



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 55 078 B4** 2005.06.02

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 55 078.2**  
(22) Anmeldetag: **09.11.2001**  
(43) Offenlegungstag: **28.05.2003**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **02.06.2005**

(51) Int Cl.7: **B23Q 23/00**  
**B23Q 17/00**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:  
**Walter AG, 72072 Tübingen, DE**

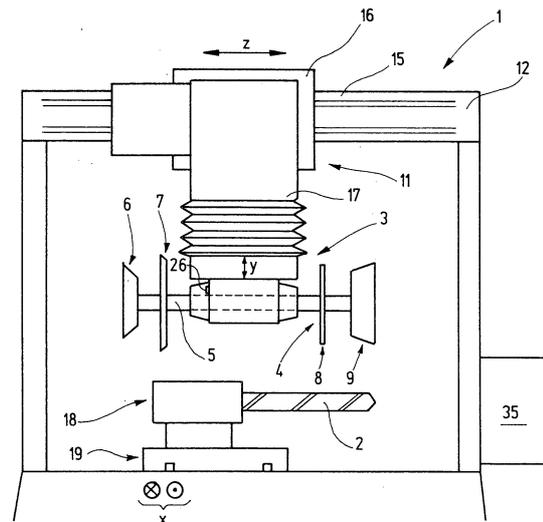
(72) Erfinder:  
**Thomas, Engelfried, 73666 Baltmannsweiler, DE**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 38 22 873 C1**  
**DE 198 00 033 A1**

(54) Bezeichnung: **Maschine mit temperaturkompensierter Arbeitsspindel**

(57) Hauptanspruch: 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, wozu die Temperatur-Erfassungseinrichtung (26, 31) einen Temperatursensor (26) aufweist, der die von der Welle (5) abgegebene Wärmestrahlung erfasst, 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...



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem umlaufenden oder drehenden Werkzeug.

## Stand der Technik

**[0002]** 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 Temperaturänderungen 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.

**[0003]** Aus der DE 38 22 873 C1 ist eine Vorrichtung zum Messen und Ausgleichen thermisch bedingter Dehnungen an Maschinen, z.B. Werkzeugmaschinen, bekannt, die auf einer Messung der Spindeltemperatur einer Werkzeugspindel beruht. Dazu ist die Werkzeugspindel mit einem Messfühler in Form eines in eine Nut der Spindel eingearbeiteten Platinwiderstands versehen. Dieser ist mit einer Einheit **9** verbunden, die mit der Welle rotiert und dazu dient, den Platinwiderstand mit Hilfsenergie zu versorgen, sowie ein dem Widerstand entsprechendes Signal an eine außen liegende, ortsfest angeordnete Einheit zu senden. Es kann hier von einer transformatorischen Kopplung ausgegangen werden.

**[0004]** Die Verwirklichung dieses Prinzips erfordert die Unterbringung eines Messwiderstands an der drehbar gelagerten Welle.

**[0005]** Außerdem ist aus der DE 198 00 033 A1 ein Verfahren zum Kompensieren von temperaturabhängigen Längenänderungen an Werkzeugmaschinen bekannt. Hierzu sind die Längenmaßstäbe, bzw. Längenmessenrichtungen mit Temperatursensoren versehen. Die Steuereinrichtung wertet die gemessenen Temperaturen aus, um Temperaturendehnungen zu kompensieren.

**[0006]** Die Temperaturmessung von bewegten Teilen, wie beispielsweise der Arbeitsspindel einer Werkzeugmaschine, erfordert, nach dem Stand der Technik, wie oben erläutert, Eingriffe an der Arbeitsspindel. Dies wird häufig abgelehnt.

## Aufgabenstellung

**[0007]** 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.

**[0008]** Diese Aufgabe wird mit der Maschine gemäß Patentanspruch 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.

**[0009]** 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.

**[0010]** Die Temperaturerfassung an der Welle erfolgt 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.

**[0011]** 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 einheitli-

chen (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.

**[0012]** 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 brünieren 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.

**[0013]** 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.

#### Ausführungsbeispiel

**[0014]** Weitere Einzelheiten der Erfindung können der Zeichnung, der Beschreibung oder den Unteransprüchen entnommen werden. In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht:

**[0015]** [Fig. 1](#) eine Maschine zur Bearbeitung eines Werkstücks in schematisierter Vorderansicht,

**[0016]** [Fig. 2](#) die Arbeitsspindel der Maschine nach [Fig. 1](#) in schematisierter Schnittdarstellung,

**[0017]** [Fig. 3](#) eine Steuereinrichtung für die Maschine nach [Fig. 1](#) in schematisierter Darstellung,

**[0018]** [Fig. 4](#) ein auf der Maschine nach [Fig. 1](#) zu bearbeitendes Werkzeug, das hier das Werkstück bil-

det,

[0019] **Fig. 5, Fig. 6** das Werkzeug nach **Fig. 4** in unterschiedlichen Bearbeitungsstadien und

[0020] **Fig. 7** Längenänderungen der Arbeitsspindel über der Zeit während der Bearbeitung mit und ohne Temperaturkompensation im Vergleich.

[0021] In **Fig. 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.

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] Der Erodier- und Schleifkopf **3** ist in **Fig. 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 veran-

schaulichten 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**.

[0026] 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.

[0027] Der Grundträger **21** trägt einen strahlungsempfindlichen Temperatursensor **26**, der einen in **Fig. 2** gestrichelt angedeuteten Erfassungsbereich **27** hat. Der Temperatursensor **26** erfasst die Temperaturstrahlung innerhalb seines Erfassungsbereichs **26** und somit die von einem Wellenabschnitt **28** ausgesandte Wärmestrahlung. Der Temperatursensor **26** ist so angeordnet, dass der im Erfassungsbereich **27** liegende Wellenabschnitt **28** zwischen der Lagereinrichtung **24** und dem Werkzeug **6** oder **7** liegt. Durch die direkte Temperaturerfassung der drehenden Welle können auch sehr kurzfristige Temperaturänderungen der Welle **5**, wie sie durch das Kühlschmiermittel verursacht werden können, erfasst und, wie später erläutert, sofort ausgegelt werden.

[0028] Bedarfsweise kann an dem Grundträger **21** ein weiterer Temperatursensor **31** vorgesehen sein, dessen Erfassungsbereich **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.

[0029] Zusätzlich kann ein Temperatursensor **34** zur Erfassung der Temperatur des Grundträgers vorgesehen sein. Weitere Temperatursensoren können an dem Maschinengestell **12** untergebracht sein, um dessen Temperaturänderungen und somit Dimensionsänderungen erfassen zu können.

[0030] Die Maschine **1** unterliegt der Steuerung einer Steuerungseinrichtung **35**, die in **Fig. 3** schematisch veranschaulicht ist. Die Steuerungseinrichtung **35** erhält über eine Eingabeschnittstelle **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.

**[0031]** 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.

**[0032]** 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.

**[0033]** 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.

**[0034]** [Fig. 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:

$$\Delta l = l_2 - l_1,$$

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

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

**[0035]** Mit einer stoffabhängigen Proportionalitätskonstanten  $\alpha$  gilt

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

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

**[0036]** Die insoweit beschriebene Maschine **1** arbeitet wie folgt:

Es wird zur Veranschaulichung der Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Maßnahme vorausgesetzt, dass das in [Fig. 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 [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) in einer vergrößerten Ansicht mit Blickrichtung auf seine Spitze, d.h. parallel zu seiner Symmetrieachse **48** veranschaulicht.

**[0037]** Gemäß [Fig. 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 Abtragvorgang 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 Temperatur an, die zu einer Längenzunahme der Welle **5** führt, wie sie in [Fig. 7](#) durch einen Kurvenast **l** veranschaulicht ist. Solange die Erosivbearbeitung andauert – dies können mehrere Stunden sein – ändert sich an diesem Wert nicht viel.

**[0038]** Ist die Erosionsbearbeitung beendet, weist die Platte **46** die in [Fig. 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 [Fig. 7](#) in einer Zeitspanne A, B (Kurvenast II) veranschaulicht ist.

**[0039]** Nach Durchführung des Schleifvorgangs fällt die Temperatur der Welle **5** gemäß dem Kurvenast III wieder ab.

**[0040]** 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  $\Delta Z1$  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 vermindert. Dadurch wird eine temperaturbedingte Verlagerung des Werkzeugs vermieden und die Positionierung des Werkzeugs bleibt konstant. Dies ist in [Fig. 7](#) durch die gerade IV veranschaulicht.

**[0041]** 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.

**[0042]** 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 Bearbei-

tungsgenauigkeit 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.

### Patentansprüche

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, wozu die Temperatur-Erfassungseinrichtung (**26**, **31**) einen Temperatursensor (**26**) aufweist, der die von der Welle (**5**) abgegebene Wärmestrahlung erfasst, 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 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.

3. Maschine nach Anspruch 2, 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.

4. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der in dem Erfassungsbereich (**27**) liegende Wellenabschnitt (**28**) zwischen zwei zur Lagerung der Welle (**5**) vorgesehenen Lagereinrichtungen (**24**, **25**) liegt.

5. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Lagerung der Welle (**5**) ein Festlager (**24**), das keine Axialbewegung der Welle (**5**) zu-

lässt, sowie ein Loslager (25) gehört, das eine Axialbewegung der Welle (5) zulässt.

6. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Erfassungseinrichtung zwei Temperatursensoren (26, 31) gehören.

7. Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Festlager (24) zwischen den Temperatursensoren (26, 31) angeordnet ist.

8. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) wenigstens im Bereich der im Erfassungsbereich (27) liegenden Wellenabschnitte (28) eine reflexionsarme Oberfläche aufweist.

9. Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) mit einer Oberflächenbeschichtung versehen ist.

10. Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (5) brüniert ist.

11. 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.

12. Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Position der Arbeitsspindel (5) durch die Position einer axial unbeweglichen Lagereinrichtung (24) bestimmt ist.

13. Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (35) die Arbeitsspindel (5) gemäß der Steuerwerte und der Positions-Ist-Signale steuert.

14. Maschine nach Anspruch 12, 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.

15. Maschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (35) zusätzlich die Abmessungen des Werkzeugs (6) temperaturkompensiert.

16. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Maschine (1) ein Maschinengestell (12) Temperatursensoren aufweist, die mit der Steuereinrichtung verbunden sind.

17. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsspindel (4) wenigstens ein Schleifwerkzeug (6) trägt.

18. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsspindel (4) wenigstens ein Erodierwerkzeug (9) trägt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

