbereich von 1.200 bis 4.800 U/min dargestellt. Dieses Diagramm zeigt eine Vielzahl von Maxima bzw. Spitzen, bei denen erhöhte Beschleunigungswerte mit der zugehörigen Drehzahl dargestellt werden. Diese Spitzen müssen nicht notwendigerweise auf Resonanzschwingungen mit der Frequenz der Anregung durch den Vibrator zurückzuführen sein, wenn der Beschleunigungsmesser auch für höhere Frequenzen empfindlich ist. In diesem Fall mißt der Beschleunigungsmesser auch Beschleunigungen von Schwingungen mit Frequenzen außerhalb des Arbeitsbereichs. Es kann durchaus vorkommen, daß das Werkstück bei der Anregungsfrequenz von beispielsweise 40 Hz nur unwesentlich schwingt, der Beschleunigungsmesser aber trotzdem dort einen relativen hohen Wert anzeigt. Dies ist ein Zeichen dafür, daß das Werkstück dann bei den bei 40 Hz entstehenden Oberwellen stark schwingt.

In Fig. 2a ist stark vereinfacht ein Fig. 1 entsprechendes Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm dargestellt. In dem hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst dieses Diagramm erstellt, indem das Werkstück durch den Vibrator mit zunehmenden Drehzahlen des Vibrators in Schwingungen versetzt und das Beschleunigungs-Antwort-Verhalten in Form dieses Diagramms festgehalten wird. In dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird der Vibrator beginnend mit einer Drehzahl von 1.200 U/min bis 6.000 U/min und einer Schrittweite von 20 bis 30 U/min betätigt und jeweils der zugehörige Beschleunigungswert festgehalten. In dem vereinfachten Schaubild nach Figur 2a werden dabei drei Spitzen bzw. Maxima bei 30 Hz, 70 Hz und 95 Hz festgestellt. Diesem Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm ist das in

Figur 2b dargestellte Oberwellendiagramm zugeordnet, in dem ein Oberwellenbereich von 100 Hz bis 2.000 Hz definiert ist. Zu sämtlichen festgestellten Spitzen im Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm bzw. den zugehörigen Anregungsfrequenzen werden nun die Oberwellen errechnet, wobei zur Berechnung der Oberwellen die Anregungsfrequenz mit jeweils fortlaufenden ganzen Zahlen multipliziert wird. Für das hier angenommene Beispiel von Spitzen im Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm bei 30 Hz, 70 Hz und 95 Hz ergeben sich im definierten Oberwellendiagramm von 100 Hz bis 2.000 Hz folgende Oberwellen:

$30 \text{ Hz} \times 2 = 60 \text{ Hz}$ (ungültig, da nicht im
 $30 \text{ Hz} \times 3 = 90 \text{ Hz}$ definierten Oberwellenbereich)
 $30 \text{ Hz} \times 4 = 120 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 5 = 150 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 6 = 180 \text{ Hz}$

$30 \text{ Hz} \times 7 = 210 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 8 = 240 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 9 = 270 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 10 = 300 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 11 = 330 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 12 = 360 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 13 = 390 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 14 = 420 \text{ Hz}$
 $30 \text{ Hz} \times 15 = 450 \text{ Hz}$

Es werden bevorzugt nur die ersten 15 bis 18 Harmonischen berücksichtigt, sodaß die für 30 Hz Anregungsfrequenz höchste zu berücksichtigende Oberwelle bei 450 Hz liegt. In Figur 2b sind zur vereinfachten Darstellung jeweils nur die 5., 10. und 15. Harmonische eingetragen.

$70 \text{ Hz} \times 2 = 140 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 3 = 210 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 4 = 280 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 5 = 350 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 6 = 420 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 7 = 490 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 8 = 560 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 9 = 630 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 10 = 700 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 11 = 770 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 12 = 840 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 13 = 910 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 14 = 980 \text{ Hz}$
 $70 \text{ Hz} \times 15 = 1050 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 2 = 190 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 3 = 285 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 4 = 380 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 5 = 475 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 6 = 570 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 7 = 665 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 8 = 760 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 9 = 855 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 10 = 950 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 11 = 1045 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 12 = 1140 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 13 = 1235 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 14 = 1330 \text{ Hz}$
 $95 \text{ Hz} \times 15 = 1425 \text{ Hz}$

Im Oberwellendiagramm sind im Bereich von 100 Hz bis 2.000 Hz einander benachbarte Fenster mit einer Frequenzbreite von 6 Hz definiert. Es sind also $(2.000 - 100) : 6 = 317$ Fenster festgelegt und es wird diejenige Anzahl von Oberwellen in jedem Fenster ermittelt, die aus den Drehzahlen des Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms, bei denen Spitzen auftreten, resultieren. Zum Beispiel fällt die 5. Oberwelle der 30 Hz-Vibratorschwingung von 150 Hz in das 9. Fenster, welches definiert ist von 148 Hz bis 154 Hz. Als Ergebnis dieses ersten Verfahrensschrittes erhält man in jedem Fensterbereich eine dem Werkstück eigene Anzahl von in den jeweiligen Fensterbereich gefallen Oberwellen.

Die Fensterbereiche werden nun geordnet nach der Anzahl von Oberwellen, die in sie gefallen sind. In einem noch relativ einfachen Verfahren wählt man nun aus einer sehr kleinen Zahl von Fenstern mit den höchsten Anzahlen von in sie gefallen

Oberwellen, die zugehörigen Basisfrequenzen aus dem Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm aus und benutzt diese Drehzahlen zur Vibrationsspannung.

In Figur 2b ist mit 1 ein Kurvenzug bezeichnet, der die statistische Oberwellenverteilung wiedergibt. Unter der statistischen Oberwellenverteilung ist diejenige gemeint, die sich ergibt, wenn man dieselbe Oberwellenberechnung wie oben durchführt, jedoch nicht von den Frequenzen ausgeht, bei denen sich im Werkstück Spitzen ergeben, sondern eine konstante Schrittbreite von beispielsweise 1 Hz zugrunde liegt. Wie diese Kurve zeigt, ist die statistische Verteilung nicht konstant über den Oberwellenbereich, sondern weist ein Maximum auf. Man erhält eine Verbesserung des obigen Verfahrens, wenn man die Anzahl der Oberwellen in den einzelnen Fensterbereichen gegenüber dieser statistischen Verteilung normiert, bevor man die Fensterbereiche in ihrer Rangfolge ordnet.

Obwohl mit den obigen Verfahren bereits gegenüber den bekannten Verfahren wesentlich verbesserte Ergebnisse erzielt werden, kommt man zu einer noch gesteigerten Optimierung der Entspannung eines Werkstücks durch folgende Verfahrensergänzung. Es werden wie oben beschrieben wieder ausgehend von den Spitzen im Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm die Anzahlen der Oberwellen in den einzelnen Fensterbereichen festgestellt, wobei gegebenenfalls mit der statistischen Verteilung normiert wird. Anschließend wird wieder die Rangfolge der Fensterbereiche festgelegt, und es werden beispielsweise von den insgesamt 317 Fensterbereichen die ranghöchsten 100 ausgewählt. Von diesen ausgewählten 100 Fensterbereichen werden nun die Oberwellen, die diese Fensterbereiche zur Auswahl gebracht haben, einer weiteren Untersuchung unterzogen, indem für jeden dieser 100 Fensterbereiche diejenigen Anregungsfrequenzen aus dem Arbeitsbereich des Vibrators zu einer Familie zusammengefaßt werden, die in diesem Fensterbereich Oberwellen erzeugt haben. Eine solche Familie kann aus 2 bis beispielsweise 14 Familienmitgliedern bestehen. Man stellt nun im Arbeitsbereich des Vibrators die Familienmitglieder für alle 100 ausgewählten Fensterbereiche zusammen und bestimmt in einer Prioritätsliste die Reihenfolge der Familienmitglieder nach der Zahl ihrer "Verwandtschaftsgrade". In den Fig. 3a, 3b wird verdeutlicht, was mit dem "Verwandtschaftsgrad" gemeint ist. In Fig. 3b sind zwei Fensterbereiche a und b herausgegriffen, die

zu den ausgewählten Fensterbereichen gehören. Mit der zum Fensterbereich a gehörenden Pfeilkette sind diejenigen Frequenzen aus dem Arbeitsbereich gekennzeichnet, die Oberwellen erzeugt haben, welche in den Fensterbereich a fielen, und das Entsprechende ist mit dem Fensterbereich b gemacht. Zur Familie Fam_a gehören die Frequenzen f₂, f₄, f₅ und f₇ und zur Familie Fam_b die Frequenzen f₁, f₃, f₄ und f₆. Wie man aus diesem Schaubild sieht, stellt die Frequenz f₄ einen Sonderfall dar, da diese Frequenz f₄ sowohl zur Familie Fam_a als auch zur Familie Fam_b gehört. Diese Familien werden wegen der gemeinsamen Zugehörigkeit dieser Frequenz f₄ als verwandt bezeichnet. Die Frequenz f₄ hat einen Verwandtschaftsgrad, während alle anderen in Fig. 3 gezeichneten Frequenzen jeweils keinen weiteren Verwandtschaftsgrad haben. Man kann sich leicht vorstellen, daß bei der Vielzahl der in einem Meßprotokoll gemäß Fig. 1 auftretenden Spitzen Familien mit sehr vielen Familienmitgliedern entstehen und dementsprechend auch hohe Verwandtschaftsgrade. In der oben angesprochenen Ordnung der Frequenzen aus dem Arbeitsbereich des Vibrators werden denjenigen Frequenzen die höchsten Prioritäten gegeben, die die größte Zahl von Verwandtschaftsgraden aufweisen. In dem vereinfachten Beispiel nach Fig. 3 würde die Frequenz f₄ an rangerster Stelle stehen, während alle anderen (null Verwandtschaftsgrade) gleichberechtigt darunterliegen. In der Praxis ergibt sich bei Durchführung dieses Auswahlkriteriums eine sehr differenzierte Liste mit einer Maximalzahl von häufig bis zu 10 Verwandtschaftsgraden. Es werden nun diejenigen Frequenzen des Arbeitsbereiches des Vibrators ausgewählt, die in dieser Liste die höchsten Verwandtschaftsgrade haben.

Bei dem beschriebenen zusätzlichen Auswahlkriterium über die "Familienbildung" wird von der Erkenntnis ausgegangen, daß diejenigen Frequenzen im Arbeitsbereich des Vibrators, die durch die Untersuchungen im Oberwellenbereich (Fensterbildung und Auswahl) zur Auswahl vorgeschlagen werden, die Wesentlicheren sind, die zudem auch noch eine möglichst hohe Anzahl von Verwandtschaftsgraden haben, da jeder Verwandtschaftsgrad bedeutet, daß mit Auswahl von nur einer Frequenz (im obigen Beispiel die Frequenz f₄) ein zusätzlicher Oberwellenbereich (die beiden Fensterbereiche a und b) erfaßt wird.

Bei dem oben beschriebenen Verfahren wurde bezüglich des der Entspannung zu unterwerfenden Werkstücks von einem Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm ausgegangen, in dem die Maxima ermittelt werden und davon rechnerisch dann die zugehörigen Oberwellen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die im Werkstück tatsächlich auftretenden Oberwellen

meßtechnisch zu erfassen und diese meßtechnisch erfaßten Oberwellen dann dem beschriebenen Auswahlkriterium zu unterwerfen. Die meßtechnische Erfassung der Oberwellen kann mit bekannten Methoden der Fourieranalyse oder dergleichen durchgeführt werden. In der Praxis ist es meist ausreichend, für nur wenige Drehzahlen des Vibrators die Oberwellenverteilung festzustellen, da wegen der meist stark nichtlinearen Anregung durch den Vibrator nicht nur Harmonische von der Grundfrequenz entstehen, sondern die Anregung ohnehin in einem relativ breiten Frequenzspektrum erfolgt. Wenn man bei der Messung der Oberwellen das jeweilige Oberwellenspektrum für alle Drehzahlen des Vibrators feststellt, bei denen Spitzen auftreten, kann das obige Verfahren identisch durchgeführt werden und, weil man bei der Messung im Oberwellenbereich auch noch die Amplituden der Oberwellen erhält, können auch diese Amplituden noch in die Optimierung einbezogen werden, wobei man denjenigen Oberwellen natürlich den Vorzug gibt, die zu höheren Amplituden führen. In der Praxis kann man dabei so vorgehen, daß man ein erstes Oberwellendiagramm aufstellt, in dem die Dichte bzw. Häufigkeit der ermittelten Oberwellen pro Oberwellenbandbreite aufgetragen ist und ein zweites Oberwellendiagramm in dem die Amplitudenwerte aufgetragen sind. Durch Verknüpfung dieser beiden Diagramme, beispielsweise Multiplikation der über übereinstimmenden Frequenzen liegenden Werte der beiden Diagramme erhält man ein drittes Diagramm, das der weiteren Auswertung zugrundegelegt werden kann.

Stellt man allerdings bei der Frequenzanalyse gar kein Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm auf, kann natürlich die oben beschriebene Optimierung durch Feststellen des "Verwandtschaftsgrades" nicht durchgeführt werden. Es empfiehlt sich statt dessen hier das Kriterium der gemessenen Amplituden der Oberwellen einzubeziehen.

Statt des in der Praxis üblicherweise benutzten Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramms kann man natürlich auch ein Amplituden/Drehzahl-Diagramm aufstellen, das auf der Abszisse statt der Beschleunigungswerte die tatsächlichen Amplitudenausschläge des Werkstücks berücksichtigt. Dieses Diagramm ist dem Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm recht ähnlich. Ein etwas anderes Diagramm ist das Verzerrungsfaktor/Drehzahl-Diagramm. Der Verzerrungsfaktor kann durch folgende Formel definiert werden:

$$K_{(d)} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^L x_{(k)}^2}}{x_{(1)}}$$

In dieser Formel bedeuten:

10 $x_{(1)}$ = Schwingungsamplitude bei der Anregungsgrundfrequenz,

$x_{(k)}$ = Schwingungsamplitude bei der k-ten Harmonischen zur Grundfrequenz,

15 L = Begrenzungszahl als ganze Zahl aus $f_{(\max)}/F_{(j)}$, wobei $f_{(\max)}$ die oberste Grenze des definierten Oberwellenbereichs (im obigen Beispiel 2.000 Hz) ist, und

$F_{(j)}$ die jeweilige Grundfrequenz der Erregung.

20 Der Verzerrungsfaktor läßt sich über die Analyse des Frequenzspektrums gewinnen, aber auch mit einfachen meßtechnischen Mitteln. Die Frequenzspektrumsanalyse gibt im wesentlichen den Oberwellenanteil einer Schwingung im Verhältnis zum Grundanteil wieder, was ohne weiteres durch eine entsprechende Filteranordnung die für das obige Beispiel bei 100 Hz eine Begrenzung vorsieht, realisiert werden kann. Gegenüber dem Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm hat das Verzerrungsfaktor/Drehzahl-Diagramm den Vorteil, 25 daß es keinen so starken Anstieg zu höheren Frequenzen aufweist (auch ohne Resonanzspitzen hat das Beschleunigungswerte/Drehzahl-Diagramm einen quadratischen Anstieg über der Drehzahl.

35 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Maschine zum Entspannen von Werkstücken, bei dem das Werkstück Vibrationen ausgewählter Drehzahlwerte eines Vibrators unterworfen wird und bei dem die Auswahl der Drehzahlwerte des Vibrators aus einer Messung entnommen wird, welche das Schwingverhalten des Werkstücks bei Anregung durch den Vibrator in seinem Arbeitsbereich (z. B. 20 Hz bis 100 Hz) wiedergibt,

dadurch **gekennzeichnet**,

30 daß zu den einzelnen Drehzahlwerten des Vibrators in seinem Arbeitsbereich in einem definierten Oberwellenbereich (z. B. 100 Hz bis 2.000 Hz) die jeweiligen Oberwellen derjenigen Schwingungen ermittelt werden, in denen im Arbeitsbereich Resonanzen oder dergleichen stabile Schwingungszustände auftreten, und daß zur Entspannung des Werkstücks diejenigen Drehzahlwerte ausgewählt werden, die für eine Häufung von Oberwellen im definierten Oberwellenbereich ursächlich sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß die Oberwellen zu den einzelnen im Arbeitsbe-
reich des Vibrators liegenden Resonanzen (oder
dergleichen stabilen Schwingungszuständen)
rechnerisch ermittelt werden.

5

daß zur Bestimmung der Resonanzen bzw. derglei-
chen stabilen Schwingungen bzw. Oberwellen, die
am Werkstück auftretenden
Beschleunigungswerte, oder
Verzerrungsfaktoren
zugrunde gelegt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß die bei einer Anregung im Arbeitsbereich ent-
stehenden Oberwellen meßtechnisch ermittelt wer-
den.

10

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß als zusätzliches Auswahlkriterium zur Häufung
von Oberwellen im definierten Oberwellenbereich
die Amplituden der Oberwellen herangezogen wer-
den, indem im Oberwellendichtediagramm die
Dichte der Oberwellen mit der jeweiligen Amplitude
bewertet, beispielsweise multipliziert wird, und das
so erhaltene Diagramm dann zur Auswahl der Ar-
beitsfrequenzen herangezogen wird.

15

20

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis
4,

dadurch **gekennzeichnet**,
daß im Oberwellenbereich Fenster des Frequenz-
bereichs gebildet werden, in denen die dort hinein-
fallenden Oberwellen gezählt werden, und daß zur
Ermittlung der Häufung von Oberwellen diejenigen
Fensterbereiche ausgewählt werden, die die
höchste Zahl von Oberwellen, gegebenenfalls unter
vorheriger Normierung gegenüber der statistischen
Verteilung, haben.

25

30

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß zu den Oberwellen aus jedem ausgewählten
Fensterbereich diejenigen Drehzahlen aus dem Ar-
beitsbereich des Vibrators festgehalten werden, die
für diese Oberwellen ursächlich sind, und daß
demjenigen Drehzahlwert des Vibrators der Vorzug
gegeben wird, der in einer höheren Anzahl von
ausgewählten Fensterbereichen Oberwellen er-
zeugt hat (Familienbildung).

35

40

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß als nächster Drehzahlwert derjenige aus-
gewählt wird, der in der Rangfolge in der jeweils
höchsten Anzahl von ausgewählten Fensterberei-
chen Oberwellen erzeugt hat.

45

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch **gekennzeichnet**,
daß zur Auswahl der jeweils nächsten Drehzahl
dasselbe Kriterium herangezogen wird, aber unter
Ausschluß derjenigen Oberwellen, die bereits zur
Auswahl des vorhergehenden Drehzahlenwertes be-
stimmend waren.

50

55

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis
8,
dadurch **gekennzeichnet**,

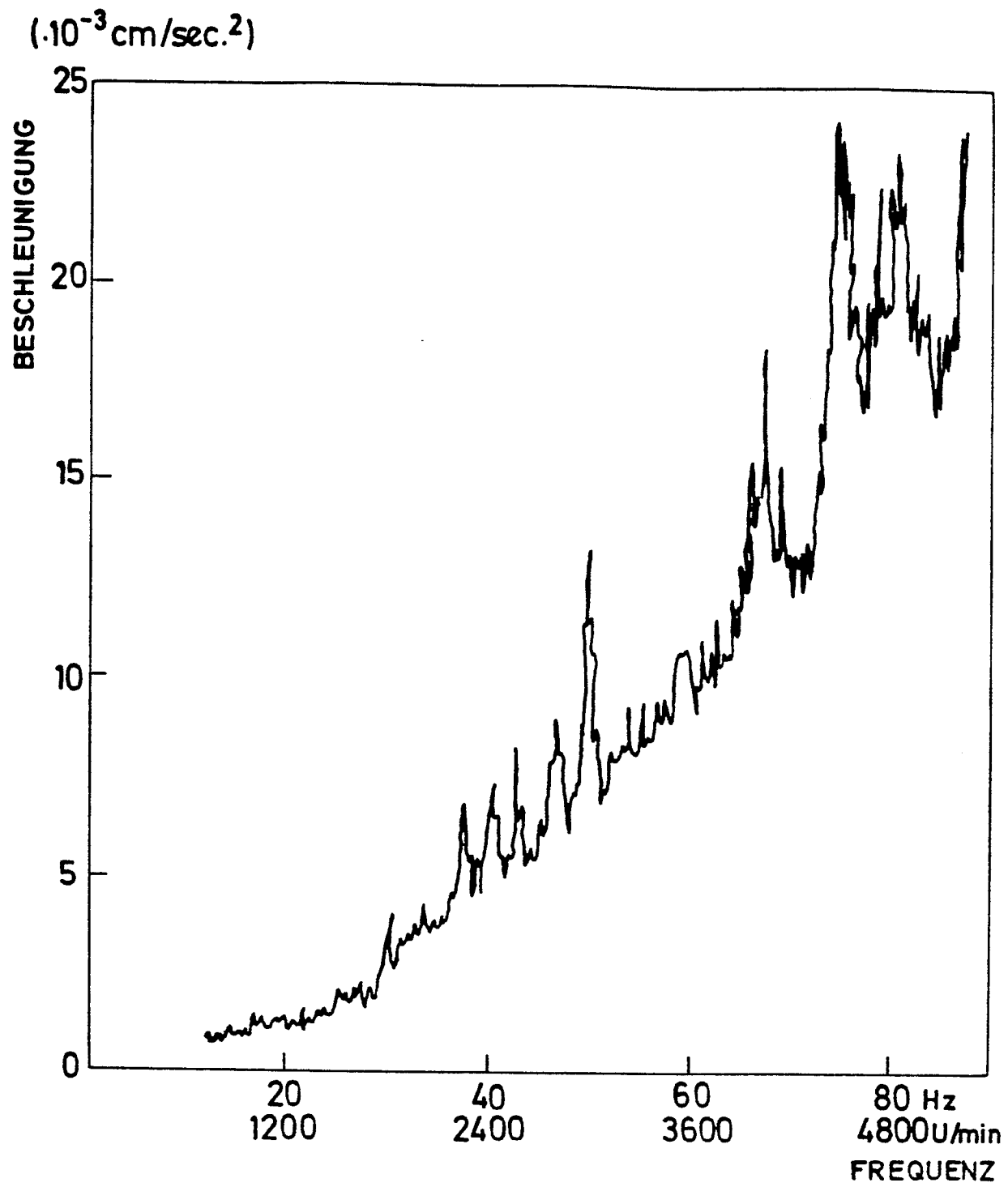


FIG. 1

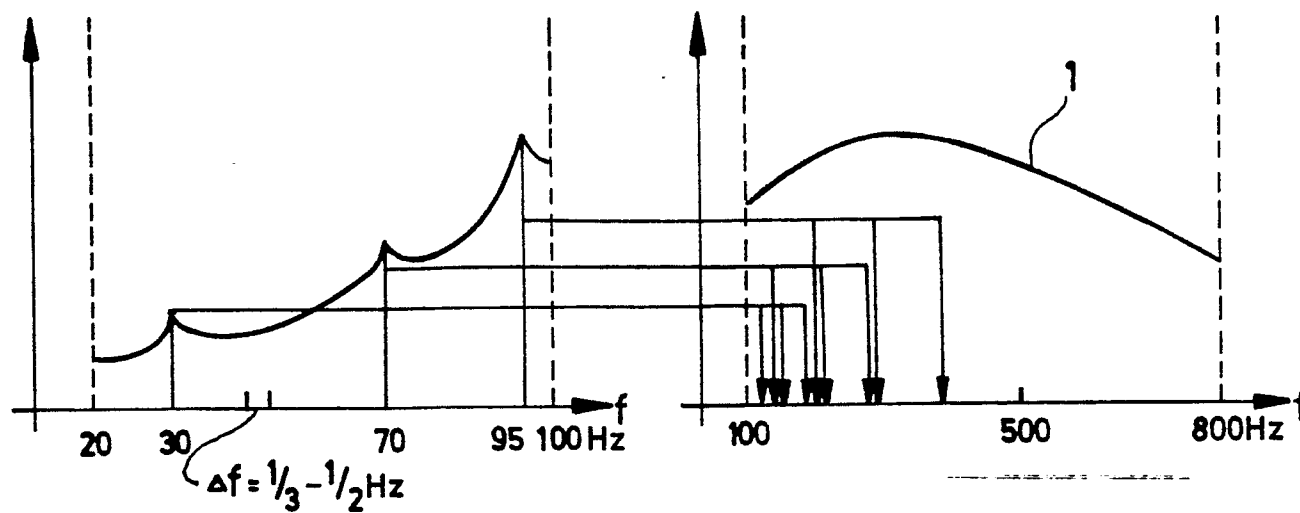


FIG. 2a

FIG. 2b

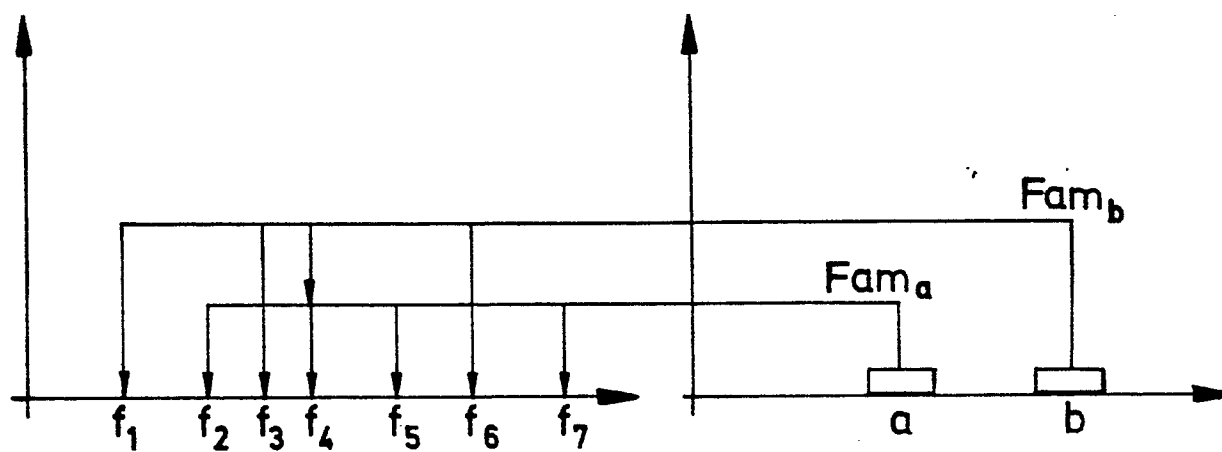


FIG. 3a

FIG. 3b



EP 86113278.5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
A	GB - A - 2 088 269 (VSR MARTIN ERG.) * Zusammenfassung; Anspruch 1; Fig. 3 *	1,3,9	B 23 P 25/00 C 21 D 10/00
A	US - A - 4 402 222 (OLSON, GROVER, STOUT, BECKER, KAUFMANN) * Anspruch 1; Spalte 20, Zeilen 50-51 *	2	
A	US - A - 4 446 733 (OKUBO) * Ansprüche 1,6 *	1,3,9	
D,A	DE - U - 7 005 792 (THOMPSON) * Anspruch 1 *	9	
D,A	US - A - 3 677 831 (PEZANS et al.) * Spalte 1, Zeile 42 *	9	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			* RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)
Recherchenort WIEN		Abschlußdatum der Recherche 21-12-1987	Prüfer BISTRICH
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN 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 andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, überein- stimmendes Dokument			