



(10) **DE 10 2017 119 828 A1** 2019.02.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: 10 2017 119 828.8

(22) Anmeldetag: 29.08.2017

(43) Offenlegungstag: 28.02.2019

(51) Int Cl.: **B23Q 1/34** (2006.01)

**B23B 29/12** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien - IWT, 28359 Bremen, DE; Universität Bremen, 28359 Bremen, DE**

(72) Erfinder:

**Schönemann, Lars, Dr.- Ing., 28832 Achim, DE; Riemer, Oltmann, Dr.- Ing., 28215 Bremen, DE; Brinksmeier, Ekkard, Prof. Dr.- Ing., 28213 Bremen, DE**

(74) Vertreter:

**Jabbusch Siekmann & Wasiljeff, 28199 Bremen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

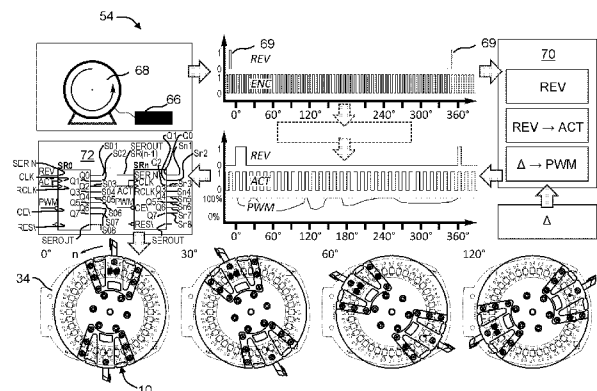
<b>DE</b>	<b>000002303912</b>	<b>B2</b>
<b>DE</b>	<b>10 2010 027 116</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 150 154</b>	<b>B1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Arbeitsmaschine mit einem rotierenden Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeugmaschine mit rotierendem Werkzeughalter, Verfahren zum Justieren eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, sowie Ringlicht für eine derartige Arbeitsmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Arbeitsmaschine mit einem rotierenden Bauteil, insbesondere Werkzeugmaschine mit einem rotierenden Werkzeughalter (10), der wenigstens einen thermischen Aktor (20, 40) zur Aufnahme eines Werkzeugs (12, 14) aufweist, mittels dem das Werkzeug (12, 14) verstellbar ist. Die Arbeitsmaschine umfasst ferner wenigstens eine Wärmequelle (34) zum berührungslosen Erwärmen des thermischen Aktors (20, 40) und einer Steuerungseinrichtung (54) zur Steuerung der Wärmequelle (34) hinsichtlich ihrer Leistungsabgabe. Die Wärmequelle (34) ist als axial vom Werkzeughalter (10) beabstandetes und stationär angeordnetes Ringlicht (34) ausgebildet, das eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten, elektrisch angesteuerten Wärmestrahlungselementen (36) aufweist. Die Steuerungseinrichtung (54) aktiviert und deaktiviert die Wärmestrahlungselemente (36) derart, dass aktivierte Wärmestrahlungselemente (36) einen rotierenden Aktor (20, 40) mit Wärmestrahlung beaufschlagen. Dabei steuert die Steuerungseinrichtung (54) die Aktivierung und Deaktivierung der Wärmestrahlungselemente (36) derart, dass das oder die sich einem Aktor (20, 40) gegenüberliegenden Wärmestrahlungselemente (36) aktiviert werden. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Justieren eines Werkzeugs (12, 14) in einer derartigen Arbeitsmaschine. Schließlich betrifft die Erfindung ein Ringlicht für eine derartige Arbeitsmaschine.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Arbeitsmaschine, insbesondere Werkzeugmaschine, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, ein Verfahren zum Justieren eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, einer Arbeitsmaschine mit einem rotierenden Maschinenteilhalter, insbesondere einer Werkzeugmaschine mit einem rotierenden Werkzeughalter, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 11 sowie ein Ringlicht für eine derartige Arbeitsmaschine gemäß Anspruch 12.

**[0002]** Im Artikel „Control of a thermal actuator for UP-milling with multiple cutting edges“ von Lars Schönemann, Oltmann Riemer und Ekkard Brinksmeier, veröffentlicht in Procedia CIRP, Bd. 46 (2016), S. 424 - 427, 7th HPC 2016 - CIRP Conference on High Performance Cutting, wird ein thermischer Aktor zur Justierung rotierender Präzisionswerkzeuge vorgeschlagen.

**[0003]** Durch die gezielte Erwärmung eines definierten Abschnitts des Werkzeughalters, nämlich eines thermischen Aktors, wird eine lokale Wärmeausdehnung hervorgerufen, die eine Verstellung eines an dem thermischen Aktor angeordneten Werkzeugs ermöglicht.

**[0004]** Die Erwärmung des thermischen Aktors erfolgt dabei mittels einer Infrarot-Leuchtdiode, die stationär angeordnet ist. Die Wärmestrahlung der Infrarot-Leuchtdiode ist jedoch auf eine räumlich begrenzte Fläche konzentriert und bestrahlt daher nicht den gesamten Werkzeughalter, sondern lediglich einen vergleichsweise kleinen Abschnitt des Werkzeughalters. Der thermische Aktor ist dabei einer Speiche ähnlich ausgebildet. Der thermische Aktor hat daher im Wesentlichen einen radialen Verlauf, wobei an seinem dem Umfang des Werkzeughalters zugewandten Endabschnitt das eigentliche Werkzeug, z.B. ein Diamantwerkzeug, insbesondere zur spanenden Bearbeitung, angeordnet ist. Sofern nun eine Erwärmung des thermischen Aktors mittels der Infrarot-Leuchtdiode erfolgt, dehnt sich der thermische Aktor aus, so dass das Werkzeug radial verstellt wird.

**[0005]** Bei der hochpräzisen Werkstückbearbeitung besteht der Wunsch, die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu steigern. Zu diesem Zweck sind regelmäßig an derartigen Werkzeughaltern mehrere Werkzeuge entlang des Umfangs angeordnet.

**[0006]** Damit neben einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit erreicht werden kann, ist es jedoch erforderlich, dass sämtliche vorgesehenen Werkzeuge mit dem Werkstück in Eingriff gelangen. Sofern ein Werkzeug dejustiert ist, kann dies dazu führen, dass nicht alle Werkzeuge der selben Bahn folgen, sondern sich auf

unterschiedlichen Bahnen bewegen und daher einzelne Werkzeuge nicht an der Bearbeitung teilhaben. Dies ist nicht nur nachteilig für die Bearbeitungsgeschwindigkeit, sondern auch für die Bearbeitungsgenauigkeit, insbesondere für die entstehende Oberflächengüte des zu bearbeitenden Werkstücks.

**[0007]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, die Geschwindigkeit und die Präzision der Bearbeitung zu verbessern.

**[0008]** Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen einer Arbeitsmaschine, insbesondere Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 1, mit einem Verfahren zum Justieren eines Maschinenteils einer Arbeitsmaschine, insbesondere Werkzeugs einer Werkzeugmaschine, mit den Merkmalen gemäß Anspruch 11 sowie mit einem Ringlicht für eine derartige Arbeitsmaschine mit den Merkmalen gemäß Anspruch 12.

**[0009]** Die erfindungsgemäße Arbeitsmaschine weist einen rotierenden Maschinenteilhalter auf, der seinerseits wiederum wenigstens einen thermischen Aktor zur Aufnahme eines Maschinenteils umfasst, mittels dem das Maschinenteil verstellbar ist. Beispielsweise handelt es sich dabei um eine Werkzeugmaschine mit einem rotierenden Werkzeughalter, der seinerseits wiederum wenigstens einen thermischen Aktor zur Aufnahme eines Werkzeugs umfasst, mittels dem das Werkzeug verstellbar ist.

**[0010]** Vorliegend bildet eine Werkzeugmaschine einen Sonderfall einer Arbeitsmaschine im Sinne einer besonderen Ausgestaltung. In entsprechender Weise bildet ein Werkzeug einen Sonderfall des allgemeineren Begriffs des Maschinenteils. In ebenfalls entsprechender Weise bildet ein Werkzeughalter einen Sonderfall des allgemeineren Begriffs des Maschinenteilhalters.

**[0011]** Ferner umfasst die Arbeitsmaschine eine Wärmequelle zum berührungslosen Erwärmen des thermischen Aktors sowie eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Wärmequelle hinsichtlich ihrer Leistungsabgabe und folglich hinsichtlich ihrer Fähigkeit, den thermischen Aktor zu erwärmen.

**[0012]** Die Wärmequelle ist als axial vom Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter, beabstandetes und stationär angeordnetes Ringlicht ausgebildet. D.h., dass Ringlicht steht still bzw. rotiert nicht und zwar auch dann, wenn der Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter, rotiert. Dieses Ringlicht weist eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten und elektrisch angesteuerten Wärmestrahlungselementen auf.

**[0013]** Die Steuerungseinrichtung ist dabei derart eingerichtet, dass die Wärmestrahlungselemen-

te aufeinanderfolgend aktiviert und deaktiviert werden können, so dass aktivierte Wärmestrahlungselemente einen rotierenden Aktor mit Wärmestrahlung beaufschlagen und somit zu einer Wärmeausdehnung des Aktors führen. Dabei steuert die Steuerungseinrichtung die Aktivierung und Deaktivierung der Wärmestrahlungselemente derart, dass das oder die einem Aktor gegenüberliegenden Wärmestrahlungselemente aktiviert sind, während sie nicht aktiviert sind, wenn ihnen kein Aktor gegenüberliegt. Der Begriff der Aktivierung ist dabei derart zu verstehen, dass während der Phase einer Aktivierung Wärmeenergie von einem Wärmestrahlungselement abgegeben wird, auch wenn dies nicht im strengen Sinne kontinuierlich, sondern hochfrequent getaktet erfolgen kann.

**[0014]** Die Erfindung schafft somit ein Ringlicht mit einer quasi kontinuierlichen Bestrahlung des rotierenden Aktors, wobei die Bestrahlung jedoch nicht mittels eines einzelnen Wärmestrahlungselements erfolgt, sondern mittels einer Vielzahl derartiger Wärmestrahlungselemente, welche mit dem Aktor mitlaufend aktiviert und sodann wieder deaktiviert werden. Hierdurch ist es möglich, einen einzelnen Aktor während eines gesamten Umlaufs zu bestrahlen, obwohl jedes einzelne Wärmestrahlungselement lediglich einen Bruchteil einer Umlaufbahn des Aktors erfassen kann.

**[0015]** Die Bestrahlungsdauer kann somit gegenüber herkömmlichen Systemen deutlich gesteigert werden. Mittels der gesteigerten Bestrahlungsdauer ist es möglich, den Aktor über einen längeren Zeitraum zu erwärmen und somit sowohl eine gleichmäßigere und präzisere Wärmezufuhr zu gewährleisten, als auch die Umdrehungsgeschwindigkeit bzw. Betriebsdrehzahl der Arbeitsmaschine, insbesondere Werkzeugmaschine, zu steigern. Die Bestrahlung ist nämlich nunmehr nicht mehr nur auf einen kurzen Zeitabschnitt während eines Umlaufs beschränkt, sondern kann quasi-kontinuierlich erfolgen.

**[0016]** Dies ermöglicht nicht nur eine präzisere Steuerung der Wärmeausdehnung, sondern zudem auch einen größeren Hub bzw. einen größeren Verstellweg des Aktors bzw. des daran befestigten Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, als wenn, wie herkömmlich, nur an einer einzigen Stelle eines Umlaufs eine Wärmebestrahlung erfolgt. Aufgrund eines größeren Verstellwegs ist es zudem möglich, trotz Verschleißes eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, und damit Verkürzung seines Radius die Bearbeitung fortzuführen, da das betreffende Maschinenteile, insbesondere Werkzeug, nachjustiert werden kann und dies dank der Erfindung in einem größeren Umfang als herkömmlich.

**[0017]** Insgesamt erlaubt somit die Erfindung eine hochpräzise Justierung eines Maschinenteils in einer

Arbeitsmaschine, insbesondere eines Werkzeugs in einer Werkzeugmaschine. So ist es beispielsweise möglich, dass mehrere Maschinenteile an einem Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeuge an einem Werkzeughalter, hochpräzise der gleichen Bahn folgen und somit das bearbeitete Werkstück eine Oberfläche mit sehr geringer Rauheit aufweist.

**[0018]** Vorzugsweise sind die Wärmestrahlungselemente als Infrarot-Leuchtdioden oder als Laserdioden ausgebildet. Auch eine Kombination von Infrarot-Leuchtdioden und Laserdioden kommt erfindungsgemäß in Betracht. Bei diesen Bauteilen handelt es sich um kostengünstige Bauelemente mit einer hohen Haltbarkeit, die insbesondere unempfindlich sind gegenüber häufigen Schaltungen, d.h. gegenüber häufigem Ein- und Ausschalten.

**[0019]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist die Steuerungseinrichtung derart ausgebildet, dass die Leistungsabgabe eines aktivierten Wärmestrahlungselements mittels einer Pulsweitenmodulation gesteuert wird und zwar derart, dass während einer Phase der Aktivierung des Wärmestrahlungselements ein elektrisches Signal zur Erzeugung der Wärmestrahlung getaktet geschaltet wird, wobei der Takt in Abhängigkeit von einer vorgesehenen Leistungsabgabe gesteuert wird. Die vorgesehene Leistungsabgabe wird ermittelt anhand der gewünschten Verstellung des Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs. Dabei ist eine Pulsweitenmodulation eine vorteilhafte Realisierung der Leistungsregelung der Wärmestrahlung, da diese durch mikroelektronische Bauteile kostengünstig und auf kleinstem Raum bereitgestellt werden kann.

**[0020]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass mittels der Pulsweitenmodulation die Versorgungsspannung der Wärmestrahlungselemente gesteuert wird. Zusätzlich oder alternativ wird mittels der Pulsweitenmodulation eine Steuerspannung eines einem Wärmestrahlungselement zugeordneten Transistors zur elektrischen Energieversorgung des Wärmestrahlungselements gesteuert.

**[0021]** Im erstgenannten Fall der Steuerung der Versorgungsspannung der Wärmestrahlungselemente mittels Pulsweitenmodulation ergibt sich der Vorteil, dass die Leistungsregelung mit gleicher Intensität für alle Wärmestrahlungselemente erfolgen kann, da alle Elemente mit derselben Versorgungsspannung betrieben werden.

**[0022]** Im zweitgenannten Fall der Steuerung einer Steuerspannung eines Transistors zur elektrischen Energieversorgung eines Wärmestrahlungselements ergibt sich der Vorteil, dass die Leistungsregelung jedes Wärmestrahlungselements mit individueller Intensität möglich ist. Zudem ist auch eine Kombination beider Fälle möglich.

**[0023]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Leistungsabgabe in Abhängigkeit einer gewünschten Verstellung des Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, erfolgt, wobei die Leistungsabgabe umso größer ist, je größer die gewünschte Verstellung des Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, ist. Dabei erfasst oder ermittelt die Steuerungseinrichtung eine Istposition des Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, und vergleicht die Istposition mit einer Sollposition. Anhand des Ergebnisses des Vergleichs wird sodann die Leistungsabgabe an einen Aktor geregelt.

**[0024]** Die Istposition eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, kann dabei mittels Messung erfasst werden, indem beispielsweise mit einem optischen Kontrollsystem der Radius des Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, gemessen wird. Die Istposition kann aber auch indirekt ermittelt werden, beispielsweise indem anhand der Amplituden von Grund- und Oberschwingungen des entstehenden Bearbeitungsgeräuschs die Gleichmäßigkeit der Position verschiedener Maschinenteile, insbesondere Werkzeuge, ermittelt wird. Die Verstellung der einzelnen Maschinenteile, insbesondere Werkzeuge, erfolgt dabei vorteilhafterweise derartig, dass die Verhältnisse der Amplituden von Grund- und Oberschwingungen erwarteten Verhältnissen entspricht.

**[0025]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung sind zwei jeweils als Ringlicht ausgebildete Wärmequellen vorgesehen, wobei in axialer Richtung betrachtet das erste Ringlicht vor dem Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter, und das zweite Ringlicht hinter diesem Maschinenteilhalter angeordnet sind.

**[0026]** Durch die Bereitstellung zweier Ringlichter ist ein doppelter Leistungseintrag auf den bzw. die thermischen Aktoren möglich. Hierdurch kann die Geschwindigkeit der Erwärmung des thermischen betreffenden Aktors erhöht werden, so dass eine Nachjustierung der Maschinenteile, insbesondere Werkzeuge, beschleunigt werden kann.

**[0027]** Zudem ermöglicht die Bereitstellung zweier Ringlichter eine gleichmäßige Erwärmung des betreffenden Aktors. Hierdurch kann die Präzision der Verstellung eines Maschinenteils, insbesondere der Werkzeugverstellung, erhöht werden.

**[0028]** Zudem eröffnet die Bereitstellung zweier auf unterschiedlichen Seiten des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters, angeordneter Ringlichter die Möglichkeit einer asymmetrischen Erwärmung, wodurch ein weiterer Freiheitsgrad bezüglich der Verstellung ermöglicht wird. Insbesondere wird hierdurch nicht nur eine radiale Verstellung eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, sondern auch eine axiale Verstellung eines Maschinenteils,

insbesondere Werkzeugs, sowie eine Kombination aus radialer und axialer Verstellung ermöglicht.

**[0029]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist der thermische Aktor derart ausgebildet, dass er bei Erwärmung eine Längenausdehnung in radialer Richtung des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters, ausführt, um das Maschinenteil, insbesondere Werkzeug, radial zu verstellen. Eine radiale Verstellung ist für eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit und auch besonders bei radial wirkendem Maschinenteilverschleiß, insbesondere Werkzeugverschleiß, vorteilhaft.

**[0030]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der thermische Aktor zwei thermisch voneinander getrennte Abschnitte aufweist, so dass das erste Ringlicht einen ersten dieser beiden Abschnitte und das zweite Ringlicht einen zweiten dieser Abschnitte bestrahlen kann. Bevorzugt sind dabei die beiden Abschnitte durch eine Isolierschicht voneinander getrennt, um einen Wärmeübergang von einem Abschnitt auf den anderen Abschnitt zu verhindern bzw. zu vermindern. Die beiden Abschnitte sind dabei vorteilhafterweise in axialer Richtung nebeneinander angeordnet vorgesehen, so dass eine Erwärmung nur eines Abschnittes bzw. eine stärkere Erwärmung eines Abschnittes gegenüber dem benachbarten Abschnitt zu einer Verbiegung des Aktors in axialer Richtung führt. Durch diese Anordnung ist eine axiale Verstellung des Werkzeugs möglich.

**[0031]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist der Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter, wenigstens eine Kammer zur Aufnahme einer Flüssigkeit auf, wobei die Kammer auf dem gleichen radialen Abstand auf dem Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter, angeordnet ist wie der Aktor. Hierdurch kann die Kammer mit dem gleichen Wärmestrahlungselement bestrahlt werden wie der bzw. die thermischen Aktoren. Die Kammer ist dabei mit einem Steigrohr fluidisch verbunden, welches von der Kammer weggeführt und zwar in einer Weise, in der das Steigrohr vom äußeren Umfang des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters, weg weist. Vorteilhafterweise weist das Steigrohr radial in Richtung Drehachse. Das Steigrohr kann aber auch in einem Winkel zum Radius verlaufen. Dabei führt vorteilhafterweise eine Wärmeausdehnung der Flüssigkeit dazu, dass die Flüssigkeit sich entgegen der Fliehkraftrichtung ausdehnen kann. Hierdurch kommt es zu einer Verschiebung des Schwerpunkts der Flüssigkeit in radialer Richtung infolge der Wärmeausdehnung der Flüssigkeit. Eine derartige Schwerpunktverschiebung erlaubt ein Wuchten des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters, während des laufenden Betriebs. Ein derartiges dynamisches Wuchten ermöglicht es, etwaig durch eine Verstellung eines Maschinenteils, insbesondere eine Werkzeugverstellung,

lung, und/oder einen Verschleiß eines solchen Maschinenteils, insbesondere Werkzeugverschleiß, entstehende Unwuchten auszugleichen. Ein derartiges Wuchten erlaubt einen gleichmäßigeren Lauf der rotierenden Maschinenteile, insbesondere Werkzeuge, und somit im Ergebnis eine höhere Oberflächengüte des zu bearbeitenden Werkstücks.

**[0032]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung sind je eine Kammer und je ein Steigrohr je einem von mehreren thermischen Aktoren zugeordnet, wobei vorzugsweise jede Anordnung aus Kammer und Steigrohr einem Aktor diametral gegenüberliegend angeordnet ist. Alternativ ist aber auch eine versetzte Anordnung von Kammer und Steigrohr sowie thermischem Aktor möglich. Eine derartige versetzte Anordnung kommt insbesondere dann in Betracht, wenn eine gerade Anzahl von Aktoren vorgesehen ist, während eine diametral gegenüberliegende Anordnung vorteilhaft bei einer ungeraden Anzahl von Aktoren vorgesehen ist.

**[0033]** Durch eine derartige Anordnung können Änderungen der Position eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs, bzw. ein Verschleiß dieses Maschinenteils, insbesondere Werkzeug, zwar zu einer Unwucht des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters, führen, die jedoch durch dynamisches Wuchten während des laufenden Betriebs ausgeglichen werden kann.

**[0034]** Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die vorgenannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausgestaltungen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Ansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Ansprüche möglich und wird hiermit vorgeschlagen. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen verschiedener Ansprüche kombiniert werden. Ebenso können in Ansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungen der Erfindung entfallen.

**[0035]** In der Zeichnung zeigen:

**Fig. 1** eine Darstellung zur Veranschaulichung des der Erfindung zugrunde liegenden Prinzips der thermomechanischen Werkzeugverstellung an einem teilweise dargestellten Werkzeughalter einer Werkzeugmaschine in drei Zuständen,

**Fig. 2** eine perspektivische Ansicht eines Werkzeughalters mit thermischem Aktor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**Fig. 3** eine perspektivische Ansicht eines Ringlichts mit einer Vielzahl von Wärmestrahlungselementen sowie eines Werkzeughalters mit zwei Werkzeugen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**Fig. 4** eine Darstellung der Signale zur Steuerung der Wärmestrahlungselemente des Ringlichts gemäß **Fig. 3**,

**Fig. 5** eine Schaltung zur Steuerung der Wärmestrahlungselemente des Ringlichts gemäß **Fig. 3** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**Fig. 6** einen Ausschnitt der Schaltung gemäß **Fig. 5** zur Erläuterung zweier Steuerungsmöglichkeiten zur Leistungsregelung der Wärmestrahlungselemente gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**Fig. 7** eine Darstellung zur Erläuterung einer Steuerungseinrichtung zur Leistungsregelung der Wärmestrahlungselemente gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung und

**Fig. 8** eine perspektivische Darstellung eines Werkzeughalters mit einer Einrichtung zum dynamischen Wuchten.

**[0036]** **Fig. 1** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung des der Erfindung zugrunde liegenden Prinzips der thermomechanischen Werkzeugverstellung an einem nur abschnittsweise dargestellten Werkzeughalter **10** einer (nicht dargestellten) Werkzeugmaschine in drei Zuständen. In allen drei Darstellungen von **Fig. 1** ist ein Abschnitt des Werkzeughalters **10** mit zwei Werkzeugen **12**, **14** dargestellt.

**[0037]** Der Winkel  $\alpha$  zwischen zwei Werkzeugen **12**, **14** entspricht nicht notwendigerweise dem dargestellten Winkel; beispielsweise könnte der Werkzeughalter **10** auch lediglich zwei, drei oder vier Werkzeuge aufweisen, so dass in **Fig. 1** zwei Werkzeuge **12**, **14** zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt sein können.

**[0038]** Der Werkzeughalter **10** gemäß **Fig. 1** dreht sich entgegen dem Uhrzeigersinn.

**[0039]** Die Werkzeuge **12**, **14** dienen zur spanenden Bearbeitung eines nicht dargestellten Werkstücks. Die vordere und äußere Spitze jedes der Werkzeu-

ge **12**, **14** muss mit dem Werkstück in Kontakt treten, damit eine Bearbeitung stattfindet.

**[0040]** Bei einer hochpräzisen Bearbeitung eines Werkstücks mit mehreren Werkzeugen tritt jedoch immer wieder die Situation auf, dass die Werkzeuge **12**, **14** nicht oder nicht mehr der selben Kreisbahn **16**, **18** folgen. Vielmehr kann die in **Fig. 1** dargestellte Situation eintreten, wonach beispielsweise das Werkzeug **12** der Kreisbahn **16** folgt, während das Werkzeug **14** der Kreisbahn **18** folgt. In einem solchen Fall vollführt jedoch nur noch das Werkzeug **12** seine Bearbeitungsfunktion, während das Werkzeug **14** funktionslos mitläuft.

**[0041]** Eine derartige Situation kann beispielsweise dadurch eintreten, dass das Werkzeug **14** gegenüber dem Werkzeug **12** fehljustiert ist und/oder dass das Werkzeug **14** einem größeren Verschleiß unterworfen war als das Werkzeug **12** und/oder beschädigt wurde.

**[0042]** Das mittlere Bild von **Fig. 1** veranschaulicht eine Gegenmaßnahme gemäß dem der Erfindung zugrunde liegenden Prinzip. Gemäß diesem Prinzip wird ein am Werkzeughalter **10** vorgesehener thermischer Aktor **20** erwärmt und somit einer thermischen Dehnung unterworfen.

**[0043]** Dieser thermische Aktor **20** ist in der Darstellung gemäß **Fig. 1** innerhalb des Werkzeughalters veranschaulicht. Gemäß anderen Ausführungsbeispielen ist der thermische Aktor jedoch durch eine besondere Konstruktion ausgebildet, beispielsweise indem ein sich in radialer Richtung ausdehnendes Element vorgesehen ist.

**[0044]** Die Erwärmung des thermischen Aktors **20** erfolgt mittels einer berührungslos arbeitenden Wärmequelle, die außerhalb des Werkzeughalters **10** angeordnet ist und in **Fig. 1** nicht näher dargestellt ist. Im mittleren und rechten Bild von **Fig. 1** ist die Erwärmung durch gestrichelt dargestellte konzentrische Kreise veranschaulicht.

**[0045]** Im mittleren Bild von **Fig. 1** veranschaulicht der Pfeil **22** die radial nach außen gerichtete Verstellung des Werkzeugs **14** infolge der Erwärmung des thermischen Aktors **20**. Das rechte Bild von **Fig. 1** zeigt, dass im Bereich des Werkzeugs **14** der Werkzeughalter **10** eine bauchige Kontur angenommen hat, wodurch das Werkzeug **14** nunmehr der gleichen Kreisbahn **16** folgt wie das Werkzeug **12**. Die Erwärmung des thermischen Aktors **20** ist dabei in einem derartigen Maß gewählt worden, dass die radiale Verstellung des Werkzeugs **14** dem radialen Abstand der beiden Kreisbahnen **16**, **18** entspricht.

**[0046]** Das erläuterte Prinzip der thermomechanischen Verstellung von Werkzeugen eignet sich ins-

besondere für ultrapräzise Werkzeugbearbeitung, da es eine Verstellung der am Werkzeughalter befestigten Werkzeuge im Nanometerbereich ermöglicht.

**[0047]** Vorteilhafterweise ist die Wärmequelle nicht im Werkzeughalter vorgesehen, sondern außerhalb. Dadurch kann der Aufbau des rotierenden Werkzeughalters einfach gehalten werden, was sowohl unter Kostengesichtspunkten vorteilhaft ist als auch unter dem Gesichtspunkt des gleichmäßigen Laufs des Werkzeughalters. Aufgrund der geforderten Genauigkeit der Bewegung der Werkzeuge im Nanometerbereich sind Unwuchten im Werkzeughalter nachteilig, da die zu einem ungleichmäßigen Lauf des Werkzeughalters führen.

**[0048]** Die Wärmequelle ist vorteilhafterweise mittels einer Vielzahl von Wärmestrahlungselementen ausgebildet, die vorteilhafterweise als Infrarot-Leuchtdioden ausgeführt sind. Alternativ zu Infrarot-Leuchtdioden kommen aber auch Laserdioden in Betracht, die hoch konzentriert Energie auf einen sehr kleinen lokalen Bereich übertragen können. Schließlich kann auch eine Kombination von Infrarot-Leuchtdioden sowie Laserdioden eingesetzt werden.

**[0049]** Die Wärmestrahlungselemente einer Wärmequelle sind vorzugsweise entlang einer kreisförmigen Linie angeordnet. Sie können aber auch entlang mehrerer, insbesondere von zwei oder mehr kreisförmigen, Linien unterschiedlicher Radien angeordnet sein.

**[0050]** **Fig. 2** zeigt eine perspektivische Ansicht eines Werkzeughalters mit thermischem Aktor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei der Werkzeughalter vier Werkzeuge aufweist. In der Darstellung gemäß **Fig. 2** dreht sich der Werkzeughalter mit der Drehzahl  $n$  im Uhrzeigersinn, was durch den Pfeil **24** dargestellt ist. Wärmestrahlung **26** trifft auf den Werkzeughalter **10** im Bereich des thermischen Aktors **20**, der nach Art einer Speiche ausgebildet ist, d.h. insbesondere einen sich radial erstreckenden Abschnitt aufweist. An einem dem äußeren Ende des Aktors zugewandten Bereich ist der Aktor **20** über sich im Wesentlichen tangential erstreckende Abschnitte **28**, **30** mit dem Werkzeughalter **10** mechanisch stabilisierend verbunden, um mechanischen Schwingungen des thermischen Aktors **20** vorzubeugen und somit ein Rattern zu vermeiden.

**[0051]** Im Bereich der Verbindungsstelle der beiden Tangentialabschnitte **28**, **30** und des thermischen Aktors **20** ist ein Werkzeug **14**, im Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** in Form eines Diamantwerkzeugs, vorgesehen. Infolge der Wärmestrahlung **26** und der daraus resultierenden thermischen Dehnung des thermischen Aktors wird dieses Werkzeug **14** radial verstellt, wie dies durch den Pfeil **32** veranschaulicht ist.

[0052] Fig. 3 zeigt im linken Bild eine perspektivische Ansicht eines Ringlichts 34 mit einer Vielzahl von Wärmestrahlungselementen 36 sowie im rechten Bild einen Werkzeughalter 10 mit zwei Werkzeugen 12, 14.

[0053] Die Wärmestrahlungselemente 36 des Ringlichts 34 sind kreisförmig auf einer Platine 38 angeordnet. Der Mittelpunkt dieses Kreises liegt auf der Achse des Werkzeughalters 10. Das Ringlicht 34 ist daher tatsächlich unterhalb des Werkzeughalters gemäß dem rechten Bild von Fig. 3 angeordnet und lediglich aus zeichnerischen Gründen in Fig. 3 links neben dem Werkzeughalter 10 gezeichnet.

[0054] Das Ringlicht 34 ist nicht-drehbar an der Werkzeugmaschine angeordnet. Demgegenüber ist der Werkzeughalter 10 rotierbar mit der Werkzeugmaschine verbunden, so dass die Werkzeuge 12, 14 gemäß dem rechten Bild von Fig. 3 entgegen dem Uhrzeigersinn rotieren können.

[0055] Zusätzlich zu dem sich unterhalb des Werkzeughalters 10 befindenden Ringlichts 34 ist bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ein weiteres oberhalb des Werkzeughalters 10 befindliches Ringlicht (nicht dargestellt) vorgesehen. Dabei sind die Wärmestrahlungselemente des oberen, nicht dargestellten Ringlichts auf der gegenüberliegenden Seite der zu diesem Ringlicht gehörenden Platine angeordnet wie bei dem unteren Ringlicht, so dass die Wärmestrahlungselemente des oberen Ringlichts ebenfalls in Richtung des Werkzeughalters 10 ausgerichtet sind und somit - ebenso wie die Wärmestrahlungselemente 36 des unteren Ringlichts 34 - Wärme in Richtung des Werkzeughalters 10 abstrahlen können.

[0056] Der Werkzeughalter 10 weist zwei Werkzeuge 12, 14 auf, denen jeweils ein thermischer Aktor 20, 40 zugeordnet ist. Die thermischen Aktoren 20, 40 sind in zwei voneinander getrennte Abschnitte unterteilt, die vorzugsweise thermisch voneinander getrennt sind. Beispielsweise ist der thermische Aktor 20 in einen oberen Bereich 42 sowie einen unteren Bereich 44 unterteilt. In analoger Weise ist der thermische Aktor 40 in einen oberen Bereich 46 sowie einen unteren Bereich 48 unterteilt. Der obere Bereich 42 bzw. 46 ist dabei jeweils mit dem unteren Bereich 44 bzw. 48 des jeweiligen thermischen Aktors 20, 40 mechanisch verbunden. Wird nun beispielsweise der obere Bereich eines Aktors intensiver erwärmt als der untere Bereich, vollführt das an dem jeweiligen Aktor 20, 40 montierte Werkzeug 12 bzw. 14 nicht nur eine Bewegung in radialer Richtung, sondern auch in axialer Richtung. Eine derartige unterschiedliche Erwärmung der oberen Bereiche 42 bzw. 46 gegenüber den unteren Bereichen 44 bzw. 48 lässt sich insbesondere durch unterschiedliche Ansteuerungen des

unteren Ringlichts 34 sowie des (nicht dargestellten) oberen Ringlichts realisieren.

[0057] Die Erfindung ist jedoch nicht auf die dargestellte Konstruktion eines thermischen Aktors beschränkt. Es sind insbesondere auch andere thermische Aktoren von der Erfindung erfasst, die jeweils entweder nur in radialer Richtung oder in axialer Richtung Längenausdehnungen vollführen.

[0058] Fig. 4 zeigt eine Darstellung der Signale zur Steuerung der Wärmestrahlungselemente eines Ringlichts gemäß Fig. 3, wobei Fig. 4 ein Werkzeughalter 10 mit drei Werkzeugen zugrunde liegt, so wie dies im linken Teil von Fig. 4 veranschaulicht ist. Dreht sich der in Fig. 4 dargestellte Werkzeughalter (wie mittels des Pfeils U veranschaulicht) entgegen dem Uhrzeigersinn, wird von einer Wärmestrahlungsquelle zunächst das Werkzeug 12, dann das Werkzeug 14 und dann das Werkzeug 50 erfasst. Während einer Pulsbreite  $t_p$  kann der jeweilige Aktor, der jedem der Werkzeuge 12, 14, 50 zugeordnet ist, mit Wärme bestrahlt werden, um eine Verstellung des jeweiligen Werkzeugs zu bewirken. Hierzu ist die Winkellage des Werkzeughalters 10 heranzuziehen, die mittels eines Winkelencoders an einer dem Werkzeughalter 10 zugeordneten Spindel ermittelt wird. Der Winkelencoder erzeugt ein Rechtecksignal 52.

[0059] Die Pulsbreite  $t_p$  ist derart gewählt, dass die Energiezufuhr beendet wird, sobald der zu erwärmende Bereich des jeweiligen thermischen Aktors den Bereich der Wärmestrahlungsquelle wieder verlassen hat.

[0060] Somit ergibt sich beispielsweise für die kontrollierte Erwärmung eines 20 mm breiten thermischen Aktors auf einem Werkzeughalter, bei dem die thermischen Aktoren auf einem Durchmesser von 100 mm angeordnet sind, eine Pulsbreite von ca. 4 ms bei einer Betriebsdrehzahl von 1.000 Umdrehungen/min. Bei einer Betriebsdrehzahl von 20.000 Umdrehungen/min ergibt sich demzufolge eine Pulsbreite von ca. 200  $\mu$ s.

[0061] Aufgrund dieser sehr kurzen Pulsbreiten ist es vorteilhaft, dass erfindungsgemäß eine Vielzahl von Wärmestrahlungselementen angeordnet ist, so wie dies im linken Bild von Fig. 3 dargestellt ist. Die Bestrahlungsdauern der einzelnen Aktoren können dadurch signifikant verlängert werden, da sie quasi-kontinuierlich beleuchtet und somit erwärmt werden können. Die Beleuchtung bzw. Bestrahlung eines Aktors kann somit durch eine Vielzahl von Wärmestrahlungselementen realisiert werden, wobei jeweils nur ein oder wenige Wärmestrahlungselemente jeweils einen Aktor bestrahlen. Da der Aktor rotiert, während das Ringlicht stillsteht, sind zu diesem Zweck die Wärmestrahlungselemente sukzessiv zu aktivieren und zu deaktivieren. Die Steuerung der Wärme-

strahlungselemente erfolgt dabei mittels einer Steuerungseinrichtung, welche die Aktivierung und Deaktivierung steuert.

**[0062]** Fig. 5 zeigt einen Teil dieser Steuerungseinrichtung 54 mit einer Leistungselektronik für eine Vielzahl von Wärmestrahlungselementen 36. Fig. 5 zeigt diese Vielzahl von Wärmestrahlungselementen 36 in Form von Infrarot-Leuchtdioden, welche über Transistoren 56 gesteuert mit elektrischer Energie versorgt werden. Diese Transistoren 56 sind beispielsweise als MOSFET ausgebildet. Eine Besonderheit der dargestellten Schaltung besteht darin, dass die Wärmestrahlungselemente 36 mit sehr hohen Leistungen hoch dynamisch geschaltet werden können. Der Eingang +Vin bezeichnet die Eingangsspannung der Wärmestrahlungselemente 36. Die kreisförmig angeordneten Wärmestrahlungselemente 36 sind in Fig. 5 zusätzlich mit D01 bis Dn bezeichnet. An jedes dieser Wärmestrahlungselemente ist ein Transistor angeschlossen, die in Fig. 5 zusätzlich mit T01 bis Tn bezeichnet sind. Die Widerstände 58, die in Fig. 5 zusätzlich mit R01 bis Rn bezeichnet sind, sorgen dafür, dass die jeweiligen Transistoreingänge im Grundzustand nicht geschaltet sind und die jeweiligen Wärmestrahlungselemente 36 somit nicht aktiviert sind. Erst beim Anlegen einer Steuerspannung S01 bis Sn wird der jeweilige Transistor geschaltet und damit das zugehörige Wärmestrahlungselement 36 aktiviert.

**[0063]** Mittels einer Pulsweitenmodulation der Steuerspannung S01 bis Sn ist es ferner möglich, ein aktiviertes Wärmestrahlungselement 36 in seiner Leistung zu regeln.

**[0064]** Fig. 6 zeigt einen Ausschnitt der Schaltung gemäß Fig. 5 zur Erläuterung zweier Möglichkeiten der Leistungsregelung der Wärmestrahlungselemente 36.

**[0065]** Der obere Abschnitt der Schaltung gemäß Fig. 6 (umfassend den Eingang +Vin, das Wärmestrahlungselement 36 sowie den Transistor 56) zeigt eine erste Möglichkeit der Leistungsregelung und zwar über eine Pulsweitenmodulation 62 der Versorgungsspannung, die der Schaltung über den Eingang +Vin zugeführt wird. Hierdurch werden alle Wärmestrahlungselemente 36, die mit diesem Eingang verbunden sind, mit gleicher Intensität betrieben.

**[0066]** Der untere Abschnitt der Schaltung gemäß Fig. 6 (umfassend den Eingang für die Steuerspannung S01, den Widerstand 58 bzw. R01 und die Masseverbindung GND) zeigt eine zweite Möglichkeit der Leistungsregelung und zwar über eine Pulsweitenmodulation 64 des Transistors 56 bzw. T01 über die dem Transistoreingang 60 zugeführte Steuerspannung S01. Bei dieser Möglichkeit sind alle Wärmestrahlungselemente 36 mit einer individuellen Intensität steuerbar.

**[0067]** Fig. 7 zeigt eine Darstellung zur Erläuterung der Steuerungseinrichtung 54 zur Leistungsregelung der Wärmestrahlungselemente 36, die in der Lage ist, die Wärmestrahlungselemente 36 derart sukzessiv zu aktivieren und zu deaktivieren, dass eine Wärmezufuhr der Rotation eines thermischen Aktors folgen kann. Die Steuerungseinrichtung 54 umfasst einen Winkelencoder 66 der Antriebsspindel 68 der Werkzeugmaschine. Der Winkelencoder 66 erzeugt ein Signal REV zur Erkennung der Drehzahl einer Antriebsspindel 68 bzw. deren Winkelposition, welches je Umdrehung der Spindel einen Rechteckimpuls 69 umfasst, sowie ein kontinuierliches Rechtecksignal ENC, welches je Umdrehung der Spindel eine definierte Vielzahl von Rechteckimpulsen aufweist.

**[0068]** Ein Mikrocontroller 70 erzeugt aus dem Signal REV ein Signal ACT, bei welchem ein Rechteckimpuls einem Wärmestrahlungselement zugeordnet ist.

**[0069]** Außerdem erzeugt der Mikrocontroller 70 anhand der Position eines Werkzeugs  $\Delta$  sowie der gewünschten Verstellung dieses Werkzeugs ein pulswidenmoduliertes Signal PWM, welches als integriertes Signal in Fig. 7 dargestellt ist. Eine Schieberegisterschaltung 72 erhält das Signal REV als ein serielles Datensignal SERIN, welches entsprechend einem von dem Signal ACT abgeleiteten Taktsignal CLK an den jeweils nächsten Ausgang Qx weiter geschoben wird. Die Signale S01 bis S08 an den Ausgängen O0 bis O7 einzelner Schieberegister SR0 bis SRn dienen zum Aktivieren der jeweiligen Wärmestrahlungselemente 36.

**[0070]** Über jeweils einen weiteren Eingang an den jeweiligen Schieberegistern SR0 bis SRn können sämtliche Ausgänge O0 bis O7 eines Schieberegisters SR0 bis SRn aktiv oder inaktiv geschaltet werden. Auf diese Weise kann eine Leistungssteuerung der jeweiligen LED erzielt werden. Ferner ist die direkte Ansteuerung eines Wärmestrahlungselements 36 über seinen zugeordneten Transistor 56 mittels des Mikrocontrollers 70 möglich, wenn dieser über eine entsprechende Anzahl von Ausgängen verfügt.

**[0071]** Beispielsweise wird das serielle Datensignal SERIN einmal pro Umdrehung aus dem Winkelencoder 66 generiert. Es markiert somit den Start eines Umlaufs des Ringlichts. Überspannt dieses Datensignal mehrere Takte eines Schieberegisters, werden mehrere Wärmestrahlungselemente 36 gleichzeitig aktiviert, so dass ein breiterer Bereich beleuchtet werden kann als mit nur einem Wärmestrahlungselement. Im unteren Abschnitt von Fig. 7 sind vier Winkelpositionen eines Werkzeughalters 10 gegenüber dem zugehörigen Ringlicht 34 dargestellt, wobei jeweils zwei Wärmestrahlungselemente 36 einen thermischen Aktor bestrahlen können.



**[0072]** Als Taktsignal für das Schieberegister werden pro Umlauf so viele Impulse generiert, wie Wärmestrahlungselemente **36** auf dem Ringlicht **34** angeordnet sind. Dies geschieht entweder durch das Auswerten der Spindeldrehzahl und der entsprechenden Erzeugung eines Taktsignals über den Mikrocontroller **70** oder über das direkte Auswerten des Winkelencoders **66** mithilfe eines Impulsteilers.

**[0073]** Fig. 8 zeigt eine Darstellung eines Werkzeughalters **10** mit einer Einrichtung **74** zum dynamischen Wuchten, die eine Kammer **76** zur Aufnahme einer Flüssigkeit **78** sowie ein Steigrohr **80** aufweist, das mit der Kammer fluidisch verbunden ist. Das Steigrohr weist zum inneren zentralen Bereich des Werkzeughalters **10** und somit von seinem äußeren Umfang weg. Die Kammer **76** und das Steigrohr **80** sind mit einem derartigen Volumen der Flüssigkeit **80** befüllt, dass bei rotierendem Werkzeughalter **10** das Steigrohr bei einer minimalen Betriebstemperatur nur bis zu einem minimalen Füllstand mit Flüssigkeit gefüllt ist, während das Steigrohr bei einer maximalen Betriebstemperatur bis zu einem maximalen Füllstand mit Flüssigkeit gefüllt ist. Diese unterschiedlichen Füllstände resultieren aus der Wärmeausdehnung der Flüssigkeit **78**. Auf diese Weise kann durch Erwärmung der Flüssigkeit **78** der Schwerpunkt der Flüssigkeit innerhalb des Steigrohrs **80** verschoben werden, wodurch die Massenverteilung des gesamten Werkzeughalters **10** beeinflusst werden kann.

**[0074]** Durch gezielte Erwärmung der Flüssigkeiten **78** in den Kammern **76** kann der rotierende Werkzeughalter **10** während des Betriebs gewuchtet werden, um etwaigen entstehenden Unwuchten entgegenzuwirken.

**[0075]** Vorteilhafterweise sind zu diesem Zweck die Kammern **76** nebst den zugehörigen Steigrohren diametral den einzelnen thermischen Aktoren gegenüberliegend angeordnet, was insbesondere bei einer Konfiguration mit einer ungeraden Anzahl von Aktoren vorteilhaft ist. Aber auch bei einer geraden Anzahl von Aktoren können derartige Kammern und Steigrohre zwischen den einzelnen Aktoren angeordnet sein, um ein dynamisches Wuchten zu ermöglichen.

**[0076]** Vorteilhafterweise liegen die Kammern **76** im gleichen radialen Abstand wie die thermischen Aktoren, so dass die Kammern **76** ebenfalls von den Wärmestrahlungselementen **36** bestrahlt werden können und mittels der Steuerungseinrichtung **54** können dann auch die Kammern erwärmt und somit die Massenverteilungen beeinflusst werden, um etwaigen durch Werkzeugverschleiß oder Aktorenverstellung bedingten Massenverschiebungen entgegenwirken zu können.

**[0077]** Insgesamt ermöglicht die Erfindung durch gezielte Verstellung von Werkzeugen und Massen die

Präzision von Werkzeugmaschinen sowie die Bearbeitungsgeschwindigkeiten derartiger Werkzeugmaschinen signifikant zu erhöhen.

**[0078]** Die vorliegende Erfindung ist anhand einer Werkzeugmaschine mit einem rotierenden Werkzeughalter zur Aufnahme eines Werkzeugs erläutert worden. Die Erfindung ist jedoch nicht auf derartige Werkzeugmaschinen beschränkt, sondern umfasst auch andere Arbeitsmaschinen mit rotierenden Haltern für Maschinenteile. Beispielsweise kann es sich bei derartigen Maschinenteilen um Flügelräder bzw. Luftschaufeln von hochpräzise laufenden und schnell drehenden Pumpen oder Ventilatoren handeln, bei denen in besonderen Anwendungsfällen die Flügelräder bzw. Luftschaufeln mit nur sehr geringen Abständen zu einer umgebenden Wandung betrieben werden. Ferner kann es sich bei derartigen Maschinenteilen um Schneiden handeln, mittels denen eine Masse oder viskose Substanz zerkleinert wird.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- „Control of a thermal actuator for UP-milling with multiple cutting edges“ von Lars Schönemann, Olthmann Riemer und Ekkard Brinksmeier, veröffentlicht in Procedia CIRP, Bd. 46 (2016), S. 424 - 427 [0002]

## Patentansprüche

1. Arbeitsmaschine mit einem rotierenden Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeugmaschine mit einem rotierenden Werkzeughalter (10), wobei dieser Halter wenigstens einen thermischen Aktor (20, 40) zur Aufnahme eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs (12, 14), aufweist, mittels dem das Maschinenteil, insbesondere Werkzeug (12, 14), verstellbar ist, wenigstens einer Wärmequelle (34) zum berührungslosen Erwärmen des thermischen Aktors (20, 40) und einer Steuerungseinrichtung (54) zur Steuerung der Wärmequelle (34) hinsichtlich ihrer Leistungsabgabe, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (34) als axial vom Halter (10) beabstandetes und stationär angeordnetes Ringlicht (34) ausgebildet ist, das eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten, elektrisch angesteuerten Wärmestrahlungselementen (36) aufweist, wobei die Steuerungseinrichtung die Wärmestrahlungselemente (36) derart aufeinanderfolgend aktiviert und deaktiviert, dass aktivierte Wärmestrahlungselemente (36) einen rotierenden Aktor (20, 40) mit Wärmestrahlung beaufschlagen, wobei die Steuerungseinrichtung (54) die Aktivierung und Deaktivierung der Wärmestrahlungselemente (36) derart steuert, dass das oder die sich einem Aktor (20, 40) gegenüberliegenden Wärmestrahlungselemente (36) aktiviert sind.

2. Arbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmestrahlungselemente (36) Infrarot-Leuchtdioden und/oder Laserdioden sind.

3. Arbeitsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinrichtung (54) die Leistungsabgabe eines aktivierten Wärmestrahlungselements (36) mittels einer Pulsweitenmodulation (62, 64) derart steuert, dass während einer Phase der Aktivierung des Wärmestrahlungselements (36) ein elektrisches Signal zur Erzeugung der Wärmestrahlung getaktet geschaltet wird, wobei der Takt in Abhängigkeit von einer vorgesehenen Leistungsabgabe gesteuert wird.

4. Arbeitsmaschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Pulsweitenmodulation die Versorgungsspannung (+Vin) der Wärmestrahlungselemente (36) gesteuert wird und/oder mittels der Pulsweitenmodulation eine Steuerspannung (S01, S02, ..., Sn) eines einem Wärmestrahlungselement (36) zugeordneten Transistors (56) zur elektrischen Energieversorgung des Wärmestrahlungselements (36) gesteuert wird.

5. Arbeitsmaschine nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungsabgabe in Abhängigkeit von einer gewünschten Verstellung des Bauteils, insbesondere des Werkzeugs (12, 14), erfolgt, wobei die Leistungsabgabe umso größer ist,

je größer die gewünschte Verstellung des Bauteils ist, wobei die Steuerungseinrichtung (54) eine Istposition des Bauteils erfasst oder ermittelt und mit einer Sollposition vergleicht und anhand des Ergebnisses des Vergleichs die Leistungsabgabe regelt.

6. Arbeitsmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei jeweils als Ringlicht (34) ausgebildete Wärmequellen (34) vorgesehen sind, wobei in axialer Richtung betrachtet das erste Ringlicht (34) vor dem Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter (10), und das zweite Ringlicht hinter diesem Maschinenteilhalter angeordnet sind.

7. Arbeitsmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermische Aktor (20, 40) derart ausgebildet ist, dass er bei Erwärmung eine Längenausdehnung in radialer Richtung des Maschinenteilhalters, insbesondere Werkzeughalters (10), ausführt, um das Werkzeug (12, 14) radial zu verstellen.

8. Arbeitsmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermische Aktor (20, 40) zwei thermisch voneinander getrennte Abschnitte aufweist, so dass das erste Ringlicht (34) einen ersten dieser Abschnitte und das zweite Ringlicht einen zweiten dieser Abschnitte bestrahlen kann.

9. Arbeitsmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter (10), wenigstens eine Kammer (76) zur Aufnahme einer Flüssigkeit (78) aufweist, wobei die Kammer (76) mit einem Steigrohr (80) fluidisch verbunden ist, das vom äußeren Umfang des Maschinenteilhalters weg weist, wobei die Kammer (76) und das Steigrohr (80) mit einem derartigen Volumen der Flüssigkeit (78) gefüllt sind, dass bei rotierendem Maschinenteilhalter bei einer minimalen Betriebstemperatur das Steigrohr (80) nur bis zu einem minimalen Füllstand mit Flüssigkeit (78) gefüllt ist und dass bei einer maximalen Betriebstemperatur das Steigrohr (80) bis zu einem maximalen Füllstand mit Flüssigkeit (78) gefüllt ist.

10. Arbeitsmaschine nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass je eine Anordnung aus einer Kammer (76) und einem Steigrohr (80) jeweils einem von mehreren thermischen Aktoren (20, 40) zugeordnet ist, wobei vorzugsweise jede Anordnung aus Kammer (76) und Steigrohr (80) einem Aktor (20, 40) diametral gegenüberliegend angeordnet ist.

11. Verfahren zum Justieren eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs (12, 14), einer Arbeitsmaschine, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einem rotierenden Maschinenteilhalter,

insbesondere Werkzeughalter (10), der einen thermischen Aktor (20, 40) aufweist, der das Maschinenteil, insbesondere Werkzeug (12, 14), aufnimmt, wobei das Maschinenteil, insbesondere Werkzeug (12, 14), mittels des Aktors (20, 40) verstellt wird, wobei mittels einer Wärmequelle (34) der Aktor (20, 40) berührungslos erwärmt wird, wobei die Wärmequelle (34) mittels einer Steuerungseinrichtung (54) hinsichtlich ihrer Leistungsabgabe gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (34) als axial vom Maschinenteilhalter, insbesondere Werkzeughalter (10), beabstandetes und stationär angeordnetes Ringlicht (34) ausgebildet ist, das eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten und elektrisch angesteuerten Wärmestrahlungselementen (36) aufweist, wobei die Steuerungseinrichtung (54) die Wärmestrahlungselemente derart aufeinanderfolgend aktiviert und deaktiviert, dass aktivierte Wärmestrahlungselemente (36) einen rotierenden Aktor (20, 40) mit Wärmestrahlung beaufschlagen, wobei die Steuerungseinrichtung (54) die Aktivierung und Deaktivierung derart steuert, dass das oder die sich einem Aktor (20, 40) gegenüberliegend befindenden Wärmestrahlungselemente (36) aktiviert werden.

12. Ringlicht für eine Arbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 11, wobei das Ringlicht (34) eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten und elektrisch ansteuerbaren Wärmestrahlungselementen (36) aufweist, welche aufeinanderfolgend aktivierbar und deaktivierbar sind.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

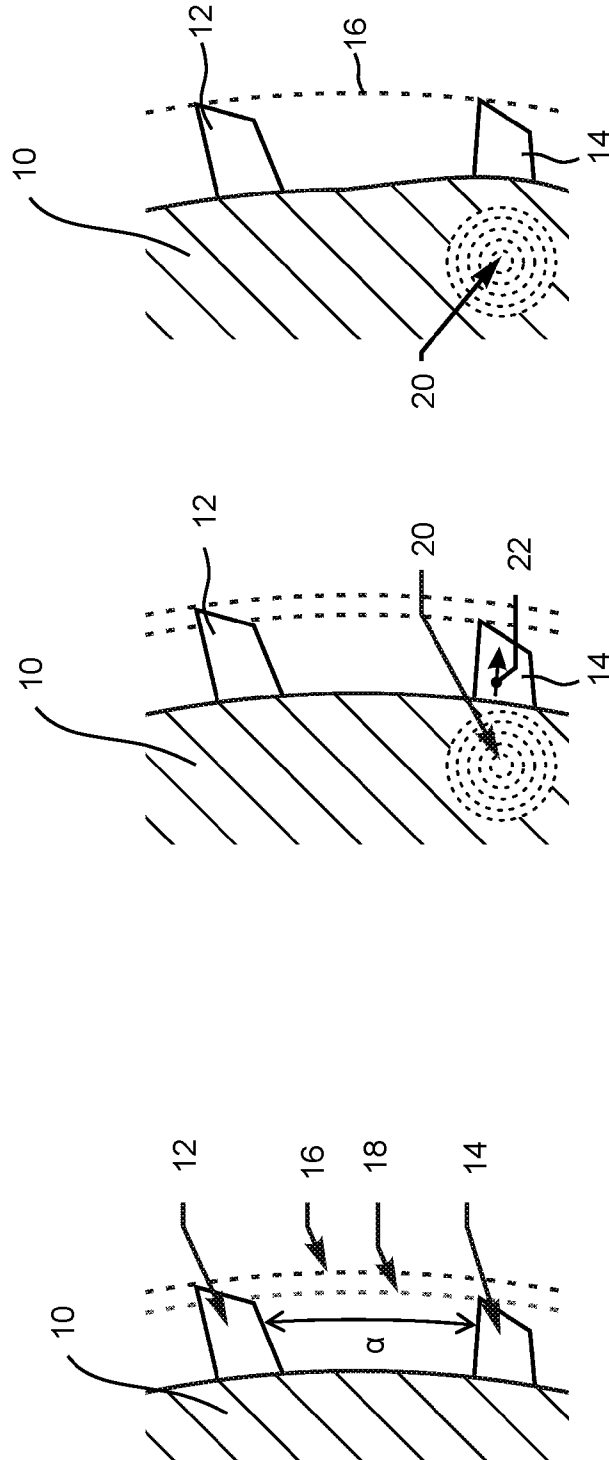


Fig. 1

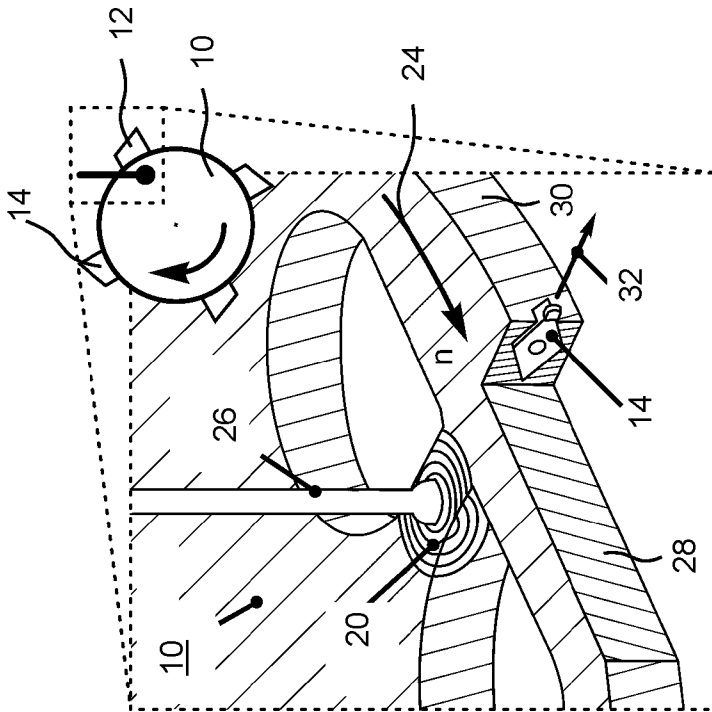


Fig. 2

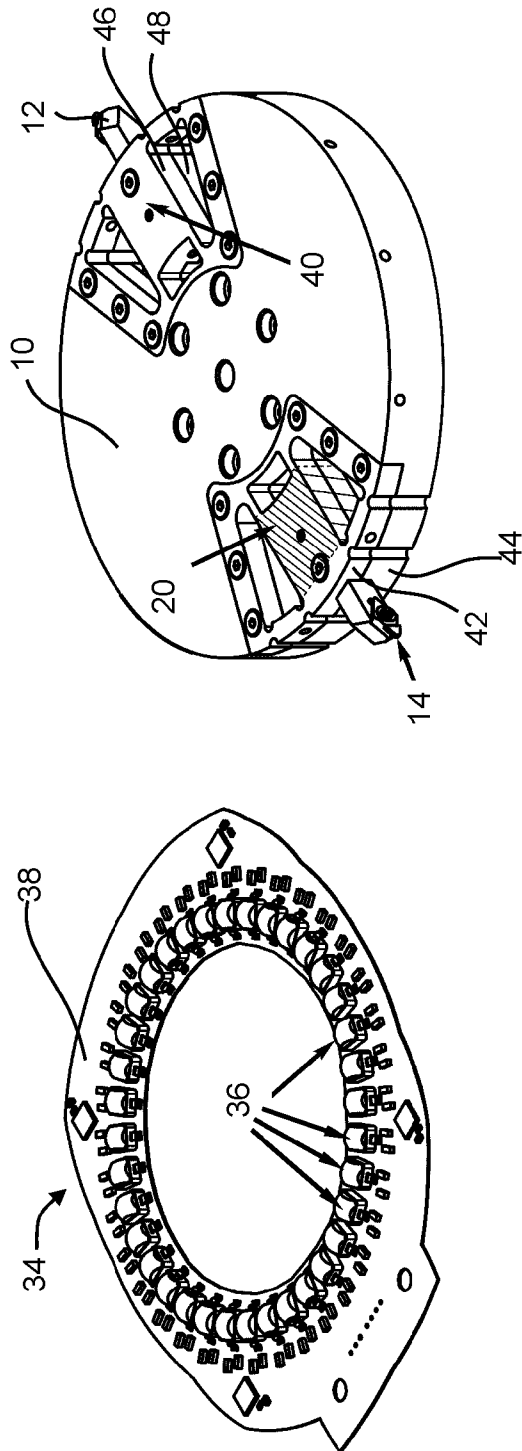


Fig. 3

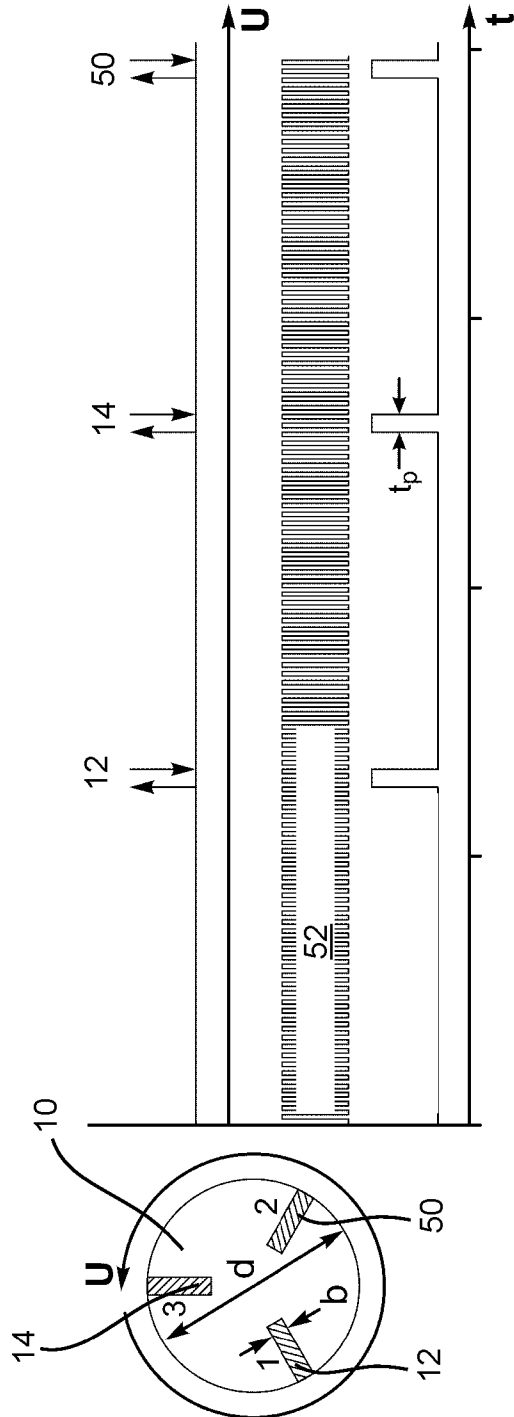


Fig. 4



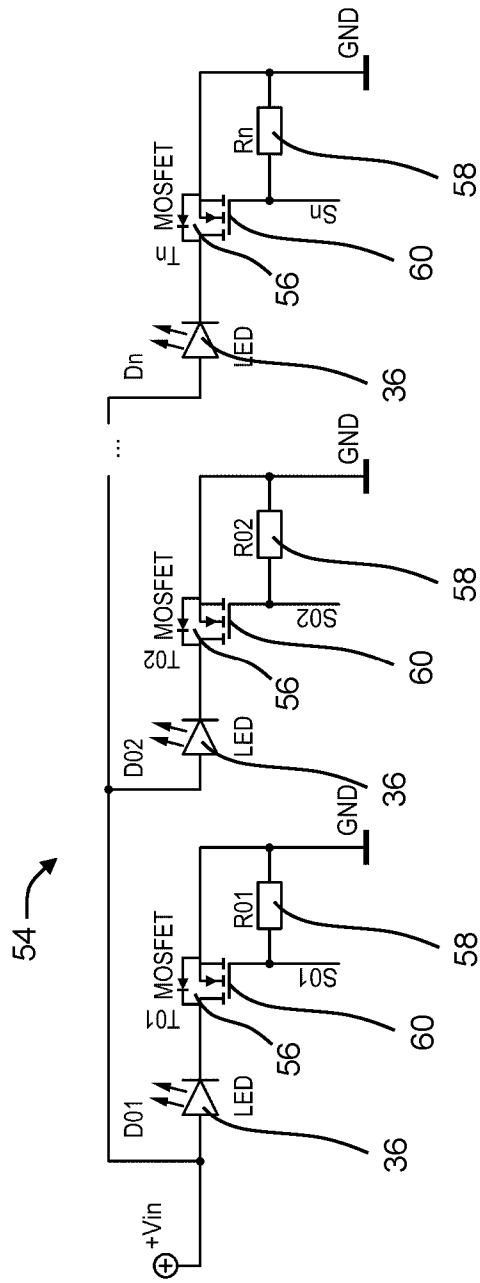


Fig. 5

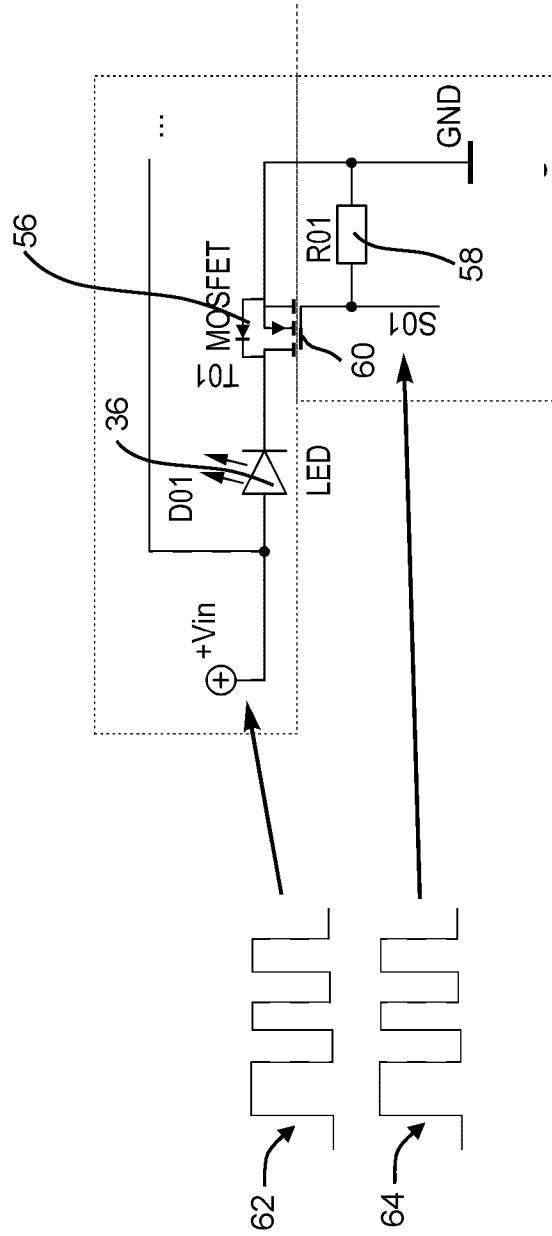


Fig. 6

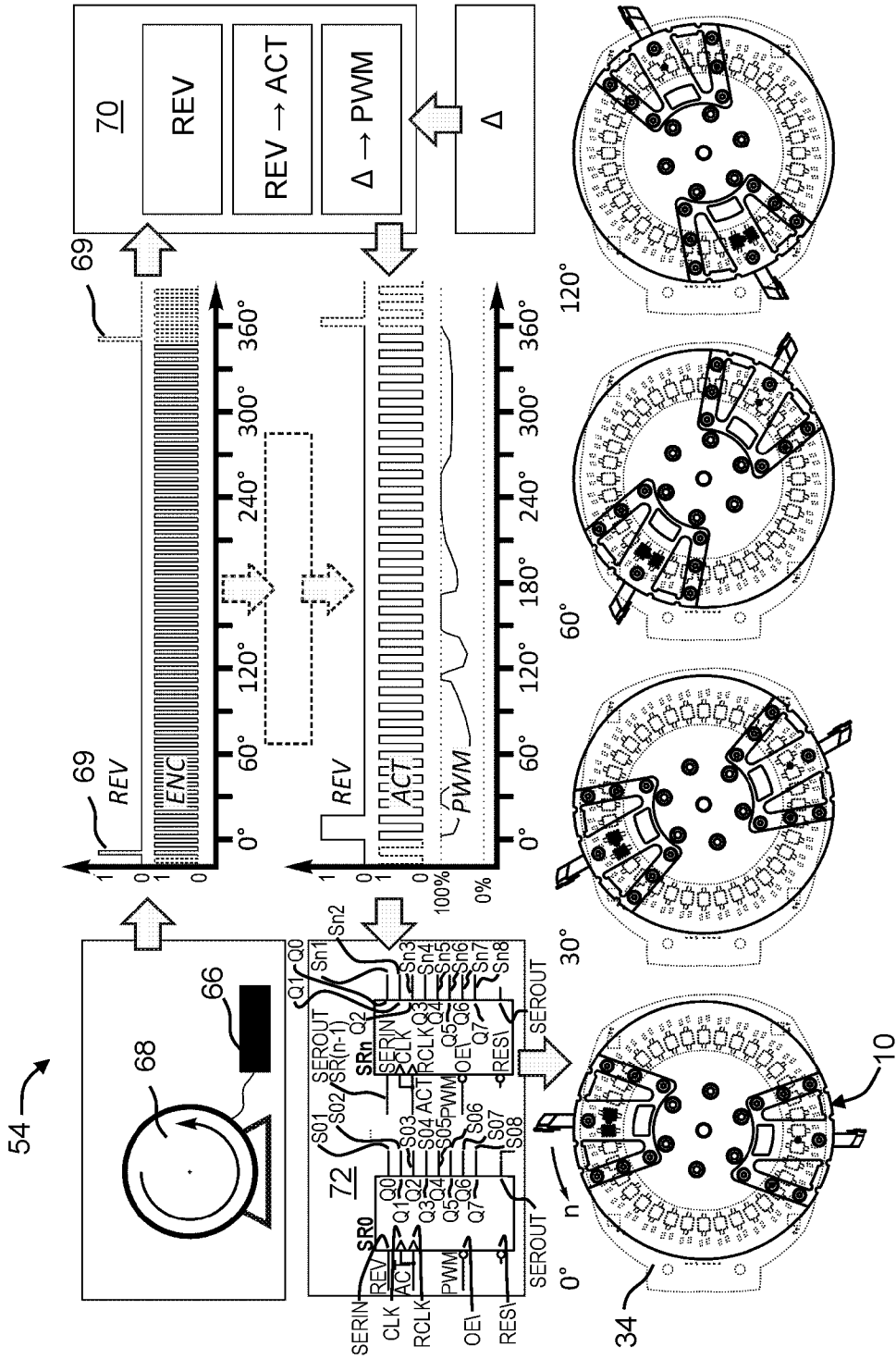


Fig. 7

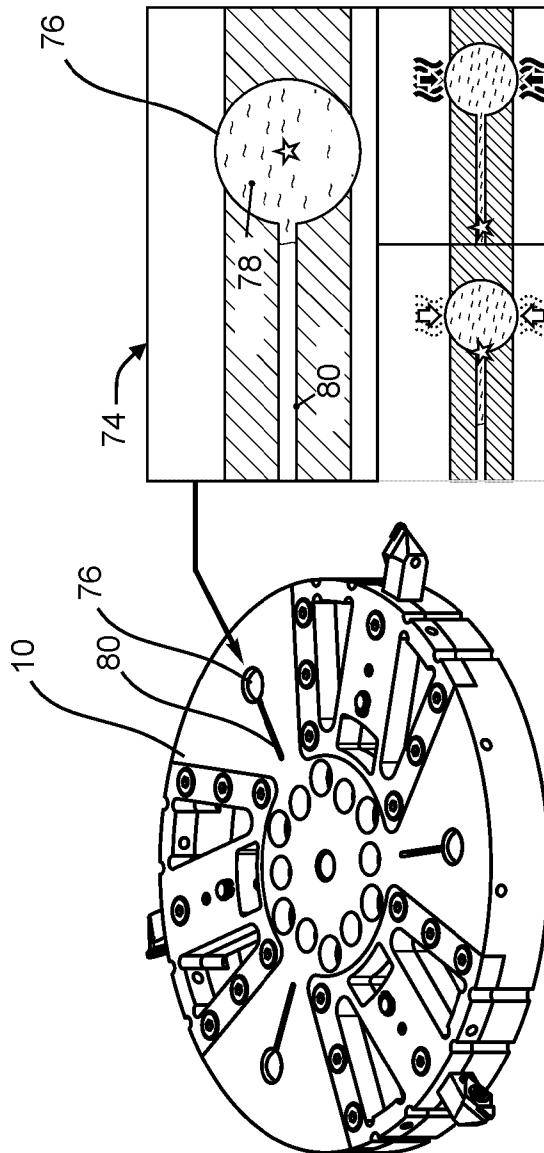


Fig. 8