

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Mai 2003 (15.05.2003)

PCT

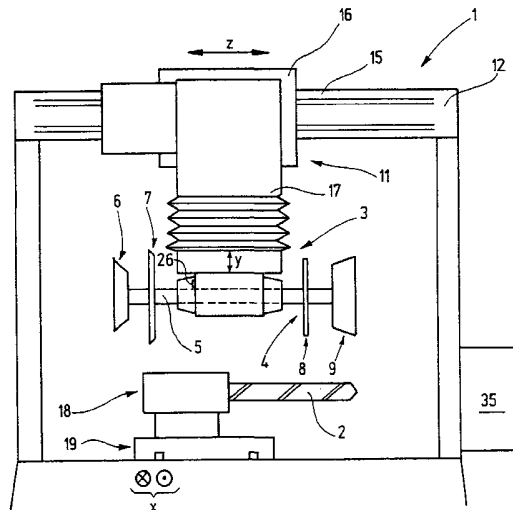
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/039810 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B23Q 11/00, 1/70, 17/22, G01B 5/00
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ENGELFRIED, Thomas [DE/DE]; Karlstr. 23, 73666 Baltmannsweiler (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/04099
- (74) Anwalt: RÜGER, BARTHELT & ABEL; Webergasse 3, 73728 Esslingen (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 5. November 2002 (05.11.2002)
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 101 55 078.2 9. November 2001 (09.11.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): WALTER AG [DE/DE]; Derendinger Str. 53, 72072 Tübingen (DE).
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MACHINE EQUIPPED WITH A TEMPERATURE COMPENSATED LATHE SPINDLE

(54) Bezeichnung: MASCHINE MIT TEMPERATURKOMPENSIERTER ARBEITSSPINDEL



(57) Abstract: The invention concerns a machine for machining a part, comprising at least a circular or rotary tool and having a lathe spindle equipped with a shaft (5) whereof the temperature is monitored by at least a temperature sensor (26). The temperature is measured without contact. The sensor (26) is preferably a radiation sensitive sensor which detects the radiation emitted by the shaft (5). The control system (35) of the machine (1) integrates the thermal expansions resulting from temperature changes of the shaft (5) to control the positioning drive elements. The latter are designed to position a tool (6) borne by the shaft (5) relative to the part (2). That enables to obtain precise machining independently of the temperature and temperature changes of the machine (1) as a whole, temperature changes in the low-temperature lubricant and temperature changes of the tool (6) and of the shaft (5) which are due to the power converted at the machine location.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/039810 A1



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

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

**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.

---

**(57) Zusammenfassung:** Eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks mit wenigstens einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug weist eine Arbeitsspindel mit einer Welle (5) auf, deren Temperatur mittels wenigstens eines Temperatursensors (26) überwacht wird. Die Temperatur wird dabei berührungslos erfasst. Der Sensor (26) ist vorzugsweise ein strahlungsempfindlicher Sensor, der die von der Welle (5) abgegebene Temperaturstrahlung erfasst. Die Steuereinrichtung (35) der Maschine (1) berücksichtigt die sich durch die Temperaturänderungen der Welle (5) ergebenden Temperaturdehnungen derselben beim Ansteuern der Positionierantriebe. Letztere dienen dazu, ein von der Welle (5) getragenes Werkzeug (6) in Bezug auf das Werkstück (2) zu positionieren. Es wird somit eine Bearbeitungsgenauigkeit erreicht, die von der Temperatur und Temperaturänderungen des Kühl-Schmiermittels und Temperaturänderungen des Werkzeugs (6) und der Welle (5) unabhängig ist, die von der an der Bearbeitungsstelle umgesetzten Leistung herrühren können.

Maschine mit temperaturkompensierter Arbeitsspindel

Die Erfindung betrifft eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug.

Zur Präzisionsbearbeitung von Werkstücken, beispielsweise zum Schleifen, ist es erforderlich, das an einer Arbeitsspindel gehaltene Schleifwerkzeug mit einer Präzision zuzustellen, die der gewünschten Präzision des Arbeitsergebnisses entspricht. Die Arbeitsspindel ist in der Regel über ein oder mehrere Positioniereinrichtungen an einem Maschinengestell gelagert. Die Positioniereinrichtungen erfassen die Position der Arbeitsspindel. Um Ungenauigkeiten in der Positionierung auszuschalten, die von Tempera-

turänderungen des Maschinengestells herrühren können, werden Maschinengestelle gelegentlich mit Temperatursensoren versehen, deren Signale von einer Steuereinheit berücksichtigt werden, die der Ansteuerung der Positionierantriebe dient. Jedoch können damit Ungenauigkeiten nicht erfasst werden, die sich durch Temperaturänderung zwischen der Eingriffsstelle des Werkzeugs, beispielsweise des Schleifwerkzeugs, und der festen Lagerung der Arbeitsspindel ergeben. In solchen Fällen ist es deshalb erforderlich, mit dem Schleifwerkzeug häufig einen Messtaster anzufahren, um die Maschine neu zu kalibrieren. Dies kostet Bearbeitungszeit.

Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug zu schaffen, die eine erhöhte Bearbeitungsgenauigkeit und/oder eine verbesserte Zeitausnutzung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit der Maschine gemäß Anspruch 1 gelöst. Die erfindungsgemäße Maschine weist eine berührungslos arbeitende Temperaturerfassungseinrichtung auf, die ein die Temperatur der Welle kennzeichnendes Signal erzeugt. Dabei wird die Temperatur wenigstens an einer Stelle der Welle erfasst. Somit können Temperaturänderungen der Welle der Arbeitsspindel, die zu einer Längenänderung derselben führen, von der Steuereinrichtung bei der Positionierung des Werkzeugs oder des Werkstücks berücksichtigt werden. Dies hat insbesondere Bedeutung bei Bearbeitungsvorgängen, die zu wechselnden Wellentemperaturen führen. Solches ist beispielsweise gegeben, wenn Bearbeitungsvorgänge mit unterschiedlichem Energieumsatz einander abwechseln. Wird beispielsweise eine Maschine eingerichtet und sind die Schleifvorgänge hier relativ kurz und werden sie

zu Messzwecken wieder und wieder unterbrochen, schwankt die Spindeltemperatur relativ stark und bleibt im Mittel eher niedrig. Läuft die Maschine hingegen in der Produktion mit vollem Einsatz kann die Spindeltemperatur ansteigen. Die Temperaturdifferenz kann hier einen Wert von 10 K übersteigen. Diese Temperaturänderungen ergeben im  $\mu\text{m}$ -Bereich liegende Längenänderungen der Welle. Die Steuereinrichtung erfasst diese und korrigiert die Längenänderung, indem sie die Längenänderung bei der Bildung der Vorgabewerte aus den Steuerwerten berücksichtigt. Wird beispielsweise eine Temperaturerhöhung erfasst, die zu einer Längenzunahme der Welle von 1  $\mu\text{m}$  führt, werden die Vorgabewerte bezügl. der Positionierung der Arbeitsspindel bezügl. ihrer Längsrichtung um den gleichen Betrag, nämlich 1  $\mu\text{m}$  gegensinnig korrigiert, z.B. vermindert. Dieser Vorgang kann fortwährend ablaufen und beispielsweise in einem Zeittakt von einigen 10 Millisekunden ständig wiederholt werden. Auf diese Weise können auch kurzfristige Temperaturänderungen erfasst und ausgeschaltet werden, bevor sie wirksam werden. Die Kompensation der Temperatur der Welle erfolgt somit im Wege einer Steuerung. Die gemessenen Temperaturen werden über eine Zuordnungstabelle, die in einer zu der Steuereinrichtung gehörigen Speichereinrichtung vorhanden ist, in Längenänderungswerte umgesetzt. Die Zuordnungstabelle kann werkzeugabhängig variiert werden, um Längenänderungen, die aus dem Werkzeug herrühren, zusätzlich zu erfassen. An Stelle der Zuordnungstabelle können auch Berechnungsformeln angewendet werden, die aus der gemessenen Temperaturerhöhung oder -änderung eine Längenzunahme oder -änderung berechnen.

Die erfinderische Idee ist grundsätzlich an jeder Maschine zur spanenden Bearbeitung eines Werkstücks anwendbar. Besonders vorteilhaft anwendbar ist sie bei einer

Schleifmaschine, die zusätzlich zur elektroerosiven Bearbeitung eingerichtet ist. Während die elektroerosive Bearbeitung bei relativ geringer Drehzahl von beispielsweise 200 Umdrehungen pro Minute stattfindet und an dem Werkzeug nur relativ wenig Wärme erzeugt, findet ein Schleifvorgang bei wesentlich höheren Drehzahlen von beispielsweise 3000 Umdrehungen und mit direkter Berührung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück statt, wodurch relativ viel Wärme erzeugt wird. Die Temperaturerfassung und Kompensation der Welle schafft hier eine besonders hohe Bearbeitungsgenauigkeit.

Die Temperaturerfassung an der Welle erfolgt vorzugsweise über einen strahlungsempfindlichen Temperatursensor berührungslos. Die berührungslose Erfassung gestattet die Temperaturmessung auf schnelle und präzise Weise, sowie während des Betriebs der Maschine. Dabei ist der Sensor, vorzugsweise so ausgerichtet, dass ein Abschnitt der Welle seinen Erfassungsbereich vollständig einnimmt. Damit erfasst der strahlungsempfindliche Sensor die mittlere Temperatur eines zylindrischen Abschnitts der Welle. Vorzugsweise liegt der von dem Sensor erfasste Wellenabschnitt zwischen dem Arbeitswerkzeug und einer Lagereinrichtung, die die Axialposition der Welle bestimmt. Dadurch erfasst der Sensor gerade den Bereich der Welle, dessen Längenänderung bei Nichtkompensation die Bearbeitungsgenauigkeit beeinträchtigen würde.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sind wenigstens zwei Temperatursensoren vorgesehen, die die Temperatur der Welle auf beiden Seiten der axialfesten Lagereinrichtung erfassen. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass die Welle an beiden Enden wenigstens ein Werkzeug tragen

kann und beide unterschiedlich langen Wellenabschnitte in ihrer Temperaturdehnung kompensiert werden können. Des Weiteren ergibt sich der Vorteil, dass, wenn beide Sensoren unterschiedliche Temperaturen anzeigen, auf eine Temperaturverteilung in der Welle geschlossen werden kann, wodurch die Längenänderungskompensation noch präzisiert werden kann. Im einfachsten Fall kann dies beispielsweise durch eine lineare Näherung geschehen. Zeigen beide Sensoren die gleiche Temperatur an wird angenommen, dass die Welle insgesamt auf einer einheitlichen (erhöhten) Temperatur ist. Von dieser Annahme ausgehend werden die gemessenen Temperaturwerte zur Berechnung oder anderweitigen Bestimmung der auftretenden Längenzunahme herangezogen, die es zu kompensieren gilt. Zeigt jedoch beispielsweise ein Sensor eine höhere und der andere Sensor eine niedrigere Temperatur an, kann angenommen werden, dass entlang der Welle ein beispielsweise konstantes Temperaturgefälle herrscht, wobei die Änderung der Länge dann aufgrund dieses Temperaturgefälles berechnet oder bestimmt werden kann.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenigstens die Wellenabschnitte, die im Erfassungsbereich liegen, mit einer reflexionsarmen Oberfläche, beispielsweise einer Oberflächenbeschichtung zu versehen. Beispielsweise kann die Welle brüniert werden. Dies vermeidet störende Lichtreflexe und ermöglicht eine sichere Temperaturerfassung. Dabei ist es sowohl möglich, einen zylindrischen Bereich oder die gesamte Welle zu brünierten als auch die Welle lediglich bereichsweise mit einer matten oder geschwärzten oder brünierten oder anderweitig beschichteten Oberfläche zu versehen. Beispielsweise können an der Welle Längsstreifen angebracht sein, die durch das Sichtfeld (Erfassungsbereich) des Sensors laufen, wenn sich die Welle dreht.

Dies hat den Vorteil, dass die Sensoren ein Wechselsignal abgeben, dessen Amplitude ein Maß für Temperatur ist. Somit können Gleichanteile und Drifteffekte, die sich aus Alterung oder Temperaturänderung des Sensors selbst ergeben, auf einfache Weise ausgefiltert werden.

Zusätzlich kann die Maschine mit Temperatursensoren am Maschinengestell versehen sein, um Temperaturänderungen des Maschinengestells zu erfassen und zu kompensieren. In Verbindung mit der Temperaturkompensation der Welle ergibt sich eine besonders hohe Präzision.

Weitere Einzelheiten der Erfindung können der Zeichnung, der Beschreibung oder den Unteransprüchen entnommen werden. In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht:

- Fig. 1 eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks in schematisierter Vorderansicht,
- Fig. 2 die Arbeitsspindel der Maschine nach Figur 1 in schematisierter Schnittdarstellung,
- Fig. 3 eine Steuereinrichtung für die Maschine nach Figur 1 in schematisierter Darstellung,
- Fig. 4 ein auf der Maschine nach Figur 1 zu bearbeitendes Werkzeug, das hier das Werkstück bildet,
- Fig. 5,6 das Werkzeug nach Figur 4 in unterschiedlichen Bearbeitungsstadien und
- Fig. 7 Längenänderungen der Arbeitsspindel über der Zeit

während der Bearbeitung mit und ohne Temperatur-  
kompensation im Vergleich.

In Figur 1 ist eine als Schleifmaschine ausgebildete Maschine 1 veranschaulicht, die zur Bearbeitung von Werkzeugen 2, wie beispielsweise Bohrern, Fräsern und dergleichen dient. Die Werkzeuge 2 sind somit im vorliegenden Zusammenhang die Werkstücke. Zur Bearbeitung derselben dient bei der vorliegenden beispielhaften Maschine ein kombinierter Schleif- und Erodierkopf 3, der eine Arbeitsspindel 4 aufweist. Zu dieser gehört eine Welle 5, die Werkzeuge 6, 7, 8, 9 trägt. Die Werkzeuge 6, 7, 8, 9 können Schleifwerkzeuge, Erodierwerkzeuge oder ähnliches sein.

Der Schleif- und Erodierkopf 3 ist über eine Positioniereinrichtung 11 an einem Maschinengestell 12 gehalten. Zu der Positioniereinrichtung 11 gehört beispielsweise eine Horizontalpositioniereinrichtung 14, die durch eine Horizontalführung 15, einen daran gelagerten Schlitten 16 und eine zugehörige Antriebseinrichtung gebildet ist. Die Horizontalpositioniereinrichtung 14 dient zur Positionierung des Schleif- und Erodierkopfs 3 in Z-Richtung.

Der Schlitten 16 trägt eine Vertikalpositioniereinrichtung 17, zu der wiederum eine Führung und eine Antriebseinrichtung, sowie entsprechende Positionssensoren gehören. Sie dient der Positionierung des Schleif- und Erodierkopfs 3 in Y-Richtung.

Auf dem Maschinengestell ist außerdem eine Spanneinrichtung 18 für das Werkzeug 2 gelagert. Die Spanneinrichtung 18 kann dabei über eine weitere Horizontalpositioniereinrichtung 19 in X-Richtung positionierbar gehalten sein. Außerdem können weitere nicht veranschaulichte Schwenk- oder Drehpositioniereinrichtungen vorgesehen sein, um den Schleif- und Erodierkopf 3, sowie das Werkzeug 2 in Bezug

aufeinander in den drei Linearachsenrichtungen X, Y, Z, sowie in ein, zwei oder drei Schwenkrichtungen in Bezug aufeinander positionieren zu können.

Der Erodier- und Schleifkopf 3 ist in Figur 2 gesondert geschnitten dargestellt. Sein Grundträger 21 weist zwei Lagersitze 22, 23 auf, die jeweils eine Lagereinrichtung 24, 25 halten. Die Lagereinrichtung 24 ist ein Wälzlager, das die Welle 5 drehbar jedoch axial unverschiebbar lagert. Die Lagereinrichtung 25 ist ein Wälzlager, das die Welle 5 drehbar dabei aber in zumindest geringem Maß axial verschiebbar lagert. Die Lager sind mit einer nicht weiter veranschaulichten Dichtungseinrichtung nach außen hin abgedichtet. Dazu gehört evtl. auch eine nicht dargestellte Sperrluftzuführung, die einen nach außen gerichteten Luftstrom erzeugt. Ein solcher kann dazu führen, dass der Grundträger 21 und die Lagereinrichtungen 24, 25 kälter bleiben als die Welle 5.

Dem Schleifwerkzeug wird während des Betriebs in der Regel Kühlschmiermittel zugeführt, das eine zu starke Erhitzung des Schleifwerkzeugs verhindern soll. Das Kühlschmiermittel, dessen Temperatur sich im Verlauf eines Arbeitstags deutlich ändern kann, erzeugt an dem Schleifwerkzeug und sonstigen Maschinenteilen in der Regel relativ große Temperaturgradienten, bzw. Temperaturunterschiede. Dadurch kann sich die Temperatur der Welle 5 deutlich von der Temperatur der Lagereinrichtungen 24, 25 und des Grundträgers 21 unterscheiden. Wird ein Kühlschmiermittelstrom der das Schleifwerkzeug und auch die Welle trifft ein- oder ausgeschaltet oder auch nur geändert, kann dies relativ kurzfristige Temperaturänderungen der Welle 5 zur Folge haben.

Der Grundträger 21 trägt einen strahlungsempfindlichen Temperatursensor 26, der einen in Figur 2 gestrichelt ange deuteten Erfassungsbereich 27 hat. Der Temperatursensor 26 erfasst die Temperaturstrahlung innerhalb seines Erfas- sungsbereichs 26 und somit die von einem Wellenabschnitt 28 ausgesandte Wärmestrahlung. Der Temperatursensor 26 ist so angeordnet, dass der im Erfassungsbereich 27 liegende Wel- lenabschnitt 28 zwischen der Lagereinrichtung 24 und dem Werkzeug 6 oder 7 liegt. Durch die direkte Temperaturerfas- sung der drehenden Welle können auch sehr kurzfristige Tem- peraturänderungen der Welle 5, wie sie durch das Kühl- schmiermittel verursacht werden können, erfasst und, wie später erläutert, sofort ausgeregelt werden.

Bedarfsweise kann an dem Grundträger 21 ein weiterer Temperatursensor 31 vorgesehen sein, dessen Erfassungsbe- reich 32 von einem Wellenabschnitt 33 eingenommen ist. Der Temperatursensor 31 kann dabei so angeordnet sein, dass er die Temperatur der Welle zwischen den Lagereinrichtungen 24, 25 oder, wie dargestellt, zwischen der Lagereinrichtung 25 und dem nächstliegenden Werkzeug 8 erfasst.

Zusätzlich kann ein Temperatursensor 34 zur Erfassung der Temperatur des Grundträgers vorgesehen sein. Weitere Temperatursensoren können an dem Maschinengestell 12 unter- gebracht sein, um dessen Temperaturänderungen und somit Dimensionsänderungen erfassen zu können.

Die Maschine 1 unterliegt der Steuerung einer Steue- rungseinrichtung 35, die in Figur 3 schematisch veranschau- licht ist. Die Steuereinrichtung 35 erhält über eine Ein- gabeschnittstelle 36 Daten über die mit dem Schleif- und Erodierkopf 3 auszuführenden Bewegungen. Diese Daten sind

beispielsweise in Form von Maschinensteueranweisungen gegeben, die Informationen über Wege und Zielpunkte der Positioniereinrichtungen 11, 17 und 19 enthalten.

Ausgangsseitig steuert die Steuereinrichtung 35 Antriebseinrichtungen 37 für die Positioniereinrichtungen 14, 17 und 19. Diese sind jeweils mit Sensoren 38 versehen, die die jeweilige Positionierposition erfassen und über eine IST-Wert-Schnittstelle 39 an die Steuereinrichtungen melden.

Die Steuereinrichtung 35 enthält einen Verarbeitungsblock 41, dem über eine Temperatursignalschnittstelle 42 alle Temperatursignale zugeführt sind. Insbesondere ist die Temperatursignalschnittstelle 42 mit dem Temperatursensor 26 und dem Temperatursensor 31 verbunden.

Der Verarbeitungsblock 41 enthält zumindest eine Zuordnungstabelle 43 oder ein entsprechendes Rechenmodul, das die erfassten Temperaturwerte des Wellenabschnitts 28 in die zugeordnete Temperaturdehnung des gesamten Wellenstummels zwischen der Lagereinrichtung 24 und dem Werkzeug 6 oder 7 umsetzt. Mit anderen Worten, die Zuordnungstabelle 43 bestimmt anhand des erfassten Temperaturwerts des Wellenabschnitts 28 die temperaturbedingte Verlagerung des Werkzeugs 6 und des Werkzeugs 7. Entsprechend kann die Zuordnungstabelle 43 anhand der von dem Temperatursensor 31 gelieferten Temperatursignale die temperaturbedingte Dehnung des Wellenabschnitts zwischen der Lagereinrichtung 24 und dem Werkzeug 8 bzw. 9 berechnen oder bestimmen. Die so bestimmten Längenänderungen der jeweiligen Wellenbereiche der Welle 5 werden in dem Verarbeitungsblock 41 mit dem über die Eingabeschnittstelle 36 erhaltenen Steuerwerten

verrechnet, indem sie zu den Z-Positionierwerten vorzeichenrichtig addiert (d.h. z.B. addiert oder subtrahiert) werden. Somit wandelt der Verarbeitungsblock 41 die an der Eingabeschnittstelle 36 empfangenen Steuerwerte in Vorgabewerte um, die korrigierte Steuerwerte darstellen. Die Vorgabewerte werden nun in einem Komparatorblock 44 mit den von den Sensoren 38 gemessenen Positionen verglichen. Entsprechende Abweichungen  $\Delta$  (X, Y, Z) werden an einen Ansteuerblock 45 gegeben, der die Antriebseinrichtungen 37 ansteuert.

Figur 2 veranschaulicht, wie sich der Abstand  $l_1$  des Werkzeugs 7 mit einer Temperaturänderung  $\Delta\vartheta$  von der Temperatur  $\vartheta_1$  auf die Temperatur  $\vartheta_2$  ändert. Die Längenänderung  $\Delta l$  der Welle 5 ist zugleich die Änderung des Abstands von dem Wert  $l_1$  auf den Wert  $l_2$ . Im einfachsten Fall nimmt die Steuereinrichtung 35 einen linearen Zusammenhang zwischen der Längenänderung  $\Delta l$  und der Temperaturänderung  $\Delta\vartheta$  an:

$$\Delta l = l_2 - l_1$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

$$\Delta l \sim l_1 \cdot \Delta\vartheta$$

Mit einer stoffabhängigen Proportionalitätskonstanten  $\alpha$  gilt

$$\Delta l \sim l_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1) = \alpha \quad \text{und}$$

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta).$$

Die insoweit beschriebene Maschine 1 arbeitet wie folgt:

Es wird zur Veranschaulichung der Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Maßnahme vorausgesetzt, dass das in Figur 4 schematisch veranschaulichte Werkzeug 2 sowohl elektroerodiert als auch geschliffen werden soll. Das Werkzeug 2 weist in seinem aktiven Bereich eine dünne Platte 46 aus diamantähnlichem Kohlenstoff auf. Diese ist an einem Werkzeugkörper 47 aus Werkzeugstahl befestigt. Bei derartigen Werkzeugen 2 handelt es sich um Präzisionswerkzeuge, deren Schneidkanten bis auf  $\mu\text{m}$  genau zu fertigen sind. Die Platte 46 kann nicht mit der gewünschten Genauigkeit an dem Werkzeugkörper 47 befestigt werden. Es ist deshalb eine Nachbearbeitung erforderlich, die die Maschine 1 übernimmt. Zur Veranschaulichung ist das Werkzeug 2 in den Figuren 5 und 6 in einer vergrößerten Ansicht mit Blickrichtung auf seine Spitze, d.h. parallel zu seiner Symmetrieachse 48 veranschaulicht.

Gemäß Figur 5 weist die Platte 46 zunächst ein Übermaß auf, das durch eine strichpunktierte Linie 49 veranschaulicht ist. Das Übermaß lässt sich nicht in einem Schleifverfahren rationell entfernen. Entsprechend wird der Schleif- und Erodierkopf so an die Flachseite der Platte 46 herangefahren, dass ein Erodierwerkzeug, beispielsweise das Werkzeug 9, in geringem Abstand zu der Flachseite der Platte 46 positioniert wird. Es wird nun ein elektroerosiver Abtragevorgang durchgeführt, in dem das Werkzeug 9 mit geringer Drehzahl, beispielsweise 200 Umdrehungen pro Minute, rotiert und ein entsprechender Strom zwischen dem Werkzeug 2 und dem Werkzeug 9 fließt. Zur Verdeutlichung der Erfindung wird nun zunächst angenommen, dass die Temperaturkompensation mittels der Sensoren 26, 31 außer Betrieb ist. Aufgrund der Drehung der Welle 5 und der allgemein in der Maschine 1 umgesetzten Leistung nimmt die Welle 5 eine Tem-

peratur an, die zu einer Längenzunahme der Welle 5 führt, wie sie in Figur 7 durch einen Kurvenast I veranschaulicht ist. Solange die Erosivbearbeitung andauert - dies können mehrere Stunden sein - ändert sich an diesem Wert nicht viel.

Ist die Erosionsbearbeitung beendet, weist die Platte 46 die in Figur 6 veranschaulichte raue Oberfläche auf. Sie muss nun in einem Schleifvorgang geglättet werden. Dazu wird die Welle 5 des Schleif- und Erodierkopfs 3 auf eine Drehzahl von beispielsweise 3000 Umdrehungen beschleunigt und es wird ein Schleifwerkzeug, beispielsweise das Werkzeug 6 mit der Flachseite der Platte 46 in Eingriff gebracht, um einen z.B. mehrere Minuten lang dauernden Schleifvorgang durchzuführen. Dabei steigt aufgrund der umgesetzten Leistung die Temperatur der Welle 5, so dass die Längendehnung in Z-Richtung zunimmt, wie in Figur 7 in einer Zeitspanne A, B (Kurvenast II) veranschaulicht ist.

Nach Durchführung des Schleifvorgangs fällt die Temperatur der Welle 5 gemäß dem Kurvenast III wieder ab.

Diese Längenänderungen der Welle 5 in Z-Richtung führt zu einer verminderten Präzision an dem Werkzeug 2. Es wird deshalb die Temperatur der Welle 5 mit den Sensoren 26, 31 erfasst. In dem Zeitraum während des Erosionsbearbeitungsvorgangs, bei dem lediglich eine geringe Längenausdehnung  $\Delta Z_1$  zu verzeichnen war, wird die Ausdehnung auf einen Wert kompensiert, den über den gesamten Zeitraum der Erosionsbearbeitung konstant ist. Wird dann nach Durchlaufen des Zeitpunkts A der Schleifvorgang begonnen, wird die zunehmende Temperatur der Welle erfasst und es werden die Steuerwerte um entsprechende Korrekturbeträge erhöht oder ver-

mindert. Dadurch wird eine temperaturbedingte Verlagerung des Werkzeugs vermieden und die Positionierung des Werkzeugs bleibt konstant. Dies ist in Figur 7 durch die gerade IV veranschaulicht.

Unabhängig von dem vorgestellten Ausführungsbeispiel, das von einer kombinierten Schleif- und Erodiermaschine ausgeht, kann die Erfindung auch bei einer reinen Schleifmaschine angewendet werden. Sie hat auch hier erhebliche Vorteile, indem Temperaturänderungen der Maschine, wie sie sich durch Änderung der Temperatur des Kühl-Schmiermittels über längere Zeiträume hinweg ergeben können, kompensiert werden.

Eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks mit wenigstens einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug weist eine Arbeitsspindel mit einer Welle 5 auf, deren Temperatur mittels wenigstens eines Temperatursensors 26 überwacht wird. Die Temperatur wird dabei berührungslos erfasst. Der Sensor 26 ist vorzugsweise ein strahlungsempfindlicher Sensor, der die von der Welle 5 abgegebene Temperaturstrahlung erfasst. Die Steuereinrichtung 35 der Maschine 1 berücksichtigt die sich durch die Temperaturänderungen der Welle 5 ergebenden Temperaturdehnungen derselben beim Ansteuern der Positionierantriebe. Letztere dienen dazu, ein von der Welle 5 getragenes Werkzeug 6 in Bezug auf das Werkstück 2 zu positionieren. Es wird somit eine Bearbeitungsgenauigkeit erreicht, die von der Temperatur und Temperaturänderungen der Maschine 1 insgesamt, von Temperaturänderungen des Kühl-Schmiermittels und Temperaturänderungen des Werkzeugs 6 und der Welle 5 unabhängig ist, die von der an der Bearbeitungsstelle umgesetzten Leistung herrühren können.

Ansprüche:

1. Maschine (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks (2) mit wenigstens einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug (6),  
  
mit einer Arbeitsspindel (4), zu der eine Welle (5) gehört, die in einer Halterung (21) drehbar gelagert und drehend angetrieben ist,  
  
mit einer Spanneinrichtung (18), die zum Halten des Werkstücks (2) eingerichtet ist,  
  
mit einer Positioniereinrichtung (11), mittels derer die Arbeitsspindel (4) und die Spanneinrichtung (18) in Bezug aufeinander zu positionieren und zu verfahren sind,  
  
mit einer berührungslos arbeitenden Temperatur-Erfassungseinrichtung (26, 31), die ein die Temperatur der Welle (5) an wenigstens einer Stelle (28) kennzeichnendes Signal erzeugt,  
  
mit einer Steuereinrichtung (35), die wenigstens die Positioniereinrichtung (11) gemäß Steuerwerten steuert, die aus Vorgabewerten ermittelt sind, und die mit der Temperatur-Erfassungseinrichtung (26, 31) verbunden ist, um das die Temperatur kennzeichnende Signal zu erhalten und anhand des Signals die Steuerwerte in die Vorgabewerte zu transformieren.
2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur-Erfassungseinrichtung (26, 31) wenigstens

tens einen Temperatursensor (26) aufweist, der die von der Welle (5) abgegebene Wärmestrahlung erfasst.

3. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperatursensor (26) einen räumlichen Erfassungsbereich (27) hat, innerhalb dessen Wärmestrahlung erfasst wird, und dass der Temperatursensor (26) so angeordnet ist, dass sich ein Wellenabschnitt (28) in dem Erfassungsbereich (27) befindet.
4. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der in dem Erfassungsbereich (27) liegende Wellenabschnitt (28) zwischen einem von der Welle (5) getragenen Arbeitswerkzeug (6) und einer Lagereinrichtung (24) liegt.
5. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der in dem Erfassungsbereich (27) liegende Wellenabschnitt (28) zwischen zwei zur Lagerung der Welle (5) vorgesehenen Lagereinrichtungen (24, 25) liegt.
6. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Lagerung der Welle (5) ein Festlager (24), das keine Axialbewegung der Welle (5) zulässt, sowie ein Loslager (25) gehört, das eine Axialbewegung der Welle (5) zulässt.
7. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Erfassungseinrichtung zwei Temperatursensoren (26, 31) gehören.
8. Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Festlager (24) zwischen den Temperatursensoren

(26, 31) angeordnet ist.

9. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) wenigstens im Bereich der im Erfassungsbereich (27) liegenden Wellenabschnitte (28) eine reflexionsarme Oberfläche aufweist.
10. Maschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) mit einer Oberflächenbeschichtung versehen ist.
11. Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) brüniert ist.
12. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Positioniereinrichtung (11) eine Positionssensoreinrichtung (38) enthält, mit der die Relativposition der Spanneinrichtung (18) und der Arbeitsspindel (5) erfassbar ist und die Positions-Ist-Signale erzeugt.
13. Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Position der Arbeitsspindel (5) durch die Position einer axial unbeweglichen Lagereinrichtung (24) bestimmt ist.
14. Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (35) die Arbeitsspindel (5) gemäß der Steuerwerte und der Positions-Ist-Signale steuert.
15. Maschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (35) die Positions-Ist-Signale bestimmt, indem sie zu der gemessenen Position

der Lagereinrichtung (24) die anhand der gemessenen Temperatur kompensierten Abmessungen des zwischen der Lagereinrichtung (24) und dem Werkzeug (6) vorhandenen Wellenabschnitts sowie die Abmessungen des Werkzeugs (6) addiert.

16. Maschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (35) zusätzlich die Abmessungen des Werkzeugs (6) temperaturkompensiert.
17. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Maschine (1) ein Maschinengestell (12) Temperatursensoren aufweist, die mit der Steuereinrichtung verbunden sind.
18. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsspindel (4) wenigstens ein Schleifwerkzeug (6) trägt.
19. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsspindel (4) wenigstens ein Erodierwerkzeug (9) trägt.

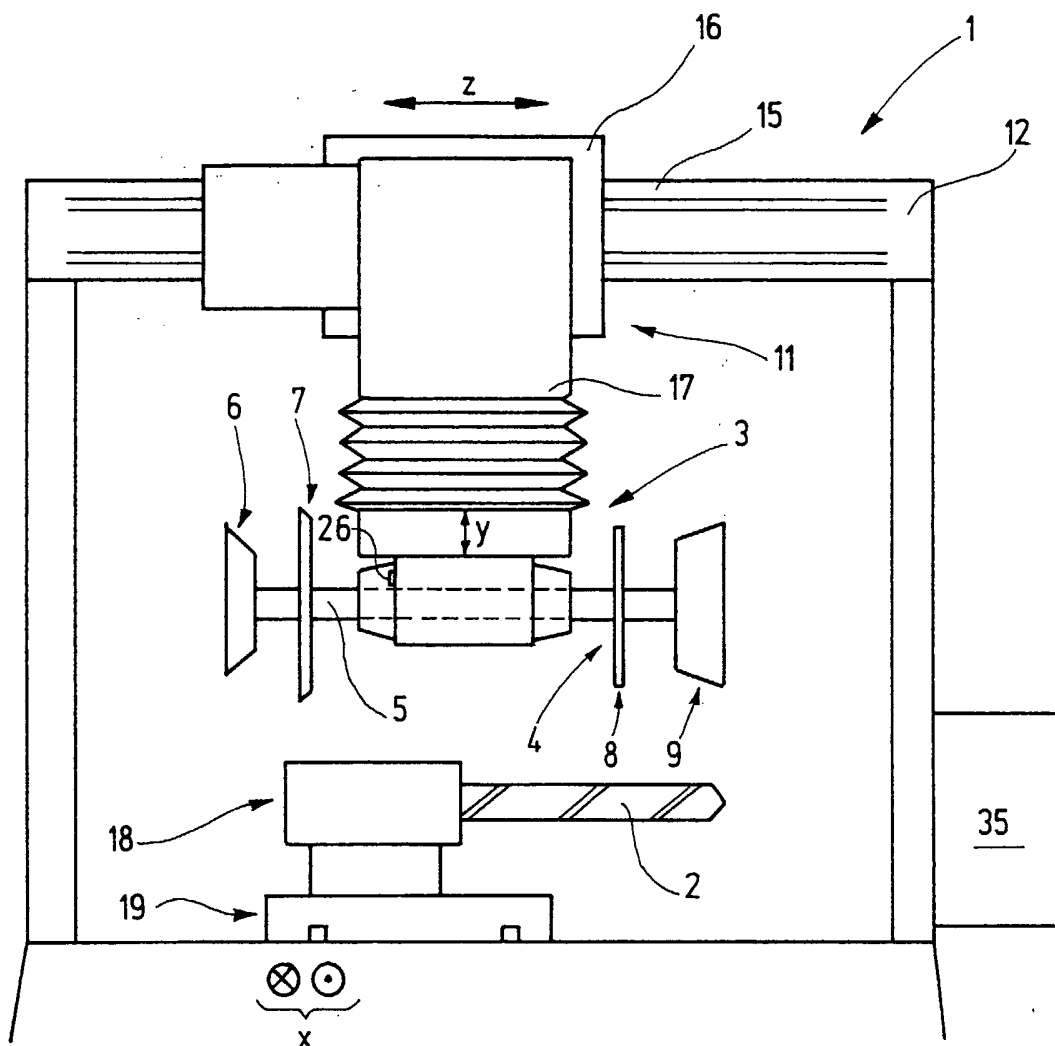
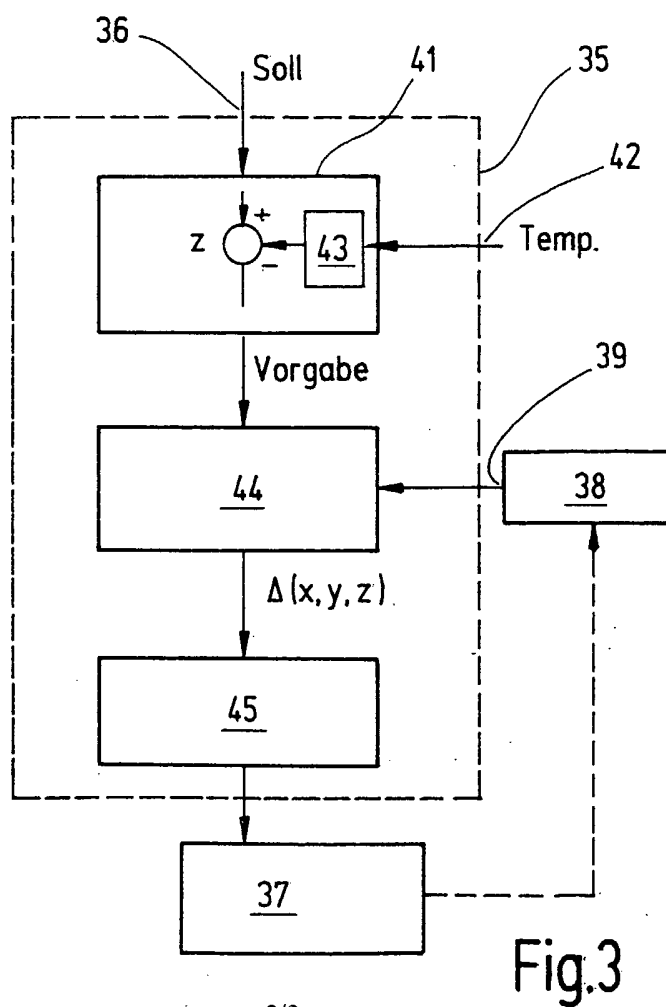
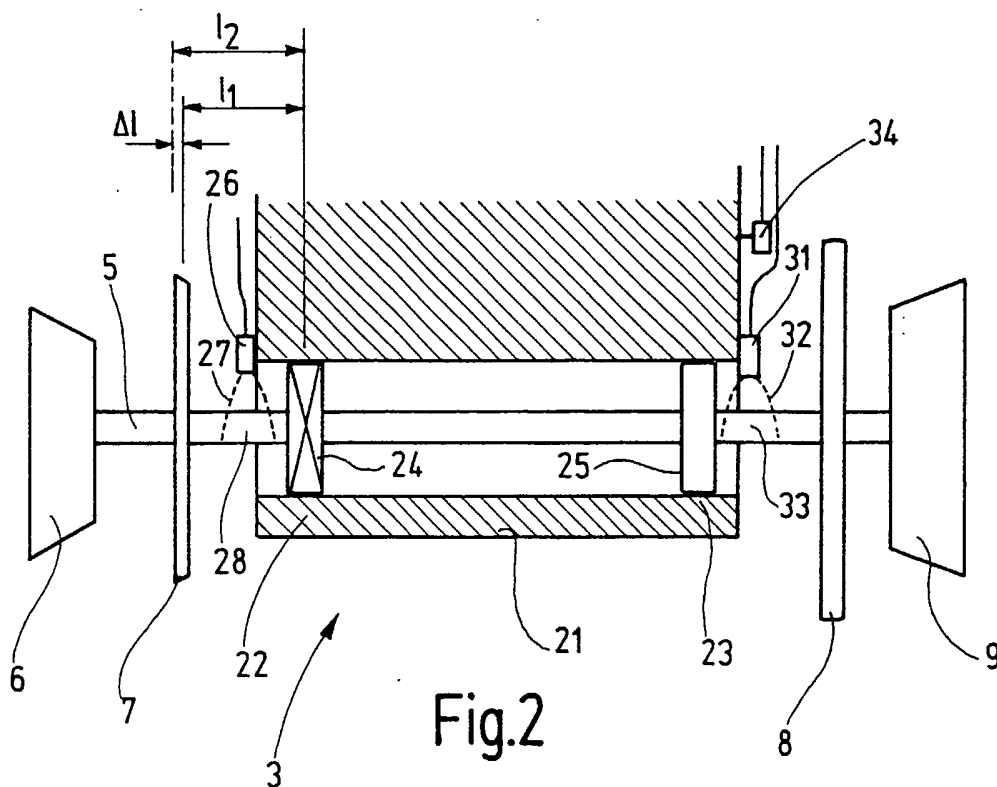
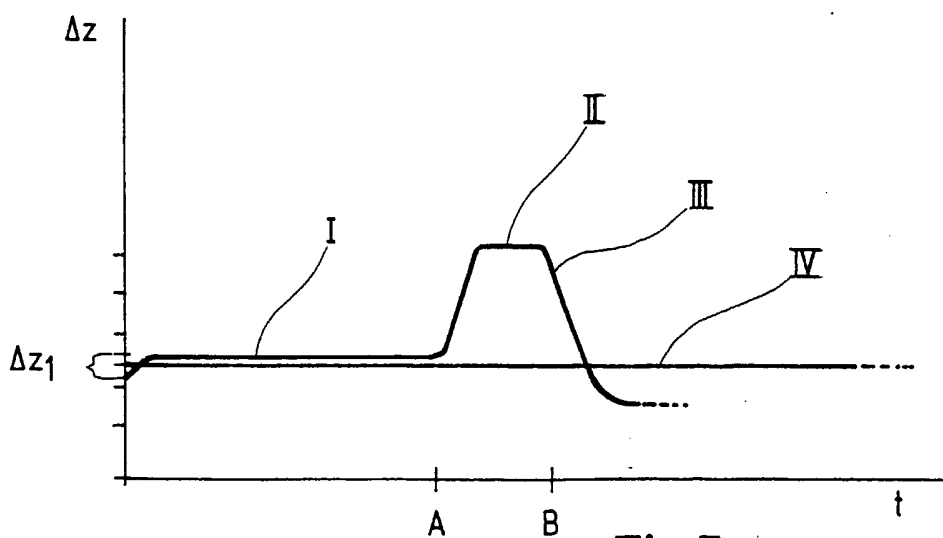
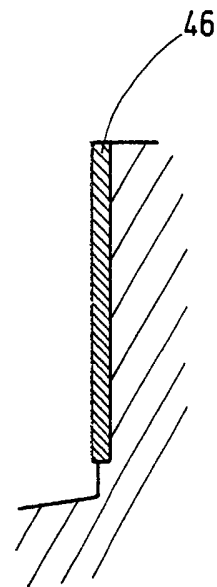
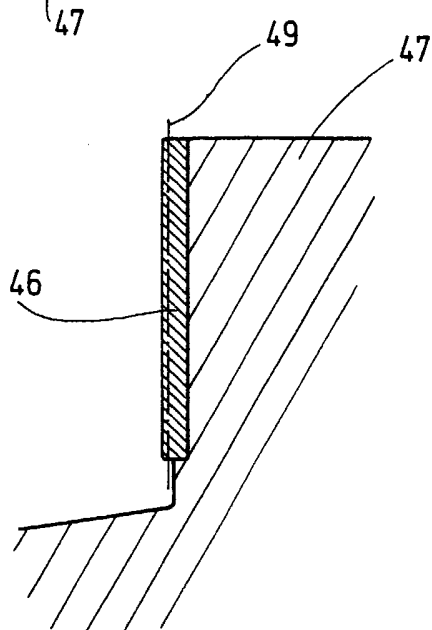
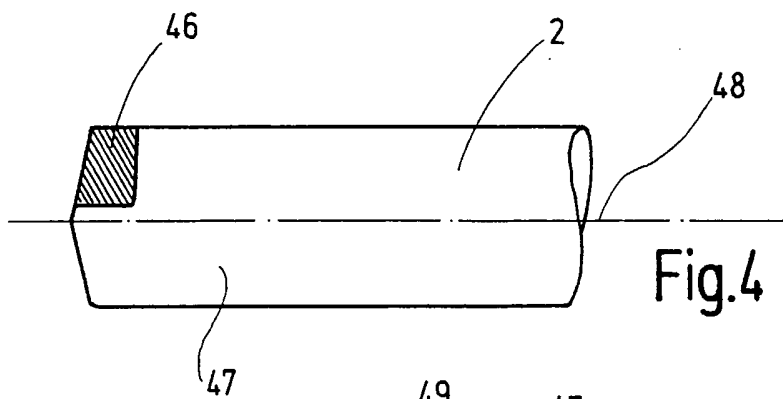


Fig.1





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No  
PCT/DE 02/04099

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 B23Q11/00 B23Q1/70 B23Q17/22 G01B5/00

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)

IPC 7 B23Q G01B

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, PAJ

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 349 783 A (BENZINGER KLAUS J ;HOFFMANN EDUARD (DE); PALUNCIC ZDRAVKO (DE); SP) 10 January 1990 (1990-01-10) page 1, line 45 - line 47; figure 3 page 3, line 17 - line 19	1,12-19
Y	page 3, line 28 - line 33 ---	2-11
Y	US 4 449 085 A (GOMOLL VOLKER) 15 May 1984 (1984-05-15) column 4, line 22 - line 59; figures 1,2 ---	2-5,7-11
Y	DE 41 15 564 A (JUNG GMBH K) 19 November 1992 (1992-11-19) column 2, line 35 - line 50; figures 1-3 ---	6
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*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)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*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
- \*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
- \*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.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2003

Date of mailing of the international search report

31/03/2003

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

Ljungberg, R

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No  
PCT/DE 02/04099

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 265 (M-515), 10 September 1986 (1986-09-10) & JP 61 088015 A (NIPPON SEIKO KK), 6 May 1986 (1986-05-06) abstract -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 02/04099

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0349783	A	10-01-1990	DE 3822873 C1	12-10-1989
			AT 97845 T	15-12-1993
			DE 8816741 U1	31-10-1990
			DE 58906281 D1	13-01-1994
			EP 0349783 A2	10-01-1990
			ES 2048787 T3	01-04-1994
US 4449085	A	15-05-1984	DE 3042211 A1	19-05-1982
			AT 9659 T	15-10-1984
			EP 0051771 A1	19-05-1982
			ES 8303165 A1	01-05-1983
			JP 57107753 A	05-07-1982
DE 4115564	A	19-11-1992	DE 4115564 A1	19-11-1992
JP 61088015	A	06-05-1986	JP 1812891 C	27-12-1993
			JP 5024366 B	07-04-1993

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 02/04099

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B23Q11/00 B23Q1/70 B23Q17/22 G01B5/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B23Q G01B

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, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 349 783 A (BENZINGER KLAUS J ;HOFFMANN EDUARD (DE); PALUNCIC ZDRAVKO (DE); SP) 10. Januar 1990 (1990-01-10) Seite 1, Zeile 45 - Zeile 47; Abbildung 3 Seite 3, Zeile 17 - Zeile 19	1,12-19
Y	Seite 3, Zeile 28 - Zeile 33 ---	2-11
Y	US 4 449 085 A (GOMOLL VOLKER) 15. Mai 1984 (1984-05-15) Spalte 4, Zeile 22 - Zeile 59; Abbildungen 1,2 ---	2-5,7-11
Y	DE 41 15 564 A (JUNG GMBH K) 19. November 1992 (1992-11-19) Spalte 2, Zeile 35 - Zeile 50; Abbildungen 1-3 ---	6
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* 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

\*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

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. März 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

31/03/2003

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  
Ljungberg, R

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 265 (M-515), 10. September 1986 (1986-09-10) & JP 61 088015 A (NIPPON SEIKO KK), 6. Mai 1986 (1986-05-06) Zusammenfassung -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

mationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/04099

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0349783	A	10-01-1990	DE 3822873 C1	12-10-1989
			AT 97845 T	15-12-1993
			DE 8816741 U1	31-10-1990
			DE 58906281 D1	13-01-1994
			EP 0349783 A2	10-01-1990
			ES 2048787 T3	01-04-1994
US 4449085	A	15-05-1984	DE 3042211 A1	19-05-1982
			AT 9659 T	15-10-1984
			EP 0051771 A1	19-05-1982
			ES 8303165 A1	01-05-1983
			JP 57107753 A	05-07-1982
DE 4115564	A	19-11-1992	DE 4115564 A1	19-11-1992
JP 61088015	A	06-05-1986	JP 1812891 C	27-12-1993
			JP 5024366 B	07-04-1993