(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 40 39 336 C5** 2004.07.01

(12) # Geänderte Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 40 39 336.4**
(22) Anmeldetag: **10.12.1990**
(43) Offenlegungstag: **–**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **09.12.1999**
(45) Veröffentlichungstag des geänderten Patents: **01.07.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01K 1/14**
G01B 21/04, G01K 3/02, G01D 3/028, B23Q 17/20
// G01K 7/16

Patent nach Einspruchsverfahren beschränkt aufrechterhalten

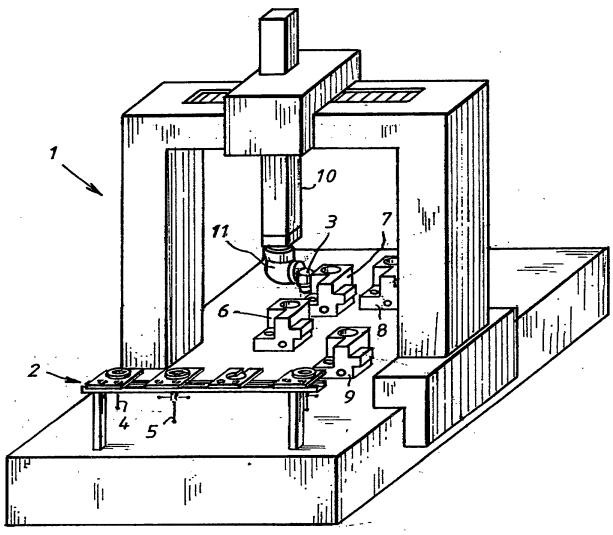
(71) Patentinhaber:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

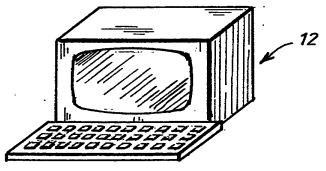
(72) Erfinder:
Enderle, Eckhard, 73434 Aalen, DE; Wirth, Michael, 73431 Aalen, DE; Baier, Bernd, 73434 Aalen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 23 65 984 B2
DE 38 23 373 A1
DE 37 40 070 A1
DE 27 12 181 A1
GB-PS 12 378 13
JP 61-114119 (A) In: Pat. Abstr. of JP, Sect. P, Vol. 10, (1986), 9. Oct. 1986, No. 298 (P-505);
"Internationale Messe für Bauelementefertigung" Konferenzunterlagen, Rhein-Main-Halle Wiesbaden, 20.-22. Sept. 1982, ISBN 0-907634-08-7;
"Fertigungsmesstechnik-Handbuch für Industrie und Wissenschaft", H.-J. Warnecke und W. Dutschke, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio 1981, S. 281-288;
"Tactile sensing of 3-dimensinal surface features" R. Russel in Robotica (1990), Volume 8, S. 111 - 115;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur schnellen Werkstück-Temperaturmessung auf Koordinatenmeßgeräten**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur schnellen Werkstücktemperaturmessung auf Koordinatenmessgeräten (1) mit Hilfe eines Temperaturmesskopfes (3), der eine in Richtung der Werkstückoberfläche (25) ausgerichtete Kontaktfläche (21) besitzt, die mit dem Werkstück in Kontakt gebracht wird, wobei die Temperaturmesswerte während einer bestimmten Zeitdauer erfasst und gespeichert werden, dadurch gekennzeichnet dass zusätzlich mit dem Temperaturmesskopf (3) ein elektrisches Signal ausgelöst wird, das den Zeitpunkt der Berührung mit dem Werkstück registriert, und dass aus dem Verlauf der gespeicherten Temperaturmesswerte in einem zum Zeitpunkt der Werkstückberührung beginnenden Messintervall die Werkstücktemperatur ermittelt wird.





Beschreibung

[0001] Für hochgenaue Längenmessungen in der Koordinatenmeßtechnik ist es erforderlich, die Temperatur des Werkstückes im Verlauf der Vermessung zu erfassen, um die temperaturbedingten Längenänderungen des Meßobjekts rechnerisch korrigieren zu können. Dies gewinnt umso mehr an Bedeutung, als sich der Einsatz von Koordinatenmeßgeräten immer mehr aus den hochklimatisierten Feinmeßräumen in die Fertigung verlagert, wo große Temperaturschwankungen möglich sind.

[0002] Die Erfassung der Werkstücktemperaturen erfolgt durch Kontaktthermometer, die an das Meßobjekt angelegt werden. Dabei handelt es sich im allgemeinen um Präzisionswiderstände, die mit Hilfe verschiedener Befestigungsvorrichtungen am Werkstück angebracht werden. Neben dem manuellen Anlegen der Kontaktfühler ist aus DE 38 23 373 A1 eine automatisierte Version der Werkstück-Temperaturerfassung bekannt. Beschrieben wird dort das Austauschen des Koordinatenmeßtasters gegen einen Temperatursensor mit Hilfe einer Tasterwechseleinrichtung. Dieser Temperatursensor wird vom Meßarm des Koordinatenmeßgerätes an das Werkstück angefedert, der Kontakt zum Werkstück eine Weile aufrechterhalten und anschließend die ermittelten Temperaturmeßwerte dem Rechner des Koordinatenmeßgerätes übergeben. Ob der Sensor tatsächlich in Kontakt mit dem Meßobjekt ist, wird in diesem Verfahren durch eine Plausibilitätskontrolle der erfaßten Meßwerte überprüft. Bei gleicher Fühler- und Werkstücktemperatur erfolgt jedoch keine Temperaturänderung am Fühler, so daß mit Hilfe der erwähnten Plausibilitätskontrolle keine endgültige Sicherheit darüber zu erhalten ist, ob Kontakt zwischen Sensor und Meßobjekt bestand. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Festsetzung der Meßdauer, d. h. der Kontaktzeit in der der Fühler am Werkstück anliegt. Bei großen Temperaturdifferenzen zwischen Fühler und Werkstück dauert es sicher länger, bis der Fühler die Werkstücktemperatur angenommen hat. Um also sicher zu sein, daß man die tatsächliche Werkstücktemperatur erfaßt hat, ist man gezwungen längere Meßintervalle anzusetzen, was auf Kosten der erwünschten kurzen Meßzeiten geht.

[0003] Die japanische Offenlegungsschrift JP 61-114 119 (A) in Patents Abstracts of Japan, Sect. P-505, Vol. 10 (1986), 09.10.1986, No. 298 zeigt ein Verfahren, mit dem temperaturbedingte Meßfehler auf einem Spezialmeßgerät zur Vermessung spezieller Werkstücke korrigiert werden können. Das eigentliche Verfahren, das in dem betreffenden Dokument nicht näher erläutert ist, umfaßt hierbei die Temperaturmessung des Werkstückes zu zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten, um hieraus zu einem dritten Zeitpunkt, zu dem das Werkstück dann vermessen wird, die Werkstücktemperatur extrapolieren zu können und hierüber das Meßergebnis entsprechend um die temperaturbedingte Ausdehnung des Werkstückes korrigieren zu können.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es hiervon ausgehend, die Werkstücktemperaturen mit Hilfe eines tastenden Temperaturmeßkopfes schnell und zuverlässig zu erfassen.

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Ein dazu erforderlicher und geeigneter Temperaturmeßkopf wird durch die Merkmale des Anspruchs 4 gekennzeichnet.

[0006] Wie bereits in der DE 38 23 373 A1 beschrieben, ist auch hier ein Koordinatenmeßgerät mit automatischer Tasterwechseleinrichtung erforderlich, welches den Koordinatenmeßtaster gegen einen speziellen Temperaturmeßkopf austauscht, der in einem entsprechenden Magazin bereitgehalten wird. Im Unterschied zum beschriebenen Sensor in obiger Schrift wird jedoch ein Temperaturmeßkopf verwendet, der nach dem bekannten Prinzip eines schaltenden Tastkopfes aufgebaut ist, wie es beispielsweise in der DE 27 12 181 A1 beschrieben wird. Der Zeitpunkt der Werkstückberührung wird z. B. durch ein beim Ausheben des beweglichen Teils des Tastkopfes aus seinem Lager erzeugtes Signal registriert. Ein spezielles Auswerteverfahren erlaubt, aus einem kurzen Temperaturverlauf-Meßintervall ab Werkstückberührung auf die tatsächliche Werkstücktemperatur zu extrapolieren, ohne abwarten zu müssen, bis der Fühler die tatsächliche Werkstücktemperatur angenommen hat. Durch Registrierung des Berührungszeitpunktes, sowie das spezielle Auswerteverfahren wird so eine kurze Meßzeit erreicht bei gleichzeitiger Sicherheit, daß der Fühler auch tatsächlich am Werkstück anliegt. Mit Hilfe des speziellen Auswerteverfahrens ist eine Verkürzung der Meßdauer um einen Faktor 5–6 möglich, im Vergleich zu einer Messung, bei der das Erreichen der Werkstücktemperatur durch den Fühler abgewartet wird. Ein sicheres flächiges Anliegen des Fühlers am Werkstück ist durch eine zweite Knickstelle im auslenkbaren Teil des Temperaturmeßkopfes gewährleistet, d, h. auch stärker geneigte Werkstückflächen können sicher kontaktiert werden. Weiterhin ist es vorteilhaft, den Temperaturmeßkopf dreh-, bzw. schwenkbar am Meßarm zu befestigen, wie es z. B. in DE 37 40 070 A1 beschrieben wird. Der Temperaturmeßkopf kann dann in Bezug auf die zu kontaktierende Seite des Werkstücks vorausgerichtet werden.

[0007] Mit Hilfe eines derartigen Temperaturerfassungs-Verfahrens ist es möglich, die gemessenen Längenmeßwerte um eine eventuelle thermische Ausdehnung zu korrigieren. Nötig ist gegenüber DE 38 23 373 A1 eine Modifizierung in der Temperatur-Erfassungs- und Auswerte-Software, derart, daß der Temperaraturverlauf erst ab Werkstückberührung aufgezeichnet und aus dem aufgezeichneten Verlauf innerhalb eines Meßintervalls auf die Werkstücktemperatur hochgerechnet wird.

[0008] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausfüh-

rungsbeispielen, die anhand der beigefügten Zeichnungen 1–5 erläutert werden.

[0009] **Fig.** 1 zeigt eine perspektivische Darstellung eines Koordinatenmeßgerätes mit Tasterwechseleinrichtung, Magazin und eingewechseltem Temperaturmeßkopf

[0010] **Fig.** 2 zeigt einen Teilschnitt des Temperaturmeßkopfes in Seitenansicht

[0011] **Fig.** 3 zeigt einen Schnitt des Temperaturfühlers in Seitenansicht

[0012] **Fig.** 4 zeigt den Temperaturmeßkopf aus **Fig.** 2 an einem geneigten Werkstück anliegend

[0013] **Fig.** 5 zeigt die graphische Auswertung einer Messung, bei der die Temperaturen von Werkstück und Temperaturmeßkopf separat erfaßt und aufgetragen wurden.

[0014] Die in **Fig.** 1 dargestellte Anordnung mit Koordinatenmeßgerät (**1**), Magazin (**2**) und eingewechseltem Temperaturmeßkopf (**3**) ist bereits prinzipiell aus der Offenlegungsschrift DE 38 23 373 bekannt. Auf diese Beschreibung wird im folgenden Bezug genommen.

[0015] Im Magazin (**2**) des Koordinatenmeßgerätes (**1**) werden während der Messung verschiedene Koordinatenmeßtaster (**4**, **5**), sowie ein Temperaturmeßkopf (**3**) bereitgehalten. Soll eine Temperaturmessung an einem der aufgespannten Werkstücke (**6**, **7**, **8**, **9**) vorgenommen werden, so fährt der Meßarm (**10**) zum Magazin (**2**) und wechselt den Koordinatenmeßtaster (**4**, **5**) gegen den Temperaturmeßkopf (**3**) aus. Anschließend fährt der Meßarm (**10**) wieder zum Werkstück (**6**, **7**, **8**, **9**) zurück; darauf erfolgt die Ausrichtung des Temperaturmeßkopfes (**3**) in Bezug auf die Werkstückoberfläche. Dies kann mit Hilfe einer Dreh-Schwenk-Einrichtung (**11**) am Meßarm (**10**) durch den Bediener des Koordinatenmeßgerätes geschehen oder aber im Rahmen eines entsprechend programmierten Meßablaufs. Danach erfolgt die Antastung durch Anlegen der Kontaktfläche (**21**) an eine ebene Werkstückfläche. Der Zeitpunkt der Werkstückberührung wird vom Temperaturmeßkopf (**3**) durch einen Antastimpuls registriert. Ein derartiger Antastimpuls kann ausgelöst werden durch Auslenkung des beweglichen Meßkopfteiles (**14**) aus seiner Lagerung (**27**) im festen Meßkopfteil (**13**) des Meßkopfes, wie es in **Fig.** 4 dargestellt wird. Ab diesem Zeitpunkt werden die ermittelten Temperaturmeßwerte an den Rechner (**12**) des Koordinatenmeßgerätes (**1**) übergeben und gespeichert. Nach der benötigten Meßdauer fährt der Meßarm (**10**) wieder zum Magazin (**2**) und wechselt die für das weitere Koordinaten-Meßprogramm benötigten Koordinatenmeßtaster (**4**, **5**) ein.

[0016] Aus dem ermittelten Temperaturverlauf-Meßintervall wird über ein noch zu beschreibendes numerisches Auswerteverfahren auf die Werkstücktemperatur hochgerechnet. Mit Hilfe der ermittelten Temperatur wird durch entsprechende Software anschließend die temperaturabhängige Längenausdehnung des Werkstückes derart korrigiert, daß die durchgeführten Koordinatenmessungen den Werkstückabmessungen bei beispielsweise 20°C entsprechen.

[0017] In **Fig.** 2 ist ein für ein derartiges Temperatur-Erfassungs-Verfahren benötigte Temperaturmeßkopf (**3**) dargestellt. Dieser ist nach dem bekannten Prinzip des schaltenden Tastkopfes aufgebaut und besteht aus einem festen Meßkopfteil (**13**) und einem beweglichen, auslenkbaren Meßkopfteil (**14**). Bei der Auslenkung des beweglichen Meßkopfteiles (**14**) aus seiner Lagerung (**27**) im festen Meßkopfteil (**13**) erfolgt die Auslösung des Antastimpulses, der die eigentlche Meßwerterfassung steuert. Diese Signalauslösung wird beispielsweise in DE 27 12 181 A1 detailliert beschrieben.

[0018] Am unteren Ende des auslenkbaren Meßkopfteiles (**14**), das in Form einer Hülse ausgeführt ist, bildet ein Kugelgelenk (**15**) eine zweite Knickstelle im Meßkopfsystem. Zwei Zylinderstifte (**16a**, **16b**), die am Meßkopfteil (**14**) befestigt sind, verhindern ein Verdrehen des Kugelgelenks (**15**) um die Meßkopf-Längsachse. Mit Hilfe einer Rückstellfeder (**17**) im oberen Hülsenteil wird das Kugelgelenk (**15**) in Ruhestellung in einer Mittelposition gehalten. Weiterhin sorgt diese Rückstellfeder (**17**) nach Auslenkung des Kugelgelenks (**15**) wieder für das Zurückdrehen in die Mittelposition.

[0019] Das Kugelgelenk (**15**) enthält im dargestellten Ausführungsbeispiel einen Aufnahmeeinsatz (**18**) für den Temperaturfühler (**19**) und die Meßelementzuleitungen (**23**). Das Kugelgelenk (**15**) weist an seiner Unterseite eine plane Kontaktfläche (**26**), zum Temperaturfühler (**19**) auf. Alternativ wäre auch eine nichttrennbare Verbindung zwischen Kugelgelenk (**15**) und Temperaturfühler (**19**) möglich.

[0020] Der Aufbau des Temperaturfühlers (**19**) ist in **Fig.** 3 dargestellt. Dieser ist in Form eines weiteren Hülsenteils ausgeführt, das als Gegenstück (**20**) zum Aufnahmeeinsatz (**18**) des Kugelgelenks (**15**) ausgebildet ist und so die steckbare Befestigung am Kugelgelenk (**15**) erlaubt. An der Unterseite des Temperaturfühlers (**19**) befindet sich eine Kontaktplatte (**21**), an deren Rückseite das eigentliche Meßelement (**22**) befestigt ist. Die Kontaktplatte (**21**) besteht aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit und niedriger Wärmekapazität, z. B. Kupfer, und kann zusätzlich versilbert werden, um Wärmestrahlung aus der Umgebung abzuschirmen und eine gute Wärmeleitung vom Werkstück zur Kontaktplatte (**21**) zu gewährleisten. Das Meßelement (**22**), beispielsweise ein Pt 100 – Meßwiderstand, wie er von der Firma Degussa, Frankfurt, unter der Bezeichnung GR 2102 vertrieben wird, ist mit Wärmeleitkleber an der Kontaktplatte (**21**) befestigt, um einen guten Wärmeübergang von der Kontaktplatte (**21**) zu Meßelement (**22**) zu gewährleisten. Die Meßelementzuleitungen (**23**) des Meßelementes (**22**) werden über das Gegenstück (**20**) im Temperaturfühler (**19**) und den Aufnahmeeinsatz (**18**) des Kugelgelenks (**15**) in den oberen beweglichen Meßkopfteil (**14**) geführt und über den fes-

ten Meßkopfteil (**13**) zum Meßkopfstecker (**24**).

[0021] In **Fig.** 4 ist der Temperaturmeßkopf (**3**) dargestellt, wie er an einer etwas geneigten Werkstückoberfläche (**25**) anliegt. Das Kugelgelenk (**15**) im auslenkbaren Meßkopfteil (**14**) bildet eine zweite Knickstelle im Meßkopfsystem und sichert das nötige flächige Anliegen des Temperaturfühlers (**19**) an der Werkstückoberfläche (**25**). Ohne diese zweite Knickstelle wäre lediglich eine Neigung der Werkstückoberfläche um ca. 2° gegenüber der Symmetrieachse des Meßsystems möglich. Diese zusätzliche Knickstelle erlaubt es, Schräglagen bis zu ca. 10° auszugleichen und so den nötigen flächigen Kontakt des Temperaturfühlers (**19**) zum Werkstück herzustellen. Weiterhin wird dargestellt, wie der auslenkbare Meßkopfteil (**14**) aus seiner Lagerung (**27**) im festen Meßkopfteil (**13**) aushebt und so den Antastimpuls auslöst.

[0022] Nachdem der Kontakt zwischen dem Temperaturfühler (**19**) und dem Werkstück durch das Meßkopfsignal festgestellt wurde, erfolgt die Temperaturmessung durch den Temperaturfühler (**19**). Die ermittelten Meßwerte werden an den Rechner (**12**) es Koordinatenmeßgerätes übergeben und gespeichert. Mit Hilfe eines speziellen Auswerteverfahrens ist es möglich, die Temperaturmessung vor dem Erreichen der tatsächlichen Werkstücktemperatur abzubrechen und aus dem gespeicherten Temperaturverlauf ab Werkstückberührung auf die Werkstücktemperatur hochzurechnen.

[0023] In **Fig.** 5 ist der Temperaturverlauf am Temperaturfühler (**19**) in Kurve **1** dargestellt, während Kurve **2** die Werkstücktemperatur während des Meßvorgangs zeigt. Der deutliche Knick nach ca. 1–2 sec. in Kurve **1** markiert den Zeitpunkt des erfolgten Kontakts zwischen dem Temperaturfühler (**19**) und dem Meßobjekt. Bis der Temperaturfühler (**19**) die tatsächliche Werkstücktemperatur angenommen hat, müßte in diesem Meßbeispiel der Kontakt zum Werkstück etwa 27 sec. aufrechterhalten werden. Mit Hilfe des speziellen Auswerteverfahrens nach der Erfindung genügt jedoch eine Kontaktzeit von etwa lediglich 5 sec. ab Werkstückberührung, in der der Temperaturverlauf aufgezeichnet wird, um auf die tatsächliche Werkstücktemperatur extrapolieren zu können.

[0024] Dazu wird der gemessene Temperaturverlauf $T_F(t)$ beispielsweise an eine Funktion der Form

$$T_F(t) = T_{WS}(1 - e^{-t/\tau})$$

angepaßt.

[0025] Wobei

T_F: = Fühlertemperatur

T_{WS} = Werkstücktemperatur

t: = Meßdauer

r: = kontaktspezifische Konstante (materialabhängig)

Aus der Anpassung erhält man die beiden Anpassungsparameter T_{WS} und τ, wobei T_{WS} die Werkstücktemperatur ist, die sich nach genügend langer Meßdauer einstellt, während τ eine kontaktspezifische Größe ist. Durch dieses Auswertungsverfahren ist eine Extrapolation der Werkstücktemperatur mit einer Genauigkeit von 0,1 K möglich, bei einer Verkürzung der Meßdauer um einen Faktor 5–6 gegenüber dem tatsächlichen Erreichen der Werkstücktemperatur durch den Temperaturfühler.

[0026] Die dadurch bestimmte Werkstück-Temperatur kann nun dazu verwendet werden, die temperaturabhängige Längenausdehnung des Werkstückes zu korrigieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur schnellen Werkstücktemperaturmessung auf Koordinatenmessgeräten (**1**) mit Hilfe eines Temperaturmesskopfes (**3**), der eine in Richtung der Werkstückoberfläche (**25**) ausgerichtete Kontaktfläche (**21**) besitzt, die mit dem Werkstück in Kontakt gebracht wird, wobei die Temperaturmesswerte während einer bestimmten Zeitdauer erfasst und gespeichert werden, **dadurch gekennzeichnet** dass zusätzlich mit dem Temperaturmesskopf (**3**) ein elektrisches Signal ausgelöst wird, das den Zeitpunkt der Berührung mit dem Werkstück registriert, und dass aus dem Verlauf der gespeicherten Temperaturmesswerte in einem zum Zeitpunkt der Werkstückberührung beginnenden Messintervall die Werkstücktemperatur ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Koordinatenmesstaster (**4**, **5**) des Koordinatenmessgerätes (**1**) vor der Temperaturmessung am Werkstück gegen den Temperaturmesskopf (**3**) ausgewechselt und nach der Temperaturmessung wieder eingewechselt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf der Temperaturmesswerte ab dem Zeitpunkt der Werkstückberührung aufgezeichnet und über ein numerisches Auswerteverfahren an eine vorgegebene Funktion angepasst wird und dass die tatsächliche Werkstücktemperatur mit Hilfe der so ermittelten Anpasstemperatur bestimmt wird.

4. Temperaturmesskopf (**3**) zur schnellen Werkstücktemperaturmessung auf Koordinatenmessgeräten (**1**) bestehend aus einem festen Messkopfteil (**13**) und einem relativ dazu beweglichen Messkopfteil (**14**), das einen Temperaturfühler (**19**) trägt, wobei das bewegliche Messkopfteil (**14**) so gelagert ist, dass es bei erfolgter Antastung der Werkstückoberfläche (**25**) ein elektrisches Signal auslöst, das die Temperaturerfassung steuert, dadurch gekennzeichnet, dass sich am unteren Ende des beweglichen Messkopfteiles (**14**) ein Kugelgelenk (**15**) befindet, das einen Aufnahmeeinsatz (**18**) für den Temperaturfühler (**19**) besitzt.

5. Temperaturmesskopf (**3**) nach Anspruch 4, da-

durch gekennzeichnet, dass eine Rückstellfeder (**17**) im oberen beweglichen Messkopfteil (**14**) das Kugelgelenk (**15**) in seiner Ruhestellung in Mittelposition hält.

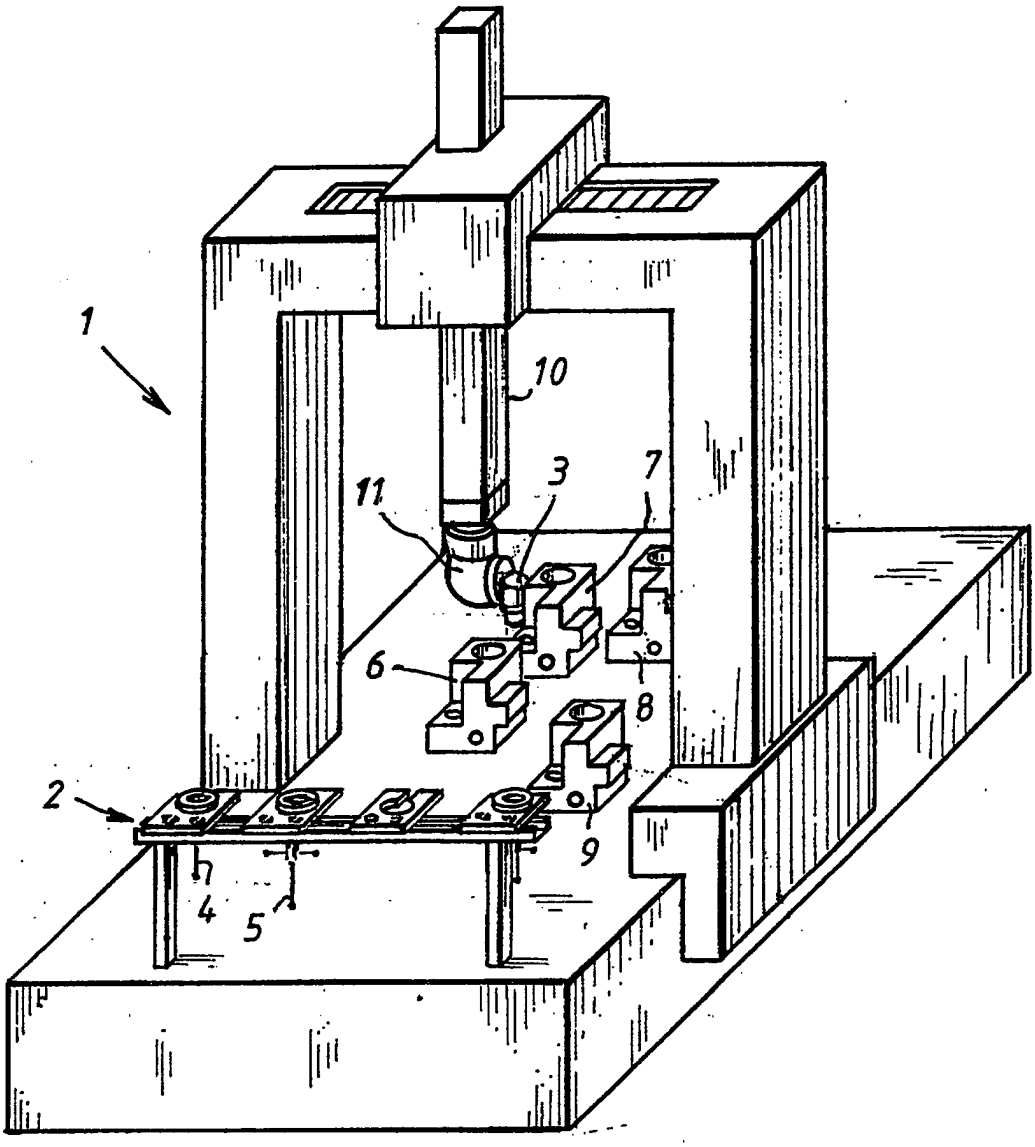
6. Temperaturmesskopf (**3**) nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturfühler (**19**) in Form eines Hülsenteils ausgeführt ist, an dessen oberem Ende das Gegenstück (**20**) zum Aufnahmeeinsatz (**18**) im Kugelgelenk (**15**) befestigt ist.

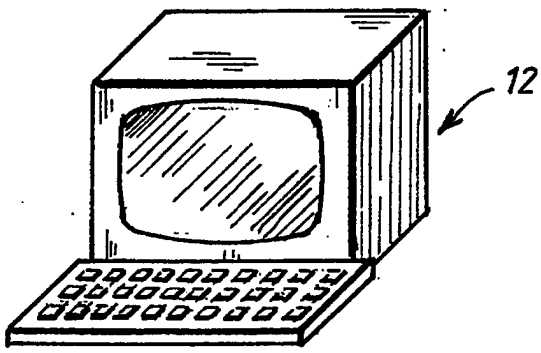
7. Temperaturmesskopf (**3**) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Werkstück zugewandte Seite des Temperaturfühlers (**19**) aus einer Kontaktplatte (**21**) besteht, an deren Rückseite ein Messelement (**22**) befestigt ist, wobei das Material der Kontaktplatte (**21**) eine Wärmeleitfähigkeit λ = 380 W/Km und eine niedrige Wärmekapazität aufweist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1





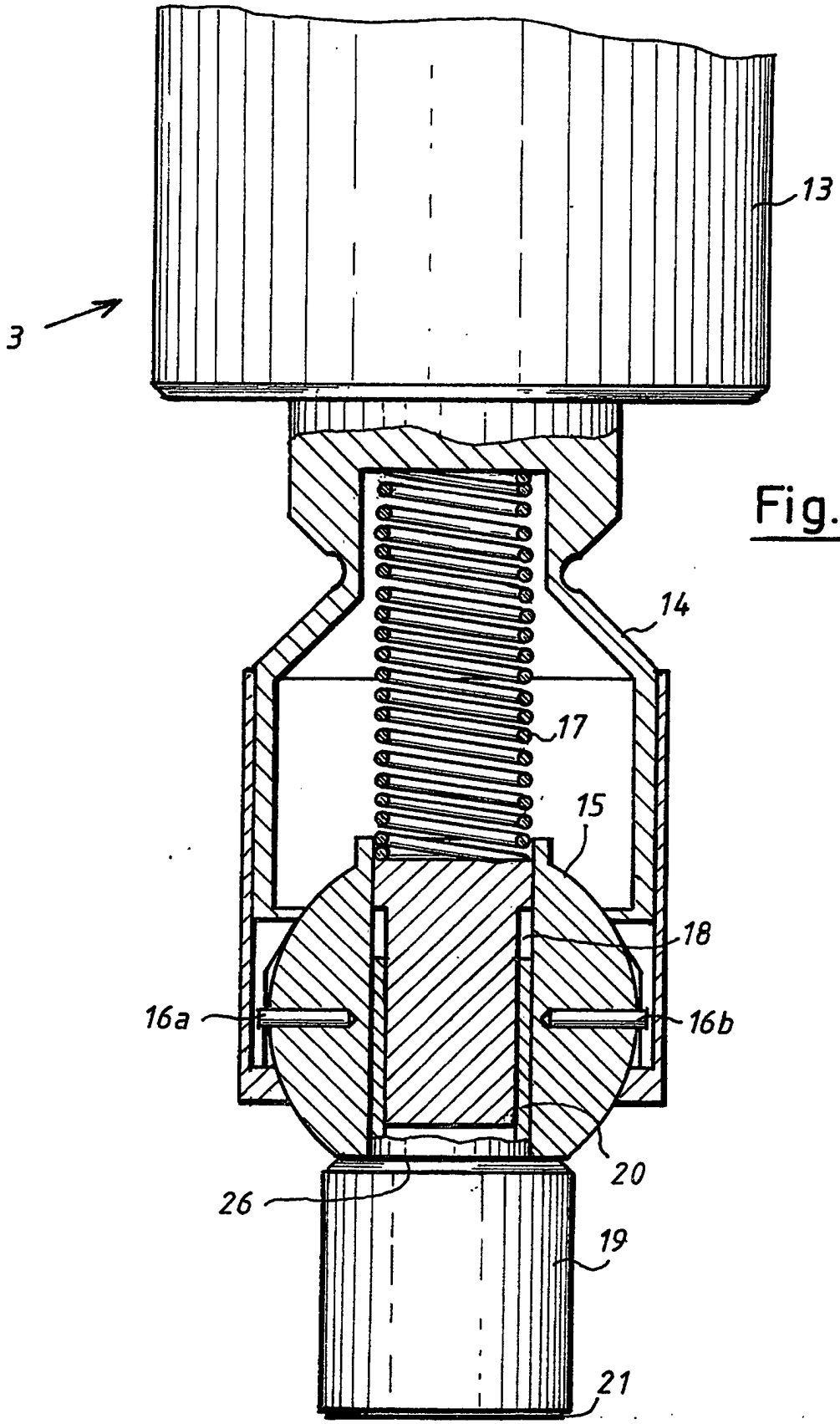


Fig. 2

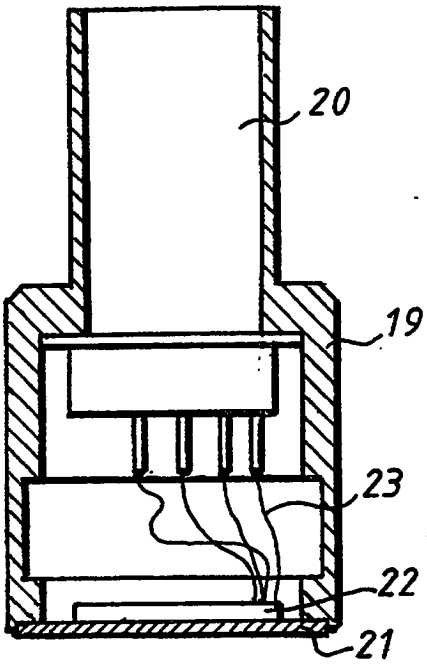


Fig. 3

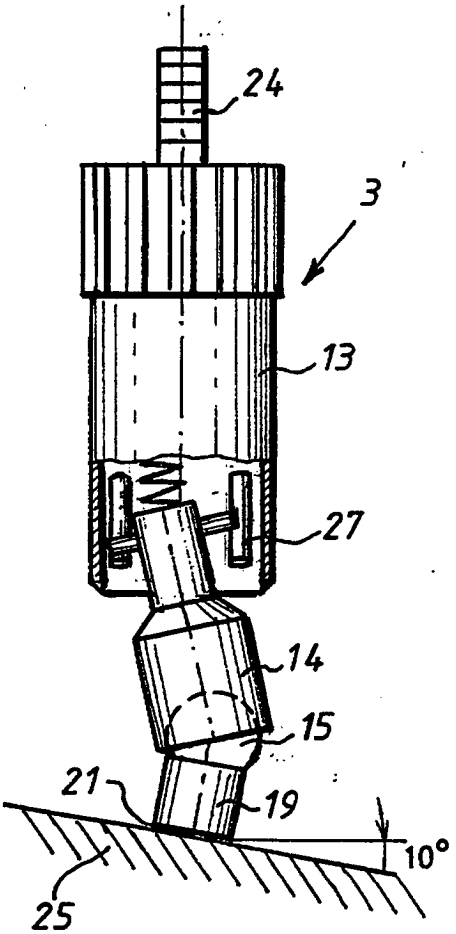
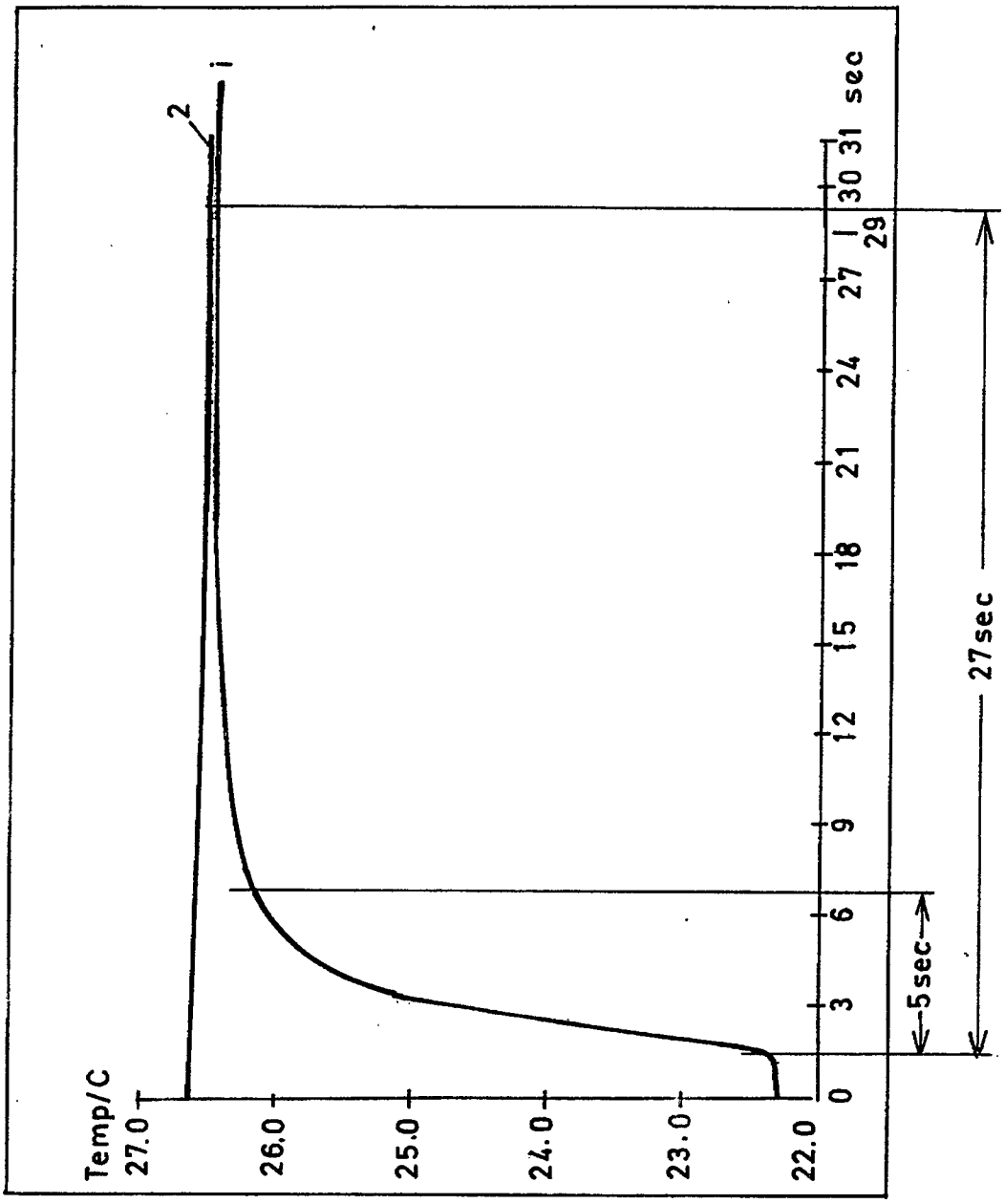


Fig. 4

Fig.5


Temp/C
27.0
26.0
25.0
24.0
23.0
22.0
0
3
6
9
12
15
18
21
24
27
29
30
31
sec
2
i
5sec
27sec