



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 20 2008 014 792 U1** 2010.04.29

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2008 014 792.1**

(22) Anmeldetag: **07.11.2008**

(47) Eintragungstag: **25.03.2010**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **29.04.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23Q 17/12** (2006.01)

**B23Q 17/09** (2006.01)

**B23Q 11/00** (2006.01)

**G01N 29/14** (2006.01)

**G05B 19/404** (2006.01)

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

**QASS GmbH, 58300 Wetter, DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

**Grosse, Schumacher, Knauer, von Hirschhausen,  
45133 Essen**

(56) Recherchenergebnisse nach § 7 Abs. 2 GebrMG:

**WO 88/07 911 A1**

**WO 89/12 528 A1**

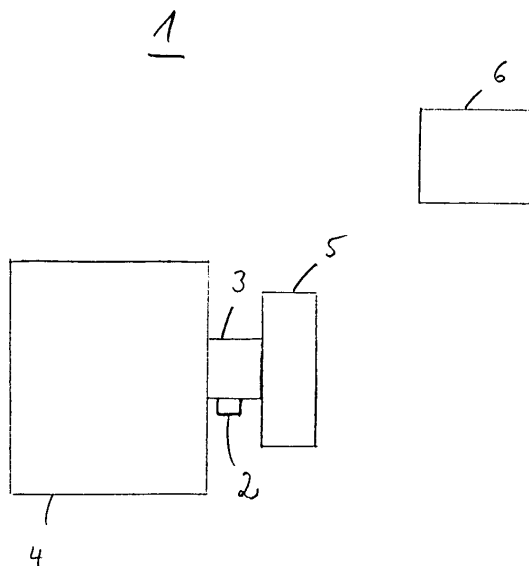
**DE 38 29 825 C2**

**NORDMANN, K.: Ein Beitrag zur Verschleiß- und  
Bruchüberwachung rotierender Werkzeuge.  
Sonderdruck der Nordmann KG, 1990, S. 45-51**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen, bei der während des Bearbeitens eines Werkstückes (5) entstehende Schwingungen erfasst und ausgewertet werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung dazu ausgestaltet ist, ein hochfrequentes Zerspanungsschwingungsspektrum zu erfassen und einer Frequenz-Zeit-Analyse zu unterwerfen.



**Beschreibung****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**Hintergrund der Erfindung**

**[0002]** Zur Beobachtung des maschinellen Bearbeitens von Werkstücken sind im Stand der Technik viele Verfahren bekannt.

**[0003]** So ist aus der DE 10 2005 034 768 A1 ein Verfahren zum Überwachen des Betriebszustands einer Werkzeugmaschine bekannt, um kritische Zustände bereits vor dem Eintreten eines Schadensfalls zu diagnostizieren und somit die durch Schäden und ungeplante Ausfälle verursachten Kosten und Aufwände zu vermeiden. Bei dem bekannten Verfahren werden rotierende Komponenten einer Werkzeugmaschine wie etwa Rotoren von Werkzeug- oder Motorspindeln, Pumpen oder Lüftern mittels eines Schwingungssensors überwacht. Hierzu werden niederfrequente Schwingungen durch den Schwingungssensor erfasst, um Unwuchten und/oder Werkzeugschwingungen zu erkennen und so z. B. ein schlecht gewuchtetes, falsch gespanntes oder verschlissenes Werkzeug zu erkennen. Die Auswertung erfolgt dabei grafisch auf Einzelwertbasis von Signalamplituden bei vorgegebenen Frequenzen. Eine derartige Auswertung einzelner niederfrequenter Schwingungen, wie sie auch aus der DE 102 44 426 D4 und der DE 103 40 697 A1 bekannt ist, ist jedoch für die Bewertung eines Zerspanungsprozesses im Hinblick auf die Qualität der Bearbeitung des Werkstücks nur bedingt geeignet.

**[0004]** Zur Optimierung eines Zerspanungsprozesses ist es aus der DE 698 04 982 T2 bekannt, niederfrequente Schwingungen während der Bearbeitung des Werkstücks zu erfassen und abhängig von Informationen über das Werkzeug Richtwerte für die Drehzahl des Werkzeugs anzugeben, mit denen unerwünschte Schwingungen, die als Rattern bekannt sind, beseitigt oder verringert werden können.

**[0005]** Die DE 44 05 660 A1 befasst sich ebenfalls mit dem Verringern oder Verhindern eines derartigen Ratterns, das über einen Schwingungssensor aufgenommen wird, und bedient sich hierzu eines Regelungsmechanismus.

**[0006]** Aus dem D 94 03 901 ist eine Anordnung von Schwingungssensoren zur Signalgewinnung aus dem spanenden Bearbeitungsprozess bekannt. Hierbei ist ein Körperschallsensor an einem Tastarm befestigt, der in Kontakt mit dem Werkstück steht, so dass aus dem Bearbeitungsprozess generierte

Schallsignale bzw. Ratterschwingungen vom Werkstück auf den Sensor übertragen werden. Zwar spricht das D 94 03 901 in diesem Zusammenhang von hochfrequenten Schallsignalen. Allerdings wird der Begriff „hochfrequent“ im Zusammenhang mit der DE 38 29 825 A1 verwendet, die einen Frequenzbereich zwischen 20 kHz und 2 MHz einer Mittelwertbildung zuführt. Selbst dieser Frequenzbereich ist über die Tastarmkopplung der D 94 03 901 kaum übertrag- und erkennbar.

**[0007]** Schließlich ist aus der DE 44 36 445 A1 ein Verfahren zum Bewerten von Zerspanungsprozessen bekannt, bei dem Schwingungen/Körperschallsignale eines Werkzeugs einerseits unter Last und andererseits bei gleicher Drehzahl ohne Last erfasst werden und für jede Drehzahl ein eindimensionaler Vergleich der entsprechenden Schwingungszahl des Betriebs ohne Last und unter Last durchgeführt wird, um das Werkzeug zu bewerten.

**[0008]** Allen bekannten Verfahren haftet der Nachteil an, dass das Werkzeug und der Zerspanungsprozess nur unzureichend bewertet werden können.

**Zusammenfassung der Erfindung**

**[0009]** Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu schaffen, mit der eine präzise Bewertung der Qualität des Werkstückes und des Zustands des Werkzeugs ermöglicht werden.

**[0010]** Diese Aufgabe wird entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0011]** Demnach wird eine Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen geschaffen, bei der während des Bearbeitens eines Werkstücks entstehende Schwingungen erfasst und ausgewertet werden, wobei ein hochfrequentes Zerspanungsschwingungsspektrum erfasst und einer Frequenz-Zeit-Analyse unterworfen wird.

**[0012]** Durch Erfassen des hochfrequenten Zerspanungsschwingungsspektrums kann eine Beurteilung der mikroskopischen Vorgänge an der Oberfläche des Werkstücks beim Zerspanen durchgeführt werden.

**[0013]** So werden bei der Zerspanung eines Festkörpers Materialteile gegen ihre Bindungskraft aus ihrer Position gerissen. Die dazu erforderliche Kraft wird durch ein Werkzeug aufgebracht. Die Bindungskräfte bestehen zwischen mikroskopisch kleinen Teilen. Die Zerspanung kann deshalb auch als Aufeinanderfolge von mikroskopischen Trennungen begriffen werden. Jede dieser kleinen Trennungen schickt einen Impuls durch die angrenzenden Materialien.

Durch diese Impulse entstehen Schwingungen. Die Schwingungsfrequenzen hängen ab von der Impulsdauer und der Elastizität des Materials. Jede Zerspaltung besteht dabei aus einer Aufeinanderfolge von sehr vielen mikroskopischen Trennungen, also auch aus einer Abfolge vieler kleiner Impulse. Diese Impulse entstehen mit einer zeitlichen Abfolge. Nach einer erfolgten mikroskopischen Trennung baut sich erneut eine Trennkraft an den nächsten noch gebundenen Materialpartikeln auf dem Weg des Zerspaltungswerkzeugs auf. Nach Überschreiten der nötigen Trennkraft entsteht der nächste Impuls. Damit ergeben sich immer neue Schwingungsanregungen, deren zeitliche Verteilung mit der Schnittgeschwindigkeit und der Größe der abgetrennten Materialpartikel zusammenhängt. Daraus ergibt sich eine Schwingungsanregung von Material und Werkzeug, deren Frequenz und Amplitudenverlauf charakteristisch für den jeweiligen Zerspaltungsvorgang sind.

**[0014]** Diese mikroskopischen Trennungen führen folglich zu einem hochfrequenten Zerspaltungsschwingungsspektrum, aus dem sich Charakteristika über den tatsächlichen Zerspaltungsvorgang auf mikroskopischer Ebene gewinnen lassen.

**[0015]** Hierbei wird erfindungsgemäß das gesamte Frequenzspektrum der durch die Zerspaltung erzeugten Schwingungen erfasst und einer Frequenz-Zeit-Analyse unterworfen. Durch die Frequenz-Zeit-Analyse können einerseits über die Zeitachse die aufgenommenen Zerspaltungsschwingungen dem Prozessverlauf zugeordnet werden und andererseits die interessierenden Zerspaltungsschwingungen von Maschinenschwingungen und Störschwingungen separiert werden, die andere Frequenzbereiche belegen. Die Auswertung kann sich daher auf den eigentlichen Zerspaltungsprozess konzentrieren.

**[0016]** Das Zerspaltungsschwingungsspektrum wird vorzugsweise mit einer Frequenzauflösung erfasst, die der mikroskopischen Körnigkeit des Materials des bearbeiteten Werkstücks und der Zerspaltungsbearbeitungsgeschwindigkeit entspricht. So ist beispielsweise bei einer Zerspaltungsbearbeitungsgeschwindigkeit von 3000 m/min eine Frequenzauflösung von 50 MHz erforderlich, um Strukturen der Größenordnung von 1  $\mu\text{m}$  durch zugeordnete Zerspaltungsschwingungen zu erfassen. Abhängig von der mikroskopischen Körnigkeit, die oberhalb oder unterhalb des  $\mu\text{m}$ -Bereichs liegen kann, und der Zerspaltungsbearbeitungsgeschwindigkeit ergeben sich höhere oder niedrigere Frequenzauflösungen. Erfindungsgemäß liegt die Frequenzauflösung vorzugsweise bei 50 MHz, kann jedoch auch im Bereich von 40 MHz, 30 MHz, 20 MHz oder 10 MHz liegen.

**[0017]** Das Zerspaltungsschwingungsspektrum

kann erfasst werden mit den Koordinaten Frequenz  $f$ , Zeit  $t$  und Amplitude  $A$ . Diese Erfassung eignet sich für eine numerische Analyse im Computer, wobei die Koordinaten auch Funktionen  $a(f)$ ,  $b(t)$  und/oder  $c(A)$  der Frequenz  $f$ , der Zeit  $t$  bzw. der Amplitude  $A$  sein können, so dass ein dreidimensionales Array in einer gegebenen funktionellen Abhängigkeit zu  $f$ ,  $t$ ,  $A$  gespeichert ist, beispielsweise  $(I_f, m_t, nA^x)$ , wobei  $I$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $x$  beliebige Zahlen sind. Zur Illustration und/oder händischen Analyse kann das Zerspaltungsschwingungsspektrum mit den drei Koordinaten grafisch dargestellt werden. Hierbei kann eine dreidimensionale Darstellung gewählt werden, bei der die Frequenz und die Zeit eine Ebene aufspannen und durch die Amplitude (oder eine Funktion davon) ein Höhenprofil definiert wird. Eine derartige grafische Darstellung erleichtert die Erkennung der zur Bewertung relevanten Zerspaltungsschwingungen, da diese durch die Trennung auf der Zeitachse dem Bearbeitungsablauf zugeordnet werden können und von Maschinenschwingungen und anderen Störschwingungen auf der Frequenzachse getrennt sind.

**[0018]** Für eine automatisierte Bewertung ist es vorzugsweise vorgesehen, eine Umhüllende des Zerspaltungsschwingungsspektrums zu bilden und mit einer Vergleichsumhüllenden zu vergleichen. Die Umhüllende wird dabei über eine Glättfunktion gebildet. Die Abweichung zwischen der Umhüllenden und der Vergleichsumhüllenden kann als Maßstab für die Qualität des Zerspaltungsprozesses herangezogen werden. Zudem erlaubt es die Verwendung einer Umhüllenden, Prozessabschnitte wie etwa einen Werkstückkontakt oder eine bestimmte Bearbeitung, automatisiert zu identifizieren.

**[0019]** Zur Aufnahme der Schwingungen wird vorzugsweise ein Schallsensor, insbesondere ein Piezo-Schallsensor, verwendet. Derartige Schallsensoren können die erfindungsgemäß erforderlichen hohen Frequenzen verarbeiten, sind kostengünstig herstellbar und wartungsfrei.

**[0020]** Der Schallsensor, der am Werkstück oder am Werkzeug oder einem mit dem Werkstück und/oder Werkzeug schwingungsgekoppelten Bauteil angeordnet sein kann, wird nach seiner Montage und vorzugsweise auch periodisch danach oder vor jeder Verwendung kalibriert. Hierdurch wird eine gleich bleibend hohe Präzision an der Messung sichergestellt. Eine Kalibrierung ist insbesondere dann besonders zweckmäßig, wenn der Schallsensor an einem neuen Werkstück angebracht wird oder zwecks Wartung gelöst und erneut angebracht werden muss, da sich durch die Anbringung ein anderes Kopplungsverhalten einstellen kann. Zur Kalibrierung wird erfindungsgemäß der Schallsensor mit einem bestimmten elektrischen Impuls beaufschlagt, um ein Schallsignal zu emittieren. Anschließend wird das Echo des Schallsignals erfasst und mit einem

Soll-Echo verglichen. Dadurch kann die Güte der Ankopplung des Schallsensors an das Werkstück oder Werkzeug oder Bauteil ermittelt und bei der Messung berücksichtigt werden.

**[0021]** Weitere Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen.

#### Figurenbeschreibung

**[0022]** [Fig. 1](#) illustriert schematisch eine Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen.

**[0023]** [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zeigen Kristallite in einem Stahlgefüge.

**[0024]** [Fig. 4](#) illustriert eine dreidimensionale grafische Darstellung eines Zerspanungsschwingungsspektrums.

**[0025]** [Fig. 5](#) illustriert einen Ausschnitt aus [Fig. 4](#) in einer zweidimensionalen Darstellung.

**[0026]** [Fig. 6](#) ist ein Schnitt durch [Fig. 4](#) parallel zur f-Achse.

**[0027]** [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigen eine Projektion des gesamten aufgenommenen Frequenzumfangs der [Fig. 1](#) auf die Zeitachse für verschiedene Werkzeuge.

#### Beschreibung der Ausführungsformen

**[0028]** Die in [Fig. 1](#) dargestellte Vorrichtung **1** zum Bewerten von Zerspanungsprozessen umfasst einen Sensor **2** zum Erfassen von Schwingungen, der beispielhaft an einem Werkzeug **3** einer Werkzeugmaschine **4** angeordnet ist, die ein Werkstück **5** zerspanend bearbeiten kann. Der Sensor **2** ist mit einer Auswertereinrichtung **6**, z. B. einem Computer, verbunden.

**[0029]** Der Sensor **2** ist vorzugsweise ein Körperschallsensor, z. B. ein Piezo-Sensor, und kann bevorzugt nicht nur Körperschallsignale aufnehmen, sondern auch aussenden. Andere Arten von Sensoren sind ebenfalls verwendbar, solange sie Schwingungen im interessierenden Frequenzbereich erfassen können, z. B. Bewegungssensoren.

**[0030]** Angekoppelt ist der Sensor **2** entweder wie beispielhaft dargestellt am Werkzeug **3** oder an der Werkzeugmaschine **4** oder dem Werkstück **5** oder einem damit schwingungsgekoppelten Teil derart, dass er Schwingungen des Werkstücks **5** und/oder des Werkzeugs **3** erfassen kann. Im einfachsten Fall ist der Sensor festgeschraubt.

**[0031]** Die Werkzeugmaschine **4**, z. B. eine Fräs-

maschine, führt einen Bearbeitungsvorgang am Werkstück **5**, z. B. einem Block Stahl, mit dem Werkzeug **3**, z. B. einem Fräser, insbesondere automatisiert aus, um aus Block Stahl beispielsweise ein Zahnrad zu formen.

**[0032]** Während des Bearbeitungsvorgangs entstehen Schwingungen am Werkstück **5** und Werkzeug **3**, die vom Sensor **2** aufgenommen werden. Hierzu ist der Sensor **2** derart ausgebildet, dass er Frequenzen zwischen einem unteren Grenzwert und einem oberen Grenzwert erfassen kann. Idealerweise ist der untere Grenzwert **0** und der obere Grenzwert  $\infty$ , so dass das gesamte interessierende Spektrum aufgenommen werden kann. In der Praxis ist ein oberer Grenzwert von mindestens 50 MHz, bevorzugt mindestens 100 MHz, zweckmäßig. Frequenzen unterhalb von 90 kHz oder 40 kHz werden in der Praxis vorzugsweise gedämpft oder abgeschnitten, da sie keinerlei verwertbare Information enthalten, so dass ein entsprechender unterer Grenzwert zweckmäßig ist, aber auch bei 200 kHz, 500 kHz oder 1 MHz liegen kann.

**[0033]** Der tatsächliche Frequenzbereich des Sensors **2** sollte anhand des zu bearbeitenden Materials und der Bearbeitungsgeschwindigkeit gewählt werden. [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) zeigen typische Kristallite in einem Stahlgefüge. Ersichtlich variieren die Korngrößen variieren in ihrer Größe, und zwar je nach Abkühlungsprozess und Legierungsbestandteilen. Ist die Körnigkeit des Materials z. B. 1  $\mu\text{m}$  und die Bearbeitungsgeschwindigkeit 3000 m/min, sollte der obere Grenzwert mindestens 50 MHz betragen, um die interessierenden Zerspanungsschwingungen erfassen zu können. Bei einer Bearbeitungsgeschwindigkeit von 400 m/min und einer durchschnittlichen Korngröße von 1  $\mu\text{m}$  ergibt sich eine Mindestauflösung von 6,66 MHz. Da jedoch die Werkzeugspitze (z. B. 1 mm) im Vergleich zu den Kristalliten (z. B. 1  $\mu\text{m}$ ) sehr groß ist, erfasst sie immer sehr viele (z. B. 1000) Kristallite gleichzeitig, und zwar leicht versetzt um Bruchteile der Korngröße; eine wesentlich höhere Frequenzauflösung als die Mindestauflösung ist daher zweckmäßig, um alle interessanten Frequenzinformationen über den Zerspanungsprozess zu erfassen.

**[0034]** Die vom Sensor **2** während der spanenden Bearbeitung des Werkstücks **5** erfassten Schwingungen werden erfindungsgemäß einer Frequenz-Zeit-Analyse unterworfen. Hierfür kann das erfasste Schwingungsspektrum in der Auswertereinheit **6** zwischengespeichert werden, die vorzugsweise ein Computer mit entsprechender Schnittstelle und geeigneten Speichermedien ist.

**[0035]** In der Auswertereinheit **6** kann die Frequenz-Zeit-Analyse dergestalt erfolgen, dass das Schwingungsspektrum noch während der Erfassung oder danach grafisch dargestellt wird und/oder nu-

merisch analysiert wird.

**[0036]** Eine Darstellung kann wie in [Fig. 4](#) illustriert dreidimensional erfolgen mit den Koordinaten Zeit, Frequenz und Amplitude (oder maximale Amplitude oder Intensität oder dergleichen) oder wie in [Fig. 5](#) illustriert zweidimensional, wobei Höhenlinien die Amplitude sichtbar machen. In [Fig. 5](#) ist links bei niedrigen Frequenzen die Antriebswelle sichtbar, bei rechts befinden sich hochfrequente Störungen und dazwischen ist das aufeinanderfolgende Schleifen zweier Zähne einer KFZ-Getriebewelle sichtbar. Ein Schnitt zu einer Zeit  $t$  ist in [Fig. 6](#) dargestellt, die ein typisches Frequenzspektrum zeigt.

**[0037]** Die Auswertung kann anhand [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) oder [Fig. 6](#) erfolgen, die mit Vergleichsdaten oder Erfahrungswerten verglichen und aus denen Charakteristika über den Zerspanungsprozess abgeleitet werden können.

**[0038]** [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigen eine Projektion des gesamten aufgenommenen Frequenzumfangs der [Fig. 1](#) auf die Zeitachse, so dass ein zweidimensionales Bild entsteht. Es handelt sich um Aufzeichnungen zweier unmittelbar aufeinander folgender Drehprozesse an einem Stahlbauteil. [Fig. 7](#) zeigt die Emission beim Einsatz eines abgenutzten Werkzeugs, während [Fig. 8](#) die Emission nach Einbau eines neuen Werkzeugs zeigt. [Fig. 8](#) ist ersichtlich glatter und könnte als Referenz für den bestimmten Drehprozess verwendet werden, wobei Unterschiede hierzu zur Begutachtung des Werkzeugs und/oder des Werkstücks herangezogen werden können. Hierbei können in einer automatisierten Auswertung der erfassten dreidimensionalen Datensätze entsprechende Referenz-Umhüllende um die erfasste Landschaft gelegt wird. Als Maßstab für die Qualität der Bearbeitung, des Werkzeugs etc. könnten Differenzen, Mittelwerte, Streuungen usw. verwendet werden.

**[0039]** Das Zerspanungsschwingungsspektrum hängt dabei nicht nur von dem Werkzeug und dem Werkstück ab, sondern auch von der Bearbeitungsgeschwindigkeit, der Werkzeugmaschine, dem Verbrauchsmaterial (z. B. Kühlöl) usw. Somit kann das Zerspanungsschwingungsspektrum Informationen auch über die Werkzeugmaschine oder das Verbrauchsmaterial usw. liefern. So ist das Zerspanungsschwingungsspektrum möglicherweise durch die Schwingungen der Werkzeugmaschine, z. B. 200 Hz, moduliert.

**[0040]** Der Sensor 2 wird einen nichtlinearen Frequenzgang aufweisen, die vom Gesamtsystem Werkzeugmaschine, Werkzeug, Werkstück abhängt. Der Frequenzgang ist individuell für jeden Sensor und zudem auch abhängig vom Drehmoment seiner Befestigung, Systemresonanzen, Maschinengeräu-

schen etc. Eine insbesondere periodische Kalibrierung während der Messungen ist daher zweckmäßig. Die Kalibrierung kann erfolgen, indem der Sensor 2 einen Impuls aussendet und die Impulsantwort ausgewertet wird.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102005034768 A1 [0003]
- DE 10244426 D4 [0003]
- DE 10340697 A1 [0003]
- DE 69804982 T2 [0004]
- DE 4405660 A1 [0005]
- DE 3829825 A1 [0006]
- DE 4436445 A1 [0007]

**Schutzansprüche**

1. Vorrichtung zum Bewerten von Zerspanungsprozessen, bei der während des Bearbeitens eines Werkstückes **(5)** entstehende Schwingungen erfasst und ausgewertet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung dazu ausgestaltet ist, ein hochfrequentes Zerspanungsschwingungsspektrum zu erfassen und einer Frequenz-Zeit-Analyse zu unterwerfen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Zerspanungsschwingungsspektrum mit einer Frequenzauflösung entsprechend der mikroskopischen Körnigkeit des Materials des bearbeiteten Werkstücks **(5)** und der Zerspanungsbearbeitungsgeschwindigkeit erfasst wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Zerspanungsschwingungsspektrum grafisch dargestellt wird mit den Variablen Frequenz, Zeit, Amplitude.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Umhüllende des Zerspanungsschwingungsspektrums gebildet und mit einer Vergleichsumhüllenden verglichen wird.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schallsensor **(2)** zur Aufnahme der Schwingungen verwendet wird.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Schallsensor **(2)** kalibriert wird, indem vor der Messung ein Schallsignal über den Schallsensor **(2)** emittiert, das Echo erfasst und mit einem Soll-Echo verglichen wird.

7. Vorrichtung **(1)** zum Bewerten von Zerspanungsprozessen, mit einem Sensor **(2)** zum Erfassen von Schwingungen, die beim Bearbeiten eines Werkstücks **(5)** entstehen, und einer mit dem Sensor **(2)** gekoppelten Auswerteeinrichtung **(6)** zum Auswerten der erfassten Schwingungen, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hochfrequenz-Sensor zum Erfassen des Zerspanungsschwingungsspektrums vorgesehen und die Auswerteeinrichtung **(6)** zum Durchführen einer Frequenz-Zeit-Analyse ausgestaltet ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

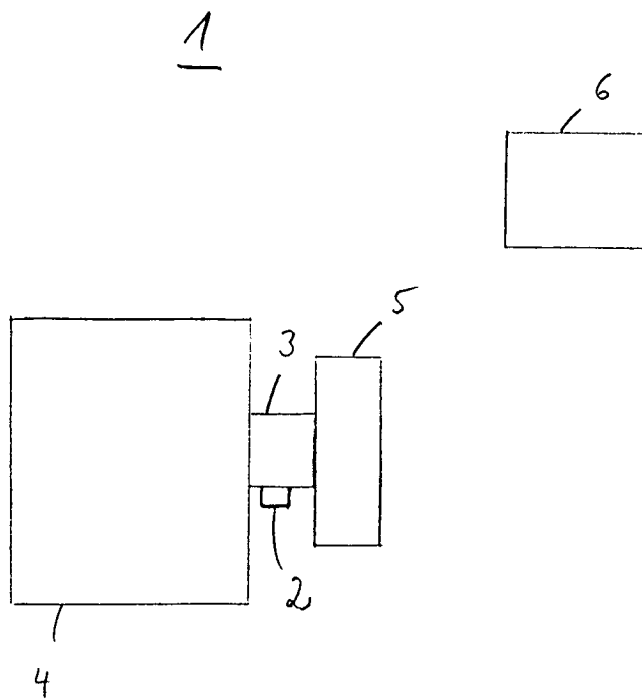


Fig. 1

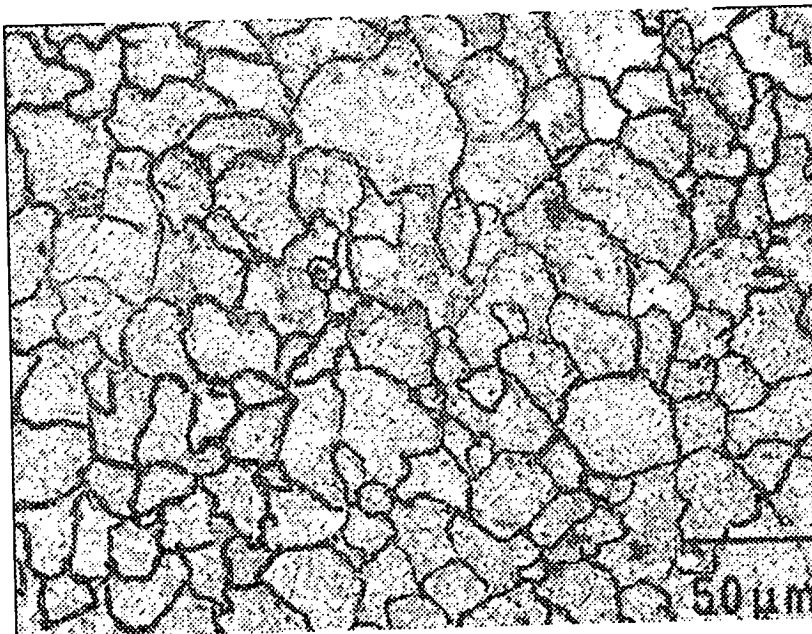


Fig. 2



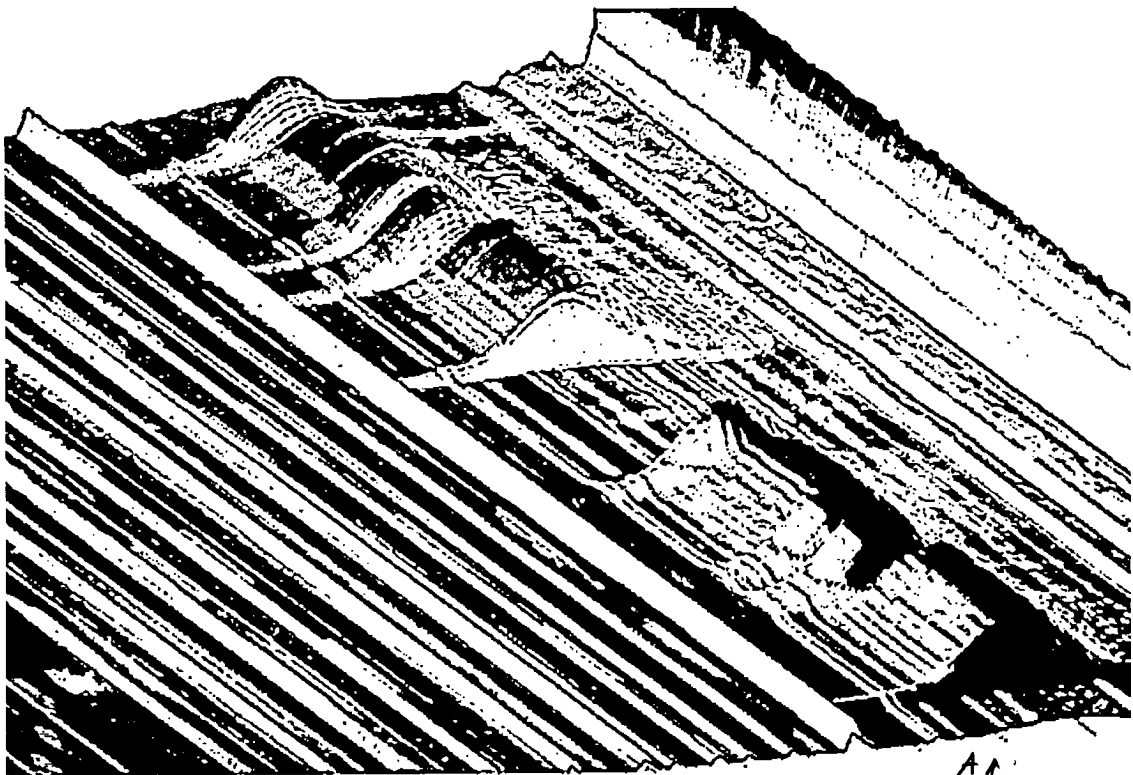


Fig. 4

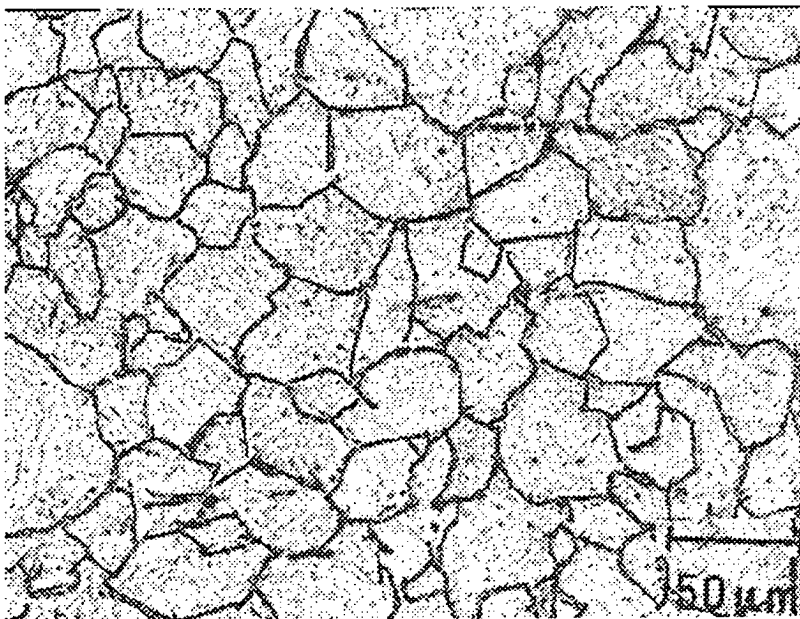
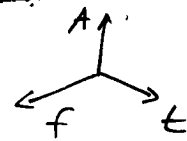


Fig. 3

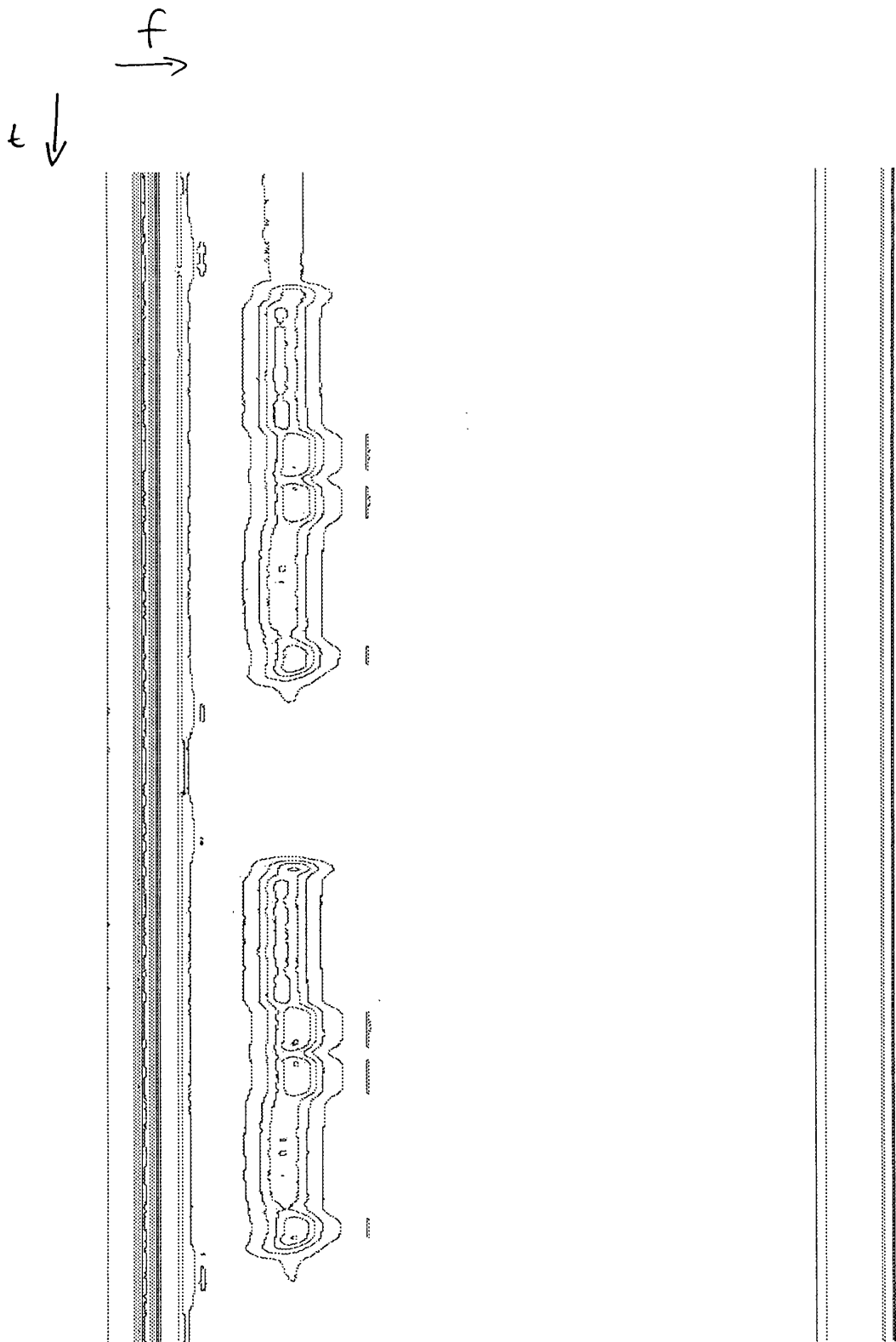


Fig. 5

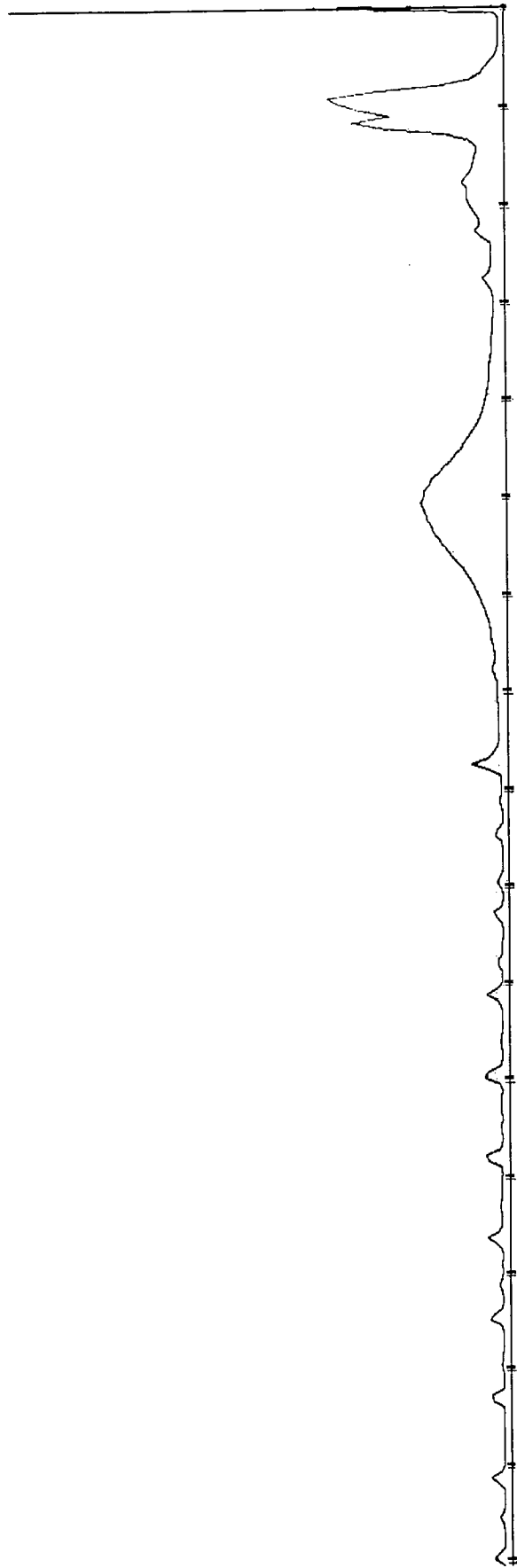


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8