



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **707 367 A1**

**Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **B26D** 5/00 (2006.01)  
**B26F** 3/00 (2006.01)  
**B24C** 3/00 (2006.01)  
**B23K** 26/38 (2014.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 02853/12

(71) Anmelder:  
Micromachining AG, Mittelstrasse 8  
4912 Aarwangen (CH)

(22) Anmeldedatum: 18.12.2012

(72) Erfinder:  
Walter Mauer, 4665 Oftringen (CH)

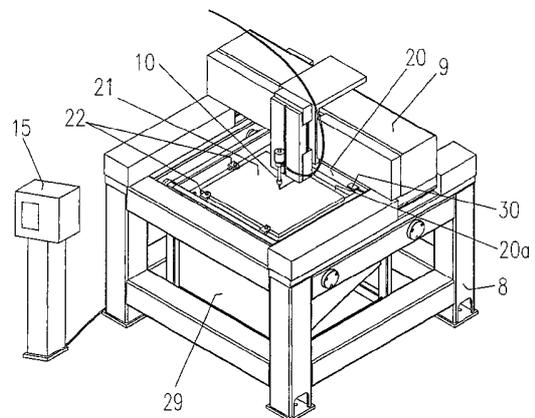
(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2014

(74) Vertreter:  
Ammann Patentanwälte AG Bern, Schwarztorstrasse 31  
3001 Bern (CH)

(54) **Verfahren zum Bearbeiten einer Folge von Werkstücken mittels mindestens eines Bearbeitungsstrahls.**

(57) Das Verfahren zum Bearbeiten einer Folge von Werkstücken (21) mittels mindestens eines Bearbeitungsstrahls umfasst folgende Schritte:

- jedem Werkstück (21) wird ein Kennzeichen zum eindeutigen Identifizieren des Werkstücks zugeordnet,
- während der Bearbeitung eines jeweiligen Werkstücks wird die zeitliche Charakteristik des Bearbeitungsstrahls mittels mindestens eines Sensors (30) erfasst,
- die erfasste zeitliche Charakteristik wird ausgewertet zum Erhalt mindestens eines Vergleichswertes, und
- zum Erfassen einer fehlerhaften Bearbeitung wird der mindestens eine Vergleichswert mit mindestens einem Schwellenwert verglichen.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bearbeiten einer Folge von Werkstücken mittels mindestens eines Bearbeitungsstrahls.

**[0002]** Es werden verschiedene Medien eingesetzt, z.B. Flüssigkeiten, Photonen und/oder Gas, um einen Bearbeitungsstrahl zu erzeugen. Dieser weist dabei keine festbleibende Geometrie auf, sondern bildet eine Art dynamisches Werkzeug, dessen zeitliche Charakteristik veränderlich ist. Ist z.B. der Flüssigkeitsstrahl aus Wasser mit Abrasivmaterial gebildet, so kann es vorkommen, dass dieses kurzzeitig in vermindertem Masse dem Wasser zugeführt wird und daher der Flüssigkeitsstrahl mit verminderter Energie auf das Werkstück einwirkt. Bei der Bearbeitung mittels eines Laser-, Brennschneid- oder Plasmastrahls z.B. kann es vorkommen, dass sich geschmolzenes Material beispielsweise in Form von Perlen auf der Werkstücksoberfläche niederschlägt. Befinden sich diese auf einer Bearbeitungsstelle, an welcher das Werkstück noch zu bearbeiten ist, so wird der Bearbeitungsstrahl mit einer anderen Geometrie als vorgesehen auf das Werkstück einwirken.

**[0003]** Die zeitliche Veränderung des Bearbeitungsstrahls kann dazu führen, dass die Werkstücke mit unterschiedlicher Qualität bearbeitet werden. Mit den gängigen Verfahren ist es erforderlich, dass bei der Endkontrolle jedes der Werkstücke untersucht wird, um jene mit verminderter Bearbeitungsqualität finden zu können. Dies macht die Herstellung der Werkstücke relativ aufwendig und führt zu einem erhöhten Ausschuss.

**[0004]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein rationelleres Verfahren zum Bearbeiten einer Folge von Werkstücken mittels eines Bearbeitungsstrahls anzugeben.

**[0005]** Ein Verfahren, das diese Aufgabe löst, ist im Anspruch 1 angegeben. Die weiteren Ansprüche geben bevorzugte Ausführungen des Verfahrens, eine Bearbeitungsvorrichtung, mit welcher das Verfahren durchführbar ist, sowie eine Verwendung des Verfahrens und/oder der Bearbeitungsvorrichtung an.

**[0006]** Beim Verfahren gemäss dem Anspruch 1 wird während der Bearbeitung eines jeweiligen Werkstücks die zeitliche Charakteristik des Bearbeitungsstrahls mittels mindestens eines Sensors erfasst, ausgewertet und mit mindestens einem Schwellenwert verglichen. Dadurch lassen sich Fehler in der Bearbeitung erkennen.

**[0007]** Vorzugsweise wird dem Werkstück ein Fehlerindikator zugeordnet. Dadurch können bei der Endkontrolle gezielt jene Werkstücke auf ihre tatsächliche Bearbeitungsqualität untersucht werden, welche einen positiven Fehlerindikator haben.

**[0008]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf Figuren erläutert. Es zeigen

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemässen Bearbeitungsvorrichtung;
- Fig. 2 eine Draufsicht eines Beispiels eines zu bearbeitenden Werkstücks;
- Fig. 3 das Signal eines Sensors als Funktion des Abstandes zwischen Sensor und Bearbeitungsstelle;
- Fig. 4a den zeitlichen Verlauf eines Messsignals während des Betriebs der Bearbeitungsvorrichtung gemäss Fig. 1;
- Fig. 4b den zeitlichen Verlauf des erwarteten Sensorsignals; und
- Fig. 4c den Unterschied zwischen dem Messsignal und dem erwarteten Sensorsignal.

**[0009]** Fig. 1 zeigt eine Bearbeitungsvorrichtung mit einem auf dem Boden stehenden Rahmengestell 8, auf welchem eine verfahrbare Brücke 9 angeordnet ist. Auf dieser ist ein Bearbeitungskopf 10 angeordnet, welcher quer zur Brücke 9 verfahrbar und somit in der Ebene verfahrbar ist. Weiter ist der Bearbeitungskopf 10 vertikal zu dieser Ebene verfahrbar. Er ist somit in mindestens drei unabhängigen Achsen bewegbar. Die Ansteuerung des Bearbeitungskopfes 10 erfolgt über eine Steuerung 15, beispielsweise eine numerische Steuerung in Form einer CNC-Steuerung.

**[0010]** Die Bearbeitungsvorrichtung ist mit den üblichen Komponenten ausgerüstet, um beim Betrieb einen Bearbeitungsstrahl zu erzeugen, der beim Austritt aus dem Bearbeitungskopf 10 ein Werkstück 21 bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgt dabei z.B. mittels eines Strahls, der durch eine Flüssigkeit unter Hochdruck gebildet wird, thermisch, d.h. durch Hitzeeinwirkung oder mittels einer Kombination davon. Beispiele von Bearbeitungsstrahlen sind wie folgt:

- Wasserstrahl aus reinem Wasser zum Reinwasserschneiden,
- Wasserstrahl aus Wasser mit beigefügtem Abrasivmaterial zum Abrasivwasserschneiden (das Abrasivmaterial kann dabei zur Bildung eines Wasserabrasivstrahls bereits bei der Hochdruckpumpe oder zur Bildung eines Abrasivinjektorstrahls erst im Bearbeitungskopf 10 beigefügt werden),
- ein aus einer anderen Flüssigkeit als Wasser gebildeter Strahl ohne oder mit zusätzlichem Abrasivmaterial,
- ein aus einem anderen Medium gebildeter Strahl wie Photonen und/oder Gas, beispielsweise Laserstrahl, Plasmastrahl, Brennschneidstrahl etc.

**[0011]** Die Bearbeitung kann verschiedene Prozesse beinhalten, z.B.:

- Durchtrennen einer Materialschicht, insbesondere das Schneiden eines Werkstücks, indem es z.B. entlang einer Kontur getrennt wird, oder das Bohren von Löchern,
- Strukturieren der Werkstücksoberfläche, insbesondere Gravieren und/oder Entfernen von Material,
- Verdichten der Werkstücksoberfläche.

**[0012]** Die Steuerung 15 umfasst übliche Geräte zur Eingabe und Ausgabe von Informationen, wie Tastatur, Monitor und/oder Zeigergerät (z.B. Touchscreen), etc. und Mittel zur Datenverarbeitung und zur Erzeugung von Steuersignalen, welche im Betrieb ein Verfahren des Bearbeitungskopfes 10 bewirken. Vorzugsweise umfassen diese Mittel einen Computer, der eine Zentraleinheit (CPU) und einen Speicher, z.B. in Form eines Schreib-Lese-Speichers (RAM) und/oder einer Harddisk aufweist.

**[0013]** Die Bearbeitungsvorrichtung umfasst eine Werkstückauflage 20, auf welcher ein zu bearbeitendes Werkstück 21 aufliegt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Werkstückauflage 20 im inneren Bereich mit einer Ausnehmung 20a versehen und bildet so einen Rahmen, auf welchem das Werkstück 21 am Rand aufliegt. Die Bearbeitungsvorrichtung ist mit Haltemitteln 22 zum Festhalten des Werkstücks 21 versehen. Die Haltemittel 22 sind z.B. als Klemmen ausgebildet, mittels welchen das Werkstück 21 an die Werkstückauflage 20 gedrückt wird.

**[0014]** Ist der Bearbeitungsstrahl als Flüssigkeitsstrahl ausgebildet, so ist – wie hier beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 1 gezeigt – innerhalb des Rahmengestells 8 ein mit Wasser füllbares Auffangbecken 29 («Strahlcatcher») angeordnet. Dieses dient zum Abbau der Restenergie, welche der Flüssigkeitsstrahl nach der Durchdringung des Werkstücks 21 aufweist.

**[0015]** Zur Erfassung der zeitlichen Charakteristik des Bearbeitungsstrahls weist die Bearbeitungsvorrichtung mindestens einen Sensor 30 auf. Dieser ist mit der Steuerung 15 verbunden, in welcher die vom Sensor 30 gelieferten Daten ausgewertet werden.

**[0016]** Je nach Auslegung des Bearbeitungsstrahls sind diverse Arten von Sensoren einsetzbar, z.B. akustische Sensoren, optische Sensoren, insbesondere bildgebende Sensoren sowie Drucksensoren. Nachfolgend werden mögliche Sensortypen im Detail erläutert.

#### **a) Schallsensor zur Erfassung des Körperschalls:**

**[0017]** Während der Bearbeitung mit dem Bearbeitungsstrahl wird lokal im Werkstück 21 Energie freigegeben, was die Erzeugung von elastischen Wellen bewirkt, die sich im Werkstück 21 ausbreiten und den sogenannten Körperschall erzeugen.

**[0018]** Wie nachfolgend anhand der Fig. 3 und 4 erläutert, bewirken die zeitlichen Veränderungen in der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls entsprechende Veränderungen im Schallpegel.

**[0019]** Zum Erfassen des Körperschalls ist der Sensor 30 am Werkstück oder an der Bearbeitungsvorrichtung selbst angeordnet, z.B. bei der Werkstückauflage 20, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Bei dieser zweiten Variante ist eine Schallübertragung vom Werkstück 21 auf die Werkstückauflage 20 gewährleistet, indem das Werkstück 21 mittels der Haltemittel 22 festgeklemmt ist. Um den Sensor 30 vor Einwirkungen durch den Bearbeitungsstrahl und/oder vor Verschmutzungen zu schützen, kann in der Werkstückauflage 20 eine Ausnehmung vorgesehen sein, in welche der Sensor 30 eingelassen ist und welche zumindest an den dem Werkstück 21 bzw. dem Bearbeitungsstrahl zugewandten Seiten geschlossen ausgebildet ist.

**[0020]** Je nach Anwendungszweck kann der Sensor 30 auch an anderen Stellen der Bearbeitungsvorrichtung angeordnet sein, z.B. am oder im Schneidkopf 10, bei der Pumpe etc.

**[0021]** Als Sensor 30 eignet sich u. a. ein Schallemissionssensor («Acoustic Emission Sensor»). Dieser ist z.B. in Form eines Sensorgehäuses aufgebaut, in welchem ein piezoelektrisches Messelement angeordnet ist. Der Sensor 30 ist z.B. mittels Schraube oder magnetisch an der Werkstückauflage 21 befestigt, so dass die Schwingungen der Werkstückauflage 21 an das piezoelektrische Messelement übertragen werden.

#### **b) Schallsensor zur Erfassung des vom Bearbeitungsstrahl erzeugten Schalls:**

**[0022]** Wird als Bearbeitungsstrahl ein Flüssigkeitsstrahl verwendet, so tritt dieser mit hoher Geschwindigkeit aus dem Bearbeitungskopf 10 aus. Es wird dabei u. a. Schall erzeugt, der sich in der Luft ausbreitet. Zur Erfassung dieser Schwingungen ist z.B. ein Mikrofon geeignet.

**[0023]** Ähnlich wie oben beim Körperschall bewirken Veränderungen in der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls Veränderungen im Luftschall.

#### **c) Sensor zur Erfassung des Druckes:**

**[0024]** Insbesondere ein Flüssigkeitsstrahl als Bearbeitungsstrahl wirkt während der Bearbeitung mit einem bestimmten Druck auf das Werkstück 21 ein. Dieser variiert, wenn sich die Charakteristik des Bearbeitungsstrahls wirksam verändert. Der Druck ist mittels eines Drucksensors erfassbar, der z.B. zwischen Werkstück 21 und Werkstückauflage 20 angeordnet ist.

**d) Bildgebender Sensor:**

**[0025]** Es ist auch möglich, die Charakteristik des Bearbeitungsstrahls mittels bildgebenden Sensors in Form einer Kamera zu erfassen.

**[0026]** Bei der Bearbeitung mittels Flüssigkeitsstrahls z.B. bildet sich an der Bearbeitungsstelle eine Wolke aus Flüssigkeit und Material, welches vom Werkstück 21 abgetragen wird. Es wurde im Rahmen der vorliegenden Erfindung festgestellt, dass Veränderungen in der Charakteristik des Flüssigkeitsstrahls die Ausgestaltung der Wolke, z.B. deren Grösse, verändert. Durch Erfassen der Wolke und Auswerten der Bilder kann somit auf die aktuelle Charakteristik des Flüssigkeitsstrahls geschlossen werden.

**[0027]** Erfolgt die Bearbeitung durch Hitzeeinwirkung, so ist eine Wärmebildkamera einsetzbar, um den Bearbeitungsstrahl sowie die Bearbeitungsstelle bildtechnisch zu erfassen. Auch hier können durch Bildauswertung Veränderungen in der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls erfasst werden.

**[0028]** Fig. 2 zeigt ein Beispiel einer Platte als Werkstück 21, aus welchem eine bestimmten Form 21' herausgeschnitten werden soll. Diese ist definiert durch die Kontur 25. Im vorliegenden Beispiel weist die Form 21' zwei Ausnehmungen auf, so dass sich die Kontur 25 aus einer Aussenkontur 25a und zwei Innenkonturen 25b und 25c zusammensetzt. Je nach Auslegung des Bearbeitungsstrahls wird die Wand, die bei der Durchtrennung der Materialschicht des Werkstücks 21 entsteht, nicht genau senkrecht auf der Oberseite des Werkstücks 21 stehen. Die Kontur an der Unterseite des Werkstücks 21 wird dann mit der Kontur 25 auf der Oberseite nicht genau übereinstimmen. Die geschnittene Wand wird daher gegebenenfalls nachbearbeitet, um die geforderte Qualität zu erzielen.

**[0029]** In Fig. 2 ist auch ein X-Y-Koordinatensystem eingezeichnet, wobei für die nachfolgende Erläuterung angenommen wird, dass ein Schallsensor als Sensor 30 im Nullpunkt NP des Koordinatensystems angeordnet ist. Der Sensor 30 ist stationär, währenddessen der Bearbeitungskopf 10 verfahren wird, um den Bearbeitungsstrahl entlang der Kontur 25 zu bewegen. Demnach wird sich die Distanz  $d$  zwischen dem Sensor 30 und dem Bearbeitungskopf 10 und somit zwischen Sensor 30 und Bearbeitungsstrahl zeitlich verändern. Entsprechend wird das Messsignal des Sensors 30 stärker oder schwächer sein.

**[0030]** Um diese systembedingte Veränderung beim Bearbeiten eines Werkstücks 21 herauszufiltern, wird das Messsignal vorgängig geeicht. Zu diesem Zweck wird mindestens ein Testwerkstück mit dem Bearbeitungsstrahl bearbeitet, indem dieser z.B. von der minimalen Distanz zum Nullpunkt NP wegbewegt und das Messsignal als Funktion der Distanz  $d$  erfasst wird. Fig. 3 zeigt beispielhaft das fluktuierende Messsignal  $U_0$  in Abhängigkeit der Distanz  $d$ . Das Messsignal  $U_0$  ist typischerweise ein Spannungswert, der der Intensität des Schalls entspricht. Zur Verfeinerung des Zusammenhangs zwischen Signal  $U_0$  und Distanz  $d$  können mit dem Bearbeitungsstrahl mehrere Bearbeitungsstrecken gefahren und die jeweiligen Messwerte miteinander gemittelt werden.

**[0031]** Anschliessend wird an die erfassten Messwerte z.B. eine mathematische Funktion gefittet. Diese ist in Fig. 3 durch die ausgezogene Kurve 35 dargestellt. Alternativ ist es auch möglich, eine Tabelle zu erstellen, welcher die Signalwerte  $U_0$  und die dazugehörenden Distanzwerte  $d$  enthält.

**[0032]** Diese Eichdaten in Form der Funktion bzw. der Tabelle werden anschliessend von der Steuerung 15 verwendet, um für die Bearbeitung eines bestimmten Werkstückes 21 ein erwartetes Sensorsignal  $U_e$  in der Zeit  $t$  zu berechnen. Dabei bestimmt die Steuerung 15 anhand eines Programmes aus den Daten, welche die zu schneidende Kontur 25 definieren, den zeitlichen Verlauf des Abstandes  $d$  und dann mittels der Eichdaten den zeitlichen Verlauf des zu erwartenden Sensorsignals  $U_e$ .  $U_e$  liefert somit Standardwerte, die mit dem Signal  $U$ , welches bei der Bearbeitung des Werkstücks 21 gemessen wird, vergleichbar sind.

**[0033]** Fig. 4b zeigt beispielhaft das zu erwartende Sensorsignal  $U_e$  als Funktion der Zeit  $t$ . Fig. 4a zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf 40 eines Messsignals  $U$ , welches der Sensor 30 bei der Bearbeitung eines Werkstücks 21 liefert. Die unterste Grafik gemäss Fig. 4c zeigt  $U-U_e$ , d.h. den Unterschied zwischen Messsignal  $U$  und erwartendem Sensorsignal  $U_e$ .

**[0034]** Im Beispiel gemäss Fig. 4 sind auf der Zeitachse  $t$  verschiedene Zeitpunkte,  $t_1$  bis  $t_8$ , angegeben, welche folgende Bearbeitungszustände kennzeichnen:

**[0035]** Vom Zeitpunkt  $t = 0$  bis  $t = t_1$  und ab dem Zeitpunkt  $t_8$  ist die Bearbeitungsvorrichtung jeweils im Betrieb, jedoch der Bearbeitungsstrahl ausgeschaltet.

**[0036]** Bei  $t_1$  wird der Bearbeitungsstrahl eingeschaltet und er trifft auf das Werkstück. Das Signal  $U$  des Sensors 30 fluktuiert nun in einem bestimmten Bereich. Zwischen den Zeitintervallen  $t_1$  und  $t_2$ ,  $t_3$  und  $t_4$ ,  $t_5$  und  $t_6$  sowie  $t_7$  und  $t_8$  entspricht der Bearbeitungsstrahl jeweils im Wesentlichen der erwarteten Charakteristik, so dass die Fluktuationen klein sind.

**[0037]** Zwischen  $t_2$  und  $t_3$ ,  $t_4$  und  $t_5$  sowie  $t_6$  und  $t_7$  ist die Charakteristik des Bearbeitungsstrahls merklich verändert, so dass er nicht mehr dem Standardzustand entspricht. Beispielsweise kann es vorkommen, dass beim Abrasivwasserschneiden das Abrasivmaterial in vermindertem Masse dem Wasser zugeführt wird und daher der Bearbeitungsstrahl mit verminderter Energie auf das Werkstück einwirkt.

**[0038]** Eine Abweichung vom Standardzustand ist im Signalverlauf 40 dadurch erkennbar, dass der Signalwert U auf ein deutlich niedrigeres Niveau fällt. Beim Signalverlauf gemäss Fig. 4c ist erkennbar, dass dann der Wert  $U-U_e$  signifikant von Null verschieden ist.

**[0039]** Um derartige Abweichungen vom Standardzustand zu erfassen, wertet die Steuerung 15 den Signalverlauf 40 anhand von bestimmten Kriterien aus. Beispielsweise ist eine nicht mehr tolerierbare Abweichung gegeben, wenn folgendes Kriterium erfüllt ist:

**[0040]** In der Zeitspanne von  $t_1$  bis  $t_8$  weicht der Wert U mindestens einmal während einer bestimmten Zeit  $t_s$  oder länger vom Standardwert  $U_e$  um mehr als einen bestimmten Schwellenwert  $U_s$  ab:  $|U-U_e| > U_s$  für ein Zeitintervall  $t \geq t_s$ .

**[0041]** Eine veränderte Charakteristik des Bearbeitungsstrahls kann dazu führen, dass ein Werkstück mit verminderter Qualität bearbeitet wird. Die hier beschriebene Bearbeitungsvorrichtung ermöglicht es, bei der Bearbeitung einer Folge von Werkstücken einen Indikator («Fehlerindikator») für diejenigen Werkstücke zu erhalten, welche möglicherweise mit verminderter Qualität bearbeitet worden sind. Bei der Endkontrolle brauchen daher nicht alle Werkstücke genau geprüft zu werden, sondern es reicht, wenn die Werkstücke mit positivem Fehlerindikator untersucht werden.

**[0042]** Das Verfahren zum Bearbeiten wird z.B. wie folgt durchgeführt:

– Jedem Werkstück in einer Folge wird ein Kennzeichen zugeordnet, welches es erlaubt, das Werkstück eindeutig zu identifizieren. Die Kennzeichen können z.B. eine aufsteigende Zahlenfolge bilden, die von der Steuerung 15 erzeugt wird, oder es ist denkbar, die Daten, welche Datum und Zeit der Bearbeitung eines Werkstücks entsprechen, als Kennzeichen zu werden.

– Während der Bearbeitung eines jeweiligen Werkstücks wird die zeitliche Charakteristik des Bearbeitungsstrahls mittels des Sensors 30 erfasst. Gemäss dem oben dargestellten Beispiel erhält man somit für jedes Werkstück ein Signal  $U(t)$ .

– Die erfasste zeitliche Charakteristik wird ausgewertet zum Erhalt mindestens eines Vergleichswertes. Gemäss dem oben dargestellten Beispiel wird die Differenz gebildet  $U_v = |U-U_e|$ , wobei  $U_e$  dem anhand der Eichung bestimmten Erwartungspegel des Sensors 30 entspricht und U die Werte im Intervall von  $t_1$  und  $t_8$  sind. Die Werte von U, welche bei ausgeschaltetem Bearbeitungsstrahl gemessen werden, also vor  $t_1$  und nach  $t_8$ , werden hier nicht berücksichtigt.

– Dem Werkstück wird ein Fehlerindikator zugeordnet, welcher in Funktion der Abweichung des mindestens einen Vergleichswertes von mindestens einem Standardwert festgelegt wird. Gemäss dem oben dargestellten Beispiel wird dem Werkstück ein Fehlerindikator zugeordnet, wenn die Differenz  $U_v$  ein- oder mehrmals während mindestens  $t_s$  grösser als  $U_s$  ist:  $U_v > U_s$  für ein Zeitintervall  $t \geq t_s$ . Der Fehlerindikator kann beispielsweise in Form eines Flags sein:

«0» für «keine Abweichung erfasst» und

«1» für «Abweichung erfasst»

– Bei der Endkontrolle werden diejenigen Werkstücke genauer auf ihre Bearbeitungsqualität hin untersucht, deren Flag auf «1» gesetzt ist.

**[0043]** Zusammen mit dem Flag oder alternativ dazu können für jedes Werkstück auch andere Daten gespeichert werden.

**[0044]** Beispielsweise ist es denkbar, Daten abzuspeichern, welche den Zusammenhang geben, zu welcher Zeit t der Bearbeitungsstrahl eine bestimmte Bearbeitungsstelle am Werkstück 21 bearbeitet hat (im Folgenden «XY-Daten» genannt). Es ist somit möglich, eine Abweichung  $U_v$ , die grösser als der Schwellenwert  $U_s$  ist, zusammen mit den Koordinaten der Bearbeitungsstelle abzuspeichern, an welcher diese unerwünschte Abweichung aufgetreten ist. Dies erlaubt eine besonders einfache Endkontrolle, da das Werkstück gezielt an denjenigen Stellen auf ihre gewünschten Bearbeitungsqualität untersucht werden kann, an denen eine Unregelmässigkeit in der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls aufgetreten ist.

**[0045]** So sind z.B. bei der Herstellung von Turbinenschaufeln eine Vielzahl von Löchern zu Bohren. Die Anzahl kann mehrere Hunderte betragen, so dass das Ausmessen jedes Loches sehr zeitintensiv ist. Durch das zusätzliche Aufzeichnen von XY-Daten, welche den zeitlichen Verlauf der Position des Bearbeitungsstrahls wiedergeben, können gezielt bei einer jeweiligen Turbinenschaufel diejenigen Löcher gefunden und ausgemessen werden, bei denen die vom Sensor 30 gemessenen Werte eine unerwünschte Abweichung zeigen.

**[0046]** Die XY-Daten, welche den zeitlichen Verlauf der Position des Bearbeitungsstrahls wiedergeben, sind auf verschiedene Arten erhältlich:

**[0047]** Beispielsweise ist die Steuerung 15 so eingerichtet, dass aus den Programmierdaten, welche für die jeweilige Bearbeitung das zeitliche Verfahren des Bearbeitungskopfs 10 festlegen, die XY-Daten herauslesbar und/oder erzeugbar sind. Dies ist z.B. bei Steuerungen 15 möglich, welche eine SPS («speicherprogrammierbare Steuerung») aufweisen.

**[0048]** Für eine präzise Positionierung des Bearbeitungskopfes 10 ist die Bearbeitungsvorrichtung meistens mit einer Regelung versehen, mittels welcher die Motoren zum Bewegen des Bearbeitungskopfes 10 geregelt werden. Dabei wird der Istwert mittels geeigneter Sensoren, z.B. Inkrementalgeber zur Erfassung von Lage- und/oder Winkeländerungen, erfasst und die Position entsprechend der Abweichung vom Sollwert korrigiert. Es ist somit möglich, aus den Signalen der Sensoren die zeitliche Bewegung des Bearbeitungskopfes 10 zu ermitteln.

**[0049]** Weiter ist es denkbar, ein separates Messsystem vorzusehen, welches einen oder mehrere Sensoren aufweist, um die Bewegung des Bearbeitungskopfes 10 in der Zeit zu erfassen.

**[0050]** Als weiterführende Variante ist es denkbar, ein Protokoll zu erstellen und zu speichern, welches eine oder mehrere der folgenden Informationen enthält:

- Kennzeichen des Werkstücks,
- Fehlerindikator,
- die Koordinaten (Xb, Yb) der bearbeitenden Stellen als Funktion der Zeit und/oder des Weges,
- das Signal U als Funktion der Zeit und/oder der Koordinaten (Xb, Yb),
- den Eichpegel Ue als Funktion der Zeit und/oder der Koordinaten (Xb, Yb),
- die Abweichung Uv als Funktion der Zeit und/oder der Koordinaten (Xb, Yb).

**[0051]** Das Erstellen eines Protokolls ist z.B. dann angezeigt, wenn das bearbeitete Werkstück in einem Bereich eingesetzt werden soll, welcher besonders hohe Ansprüche an die Sicherheit hat, z.B. im Flugzeugbau oder in der Medizintechnik.

**[0052]** Als weiterführende Variante ist es ebenfalls denkbar, die erfasste Abweichung Uv zur Steuerung des Bearbeitungsprozesses einzusetzen, um so diesen zu optimieren. Zu diesem Zweck ist der mindestens eine Sensor 30 Teil eines Regelkreises, der zum Verändern der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls in Abhängigkeit der Abweichung Uv eingerichtet ist. Bei der Regelung wird der aktuelle Wert von Uv als «Istwert» laufend von der Steuerung 15 berechnet und mit dem vorgegebenen «Sollwert» verglichen, welcher hier Null entspricht. Die Steuerung 15 steuert bei einer zu grossen Regelabweichung (gemäss obigem Beispiel wenn die Differenz zwischen Ist- und Sollwert über dem Schwellenwert liegt) die Bearbeitungsmaschine so, dass bestimmte Prozessparameter verändert werden. Beispielsweise kann die Verfahrensgeschwindigkeit des Bearbeitungsstrahls und/oder seine wirksame Bearbeitungsenergie verringert werden. So wird z.B. bei der Bearbeitung mittels Flüssigkeitsstrahls der Druck verringert, so dass der Strahl mit kleinerer Geschwindigkeit aus dem Bearbeitungskopf 10 tritt. Wird der Flüssigkeitsstrahl zusammen mit Abrasivmaterial eingesetzt, so ist ein einstellbarer Prozessparameter auch dadurch gegeben, indem die Menge an beigemischtem Abrasiv verändert wird.

**[0053]** Die Regelung kann auch so eingerichtet sind, dass bei einer Häufung von Ereignissen, in denen die Abweichung Uv den Schwellenwert übersteigt und dann wieder unterschreitet, der Bearbeitungsprozess unterbrochen wird, um dem Benutzer die Gelegenheit zu geben, die Einstellungen an der Bearbeitungsmaschine zu überprüfen. Beispielsweise kann es beim Abrasivwasserschneiden vorkommen, dass das Abrasivmaterial schubweise dem Wasser zugeführt wird und es zu einer unerwünschten Pulsation in der Wirkung des Flüssigkeitsstrahls kommt.

**[0054]** Aus der vorangehenden Beschreibung sind dem Fachmann zahlreiche Abwandlungen zugänglich, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen, der durch die Ansprüche definiert ist.

**[0055]** Es ist denkbar, zwei oder mehr Sensoren 30 einzusetzen, um die zeitliche Charakteristik des Bearbeitungsstrahls zu erfassen. Die Sensoren 30 sind an der Bearbeitungsvorrichtung an unterschiedlichen Orten angeordnet, so dass der Signalverlauf im Pegel und/oder in der Zeit in der Regel unterschiedlich ist. Durch die Messung mittels mehreren Sensoren 30 können u. a. Zeitverzögerungen zwischen dem Auftreten einer unerwünschten Abweichung in der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls und der eigentlichen Messung sehr präzise bestimmt werden. Die unerwünschte Abweichung lässt sich somit sehr genau zur Bearbeitungsstelle am Werkstück zuordnen, wo die Abweichung aufgetaucht ist und somit die Bearbeitung gegebenenfalls nicht optimal war.

**[0056]** In einer vereinfachten Ausführungsform lässt sich die Zeitverzögerung auch bei der Messung mittels eines einzelnen Sensor 30 berücksichtigen, indem ein zeitlicher Korrekturwert, der z.B. experimentell bestimmt wird, miteinberechnet wird.

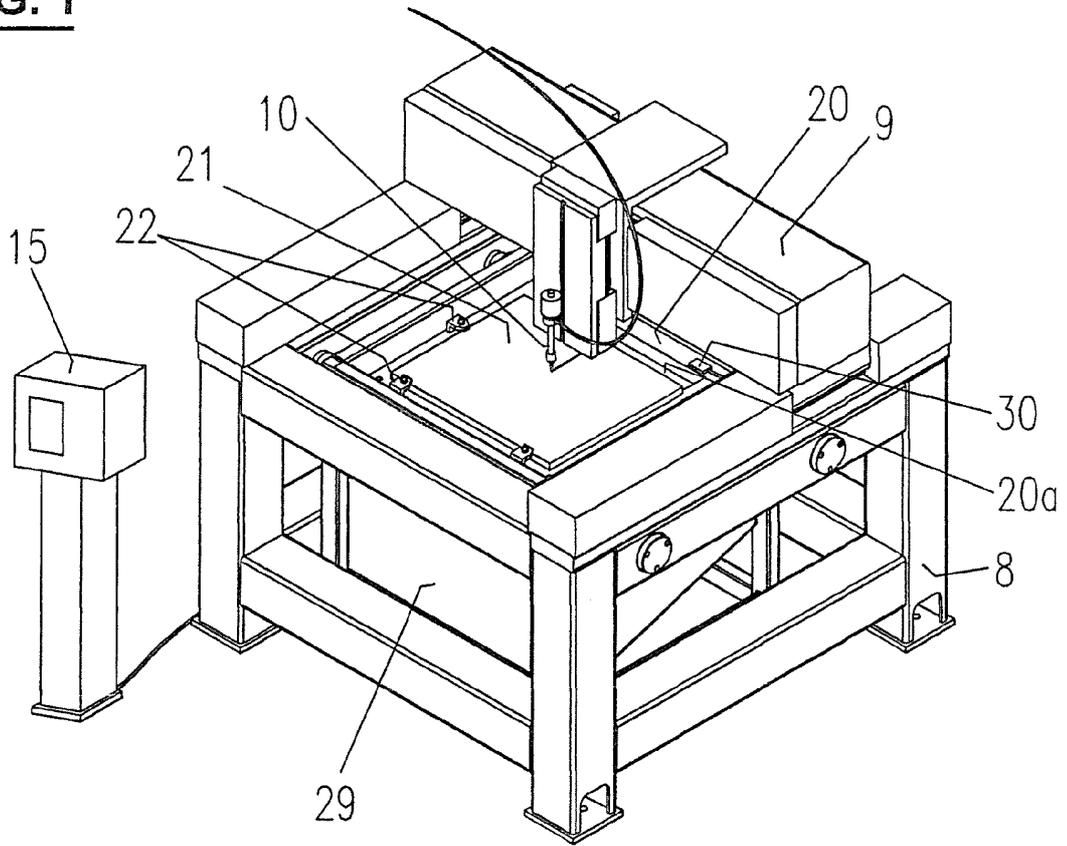
## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten einer Folge von Werkstücken (21) mittels mindestens eines Bearbeitungsstrahls, wobei beim Verfahren jedem Werkstück (21) ein Kennzeichen zum eindeutigen Identifizieren des Werkstücks zugeordnet wird, während der Bearbeitung eines jeweiligen Werkstücks die zeitliche Charakteristik (40) des Bearbeitungsstrahls mittels mindestens eines Sensors (30) erfasst wird, die erfasste zeitliche Charakteristik (40) ausgewertet wird zum Erhalt mindestens eines Vergleichswertes (Uv), und zum Erfassen einer fehlerhaften Bearbeitung der mindestens eine Vergleichswert mit mindestens einem Schwellenwert (Us) verglichen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei dem jeweiligen Werkstück (21) ein Fehlerindikator zugeordnet wird, welcher in Funktion der Abweichung des mindestens einen Vergleichswertes vom mindestens einen Schwellenwert festgelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei welchem der Fehlerindikator ein Flag umfasst und/oder aus dem Fehlerindikator Informationen darüber erhältlich sind, welche der Bearbeitungsstellen (25), an welchen das Werkstück (21) mittels des Bearbeitungsstrahls bearbeitet worden ist, der Betrag des mindestens einen Vergleichswertes grösser als der Schwellenwert ist.

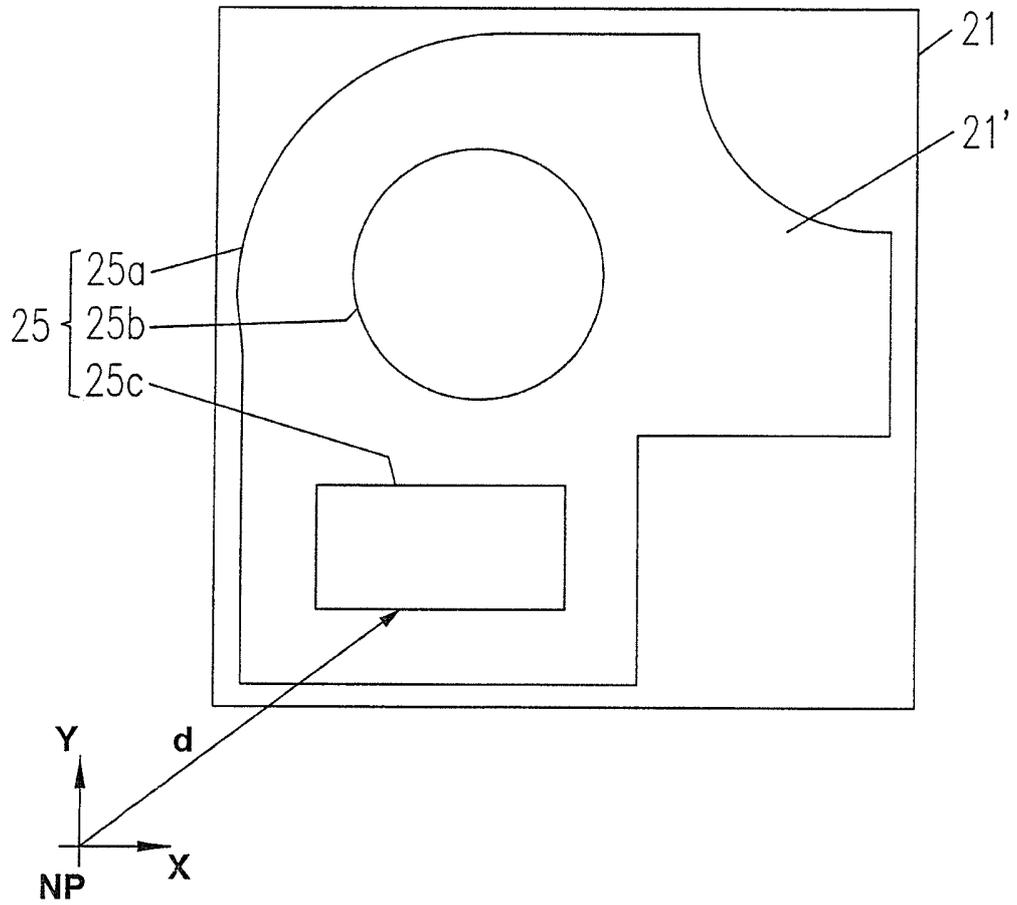
## CH 707 367 A1

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem der mindestens eine Vergleichswert,  $U_v$ , gebildet wird in Funktion eines vorbestimmten Erwartungswertes  $U_e$ , vorzugsweise wird der Vergleichswert  $U_v$  gebildet als Betrag der Differenz zwischen Messsignal,  $U$ , des mindestens einen Sensors (30) und Erwartungswert  $U_e$ :  $U_v = |U - U_e|$ .
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei welchem das Vorliegen eines Fehlers in der Bearbeitung in Funktion von folgendem Kriterium festgelegt wird: es gibt während der Bearbeitung eines Werkstücks (21) mindestens ein Zeitintervall, welches mindestens eine vorgegebene Zeit  $t_s$  dauert und während welcher der Betrag des mindestens einen Vergleichswerts  $U_v$  den Schwellenwert übersteigt.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem eine Eichung durchgeführt, in welcher bei eingeschaltetem Bearbeitungsstrahl das Signal ( $U_0$ ) des mindestens einen Sensors (30) als Funktion des Abstandes ( $d$ ) des Bearbeitungsstrahls von einem Koordinatenursprung (NP) erfasst wird, wobei die Eichung vorzugsweise vorgängig zur Bearbeitung der Folge von Werkstücken (21) durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem der mindestens eine Sensor (30) Teil eines Regelkreises ist zum Verändern der Charakteristik des Bearbeitungsstrahls in Abhängigkeit der Abweichung des mindestens einen Vergleichswerts vom Schwellenwert.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Regelkreis mindestens eine der folgenden Komponenten umfasst:
  - Antrieb zum Verfahren des Bearbeitungsstrahls,
  - Pumpe zum Leiten des Bearbeitungsstrahls unter Druck aus einem Bearbeitungskopf (10),
  - Dosiereinrichtung zum Befügen von Abrasivmaterial zum Bearbeitungsstrahl.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Bearbeitung eines Werkstücks (21) unterbrochen wird, wenn der Vergleichswert mehrmals in Folge den Schwellenwert übersteigt und unterschreitet.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Werkstück (21) auf einer Werkstückauflage (20) aufliegt, welche den mindestens einen Sensor (30) umfasst.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Sensor (30) eingerichtet ist,
  - Schwingungen in einem Festkörper, in einer Flüssigkeit und/oder in der Luft zu erfassen,
  - den Druck, welcher der Bearbeitungsstrahl auf die Werkstückauflage (20) und/oder ein Werkstück (21) ausübt, zu erfassen, und/oder
  - den Bearbeitungsstrahl optisch, insbesondere in Form einer Kamera, zu erfassen.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Bearbeitungsstrahl gebildet ist aus einer Flüssigkeit mit oder ohne Abrasivteilchen, Gas und/oder Photonen, vorzugsweise ist der Bearbeitungsstrahl ein Schneidstrahl zum Durchtrennen einer Materialschicht.
13. Bearbeitungsvorrichtung, mit welcher das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche durchführbar ist, wobei die Bearbeitungsvorrichtung im Betrieb zum Bearbeiten von Werkstücken (21) mindestens einen Bearbeitungsstrahl erzeugt und mindestens einen Sensor (30) umfasst zum Erfassen der zeitlichen Charakteristik (40) des Bearbeitungsstrahls während der Bearbeitung der Werkstücke, wobei die Bearbeitungsvorrichtung mit einem Programm ausgestattet ist, bei dessen Ausführung das Verfahren durchführbar ist.
14. Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 13, mit einer Werkstückauflage (20), welche den mindestens einen Sensor (30) umfasst und auf welcher ein Werkstück (21) während der Bearbeitung aufliegt.
15. Bearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 14, wobei die Werkstückauflage einen Rahmen (20) umfasst, an welchem ein Werkstück (21) mit Haltemitteln (22) befestigbar ist.
16. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 und/oder der Bearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15 zum Bearbeiten von Werkstücken, insbesondere zum Strukturieren und/oder Verdichten der Werkstücksoberfläche, zum Schneiden, zum Bohren.

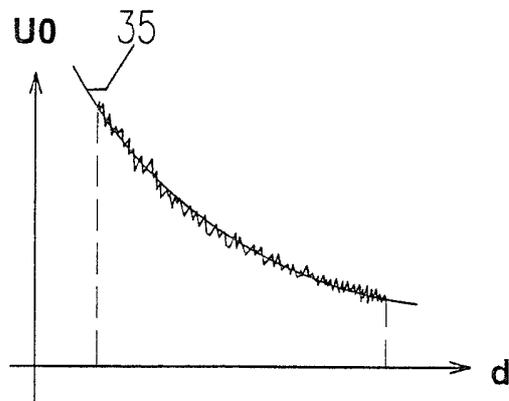
**FIG. 1**



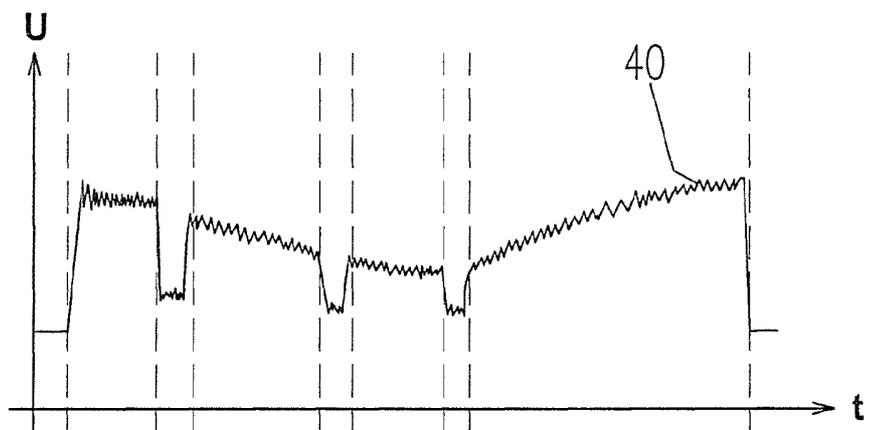
**FIG. 2**



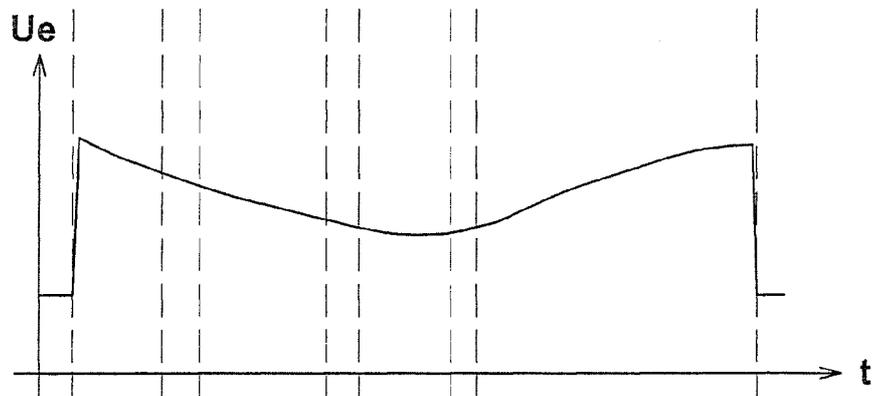
**FIG. 3**



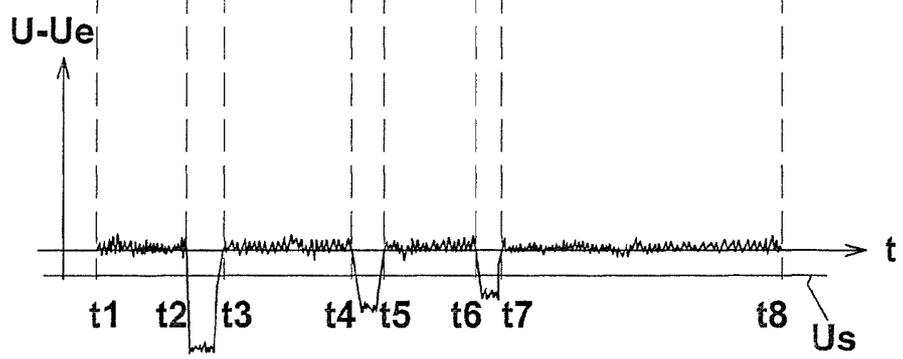
**FIG. 4a**



**FIG. 4b**



**FIG. 4c**



**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

**BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART**

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		28168CH-4 BL	
Nationales Aktenzeichen		Anmeldedatum	
2853/2012		18-12-2012	
Anmelde-land		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
CH			
Anmelder (Name)			
Micromachining AG			
Datum des Antrags auf eine Recherche internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat	
15-01-2013		SN 59390	
<b>I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS</b> <small>(Trägen mehrere Klassifikationsymbole zu, so sind alle anzugeben)</small>			
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC			
B26D5/00 B26F3/00		B23K26/04	B24C1/04
<b>II. RESEARCHIERTE SACHGEBIETE</b>			
Recherchiertes Mindestprüfstoff			
Klassifikationssystem		Klassifikationssymbole	
IPC		B26D    B23K    B24C    B26F	
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen			
III. <input type="checkbox"/> EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			
IV. <input type="checkbox"/> MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			

Formblatt PCT/ISA 201 a (1/2009)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 28532012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. B26D5/00	B23K26/04 B24C1/04 B26F3/00	
ADD.		
Name der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GACHSEITE		
Recherchierte Mindestpatentstoff (Patentklassifikationsnummern und Klassifikationsgebiete)		
B26D B23K B24C B26F		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestpatentstoff 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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 577 727 A1 (FIAT RICERCHE [IT]) 23. September 2005 (2005-09-21) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-5 *	1-16
X	EP 0 816 957 A2 (INGERSOLL RAND CO [US]) 7. Januar 1998 (1998-01-07) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,3a *	1-16
Y	US 2010/193484 A1 (CHEN LI [US] ET AL) 5. August 2010 (2010-08-05) * Absatz [0037]; Abbildung 10 *	1-16
Y	WD 02/02268 A1 (AEROSPATIALE MATRA CCR [FR]; ESMILLER BRUND [FR]) 10. Januar 2002 (2002-01-10) * das ganze Dokument *	1-16
- / - -		
<input checked="" type="checkbox"/>	Welche Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Field C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"B" Dieses Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht werden ist</p> <p>"C" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zu erfüllen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen in Zusammenhang mit dem genannten Veröffentlichungsdatum angegeben ist, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (siehe Ausführlich)</p> <p>"D" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Besetzung, eine Anekdote oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"E" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem besagten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"F" Gegenseitige Veröffentlichung, die nach dem 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</p> <p>"G" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die besagte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungstüchtiger Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"H" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die besagte Erfindung kann nicht als auf erfindungstüchtiger 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</p> <p>"I" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art		Abschließdatum des Berichts über die Recherche internationaler Art
7. Mai 2013		74 MAY 2013
Name und Postanschrift der internationalen Rechercheinrichtung		Besetzungsrichter/Rechenrichter
Internationaler Patentamt, P. B. 6818 Palamirer E CH - 2300 IN Rorschach Tel (+31-70) 340-2940 Fax (+31-70) 340-3018		Wimmer, Martin

Formblatt PCT/ISA/261 (Recht 2) (Januar 2009)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 28532912

G.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Seitn. Angezeigt für
A	US 2005/191951 A1 (SERIYA KAZUMA [JP]) 1. September 2005 (2005-09-01) * das ganze Dokument *	1-16
A	FR 2 699 852 A1 (GAZ DE FRANCE [FR]) 1. Juli 1994 (1994-07-01) * das ganze Dokument *	1-16
A	EP 0 522 932 A1 (SNECMA [FR]) 13. Januar 1993 (1993-01-13) * das ganze Dokument *	1-16

1

Formblatt PCT/IBN201 (Fortsetzung von Blatt 2) (Januar 2004)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 28532012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1577727	A1	21-09-2005	AT 397241 T 15-06-2008
			CA 2496261 A1 16-09-2005
			CN 1670648 A 21-09-2005
			EP 1577727 A1 21-09-2005
			JP 4949635 B2 13-06-2012
			JP 2005285113 A 13-16-2005
			US 2005205628 A1 22-09-2005
EP 0816957	A2	07-01-1998	DE 69706609 D1 18-10-2001
			DE 69706609 T2 04-07-2002
			EP 0816957 A2 07-01-1998
			US 5854744 A 29-12-1998
US 2010193484	A1	05-08-2010	EP 2393627 A1 14-12-2011
			US 2010193484 A1 05-08-2010
			WO 2010091100 A1 12-08-2010
WO 0202268	A1	10-01-2002	AU 1675502 A 14-01-2002
			CA 2413930 A1 10-01-2002
			DE 60106444 D1 18-11-2004
			DE 60106444 T2 13-10-2005
			EP 1296797 A1 02-04-2003
			FR 2811427 A1 11-01-2002
			US 2004032597 A1 19-02-2004
			WO 0202268 A1 10-01-2002
US 2005191951	A1	01-09-2005	JP 4473599 B2 02-06-2010
			JP 2005231000 A 02-09-2005
			US 2005191951 A1 01-09-2005
FR 2699852	A1	01-07-1994	KEINE
EP 0522932	A1	13-01-1993	DE 69202927 D1 20-07-1995
			DE 69202927 T2 14-12-1995
			EP 0522932 A1 13-01-1993
			FR 2678537 A1 08-01-1993
			US 5212976 A 25-05-1993