

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. August 2007 (09.08.2007)

PCT

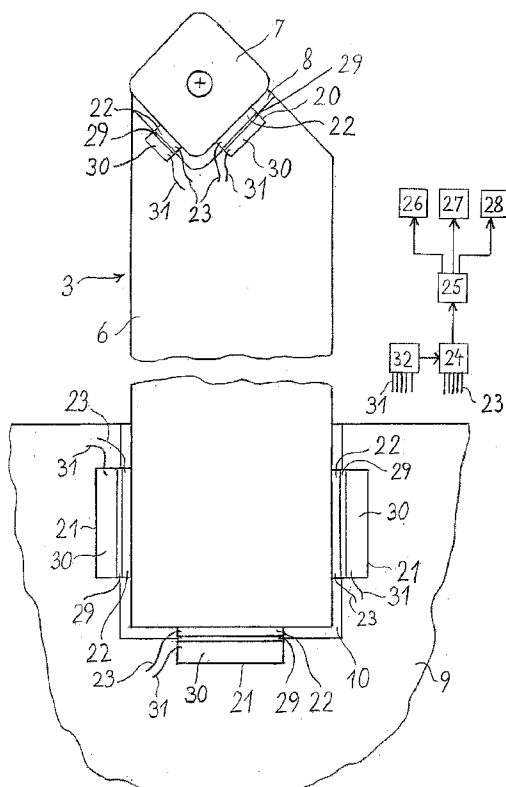
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/088198 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B23Q 1/34 (2006.01) B23B 29/12 (2006.01)
B23Q 17/09 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/051026
- (22) Internationales Anmeldedatum:
2. Februar 2007 (02.02.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102006005483.0 3. Februar 2006 (03.02.2006) DE
102006031843.9 7. Juli 2006 (07.07.2006) DE
102007005222.9 29. Januar 2007 (29.01.2007) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CERAMTEC AG INNOVATIVE CERAMIC ENGINEERING [DE/DE]; Fabrikstrasse 23 - 29, 73207 Plochingen (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): TZSCHENTKE, Konrad [DE/DE]; Eschenbach 317, 91224 Pommelsbrunn (DE). SCHREINER, Hans-Jürgen [DE/DE]; Angerstrasse 13, 91233 Neunkirchen am Sand-Rollhofen (DE). HANDSCHUH, Kurt [DE/DE]; Am Weinberg, 90542 Eckental (DE). BEN AMOR, Raouf [DE/DE]; Falkenweg 5, 73547 Lorch (DE). FRIPAN, Michael [DE/DE]; Südstrasse 19, 71522 Backnang (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DATA MINING BY DETERMINING PATTERNS IN INPUT DATA

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR REGELUNG DER SPANABHEBENDEN WERKSTÜCKBEARBEITUNG MIT EINSATZ VON PIEZOKERAMISCHEN WANDLERN



(57) Abstract: Patterns detection in input data containing a plurality of transactions, each transaction having at least one item, is carried out in the following way. Filter conditions for interesting patterns are received, and a first set of filter conditions applicable in connection with generation of candidate patterns is determined. An evaluated candidate pattern is selected as a parent candidate pattern, and evaluation information about the parent candidate pattern is maintained. Child candidate patterns are generated by extending the parent candidate pattern and taking into account the first set of filter conditions. The child candidate patterns are evaluated with respect to the input data together in sets of similar candidate patterns and based on the evaluation information about the parent candidate pattern. At least one child candidate pattern successfully passing the evaluation step is recursively used as a parent candidate pattern.

(57) Zusammenfassung: Während der spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken wirken auf die Schneidwerkzeuge neben den statischen insbesondere dynamische Belastungen. Das führt zu Ausbrüchen an den Schneidkanten der Schneidelemente und sogar zur Zerstörung des Schneidelements mit der möglichen Folge einer Beschädigung des Werkstücks und damit seiner Unbrauchbarkeit. Weiterhin wirken Biege- und Torsionskräfte auf die Schneidwerkzeuge, die die Werkzeugmaschine belasten und eine Positionsänderung des Schneidwerkzeugs bewirken mit der Folge einer fehlerhaften Bearbeitung der Werkstücke. Weiterhin beeinträchtigen Schwingungen und Rattererscheinungen die Werkstückbearbeitung. Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, dass piezokeramische Wandler (22, 30) im Bereich der Schneidwerkzeuge (3) angeordnet werden,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/088198 A1



(74) **Anwalt:** SCHERZBERG, Dr. Andreas; Chemetall GmbH, Trakehner Str. 3, 60487 Frankfurt/M (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

- 1 -

**VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR REGELUNG DER SPANABHEBENDEN
WERKSTÜCKBEARBEITUNG MIT EINSATZ VON PIEZOKERAMISCHEN
WANDLERN**

Die Erfindung betrifft den Einsatz von piezokeramischen Wandlern zur Regelung der spanabhebenden Werkstückbearbeitung.

5 Spanabhebende Schneidwerkzeuge wie Drehmeißel oder Hobelmeißel bestehen in der Regel aus einem Träger oder Schaft, auf dem das Schneidelement in Form einer Schneidplatte befestigt ist. Bei Werkzeugen zum Fräsen ist der Träger, der Fräskopf, wegen der Rotation der Werkzeuge rund und auf dem Umfang mit einer Vielzahl von Schneidelementen bestückt. Während der spanabhebenden
10 Bearbeitung von Werkstücken wirken auf die Schneidwerkzeuge neben den statischen insbesondere dynamische Belastungen. Dadurch wird im Laufe der Zeit der Werkstoff an den Schneidkanten der Schneidelemente in mikroskopisch kleinen Bereichen zerrüttet. Addieren sich diese Bereiche zu makroskopisch großen Bereichen, führt das zu Ausbrüchen an den Schneidkanten und sogar zur
15 Zerstörung des Schneidelements mit der möglichen Folge einer Beschädigung des Werkstücks und damit seiner Unbrauchbarkeit.

Die Zerspankraft, die beim Zerspanvorgang zwischen Werkstück und Schneidwerkzeug wirkt, lässt sich in Kräfte in der Arbeitsebene und Kräfte senkrecht zur Arbeitsebene einteilen. In beiden Ebenen wirken Druckkräfte auf die
20 Schneidkante des Schneidelements, die als Druckkräfte auf den Träger weitergegeben werden. Insbesondere bei Dreh- und Hobelmeißeln entstehen dadurch Biege- und Torsionskräfte im Träger der Schneidelemente, die beim Überschreiten einer bestimmten Höhe zur Abweichung des Schneidelements aus seiner idealen Arbeitsposition führen. Das kann zu Störungen im Arbeitsablauf
25 führen, die sich in erhöhtem Verschleiß des Schneidelements und ungleichmäßigem Lauf der Drehspindel oder des Hobelschlittens widerspiegeln. Auch bei Fräsmaschinen treten diese Erscheinungen bei Biegekräften auf die

- 2 -

Antriebswelle des Fräskopfs auf. Im ungünstigsten Fall kommt es zu Rattererscheinungen, die zu einer ungleichmäßigen, welligen Oberfläche des Werkstücks führen und die eine Werkzeugmaschine stark belasten, insbesondere wenn Resonanz auftritt.

- 5 Die Zerspankraft bewirkt also eine komplexe Belastung und damit Verformung von Werkzeugmaschine und Werkstück, was bei Überschreiten von Grenzwerten zu erhöhtem Verschleiß des Schneidelements und im ungünstigsten Fall zu seiner Zerstörung führt. Außerdem können durch Überlastung Schäden an der Werkzeugmaschine und Bearbeitungsfehler am Werkstück auftreten.
- 10 Damit optimale Arbeitsergebnisse erzielt werden ist es deshalb erforderlich, insbesondere die Parameter Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Zustellung in Abhängigkeit von dem Werkstoff des Schneidelements optimal auf den zu bearbeitenden Werkstoff abzustimmen. Damit die Grenzwerte der möglichen Belastungen nicht überschritten werden ist es deshalb von Vorteil, wenn die
- 15 auftretenden Kräfte gemessen und überwacht werden.

Aus der DE 103 12 025 A1 ist ein Verfahren zur Kompensation von Fehlern der Positionsregelung einer Maschine, insbesondere einer Werkzeugmaschine, bekannt. Durch Dehnungsmessstreifen an verschiedenen Stellen der Maschine werden die Spannungszustände gemessen und die aus den Bearbeitungskräften

20 oder die aus den Bewegungen resultierenden Trägheitskräfte oder die aus den Gewichtskräften des Querschlittens und/oder des Werkzeugs resultierenden Verformungen berechnet und bei der Positionsregelung kompensiert. Dehnungsmessstreifen eignen sich aber nicht zur Messung an sich drehenden

25 Teilen wie beispielsweise Fräsköpfen. Außerdem sind Dehnungsmessstreifen wegen ihrer Trägheit für die Messung von Verformungen auf Grund hochfrequenter Schwingungen, wie sie bei der spanabhebenden Werkstückbearbeitung auftreten, nicht geeignet.

- 3 -

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Schneidwerkzeuge von Werkzeugmaschinen zur spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken solcherart mit Sensoren auszustatten, dass die bei der Bearbeitung eines Werkstücks auftretenden Kräfte ermittelt und mit Grenzwerten verglichen werden können, so dass der Bearbeitungsvorgang optimierbar ist und bei Überschreiten von Grenzwerten zur Verhinderung von Schäden durch eine Regeleinrichtung selbsttätig in den Arbeitsablauf eingegriffen werden kann.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt nach der Erfindung vorrichtungsgemäß mit Hilfe der kennzeichnenden Merkmale des ersten und verfahrensgemäß mit Hilfe der kennzeichnenden Merkmale des siebten Anspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

Die spanabhebenden Schneidwerkzeuge sind erfindungsgemäß mit piezokeramischen Wandlern in Form von Sensoren und/oder reinen Spannungserzeugern ausgestattet. Aufbau und Wirkungsweise dieser Wandler ist aus dem Stand der Technik bekannt und wird deshalb hier nicht näher erläutert. Erfindungsgemäß erfolgt die Anordnung der piezokeramischen Wandler so, dass die von ihnen jeweils zu erfüllende Funktion optimal erfüllt wird. Die Sensoren und Spannungserzeuger können in direktem Kontakt mit dem Schneidelement in dem Träger beziehungsweise Fräskopf eingesetzt sein. Bei Drehmeißeln und Hobelmeißeln können die Sensoren und Spannungserzeuger auch dort angeordnet werden, wo der jeweilige Träger an der Werkzeugmaschine befestigt ist, zwischen Werkzeughalter und Schneidwerkzeug. Bei Fräsmaschinen können Wandler auch dort angeordnet werden, wo die Welle des Fräasers gelagert ist. Eine Kombination der beiden Anordnungen ist ebenfalls möglich.

Wegen der Befestigung des Schneidelements und der Einspannung des Trägers des Schneidwerkzeugs im Werkzeughalter stehen die piezokeramischen Wandler bereits unter einem bestimmten Druck. Um reproduzierbare Signale der Wandler zu erhalten, ist es erforderlich, nach jedem Wechsel eines Schneidelements oder

- 4 -

eines Trägers die Vorbelastung der Wandler zu überprüfen und die Messgeräte entsprechend zu justieren.

Mit piezokeramischen Sensoren werden die auf das Schneidelement bzw. seinem Halter ausgeübten Druck-, Zug- und Scherkräfte festgestellt. Mit Hilfe der erzeugten Piezospannung kann die Höhe der jeweiligen Belastung bestimmt werden. Die Spannungserzeuger werden auf Grund der auf sie einwirkenden Kräfte verformt und erzeugen dadurch eine elektrische Spannung. Diese kann zur Versorgung elektronischer Schaltungen genutzt werden, die beispielsweise beim Fräsen der berührungslosen Übertragung von Signalen zwischen dem Schneidwerkzeug und der Werkzeugmaschine dienen.

Um die Belastungen von Schneidwerkzeug und Werkzeugmaschine ermitteln zu können, wird die Zerspankraft in ihre Komponenten zerlegt. Dazu wird ein räumliches Koordinatensystem mit seinem Nullpunkt in den Berührungspunkt der Schneidkante des Schneidelements mit dem Werkstück gelegt, wobei die Achsen in der Arbeitsebene und in der Ebene senkrecht zu ihr liegen. Die Zerspankraft wird in Komponenten zerlegt, die in den beiden Ebenen liegen, wie aus den Figuren 1 und 2 ersichtlich. Die Kräfte dort sind so eingezeichnet, wie sie auf das Schneidelement bzw. den Träger wirken. Die Zerspankraft F wirkt auf den Drehmeißel bzw. den Fräser in Richtung $-F$. Die in Richtung des Trägers wirkende Passivkraft $-F_p$ beansprucht das Schneidelement und damit den Träger und den Werkzeughalter auf Druck. Die Aktivkraft $-F_a$ kann in die Vorschubkraft $-F_f$ und die Schnittkraft $-F_c$ zerlegt werden. Die in Längsrichtung des Werkstücks verlaufende Vorschubkraft $-F_f$ sowie die senkrecht zu ihr verlaufende Schnittkraft $-F_c$ üben jeweils eine Biegekräft auf den Träger aus, wobei die Summe dieser Kräfte in der Drehmaschine zu einer Torsion des Trägers und in einer Fräsmaschine zur Biegung der Antriebswelle des Fräasers führt. Zur Erfassung der Kraftkomponenten sind also mindestens drei Wandler in Form von Sensoren erforderlich. Die Sensoren müssen zur Erfassung der Kräfte in einer Drehmaschine unter dem Schneidelement bzw. dem Träger und, in Vorschubrichtung v_f gesehen, vor dem

- 5 -

Schneidelement bzw. dem Träger im Werkzeughalter und in Richtung auf das Werkstück gesehen vor dem Schneidelement oder Träger angeordnet werden. Bei einer Fräsmaschine erfolgt die Anordnung unter und hinter den Schneidelementen im Fräskopf und in den Lagern der Antriebswelle des Fräskopfs zur Erfassung der Biegekräfte auf die Welle.

Die zur Erfassung der bei der spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken auftretenden Kräfte eingesetzten Wandler erzeugen auf Grund des ständigen Wechsels der Größe der auf sie einwirkenden Kräfte eine Spannung, die in der Werkzeugmaschine in der Auswerteeinheit eines Rechners kontinuierlich mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen wird. Bei einem bekannten Verschleißverhalten der Schneidelemente können durch Einstellen der Parameter Drehzahl des Werkstücks bzw. des Schneidwerkzeugs, Vorschubgeschwindigkeit und Zustellung, also Spantiefe, die auf das Schneidelement einwirkenden Kräfte auf Werte begrenzt werden, die ein optimales Verschleißverhalten ermöglichen. Treten unzulässige Abweichungen auf, kann durch einen Eingriff in den Arbeitsablauf die Störung behoben werden. Beim Drehen können die Werkstückdrehzahl, der Vorschub und die Zustellung des Schneidwerkzeugs und beim Hobeln der Vorschub und die Zustellung verändert werden. Beim Fräsen werden in der Regel die Fräskopfdrehzahl und/oder, je nach Bauart, der Werkstückvorschub oder der Fräskopfvorschub geändert. Das Auftreten von Rattererscheinungen, die sich in einer periodischen Drehzahländerung des Werkstücks bzw. des Fräskopfs und einer periodischen Schwingung des Trägers und sogar des Werkstücks bemerkbar machen, wird durch Änderungen der Drehzahl und/oder des Vorschubs verhindert. Diese Maßnahmen tragen vorteilhaft zu einer erheblichen Verlängerung der Lebensdauer der Schneidwerkzeuge und damit ihrer Standzeit bei und zu einer verbesserten Qualität der bearbeiteten Oberfläche.

Die Erfindung ermöglicht es weiterhin, den Verschleiß der Schneidelemente zu überwachen. Mit zunehmendem Verschleiß ändert sich bei konstantem Vorschub

- 6 -

und konstanter Werkstückdrehzahl die Zerspankraft kontinuierlich. Bei Erreichen eines zuvor ermittelten, für das Schneidelement charakteristischen Grenzwert kann davon ausgegangen werden, dass der nutzbare Teil des Schneidelements verbraucht ist und ein Wechsel vorgenommen werden muss. Die Erfindung
5 ermöglicht damit vorteilhaft eine bestmögliche Ausnutzung der Schneidelemente. Auf Grund der vorausberechenbaren Standzeit der Schneidelemente ist es möglich, einen rechtzeitigen Wechsel vorzusehen, der optimal in den Prozessablauf integriert werden kann, beispielsweise zum Zeitpunkt eines Werkstückwechsels.

10 Kommt es zu einer Beschädigung der Schneidkante oder gar einem Bruch des Schneidelements, macht sich das in einer abrupten Änderung der Zerspankraft bemerkbar. Ein solches Signal kann zur sofortigen Abschaltung der Werkzeugmaschine genutzt werden, um eine Beschädigung des Werkstücks zu vermeiden.

15 Insbesondere an Fräsmaschinen, wo eine Übertragung von Signalen von dem sich drehenden Fräskopf zum Regelkreis der Werkzeugmaschine und umgekehrt schwierig ist, ist eine drahtlose Übertragung der Signale vorteilhaft. Die Spannungsversorgung des Senders und gegebenenfalls Empfängers am Fräskopf kann durch Piezoelemente erzeugt werden, die zusätzlich zu den vorhandenen
20 Sensoren an derselben Stelle daneben oder darunter angeordnet werden.

Durch die Überwachung der Zustandsdaten der Schneidelemente und der auf die Schneidelemente und deren Träger und somit auf die Werkzeugmaschine wirkenden Kräfte wird es möglich, Überlastungen und auftretende Schwingungen, insbesondere Rattererscheinungen, zu verhindern. Das führt zu stabileren
25 Bearbeitungsabläufen, die wiederum bessere Werkstückqualitäten und höhere Standzeiten der Schneidelemente ermöglichen.

Anhand von Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert. Es zeigen

- 7 -

- Figur 1: in einer Prinzipskizze den Verlauf der Kraftvektoren und der Geschwindigkeitsvektoren, die beim Drehen und
- Figur 2: beim Gegenlaufräsen auftreten,
- Figur 3: die Anordnung von Wandlern am Schneidelement und im Bereich der Einspannung des Trägers in der Seitenansicht und
- 5 Figur 4: in der Aufsicht und
- Figur 5: die Anordnung von Wandlern und einem Signalübertragungselement an einem Stirnfräser.

In Figur 1 sind der Verlauf der Kräfte und der Geschwindigkeiten dargestellt, wie sie beim Langdrehen auftreten. An einem Werkstück 1, das sich in Pfeilrichtung 2 dreht, wird ein Schneidwerkzeug 3 in Pfeilrichtung 4 zum Spanabheben entlanggeführt. In der Schneidenecke des Schneidelements liegt der Nullpunkt 5 eines räumlichen Koordinatensystems. In der Ebene des Systems, in der das Werkstück 1 liegt, liegt die Vorschubrichtung und in der Ebene senkrecht dazu erfolgt die Zustellung des Schneidwerkzeugs 3. Die Bewegungen beim Zerspanvorgang, beim Drehen, Hobeln und Fräsen, sind Relativbewegungen zwischen der Schneide des Schneidelements und dem Werkstück. Sie werden von der Werkzeugmaschine an der Wirkstelle, hier im Punkt 5, erzeugt und sind auf das ruhende Werkstück bezogen. Die Hauptschneide bewegt sich mit der Wirkgeschwindigkeit v_e entlang dem Werkstück 1, wobei die Zerspankraft $-F$ auf das Schneidelement und damit auf den Träger und letztendlich auf die Werkzeugmaschine wirkt.

10

15

20

Wie bereits beschrieben, lässt sich die Zerspankraft $-F$ in Kräfte in der Arbeitsebene und Kräfte senkrecht zur Arbeitsebene zerlegen. In der Arbeitsebene liegt die Aktivkraft $-F_a$, die maßgeblich für die Berechnung der Zerspanleistung ist, und senkrecht zur Arbeitsebene die Passivkraft $-F_p$, die keinen Beitrag an der Zerspanleistung leistet, aber das Schneidelement, damit das Schneidwerkzeug 3 und letztlich die Werkzeugmaschine auf Druck belastet. Die

25

- 8 -

Aktivkraft $-F_a$ kann entsprechend der Vorschub- und Schnittrichtung in der Arbeitsebene in die Komponenten Schnittkraft $-F_c$ und Vorschubkraft $-F_f$ zerlegt werden, die als Biegungs- bzw. Torsionskräfte auf das Schneidwerkzeug 3 wirken.

Bei dem in Figur 2 dargestellten Zerspanvorgang des GegenlaufräSENS treten dieselben Kräfte wie beim in Figur 1 dargestellten Langdrehen sowie beim Hobeln auf. Der Unterschied besteht allerdings darin, dass sich ein Schneidelement eines FräSers über die Hälfte des Umfangs des FräSers mit dem Werkstück im Eingriff befindet und dass das hier gezeigte Koordinatensystem die Kräfteverteilung nur in einem Punkt des Eingriffs wiedergibt. Beim GegenlaufräSEN bewegt sich das Werkstück 11 in Pfeilrichtung 12 unter dem ortsfesten Schneidwerkzeug, einem sich in Pfeilrichtung 14 drehenden WalzenfräSer 13, hindurch. In einem der Eingriffspunkte der Schneidkante des Schneidelements liegt der Mittelpunkt 15 des Koordinatensystems zur Zerlegung der Zerspankraft $-F$ in diesem Punkt.

Die während des Zerspanvorgangs in den Sensoren erzeugten Spannungen sind ein Maß für die jeweiligen Belastungen der Schneidelemente und der Werkzeugmaschine. Beim Überschreiten vorher festgelegter Grenzwerte wird in den Regelkreis der Werkzeugmaschine eingegriffen, indem beispielsweise Vorschub und/oder Drehzahlen verändert werden.

In den Figuren 3 und 4 ist ein Schneidwerkzeug 3, ein Drehmeißel, mit der erfindungsgemäßen Ausstattung mit piezokeramischen Wandlern dargestellt. Die Darstellung ist schematisch. Figur 3 zeigt die Aufsicht auf das Schneidwerkzeug. Auf dem Träger 6 ist ein Schneidelement 7 in Form einer Schneidplatte in hier nicht näher dargestellter Weise in bekannter Form in einer Ausnehmung 8 des Trägers 6 befestigt. Der Träger 6 wiederum ist in einem Werkzeughalter 9 in einer Ausnehmung 10 befestigt. Die Befestigung erfolgt so, dass eine gesteuerte Bewegung gegenüber dem Werkzeughalter 9 möglich ist.

- 9 -

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind sowohl zwischen dem Schneidelement 7 und dem Träger 6 sowie zwischen dem Träger 6 und dem Werkzeughalter 9 Wandler angeordnet, die sich in Ausnehmungen 20 bzw. 21 abstützen. Zusätzlich zur Bestimmung der Kraftereinwirkung auf das Schneidelement können auch die
5 Kraftereinwirkungen auf die Werkzeugmaschine bestimmt werden. Wegen des geringen Platzes, der zum Einbau der Wandler zur Verfügung steht, ist es vorteilhaft, die Wandler übereinander anzuordnen.

An dem Schneidelement 7 sowie dem Träger 6 liegen zunächst Sensoren 22 an, die zur Ermittlung der Kraftereinwirkung auf das Schneidelement 7 bzw. den
10 Werkzeughalter 9 und damit auf die Werkzeugmaschine bestimmt sind. Da die Sensoren der Signalerzeugung dienen, können einschichtige Piezoelemente eingesetzt werden, um die baulichen Veränderungen möglichst gering zu halten. Die in diesen Sensoren durch die Kraftereinwirkung erzeugten Spannungen werden als Signale 23 zunächst an eine Signalempfänger- und Triggerschaltung 24
15 geleitet. Dort werden die Signale auf Grenzwertüberschreitungen geprüft und beim Überschreiten oder Unterschreiten einer zuvor festgelegten Kraft an dem Schneidelement 7 oder am Träger 6 im Werkzeughalter 9 wird ein Signal an die Regeleinrichtung 25 der Werkzeugmaschine weitergeleitet. Diese kann in den Betriebsablauf der Werkzeugmaschine eingreifen und ihren Antrieb 26, also die
20 Drehzahl, den Vorschub 27 und/oder die Zustellung 28 ändern. Ein Blockschaltbild verdeutlicht die Signalverarbeitung.

Zwischen den Sensoren 22 und dem Träger 6 können, durch eine isolierende Stützplatte 29 voneinander getrennt, Wandler in Form von Spannungserzeugern
30 angeordnet sein. Im Gegensatz zu den Sensoren sind hier Vielschichtelemente vorteilhaft. Die durch die wechselnde Kraftereinwirkung in ihnen erzeugte Spannung
25 31 wird zu einer Gleichrichtereinheit 32 geleitet und kann zur Versorgung elektronischer Schaltungen, beispielsweise in der Signalempfänger- und Triggerschaltung 24, genutzt werden.

- 10 -

In Figur 4 ist die Seitenansicht des Drehmeißels aus Figur 3 dargestellt. Gleichgeartete Funktionselemente sind deshalb mit denselben Bezugsziffern wie in Figur 3 bezeichnet. Die Befestigungselemente des Schneidelements sowie des Drehmeißels sind der Übersichtlichkeit halber weggelassen. Der Träger 6 ist im Bereich des Schneidelements 7 und der Einspannung im Werkzeughalter 9 geschnitten, um die mögliche Anordnung der Wandler unterhalb des Schneidelements und unterhalb des Trägers im Werkzeughalter zu zeigen. Im Bereich des Schneidelements sind die Wandler sowie die Stützplatten geschnitten dargestellt. Durch die Anordnung der Wandler unterhalb von Schneidelement und Träger ist es möglich, die Komponenten der Zerspankraft zu ermitteln, die senkrecht an Schneidelement und Träger angreifen.

In Figur 5 ist ein Stirnfräser 40 als Schneidwerkzeug bei der Bearbeitung eines Werkstücks 41 dargestellt. Während sich der ortsfest angeordnete Fräser 40 in Richtung 42 um seine Welle 43 dreht, wird das Werkstück 41 in Richtung 44 unter dem Fräser durchgezogen, wobei Späne 45 abgehoben werden. In dem Fräskopf 46 sind auf dem Umfang in gleichen Abständen die Schneidelemente 47 angeordnet. In Drehrichtung 42 des Fräasers gesehen sind vor den Schneidelementen 47 Wandler im Fräskopf 46 angeordnet, auf denen sich die Schneidelemente 47 abstützen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich um Sensoren 48 zur Ermittlung der Kräfteinwirkung auf die Schneidelemente und den Fräskopf sowie um Spannungserzeuger 49. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Wandler nebeneinander angeordnet. Eine Anordnung übereinander, wie nach den Ausführungsbeispielen in den Figuren 3 und 4 dargestellt, ist ebenfalls möglich.

Weil der Fräser 40 sich dreht, ist eine Signalübertragung der von den Sensoren ermittelten Daten an eine Steuereinrichtung der Werkzeugmaschine schwierig. Aus diesem Grund ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Funkübertragung vom und zum Fräskopf 46 an einen Sender/Empfänger auf der Werkzeugmaschine vorgesehen, wie hier nicht dargestellt. Die in den Sensoren 48

- 11 -

durch die Kraffteinwirkung erzeugten Spannungen werden als Signale 50 zunächst an eine Signalempfänger- und Triggerschaltung 51 geleitet. Dort werden die Signale auf Grenzwertüberschreitungen geprüft und beim Überschreiten oder Unterschreiten einer zuvor festgelegten Kraft an einem Schneidelement 47 wird
5 ein Signal an die Regeleinrichtung der Werkzeugmaschine weitergeleitet. Die Signalübertragung vom sich drehenden Fräser 40 an die Werkzeugmaschine erfolgt mittels eines Senders 52. Die dazu benötigte elektrische Energie 53 wird in den als Spannungserzeuger ausgebildeten Wandlern 49 erzeugt und zu einer Gleichrichtereinheit 54 geleitet. Diese versorgt die Signalempfänger- und
10 Triggerschaltung 51 und den Sender 52 mit der erforderlichen Spannung.

Die Anordnung der Sensoren kann beispielsweise auch auf dem Umfang von dem oder den Lagern der Welle des Fräasers in der Werkzeugmaschine erfolgen. Dadurch können die auf die Werkzeugmaschine einwirkenden Kräfte ermittelt werden, vergleichbar mit der Ermittlung der Kräfte an dem Werkzeughalter einer
15 Drehmaschine.

Patentansprüche

1. Spanabhebendes Schneidwerkzeug (3; 40), das aus einem Träger (6; 46) besteht, der mindestens ein Schneidelement (7; 47) trägt, wobei das Schneidwerkzeug in einem Werkzeughalter (9) beziehungsweise Lager einer Werkzeugmaschine gelagert ist und die Werkzeugmaschine mit einer Einrichtung zur Regelung (25) der spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken ausgerüstet ist, dadurch gekennzeichnet, dass piezokeramische Wandler (22, 30; 48, 49) vorgesehen sind, dass diese Wandler an mindestens einer Stelle am Schneidwerkzeug (3; 40) beziehungsweise seiner Lagerung angeordnet sind, an der mindestens eine Komponente ($-F_c$, $-F_f$, $-F_p$) der bei der spanabhebenden Bearbeitung auftretenden Zerspankraft ($-F$) auf das Schneidwerkzeug (3; 40) wirkt, dass die Wandler (22, 30; 48, 49) mit der Regeleinrichtung (25) der Werkzeugmaschine verbunden sind und dass die in den Wandlern (22, 30; 48, 49) auf Grund der Kraftereinwirkung erzeugten und von der Regeleinrichtung (25) verwerteten Signale (23, 31; 50, 53) zur Steuerung der Bearbeitung der Werkstücke (41) nutzbar sind.
2. Spanabhebendes Schneidwerkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler Sensoren (22; 48) zur Ermittlung mindestens einer Komponente ($-F_c$, $-F_f$, $-F_p$) der auf das Schneidwerkzeug (3; 40) wirkenden Zerspankraft ($-F$) sind.
3. Spanabhebendes Schneidwerkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler Spannungserzeuger (30; 49) sind.
4. Spanabhebendes Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler (22, 30; 48,

- 13 -

49) zwischen dem Schneidelement (7; 47) und dem Träger (6; 46) des Schneidwerkzeugs (3; 40) angeordnet sind.

5. Spanabhebendes Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler (22, 30; 48, 49) zwischen dem Träger (6) des Schneidwerkzeugs (3) und dem Werkzeughalter (9) beziehungsweise zwischen der Welle (43) des Schneidelements (40) und dem Lager in der Werkzeugmaschine angeordnet sind.
6. Spanabhebendes Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler (22, 30; 48, 49) sowohl zwischen dem Schneidelement (7; 47) und dem Träger (6; 46) des Schneidwerkzeugs (3; 40), als auch zwischen dem Träger (6) des Schneidwerkzeugs (3) und dem Werkzeughalter (9) beziehungsweise zwischen der Welle (43) des Schneidelements (40) und dem Lager in der Werkzeugmaschine angeordnet sind.
7. Verfahren zur Regelung der spanabhebenden Bearbeitung von Werkstücken auf Werkzeugmaschinen mit Schneidwerkzeugen, die auf einem Träger mindestens ein Schneidelement tragen und in einem Werkzeughalter beziehungsweise Lager einer Werkzeugmaschine gelagert sind, wobei die spanabhebende Bearbeitung mit einer Regeleinrichtung geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass an mindestens einer Stelle am Schneidwerkzeug beziehungsweise seiner Lagerung, an der mindestens eine Komponente der bei der spanabhebenden Bearbeitung auftretenden Zerspankraft auf das Schneidwerkzeug wirkt, piezokeramische Wandler angeordnet werden, dass die Kraftkomponenten der Zerspankraft auf die Wandler einwirken, dass die durch die Krafteinwirkung auf die Wandler erzeugten Signale zur Regeleinrichtung geleitet werden und dass unter

- 14 -

Berücksichtigung dieser Signale die Bearbeitung der Werkstücke geregelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler Sensoren sind, dass mit diesen Sensoren mindestens eine der auf das Schneidwerkzeug wirkenden Komponenten der Zerspankraft ermittelt wird und dass aus der Größe des Signals auf die Höhe der Belastung des Schneidelements und/oder der Werkzeugmaschine geschlossen wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, dass ein Vergleich der durch die Sensoren ermittelten Signale mit vorgegebenen Grenzwerten erfolgt und dass bei Über- oder Unterschreiten eines Grenzwerts das Signal an die Regeleinrichtung der Werkzeugmaschine gesendet wird und dass die Regeleinrichtung die Drehzahl des Werkstücks bzw. des Schneidwerkzeugs und/oder den Vorschub und/oder die Zustellung zur Behebung der aufgetretenen Abweichung verändert.
10. Verfahren nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramischen Wandler Spannungserzeuger sind und dass die mit diesen Spannungserzeugern erzeugte Spannung zur Versorgung elektronischer Schaltungen genutzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass bei sich drehenden Schneidwerkzeugen eine Kommunikation zwischen den piezokeramischen Wandlern auf dem Schneidwerkzeug und der Regeleinrichtung auf der Werkzeugmaschine mittels Funksignalen erfolgt, wobei die Signale der Wandler zu einer Sender- und Empfängereinrichtung auf dem Schneidwerkzeug geleitet und von dort an einen Empfänger auf der Werkzeugmaschine gesendet werden.

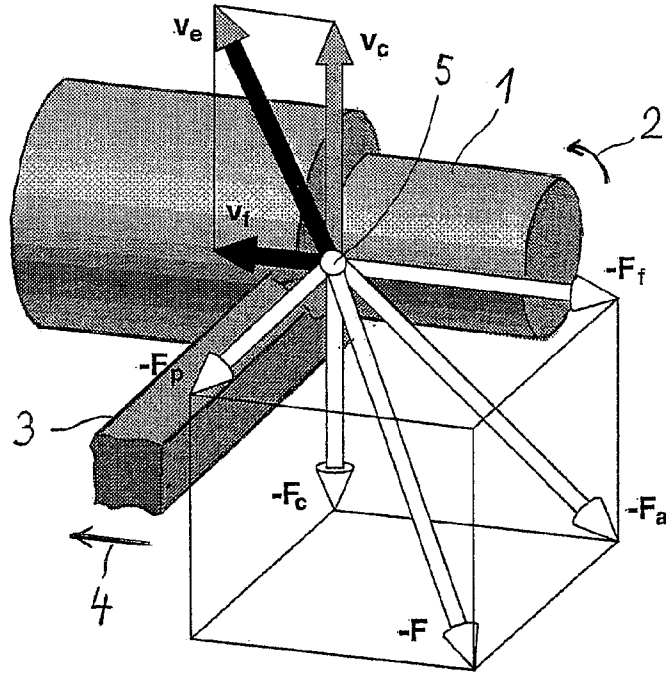


Fig.1

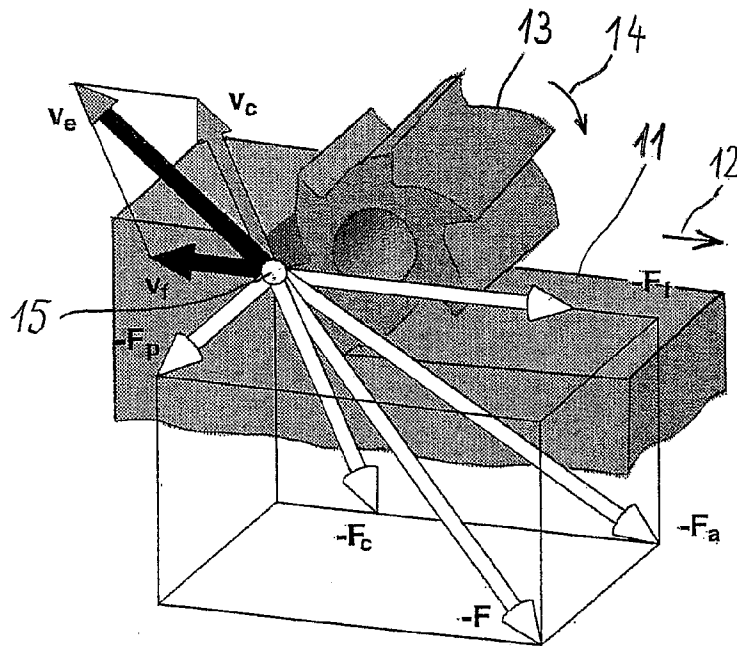
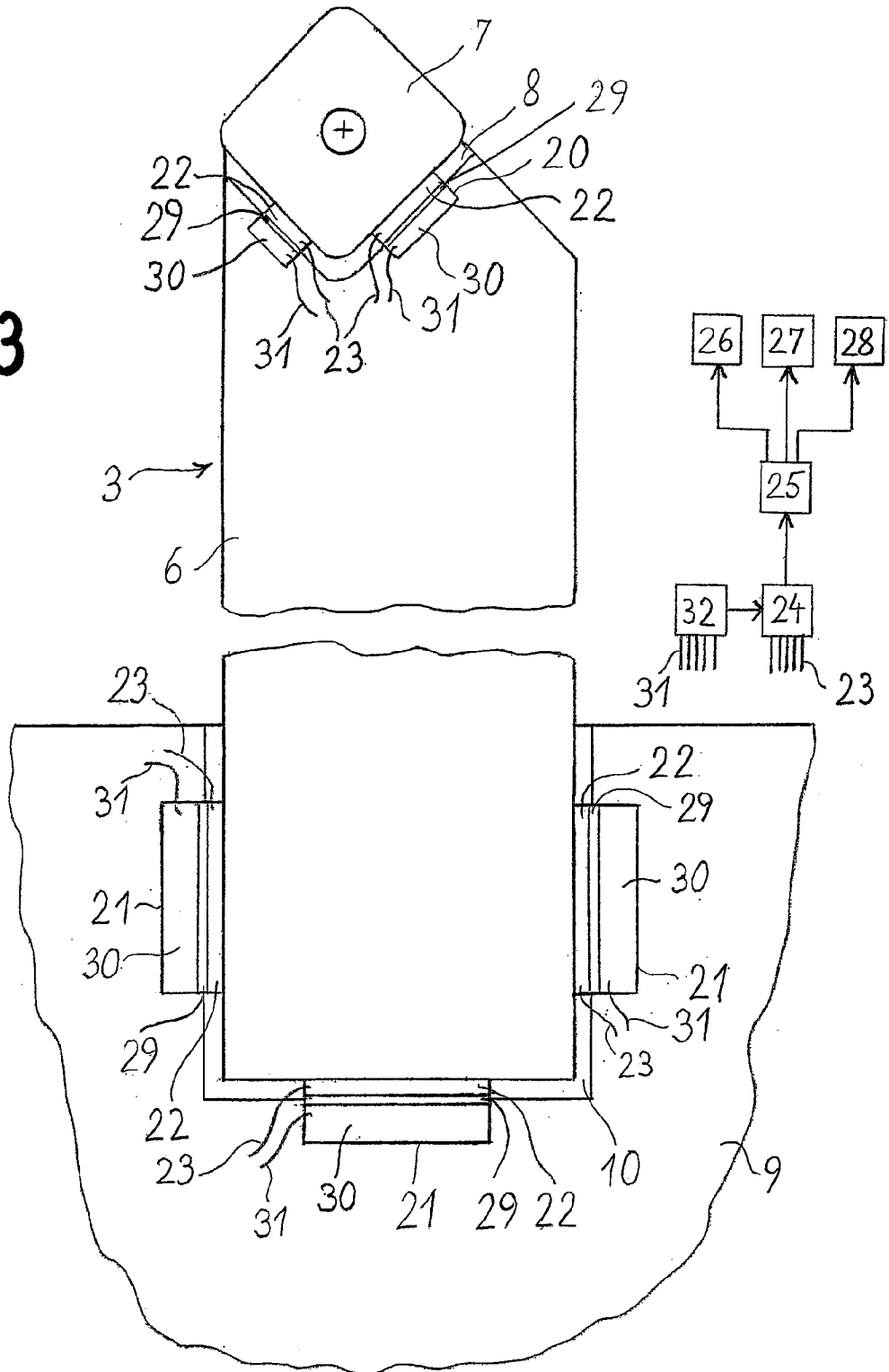


Fig.2

Fig.3



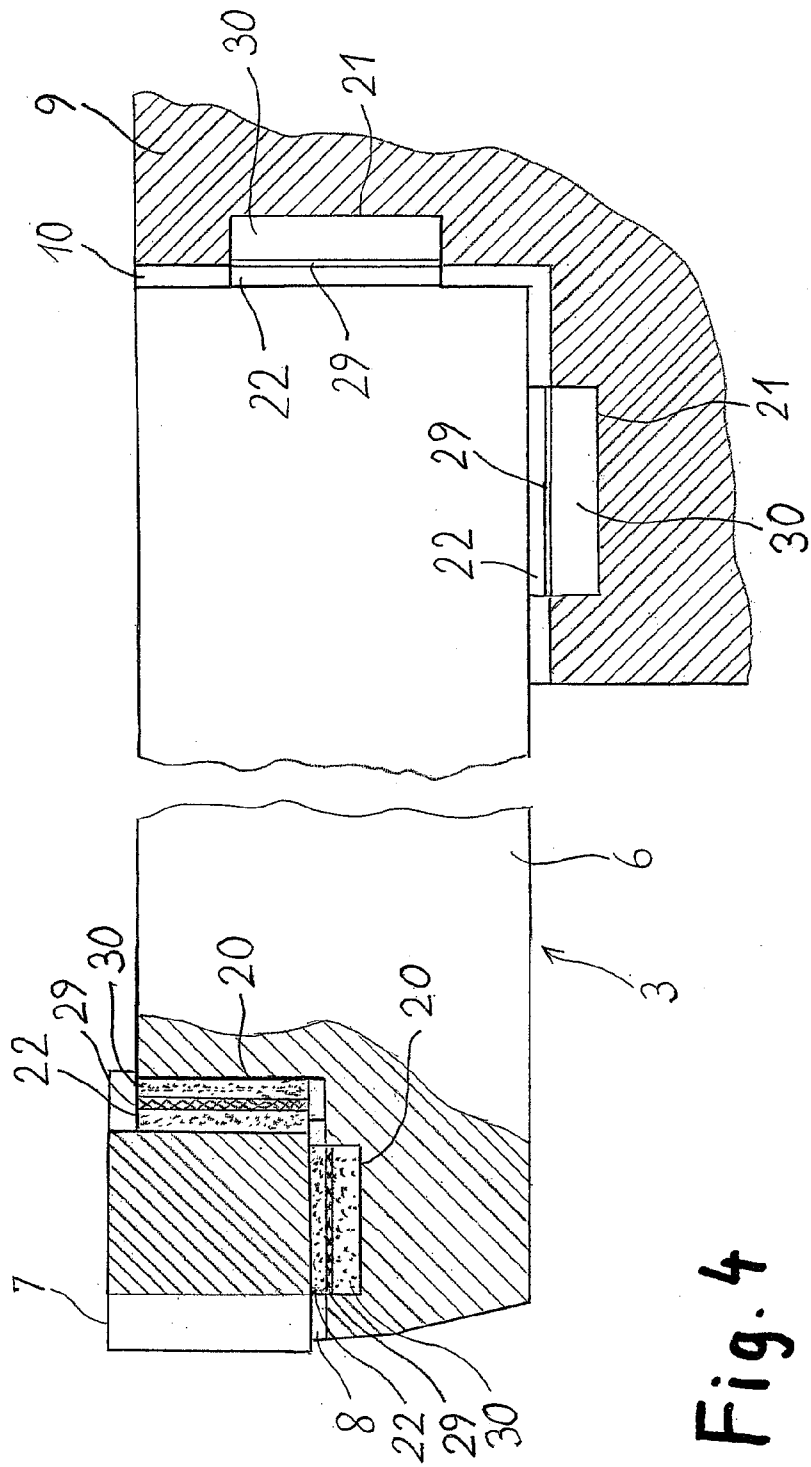


Fig. 4

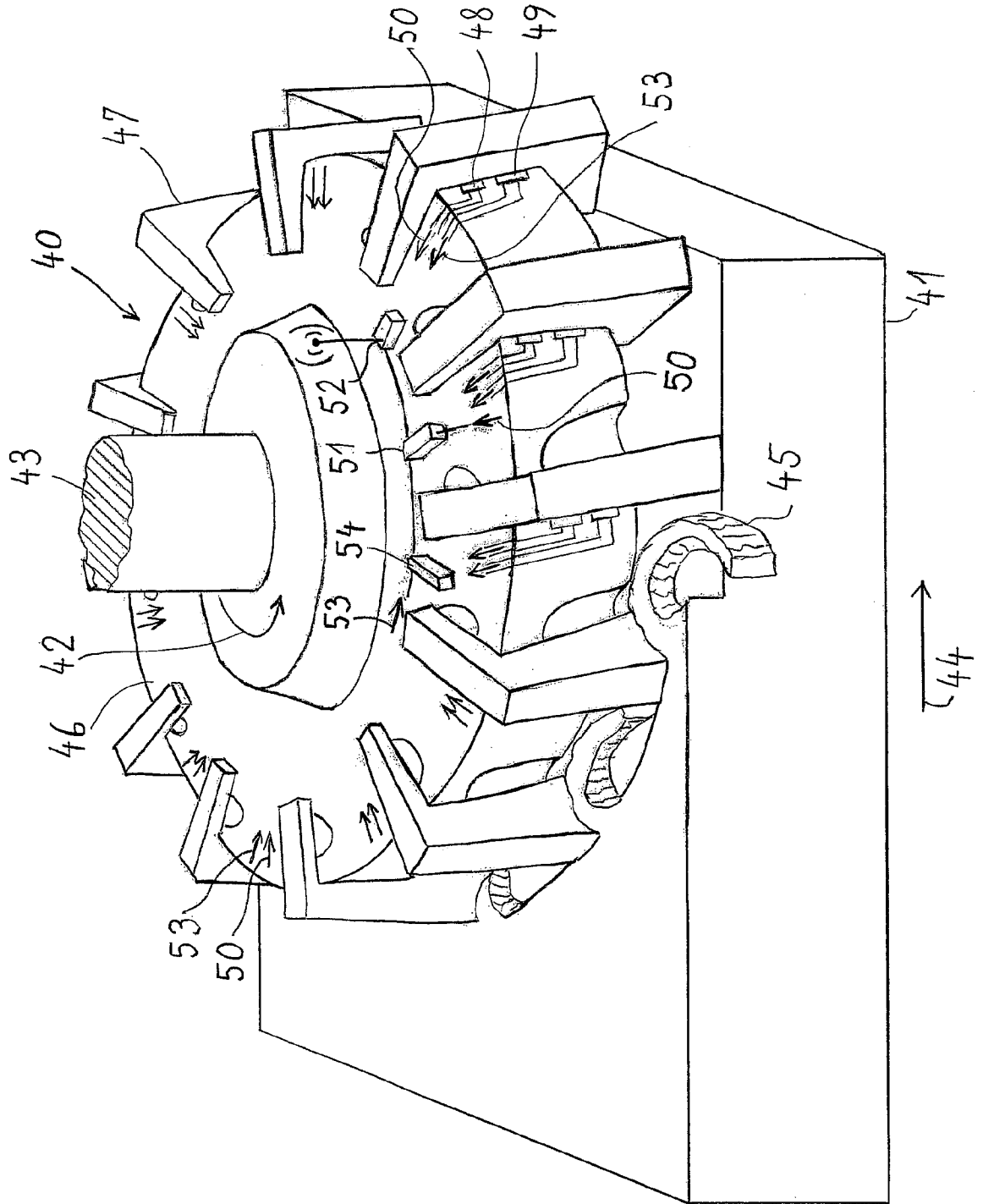


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/051026

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B23Q1/34 B23Q11/00 B23Q17/09 B23B29/12		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23Q B23B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/109174 A1 (CLAESSON INGVAR [SE] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26) paragraphs [0032] - [0036], [0047] - [0049]	1-11
X	WO 2005/063437 A (FRANZ HAIMER MASCHB KG [DE]; HAIMER FRANZ [DE]) 14 July 2005 (2005-07-14) the whole document	1-3,5, 7-11
X	WO 2005/042195 A (TEENESS ASA [NO]; SAETERBOE MARTIN [NO]; LUND EVEN [NO]) 12 May 2005 (2005-05-12) the whole document	1-3,7,8, 10,11
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
E earlier document but published on or after the international filing date	*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.	
O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	*&* document member of the same patent family	
P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search <div style="text-align: center; font-weight: bold;">9 May 2007</div>	Date of mailing of the international search report <div style="text-align: center; font-weight: bold;">21/05/2007</div>	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Lasa Goñi, Andoni</div>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/051026

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102 29 134 A1 (GROHMANN BORIS ANDREAS [DE]; JAENKER PETER [DE]; HERMLE FRANK [DE]) 29 January 2004 (2004-01-29) paragraphs [0059], [0060] -----	1-3,7-10
X	DE 196 32 148 A1 (GFE GES FUER FERTIGUNGSTECHNIK [DE]) 12 February 1998 (1998-02-12) the whole document -----	1-3,7-10
X	US 2005/262975 A1 (LUNDBLAD MIKAEL [SE]) 1 December 2005 (2005-12-01) the whole document -----	1-3,7-10
A	DE 100 44 592 C1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 21 February 2002 (2002-02-21) paragraph [0015]; figure 1 -----	4
A	DE 199 25 193 A1 (GUEHRING JOERG [DE]) 26 October 2000 (2000-10-26) abstract -----	4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2007/051026
--

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005109174	A1	26-05-2005	NONE
WO 2005063437	A	14-07-2005	DE 10360917 A1 21-07-2005
WO 2005042195	A	12-05-2005	CA 2540847 A1 12-05-2005 CN 1874864 A 06-12-2006 EP 1677932 A1 12-07-2006 KR 20060103436 A 29-09-2006 US 2007056414 A1 15-03-2007
DE 10229134	A1	29-01-2004	NONE
DE 19632148	A1	12-02-1998	NONE
US 2005262975	A1	01-12-2005	NONE
DE 10044592	C1	21-02-2002	WO 0220212 A2 14-03-2002 EP 1328376 A2 23-07-2003 US 2004067116 A1 08-04-2004
DE 19925193	A1	26-10-2000	AT 243084 T 15-07-2003 WO 0062962 A1 26-10-2000 EP 1169154 A1 09-01-2002 JP 2002542049 T 10-12-2002 US 6586862 B1 01-07-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051026

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. B23Q1/34 B23Q11/00 B23Q17/09 B23B29/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

B23Q B23B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/109174 A1 (CLAESSON INGVAR [SE] ET AL) 26. Mai 2005 (2005-05-26) Absätze [0032] - [0036], [0047] - [0049]	1-11
X	WO 2005/063437 A (FRANZ HAIMER MASCHB KG [DE]; HAIMER FRANZ [DE]) 14. Juli 2005 (2005-07-14) das ganze Dokument	1-3,5, 7-11
X	WO 2005/042195 A (TEENESS ASA [NO]; SAETERBOE MARTIN [NO]; LUND EVEN [NO]) 12. Mai 2005 (2005-05-12) das ganze Dokument	1-3,7,8, 10,11
X	DE 102 29 134 A1 (GROHMANN BORIS ANDREAS [DE]; JAENKER PETER [DE]; HERMLE FRANK [DE]) 29. Januar 2004 (2004-01-29) Absätze [0059], [0060]	1-3,7-10
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist | <ul style="list-style-type: none"> *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |
|---|--|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Mai 2007

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/05/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lasa Goñi, Andoni

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051026

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 196 32 148 A1 (GFE GES FUER FERTIGUNGSTECHNIK [DE]) 12. Februar 1998 (1998-02-12) das ganze Dokument -----	1-3,7-10
X	US 2005/262975 A1 (LUNDBLAD MIKAEL [SE]) 1. Dezember 2005 (2005-12-01) das ganze Dokument -----	1-3,7-10
A	DE 100 44 592 C1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 21. Februar 2002 (2002-02-21) Absatz [0015]; Abbildung 1 -----	4
A	DE 199 25 193 A1 (GUEHRING JOERG [DE]) 26. Oktober 2000 (2000-10-26) Zusammenfassung -----	4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051026

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005109174 A1	26-05-2005	KEINE	
WO 2005063437 A	14-07-2005	DE 10360917 A1	21-07-2005
WO 2005042195 A	12-05-2005	CA 2540847 A1	12-05-2005
		CN 1874864 A	06-12-2006
		EP 1677932 A1	12-07-2006
		KR 20060103436 A	29-09-2006
		US 2007056414 A1	15-03-2007
DE 10229134 A1	29-01-2004	KEINE	
DE 19632148 A1	12-02-1998	KEINE	
US 2005262975 A1	01-12-2005	KEINE	
DE 10044592 C1	21-02-2002	WO 0220212 A2	14-03-2002
		EP 1328376 A2	23-07-2003
		US 2004067116 A1	08-04-2004
DE 19925193 A1	26-10-2000	AT 243084 T	15-07-2003
		WO 0062962 A1	26-10-2000
		EP 1169154 A1	09-01-2002
		JP 2002542049 T	10-12-2002
		US 6586862 B1	01-07-2003