



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 043 659 A1** 2007.03.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 043 659.5**

(22) Anmeldetag: **13.09.2005**

(43) Offenlegungstag: **15.03.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B23Q 17/00** (2006.01)
B23Q 17/22 (2006.01)

(71) Anmelder:
Blum-Novotest GmbH, 88287 Grünkraut, DE

(74) Vertreter:
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München**

(72) Erfinder:
Reiser, Wolfgang, Como, IT

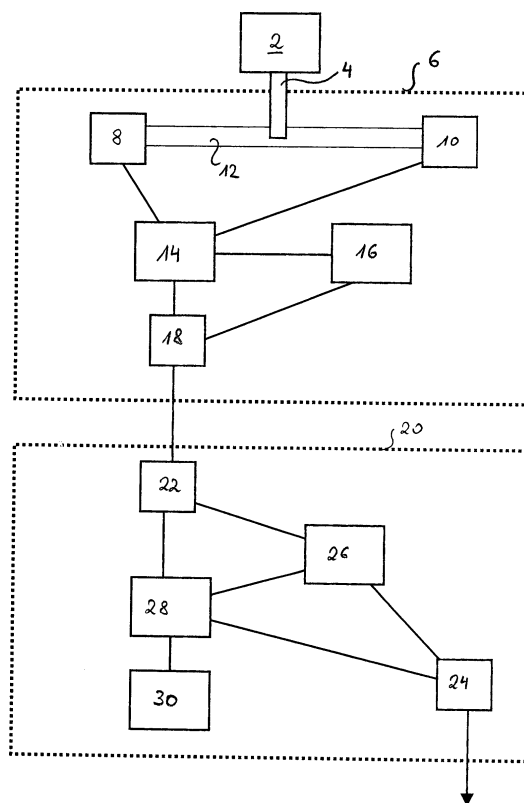
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 103 61 920 A1
DE 101 40 822 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Kontrolle eines drehantreibbaren Werkzeugs**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Kontrolle eines drehantreibbaren Werkzeugs, mit folgenden Schritten: Ermitteln eines Radius an dem Werkzeug und Vergleichen des Radius und eines Referenzwerts, um einen Radiusvergleichswert zu erhalten, und mit folgenden Schritten, wenn der Radiusvergleichswert einen vorbestimmten Grenzwert verletzt: Ermitteln eines neuen Referenzwerts unter Verwendung des Radius und Ersetzen des Referenzwerts durch den neuen Referenzwert.



Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen den Bereich von Werkzeugmaschinen und damit verwendbare Verfahren und insbesondere ein Verfahren, um drehantreibbare Werkzeuge hinsichtlich von Rundlauffehlern zu kontrollieren.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Bei Werkzeugmaschinen verwendete, drehantreibbare Werkzeuge weisen oftmals Rundlauffehler auf. Rundlauffehler können bei Maschinen mit Hohlkegelschaft (HSK) auftreten, wenn sich in Bereichen einer Spindel, die zur Anlage von Werkzeugschäften dienen, Verschmutzungen, wie zum Beispiel Späne, anlagern. Bei Werkzeugmaschinen mit Steilkegel (SK) kann der gesamte zur Werkzeugaufnahme dienende Kegel und/oder in diesem anzuordnende Bereiche des Werkzeugs selbst verschmutzt sein. Insbesondere bei Werkzeugwechseln während eines Bearbeitungsvorgangs werden derartige Verschmutzungen trotz Reinigungsmaßnahmen, beispielsweise durch Einspritzen von Kühlmittel und/oder Luft, nicht (vollständig) vermieden. Die Folge ist, dass die Werkzeuge dann bei Werkzeugmaschinen mit Hohlkegelschaftkegel nicht plan an entsprechenden Bereichen von Spindelaufnahmen anliegen und bei Werkzeugmaschinen mit Steilkegel nicht vollständig eingezogen werden.

[0003] Eine fehlerhafte Anordnung von Werkzeugen in einer Werkzeugmaschine kann zu Rundlauffehlern führen. Bei rotierendem Werkzeug tritt ein Radialschlag auf, der sich insbesondere bei biegesteifen Werkzeugen (zum Beispiel Ausdrehwerkzeugen) während einer Bearbeitung eines Werkstücks dahingehend negativ bemerkbar machen kann, dass gewünschte Bearbeitungstoleranzen nicht eingehalten werden. Ferner können Rundlauffehler zu Belastungen von Werkzeugen führen, die diese bei Bearbeitung beschädigen oder zerstören. Bei Bearbeitungsvorgängen mit geringen Toleranzen können Rundlauffehler von weniger als 0,01 mm bereits zu einer fehlerhaften Bearbeitung und damit zu Ausschuss führen.

[0004] Bei Werkzeugmaschinen mit Hohlkegelschaftkegel wird versucht, mittels Näherungssensoren festzustellen, ob ein Werkzeug korrekt gehalten ist, d.h. an entsprechenden Spindelbereichen plan anliegt. Dieser Ansatz hat den Nachteil, dass nur Fehler erkannt werden, die verglichen mit geforderten Bearbeitungstoleranzen zu groß sind. Kleinere Fehler werden nicht erkannt und führen zu Rundlauffehlern und damit verbundenen Bearbeitungsfehlern.

[0005] Ein anderer Ansatz besteht darin, den Flug-

kreis eines sich drehenden Werkzeugs mittels eines optischen Meßsystems, beispielsweise in Form einer Laser-Lichtschranke, zu erfassen. Der erfasste Flugkreis wird mit einem vorbestimmten, zur Einhaltung von Bearbeitungstoleranzen geeigneten Referenzflugkreis verglichen. Ergibt sich ein Grenzwert überschreitender Flugkreis, wird auf einen zu großen Rundlauffehler geschlossen. Ein Nachteil bei diesem Ansatz besteht darin, dass die Genauigkeit der Flugkreiserfassung nicht ausreicht, um kleine, aber für gewünschte Bearbeitungstoleranzen bedeutsame Rundlauffehler zu erkennen. Beispielsweise können Rundlauffehler nicht erkannt werden, die kleiner als die Positioniergenauigkeit des Werkzeugs durch die Werkzeugmaschine sind. Auch Flugkreiserfassungen verfälschende Einfüße, wie zum Beispiel Nebel und Flüssigkeitspartikel in der Umgebung des Werkzeugs und Kühlmittelreste auf dem Werkzeug, können zu einer (Un)Genauigkeit führen, die keine kleinen Rundlauffehler erkennen lässt.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem drehantreibbare Werkzeuge hinsichtlich von Rundlauffehlern genauer und schneller kontrolliert werden können.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0007] Zur Lösung der obigen Aufgabe stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und ein Programmprodukt gemäß den unabhängigen Ansprüchen bereit.

[0008] Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0009] So ist es beispielsweise vorgesehen, dass der bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelte Radius ein Flugkreisradius ist.

[0010] Bei einer bevorzugten Ausführungsform, die auch als analoge Variante bezeichnet werden kann, wird ein maximaler Radius oder ein durch Mittelwertbildungen mehrerer größter Radien ermittelter, mittlerer maximaler Radius an dem Werkzeug ermittelt und mit dem Referenzwert verglichen. Der daraus resultierende Radiusvergleichswert wird mit dem vorbestimmten Grenzwert verglichen. Bei einer Grenzwertverletzung wird ein neuer Referenzwert unter Verwendung des ermittelten maximalen oder des ermittelten mittleren maximalen Radius' ermittelt und verwendet, um den anfänglich verwendeten Referenzwert zu ersetzen.

[0011] Hierbei ist es möglich, dass der neue Referenzwert im Wesentlichen dem ermittelten maximalen oder dem ermittelten mittleren maximalen Radius entspricht.

[0012] Bei einer weiteren Ausführungsform, die auch als digitale Variante bezeichnet werden kann, wird ein Referenzradius, der als Referenzwert verwendet wird, festgelegt und mit einem an dem Werkzeug ermittelten Radius verglichen. Verletzt der sich dabei ergebene Radiusvergleichswert den vorbestimmten Grenzwert, wird unter Verwendung des ermittelten Radius der neue Referenzwert ermittelt und verwendet, um den anfänglich verwendeten Referenzwert zu ersetzen.

[0013] Ist eine Grenzwertverletzung festgestellt worden, kann ein Durchmesser an dem Werkzeug ermittelt und mit einem Referenzdurchmesser verglichen werden, um einen Durchmesservergleichswert zu erhalten. Wenn der Durchmesservergleichswert einen vorbestimmten Durchmessergrenzwert verletzt, ist es vorgesehen, den neuen Referenzwert unter Verwendung des ermittelten Radius' zu ermitteln und den Referenzwert durch den neuen Referenzwert zu ersetzen.

[0014] Bei der Ermittlung des Durchmesser ist es möglich, einen Radius an dem Werkzeug zu ermitteln und auf der Grundlage des hier ermittelten Radius' und des ermittelten Radius', der mit dem Referenzradius verglichen wird, den Durchmesser zu ermitteln.

[0015] Ist eine Verletzung des Durchmessergrenzwerts festgestellt worden, kann von einem Rundlauffehler des Werkzeugs ausgegangen werden.

[0016] Für Messungen an dem Werkzeug, insbesondere hinsichtlich von Radien und/oder Durchmessern, ist es vorgesehen, Werkzeugbereiche zugrunde zu legen, die im Querschnitt quer zur Werkzeuglängsachse im Wesentlichen kreisförmig sind. Hierfür kann beispielsweise der Schaft des Werkzeugs oder ein an dem Werkzeug angeordneter Referenzzylinder oder -ring verwendet werden.

[0017] Wenn ein Durchmesser des Werkzeugs ermittelt werden soll, ist es möglich, den Radius an einer ersten Messposition zu ermitteln, während der Durchmesser an einer zweiten Messposition ermittelt wird. Diese Ausführungsform ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der Durchmesser auf der Grundlage von Radiusmessungen ermittelt wird.

[0018] Vorzugsweise wird vor Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine sogenannte Initialisierung durchgeführt. Bei einer Initialisierung wird vorteilhaftweise davon ausgegangen, dass kein Rundlauffehler des Werkzeugs vorliegt. Zur Initialisierung ist es vorgesehen, einen ersten Initialisierungsradius an dem Werkzeug zu ermitteln und auf dessen Grundlage einen Initialisierungsradius zu ermitteln. Der Initialisierungsradius wird bei einer nachfolgenden Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als anfänglich zu ver-

wendeter Referenzwert eingesetzt.

[0019] Um zu überprüfen, ob bei einer Initialisierung ein Rundlauffehler vorliegt oder nicht, kann ein Initialisierungsdurchmesser des Werkzeugs ermittelt und mit einem vorbestimmten Durchmesser verglichen werden. Wenn der Initialisierungsdurchmesser kleiner als der vorbestimmte Durchmesser ist, kann bei einer Ausführungsform davon ausgegangen werden, dass kein Rundlauffehler vorliegt. Dann ist es vorgesehen, die Schritte, den Initialisierungsdifferenzradius zu ermitteln und als anfänglich zu verwendenden Referenzwert festzulegen, durchzuführen.

[0020] Vorzugsweise werden für Messungen an dem Werkzeug, insbesondere hinsichtlich von Radien und gegebenenfalls Durchmessern, den sogenannten Moment der Trennung von Werkzeug und Messstrahlung zugrunde gelegt. Nähere Ausführungen hierzu finden sich in der Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen.

[0021] Letzteres gilt auch für Messungen, bei denen Schneiden unterschiedlicher Längen berücksichtigt werden.

[0022] Das erfindungsgemäße Programmprodukt weist Programmcodeteile, Software, Daten und dergleichen auf, die die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglichen.

[0023] Es ist vorgesehen, das erfindungsgemäße Programmprodukt auf einem computerlesbaren Speichermedium, das ein tragbares Medium sein kann, und/oder in einer computerlesbaren Speichereinheit und/oder in einer Steuerung einer Werkzeugmaschine oder in Zuordnung zu derselben zu speichern.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0024] Bei der folgenden Beschreibung wird auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, die zeigen:

[0025] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung vorgesehenen Systems;

[0026] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2F](#) bei der vorliegenden Erfindung vorgesehene Messverfahren;

[0027] [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) bei der vorliegenden Erfindung vorgesehene Messprinzipien;

[0028] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) schematische Darstellungen zur Veranschaulichung von bei der vorliegenden Erfindung ermittelbaren Größen;

[0029] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) bevorzugte Ausführ-

rungsformen zur erfindungsgemäßen Bestimmung von Radien und Durchmessern;

[0030] [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) schematische Darstellungen zur Veranschaulichung von Rundlauffehler bewirkenden Ursachen;

[0031] [Fig. 7](#) eine grafische Darstellung von erfindungsgemäß ermittelten Vergleichswerten;

[0032] [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8C](#) bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehene Signale, und

[0033] [Fig. 9A](#) bis [Fig. 9C](#) bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehene Signale, und

[0034] [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehene Signale.

Ausführungsbeispiel

Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0035] [Fig. 1](#) veranschaulicht schematisch eine Anordnung von Vorrichtungen zur Durchführung der Erfindung.

[0036] Für Messungen an einem drehantreibbaren, beispielsweise mittels einer Spindel **2** in einer nicht dargestellten Werkzeugmaschine angeordneten Werkzeug **4** ist ein optisches Messsystem **6** vorgesehen. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass das Messsystem **6** Laserstrahlung verwendet. Statt Laserstrahlen können auch andere optische und/oder sonstige elektromagnetische Strahlungen verwendet werden.

[0037] Das Messsystem **6** umfasst einen Sender **8** und einen Empfänger **10**. Von dem Sender **8** abgegebene Messstrahlung **12** breitet sich im Wesentlichen geradlinig zu dem Empfänger **10** aus. Die Menge an zu dem Empfänger **10** gelangender Messstrahlung hängt davon ab, welchen Wechselwirkungen, insbesondere mit dem Werkzeug **4**, die Laserstrahlung **12** unterworfen ist.

[0038] Das Meßsystem **6** umfasst ferner eine Steuerung **14**, die insbesondere den Betrieb des Senders **8** zur Abgabe von Laserstrahlung **12** und/oder die Empfangsbereitschaft des Empfängers **10** zum Empfang von Laserstrahlung **12** steuert.

[0039] Ferner ist eine Recheneinheit **16** (optional) vorgesehen, die von der Steuerung **14** gesteuert beispielsweise verwendet werden kann, um von dem Empfänger **10** ausgegebene Signale auszuwerten, zu bearbeiten und/oder in geeignete Größen umzu-

wandeln.

[0040] Über eine Schnittstelleneinheit **18** kann das Messsystem **6** Informationen, insbesondere in Form von Signalen, ausgeben und empfangen. Über die Schnittstelleneinheit **18** können extern zugeführte Steuerbefehle für die Steuerung **14** eingegeben werden. Signale des Empfängers **10** und/oder daraus abgeleitete Signale und/oder Größen können über die Schnittstelleneinheit **18** nach außen abgegeben werden.

[0041] Zur Steuerung der nicht dargestellten Werkzeugmaschine ist eine Maschinensteuerung **20** vorgesehen. Die Maschinensteuerung **20** kann über eine Schnittstelleneinheit **22** mit dem Messsystem **6** kommunizieren. Über eine Schnittstelleneinheit **24** können Informationen und Daten zwischen der Maschinensteuerung **20** und der nicht dargestellten Werkzeugmaschine ausgetauscht werden.

[0042] Die Maschinensteuerung **20** umfasst eine Steuerung **26**, die zur Steuerung der Maschinensteuerung **20** selbst und der Werkzeugmaschine vorgesehen ist. Die Steuerung **26** kann auch verwendet werden, um den Betrieb des Messsystems **6** zu überwachen und/oder zu steuern.

[0043] Eine Recheneinheit **28** der Maschinensteuerung **20** dient zur Auswertung, Bearbeitung und Umwandlung von Daten und/oder Informationen von der Werkzeugmaschine einerseits und des Messsystems **6** andererseits.

[0044] Ein Speicher **30** wird von der Maschinensteuerung **20** verwendet, um insbesondere beim Betrieb und der Steuerung der Werkzeugmaschine benötigte Parameter und/oder Größe zu speichern. Der Speicher **30** wird auch verwendet, um hinsichtlich des Messsystems **6** benötigte Parameter und/oder Größen zu speichern. Informationen und/oder Daten, insbesondere in Form von Softwareprogrammen, können ebenfalls in dem Speicher **30** gespeichert sein.

[0045] Insbesondere ist es vorgesehen, den Speicher **30** zu verwenden, um Software, Programmcodes und/oder dergleichen, die zur Durchführung der im Folgenden beschriebenen Verfahren geeignet sind bzw. deren Durchführung ermöglichen, und/oder ermittelte Größen, Messwerte und dergleichen, die im Folgenden beschrieben sind, zu speichern. Alternativ können derartige Daten, Informationen und dergleichen von einer nicht gezeigten Speichereinheit des Messsystems **6** wenigstens teilweise bereitgestellt und/oder gespeichert werden. Ferner können derartige Informationen, Daten, Software etc. ergänzend oder wenigstens teilweise alternativ unter Verwendung eines tragbaren Speichermediums bereitgestellt und/oder gespeichert werden.

[0046] Fig. 2 veranschaulicht schematisch im Folgenden angenommene Messungen. [Fig. 2A](#) veranschaulicht von dem Sender **8** abgegebene und auf den Empfänger **10** gerichtete Messstrahlung **12**. Wenn die Messstrahlung **12** im Wesentlichen unverändert (d.h. ohne Wechselwirkung, die den Anteil an zu dem Empfänger **10** gelangender Messstrahlung **12** ausreichend reduziert), gibt der Empfänger **10** in Antwort darauf ein Ausgangssignal eines ersten, beispielsweise hohen Pegels P1 aus.

[0047] Wenn die Messstrahlung **12** wie in [Fig. 2B](#) veranschaulicht, vollständig unterbrochen wird, also keine Messstrahlung **12** zu dem Empfänger **10** gelangt, kann dieser in Antwort darauf ein Signal eines zweiten Pegels P2, beispielsweise eines niedrigen Pegels ausgeben. In [Fig. 2B](#) ist ein niedriger zweiter Pegel P2 von Null angenommen.

[0048] [Fig. 2C](#) veranschaulicht einen Fall, in dem die Messstrahlung **12** teilweise unterbrochen oder abgeschattet wird und der Empfänger **10** eine entsprechend reduzierte Menge der Messstrahlung **12** empfängt. Abhängig von der Menge empfangener Messstrahlung **12** gibt der Empfänger **10** ein Signal mit einem zwischen dem ersten Pegel P1 und dem zweiten Pegel P2 liegenden dritten Pegel P3 aus.

[0049] Wenn die Messstrahlung **12** beispielsweise durch den mit Schneiden versehenen Bereich des Werkzeugs aufgrund dessen Drehung unterschiedlich stark unterbrochen oder abgeschattet wird, gelangen abhängig von Werkzeugdrehzahl und Schneidenanzahl unterschiedliche Mengen an Messstrahlung **12** zu dem Empfänger **10**. Nimmt man vereinfacht eine konstante Werkzeugdrehzahl und eine gleichmäßige Teilung an, gibt der Empfänger **10** ein periodisches Ausgangssignal mit variablem Pegel P_v aus. Wenn dabei die Messstrahlung **12** zu keinem Zeitpunkt vollständig unterbrochen und vollständig durchgelassen wird, liegt der variable Pegel P_v des Ausgangssignals des Empfängers **10** zwischen dem ersten Pegel P1 und dem zweiten Pegel P2.

[0050] Üblicherweise werden die beispielhaften Ausgangssignale von [Fig. 2](#) des Empfängers **10** nicht unmittelbar weiter verwendet. Es kann wie folgt vorgegangen werden. Bei Messungen an dem Werkzeug **4** wird die mittlere Längsachse **12a** der Messstrahlung **12** als Messachse oder Messrichtung angenommen. Erfolgt eine Unterbrechung der Messstrahlung **12** wie in [Fig. 2E](#) gezeigt bis zu der Messrichtung **12a**, wird also die Messstrahlung **12** um weniger als die Hälfte abgeschattet, geht man von keiner Messstrahlunterbrechung aus. Wird die Messstrahlung **12** wie in [Fig. 2F](#) gezeigt um mehr als die Hälfte abgeschattet, geht man demgegenüber von einer Messstrahlunterbrechung aus.

[0051] Dies kann durch die in [Fig. 2E](#) und [Fig. 2F](#)

gezeigten Signale mit einem hohen Pegel P1' und einem niedrigen Pegel P2' angegeben werden. Die Pegel P1' und P2' können den obigen ersten und zweiten Pegeln P1 und P2 entsprechen oder sich von diesen unterscheiden. Die Signale gemäß [Fig. 2E](#) und [Fig. 2F](#) können aus dem unter Bezugnahme auf [Fig. 2A–Fig. 2D](#) beschriebenen Signalen des Empfängers **10** gewonnen werden. Alternativ ist es vorgesehen, dass der Empfänger **10** selbst die Signale gemäß [Fig. 2E](#) und [Fig. 2F](#) erzeugt. Anstelle des hier angenommenen 50%-igen Grenzwerts für Abschattungen der Messstrahlung **12** können auch andere Grenzen verwendet werden, wobei beispielsweise eine 30%-ige, 40%-ige, 60%-ige, 80%-ige oder 90%-ige Abschattung der Messstrahlung als Messstrahlunterbrechung bewertet wird.

[0052] Um Messungen an dem Werkzeug **4** durchzuführen, werden Wechselwirkungen des Werkzeugs **4** mit der Messstrahlung **12** erzeugt. Hierbei können zwei Vorgehensweisen unterschieden werden.

[0053] Bei einer Vorgehensweise wird das Werkzeug **4**, wie in [Fig. 3A](#) schematisch gezeigt, in Richtung zu der Messstrahlung **12** verfahren, bis das Werkzeug **4** wenigstens teilweise in die Messstrahlung **12** eintaucht, diese also wenigstens teilweise abschattet.

[0054] Hierbei kann beispielsweise auf ein Eintauchen des Werkzeugs **4** in die Messstrahlung **12** geschlossen werden, wenn der Anteil der Messstrahlung **12**, die zu dem Empfänger **10** gelangt, gegenüber der vom Sender **8** abgegebenen Messstrahlung wenigstens teilweise (z.B. um 50%) reduziert ist. Als Drehzahl kann zum Beispiel eine Drehzahl gewählt werden, die zusammen mit der verwendeten Verfahrensgeschwindigkeit des Werkzeugs **4** für eine vorbestimmte, gewünschte Messgenauigkeit sorgt.

[0055] Bei einer anderen Vorgehensweise, die in [Fig. 3B](#) veranschaulicht ist, wird das Werkzeug **4** zunächst so positioniert, dass die Messstrahlung **12** im Wesentlichen vollständig abgeschattet wird. Danach wird das Werkzeug **4** aus der Messstrahlung **12** heraus bewegt. Diese Vorgehensweise nutzt den sogenannten "Moment der Trennung" von Werkzeug und Messstrahlung. Dabei kann zum Beispiel als Moment der Trennung der Zeitpunkt betrachtet werden, zu dem die Messstrahlung **12** für eine vollständige Umdrehung des Werkzeugs **4** erstmals wenigstens teilweise (z.B. um 50%) abgeschattet wird. Bei Umdrehung des Werkzeugs kann dessen Drehzahl in Abhängigkeit der Werkzeugbewegung so festgelegt werden, dass eine vorbestimmte, gewünschte Messgenauigkeit erreicht wird.

[0056] Bei beiden Vorgehensweisen ist es ferner möglich, Messungen mittels der Messstrahlung **12** an Zeitpunkten oder in Zeiträumen durchzuführen, wenn

mit einer Wechselwirkung von Messstrahlung **12** und Werkzeug **4** gerechnet werden kann. Dies vermeidet Fehlmessungen aufgrund von Wechselwirkungen von Messstrahlung **12** und anderen Objekten, beispielsweise Kühlmitteltropfen, Spänen und dergleichen.

[0057] Im Folgenden wird Bezug nehmend auf die obigen Ausführungen als Moment der Trennung der Zeitpunkt betrachtet, zu dem die Messstrahlung **12** für eine Umdrehung des Werkzeugs **4** erstmals um weniger als die Hälfte abgeschattet wird. Demgegenüber wird im Folgenden bei der Vorgehensweise gemäß [Fig. 3A](#) der Zeitpunkt zugrunde gelegt, zu dem das Werkzeug **4** die Messstrahlung **12** erstmals um mehr als die Hälfte abschattet.

[0058] Wird dabei die unter Bezugnahme auf [Fig. 2E](#) und [Fig. 2F](#) beschriebene Vorgehensweise verwendet, ergeben sich die in [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) gezeigten Signalverläufe. In beiden Fällen werden also mit Schaltsignalen vergleichbare Signale erzeugt, die eine Unterbrechung bzw. Freigabe der Messstrahlung **12** angeben.

[0059] Die Vorgehensweisen gemäß [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) und die dabei erzeugten Signale können beispielsweise verwendet werden, um den Flugkreis des Werkzeugs **4** bezüglich längster und/oder kürzester Schneiden und/oder den Durchmesser des Werkzeugs zu ermitteln.

[0060] Bei einer weiteren Vorgehensweise ist es vorgesehen, Messstrahlunterbrechungen angegebene Signale gemäß [Fig. 2A–Fig. 2D](#) zu verwenden. Wenn das Werkzeug **4**, wie in [Fig. 2D](#) veranschaulicht, so in der Messstrahlung **12** positioniert wird, dass die Messstrahlung in Abhängigkeit von Werkzeugdrehzahl und Werkzeugschneidenanzahl unterschiedlich stark abgeschattet wird, ergibt sich – unter der Annahme gleich langer Schneiden, einer regelmäßigen Teilung und konstanter Drehzahl – der in [Fig. 2D](#) gezeigte Signalverlauf.

[0061] Unter Verwendung von mit Schaltsignalen vergleichbaren Signalen, wie in [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) veranschaulicht, kann auf Positionen des Werkzeugs relativ zu der Messstrahlung und auf weitere, im Folgenden beschriebene Größen, Abmessung und Parameter geschlossen werden. Wird ein solches Schaltsignal von dem Messsystem **6** zu der Maschinensteuerung **20** übertragen, kann die Maschinensteuerung **20** auf der Grundlage einer Pegeländerung des empfangenen Signals ermitteln, an welcher Position sich das Werkzeug **4** in der Werkzeugmaschine befindet. Ferner kann die Maschinensteuerung **20** Informationen über die Positionierung der Messstrahlung **12** in der Werkzeugmaschine haben.

den, welchen Abstand in radialer Richtung oder Radius ein Werkzeugbereich (z.B. das äußere Ende der längsten Schneide) bezüglich der eines anderen Werkzeugbereichs (z.B. Längsachse, Drehachse) hat. Ein Radius eines Werkzeugbereichs an dem Werkzeug **4** kann auch ohne Drehung durch Erfassen der Position des Werkzeugbereichs in Relation zu dem als Bezug verwendeten Werkzeugbereich ermittelt werden. Ein Radius eines Werkzeugbereichs kann auch ermittelt werden, indem der sich bei Drehung des Werkzeugs **4** ergebende Flugkreis des Werkzeugbereichs erfasst wird.

[0063] Unter Flugkreisradius ist dabei, betrachtet für einen Querschnitt des Werkzeugs **4** in dessen Längsrichtung, zum Beispiel der Kreis zu verstehen, entlang dem sich das radial äußere Ende der längste(n) Schneide(n) bei Werkzeugdrehung bewegt. Entsprechendes gilt für Flugkreisradien anders dimensionierter Werkzeugschneiden und Bereiche des Werkzeugs **4** ohne Schneiden. Dies ist in [Fig. 4A](#) veranschaulicht, wo das Bezugszeichen R_l den Flugkreisradius bzw. Radius der längsten Schneide(n), das Bezugszeichen R_k den Flugkreisradius bzw. Radius der kürzesten Schneide(n) und das Bezugszeichen R_s den Flugkreisradius bzw. Radius eines Werkzeugbereichs ohne Schneiden, beispielsweise der Werkzeugschaft, angeben.

[0064] Unter einem Durchmesser des Werkzeugs wird im Folgenden insbesondere der Abstand zwischen zwei Bereichen des Werkzeugs **4** verstanden, die, betrachtet für einen Querschnitt des Werkzeugs **4** in dessen Längsrichtung, auf einer Linie liegen und vom Querschnittszentrum im Wesentlichen gleich beabstandet sind. So kann der Durchmesser des Werkzeugs **4** beispielsweise bezüglich der längsten Schneide(n), der kürzesten Schneide(n) und Bereichen ohne Schneiden ermittelt werden. Die ist in [Fig. 4B](#) veranschaulicht, wo das Bezugszeichen D_l den Durchmesser bezüglich der längsten Schneide(n), das Bezugszeichen D_k den Durchmesser bezüglich der kürzesten Schneide(n) und das Bezugszeichen D_s den Durchmesser bezüglich eines Werkzeugbereichs ohne Schneiden, beispielsweise der Werkzeugschaft, angeben.

[0065] Die Radiusermittlung kann wie unter Bezugnahme auf [Fig. 5A](#) erläutert durchgeführt werden. Dabei wird hier angenommen, dass die in [Fig. 3B](#) veranschaulicht Vorgehensweise, den Moment der Trennung zugrunde zu legen, verwendet wird. Das Werkzeug **4** wird so in der Messstrahlung **12** positioniert, dass diese vollständig abgeschattet ist. Dann wird das Werkzeug **4**, wie in [Fig. 5A](#) gezeigt, aus der Messstrahlung **12** herausbewegt, bis eine Abschattung auf (z.B. 50%) erreicht ist, die zu dem in [Fig. 5A](#) gezeigten Schaltsignal führt.

[0062] Aus diesen Informationen kann ermittelt wer-

[0066] Anhand des Schaltsignals in Verbindung mit

von für die Maschinensteuerung verfügbaren Informationen über Werkzeugpositionen und gegebenenfalls über den Messstrahlungsverlauf relativ zu der Werkzeugmaschine und damit zu der Werkzeugposition kann der Radius bezüglich der längsten Schneide(n) ermittelt werden.

[0067] Um den Flugkreisradius bezüglich der kürzesten Schneide(n) und damit den Radius dessen (deren) zu ermitteln, kann beispielsweise wie folgt vorgegangen werden. Bei dieser Messung wird der Moment der Trennung zum Beispiel als der Zeitpunkt festgelegt, zu dem die Messstrahlung **12** erstmals für eine Werkzeugumdrehung von der (den) kürzesten Schneide(n) nur mehr so abgeschattet wird (z.B. 50%-ige Abschattung), dass ein Schaltsignal erzeugt wird.

[0068] Um Wechselwirkungen zwischen der Messstrahlung **12** und der kürzesten Schneide und Wechselwirkungen der Messstrahlung **12** und der längsten Schneide zu unterscheiden, kann wie folgt vorgegangen werden.

[0069] Um Wechselwirkungen zwischen der Messstrahlung und der längsten Schneide zu ermitteln und damit Messungen bezüglich der längsten Schneide durchzuführen, kann, wenn man den obigen Moment der Trennung zugrunde legt, ermittelt werden, wann die Messstrahlung **12** erstmals während (wenigstens) einer vollständigen Werkzeugumdrehung nicht (mehr) so abgeschattet wird (z.B. 50%-ige Abschattung), dass ein Schaltsignal erzeugt wird. Die Zeitdauer (z.B. Dauer einer vollständigen Werkzeugumdrehung oder ein geringfügig längerer Zeitraum), für den überprüft wird, ob erstmals keine ausreichende Abschattung der Messstrahlung **12** erfolgt, ist bekannt. Davon ausgehend kann auf den Zeitpunkt geschlossen werden, an dem die längste Schneide die Messstrahlung **12** zum letzten Mal so abgeschattet hat, dass ein Schaltsignal erzeugt wird.

[0070] Dabei ist es vorgesehen, dass jede ausreichende Abschattung der Messstrahlung **12** ein Schaltsignal mit einer solchen Zeitdauer erzeugt. Erfolgt während eines solchen Zeitraums erneut eine ausreichende Abschattung der Messstrahlung **12**, kann das Signal nachgetriggert werden. Erfolgt nach oder während der vorbestimmten Zeitdauer keine ausreichende Abschattung, wird kein eine ausreichende Abschattung angegebendes Signal (mehr) erzeugt. Ausgehend von dem Zeitpunkt, an dem erstmalig kein solches Signal erzeugt wird, kann auf den Zeitpunkt geschlossen werden, an dem die längste Schneide letztmalig die Messstrahlung **12** ausreichend abgeschattet hat.

[0071] Um Messungen hinsichtlich der kürzesten Schneide durchzuführen, ist es vorgesehen, den Zeitpunkt zu ermitteln, an dem die Messstrahlung **12**

erstmalig von einer Schneide nicht mehr ausreichend (z.B. um 50%) abgeschattet wird. Hierfür kann ein Zeitraum zugrunde gelegt werden, innerhalb dem mit ausreichenden Abschattungen der Messstrahlung **12** durch zwei aufeinander folgende Schneiden gerechnet werden kann, wenn das Werkzeug **4** entsprechend in der Messstrahlung **12** positioniert ist.

[0072] Bei einer Bewegung des Werkzeugs **4** und der Messstrahlung **12** relativ zu einander wird ein Zeitraum festgelegt, der mit einer ausreichenden Abschattung der Messstrahlung **12** durch eine Schneide beginnt. Ferner wird der Zeitraum so definiert, dass er dann oder mit geringem Zeitüberschuss später endet, wenn eine erneute ausreichende Abschattung auftreten würde, wenn eine nachfolgende Schneide bei entsprechender Werkzeugpositionierung eine erneute ausreichende Abschattung bewirken würde.

[0073] Wird in diesem Zeitraum festgestellt, dass die nachfolgende Schneide keine ausreichende Abschattung bewirkt, kann darauf geschlossen werden, dass das Werkzeug **4** so weit von der Messstrahlung **12** "getrennt" ist, dass die kürzeste Schneide keine ausreichende Messstrahlungsabschattung (mehr) verursacht.

[0074] In Kenntnis des hier zugrunde gelegten Zeitraums, kann auf den Zeitpunkt zurück geschlossen werden, an dem die Messstrahlung **12** von der vorherigen Schneide ausreichend abgeschattet worden ist. Beispielsweise in Kenntnis der Teilung des Werkzeugs **4**, der Drehzahl und Relativbewegung zu der Messstrahlung **12** kann der Zeitpunkt ermittelt werden, an dem der Moment der Trennung bezüglich der kürzesten Schneide aufgetreten ist.

[0075] Hierfür ist es vorgesehen, ein Signal mit einer Dauer zu erzeugen, die dem Zeitraum entspricht oder diesen mit geringem Zeitüberschuss umfasst, in dem zwei aufeinander folgende Schneiden bei entsprechender Werkzeugpositionierung die Messstrahlung **12** ausreichend abschatten würden. Erfolgt innerhalb dieses vorbestimmten Zeitraums keine erneute ausreichende Abschattung, kann darauf geschlossen werden, dass der Moment der Trennung bezüglich der kürzesten Schneide vorliegt. Erfolgt während dieses Zeitraums eine erneute ausreichende Abschattung der Messstrahlung **12**, wird das Signal jedesmal nachgetriggert, was angibt, dass das Werkzeug **4** auch mit seiner kürzesten Schneide weiterhin die Messstrahlung **12** ausreichend abschattet.

[0076] Zur Realisierung der für Messungen hinsichtlich der längsten und kürzesten Schneiden vorgesehenen Zeitdauern, ist es möglich, beispielsweise bei gleichen Werkzeugdrehzahlen in Abhängigkeit davon, ob hinsichtlich der längsten Schneide oder hinsichtlich der kürzesten Schneide Messungen durchgeführt werden sollen, unterschiedliche Signale mit

entsprechenden Zeitdauern zu verwenden. Alternativ ist es vorgesehen, ein Signal mit einer Zeitdauer zu verwenden, die beispielsweise dem für Messungen hinsichtlich der längsten Schneide vorbestimmten Zeitraum entspricht, und bei Messungen hinsichtlich der kürzesten Schneide die Werkzeugdrehzahl so zu reduzieren, dass die Relation von Signalzeitdauer und Werkzeugdrehzahl dazu führt, dass messsignal-auslösende Messstrahlungsunterbrechungen durch jede einzelne Schneide verursacht werden (können).

[0077] Ergänzend oder alternativ können Messungen bezüglich der (den) kürzesten Schneide(n) nur die Wechselwirkungen der Messstrahlung **12** und dem Werkzeug **4** herangezogen werden, die zu Zeitpunkten oder in Zeiträumen auftreten, an bzw. in denen Wechselwirkung mit der (den) kürzesten Schneide(n) zu rechnen ist.

[0078] Die Durchmesserermittlung kann wie unter Bezugnahme auf [Fig. 5B](#) erläutert durchgeführt werden. Dabei wird ebenfalls davon ausgegangen, dass die in [Fig. 3B](#) veranschaulichte Vorgehensweise, den Moment der Trennung zugrunde zu legen, verwendet wird.

[0079] Das Werkzeug **4** wird zunächst so in der Messstrahlung **12** positioniert, dass diese abgeschattet ist. Dann wird das Werkzeug **4**, wie in [Fig. 5B](#) links gezeigt, in eine Richtung aus der Messstrahlung **12** bewegt, bis eine Abschattung (z.B. 50%) erreicht ist, die zu dem in [Fig. 5B](#) links gezeigten Schaltsignal führt.

[0080] Dann wird diese Messung erneut durchgeführt, wobei aber im Gegensatz zu der vorherigen Messung das Werkzeug **4** in der entgegengesetzten Richtung aus der Messstrahlung **12** bewegt wird. Das in [Fig. 5b](#) rechts gezeigte Schaltsignal gibt den Moment der Trennung bei dieser Messung an.

[0081] Anhand der Schaltsignale in Verbindung mit von für die Maschinensteuerung verfügbaren Informationen über Werkzeugpositionen und gegebenenfalls über den Messstrahlungsverlauf relativ zu der Werkzeugmaschine und damit zu den Werkzeugpositionen kann bei dem veranschaulichten Beispiel der Durchmesser des Werkzeugs **4** bezüglich der längsten Schneide(n) ermittelt werden.

[0082] Die obige unter Bezugnahme auf [Fig. 5A](#) gemachten Ausführungen hinsichtlich möglicher Drehzahlen und Messungen bezüglich der kürzesten Schneide(n) gelten hier entsprechend.

[0083] Sowohl zur Bestimmung von Radien als auch von Durchmessern ist es nicht erforderlich, dass das Werkzeug **4** gedreht wird. Wird das Werkzeug **4** nicht gedreht, sollte für eine genaue Messung berücksichtigt werden, dass das Werkzeug **4**, bei-

spielsweise bezüglich seiner Drehachse, so positioniert ist, dass bei Wechselwirkungen mit der Messstrahlung **12** gerade der oder die Bereiche, für den (die) eine Messung durchgeführt werden soll, schalt-signalerzeugende Abschattungen der Messstrahlung **12** bewirken.

[0084] Es ist ferner vorgesehen, Messungen unter Verwendung der unter Bezugnahme auf [Fig. 2A–Fig. 2D](#) erläuterten Vorgehensweise und von dabei verwendeten, Messstrahlungsunterbrechungen angehenden Signalen durchzuführen. Dies wird weiter unten unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) bis [10](#) detaillierter beschrieben.

[0085] Anhand von [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) werden unter der beispielhaften Annahme, dass die Spindel **2** eine Hohlshaftkegelspindel ist, mögliche Fehlerquellen für Rundlauffehler erläutert. Die obere Darstellung von [Fig. 6A](#) zeigt die Spindel **2** und das an der Spindel **2** angeordnete Werkzeug **4**. Das Werkzeug **4** weist einen kegelförmigen Schaft **4a**, der in einem nicht bezeichneten Hohlshaftkegel der Spindel **2** aufgenommen ist.

[0086] Die Spindel **2** weist eine plane Anlagefläche **32** auf. Bei korrekter Anordnung des Werkzeugs **4** an der Spindel **2** liegt eine ebenfalls plane Anlagefläche **34** des Werkzeugs **4** plan an der Anlagefläche **32** an. Dabei fallen die Rotationsachse **36** der Spindel **2** und die Rotationsachse **38** des Werkzeugs **4** zusammen. Hier fallen ferner, wie in der unteren Darstellung von [Fig. 6A](#) gezeigt, die Drehachse **38** des Werkzeugs **4** und die Längswerkzeugachse WA des Werkzeugs **4** zusammen.

[0087] Das Werkzeug **4** weist einen Werkzeugschaft **4b** mit bezüglich der Werkzeuglängsachse im Wesentlichen konstantem Radius und einem Bereich **4c** mit Schneiden C1, C2, ..., Cn auf. Vereinfachend wird im Folgenden davon ausgegangen, dass der Werkzeugbereich **4c** vier Schneiden C1, ..., C4 aufweist.

[0088] Für die in [Fig. 6A](#) gezeigte Anordnung ergibt sich bei Drehung des Werkzeugs der in [Fig. 6A](#) unten gezeigte Flugkreisradius R bezüglich der Schneiden C1, ..., C4, der unter der Annahme gleicher Schneidenlänge dem Radius der äußeren Schneidenenden bezüglich der Drehachse **38** entspricht.

[0089] Kommt es bei einer Anordnung des Werkzeugs **4** an der Spindel **2** im Bereich zwischen den Anlageflächen **32** und **34** zu einer Verschmutzung, beispielsweise durch Späne und/oder andere beim Bearbeitungsprozess entstandene Partikel, kann ein Rundlauffehler entstehen.

[0090] Eine in [Fig. 6B](#) durch PLF bezeichnete Verunreinigung zwischen den Anlageflächen **32** und **34**

bewirkt, dass die Drehachse **38** des Werkzeugs **4** gegenüber der Drehachse **36** der Spindel **2** verkippt ist.

[0091] Dies führt dazu, dass bei Drehung des Werkzeugs **4** bezüglich der Schneiden C1, ..., C4 der in [Fig. 6B](#) unten gezeigte Flugkreis RI entsteht. Hier entspricht der Flugkreis RI dem Radius der Schneide, die bezüglich der wirksamen Werkzeugdrehachse **38** den größten Radius aufweist. Aufgrund des Rundlauffehlers ist der Flugkreis RI größer als der in [Fig. 6A](#) gezeigte Flugkreis R. Der Flugkreis RI kann zu ungenauer Bearbeitung und damit zu Produktionsausschuss führen. Der Flugkreis Rk entspricht dem Radius der Schneide, die bezüglich der wirksamen Werkzeugdrehachse **38** den kleinsten Radius aufweist. Aufgrund des Rundlauffehlers ist der Flugkreis Rk kleiner als der in [Fig. 6A](#) gezeigte Flugkreis R.

[0092] Zur Erkennung von Rundlauffehlern sind unter Anderen folgende Ausführungsformen vorgesehen, von denen zunächst solche beschrieben sind, die als digitale Vorgehensweise bezeichnet werden können.

[0093] Bei einer Ausführungsform wird der Rundlauffehler bezüglich eines Bereichs des Werkzeugs **4** ermittelt, der quer zur Werkzeugachse WA einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt aufweist. Ein solcher Bereich ist beispielsweise der in [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigte Werkzeugschaft **4b**. Alternativ ist es beispielsweise vorgesehen, das Werkzeug **4** mit einem geschliffenen Zylinder oder Ring (nicht gezeigt) auszustatten, der zum Beispiel am Werkzeugschaft **4b** oder über den Schneiden C1, ..., C4 angeordnet sein kann.

[0094] Vorteilhafterweise wird anfänglich eine Initialisierung, die auch als Lerngang oder Initialmessung bezeichnet werden kann, durchgeführt. Die aus der Initialisierung resultierenden Größen, Parameter und dergleichen können alternativ ohne Initialisierung bereitgestellt werden, beispielsweise durch gespeicherte Daten, die empirisch und/oder rechnerisch ermittelt werden können.

[0095] Bei der Initialisierung wird hier angenommen, dass der Maschinensteuerung **20** der Radius des Werkzeugschafts **4b** anfänglich nicht bekannt ist, beispielsweise kein Radius des Werkzeugschafts **4b** in dem Speicher **30** gespeichert ist. Ferner wird davon ausgegangen, dass anfänglich ein bei der Initialisierung maximal zulässiger Rundlauffehler oder Radialschlag bereitgestellt (beispielsweise gespeichert) ist. Dieser Rundlauffehler oder Radialschlag kann auch als Verschleißradius bezeichnet werden, weil er unter Anderem einen Rundlauffehler berücksichtigt, der bei einem korrekt angeordneten Werkzeug **4** beispielsweise aufgrund von unterschiedlicher Abnutzung der Schneiden C1, ..., C4 entsteht. Der bei der

Initialisierung maximal zulässige Rundlauffehler wird vorteilhafterweise möglichst klein gewählt, insbesondere kleiner als ein bei nachfolgend beschriebenen Rundlauffehlermessungen verwendeter maximal zulässiger Rundlauffehler. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass das Werkzeug **4** bei der Initialisierung korrekt eingespannt ist und an der Messstelle, d.h. an dem Werkzeugschaft **4b**, sauber ist.

[0096] Zunächst wird, wie oben beispielsweise unter Bezugnahme auf [Fig. 5A](#) beschrieben, der Flugkreisradius des Werkzeugschafts **4b** ermittelt, der hier dem Radius des Werkzeugschafts **4b** entspricht. Hierbei ist es vorgesehen, das Werkzeug mit einer beliebigen, gegebenenfalls konstanten Drehzahl zu drehen und mehrere Radiusmessungen durchzuführen, die bei unterschiedlichen Verhältnissen von Werkzeugdrehzahl und Werkzeugbewegung durchgeführt werden können. Radiusmessungen können auch Messungen umfassen, bei denen Relativbewegungen zwischen Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** in entgegengesetzten Richtungen durchgeführt werden.

[0097] Die Radiusmessung(en) wird (werden) verwendet, um einen anfänglichen Radius zu bestimmen. Der anfängliche Radius kann beispielsweise durch Mittelwertbildung mehrerer Radiusmessungen bestimmt werden. Vorzugsweise wird der anfängliche Radius auf der Grundlage von Radiusmessungen durchgeführt, von denen eine oder mehrere bei einer Relativbewegung von Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** in einer Richtung und von denen eine oder mehrere bei Relativbewegung von Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** in entgegengesetzter Richtung durchgeführt werden. Der anfängliche Radius kann dann durch eine Mittelwertbildung der in den unterschiedlichen Bewegungsrichtungen erfassten Radien bestimmt werden.

[0098] Vor einer Festlegung des anfänglichen Radius, der beispielsweise in dem Speicher **30** gespeichert und zur weiteren Verwendung bereitgestellt werden kann, ist es vorgesehen, den Rundlauffehler zu prüfen. Hierfür kann das Werkzeug **4** mit einer Mindestdrehzahl gedreht werden, von beispielsweise 600 Umdrehungen pro Minute oder 3000 Umdrehungen pro Minute. Dabei wird ermittelt, wann das Werkzeug **4** die Messstrahlung **12** so weit verlassen hat oder die Messstrahlung **12** so weit abschattet, dass ein diesen Zeitpunkt oder Zeitraum angegebendes Schaltsignal erzeugt wird.

[0099] Dieses Schaltsignal wird verwendet, um den hier auftretenden Flugkreisradius zu bestimmen, der mit einem oder mehreren bei den oben beschriebenen Radiusmessungen ermittelten Radius verglichen wird. Ist der Unterschied zwischen den Radien größer als der obige maximal zulässige Rundlauffehler, wird auf ein fehlerhaftes Werkzeug und/oder ein feh-

lerhaft eingespanntes Werkzeug geschlossen. Ist der Unterschied zwischen den Radien kleiner als der maximal zulässige Rundlauffehler, wird der anfängliche Radius gespeichert. Der gemessene Rundlauffehler, d.h. der zuvor genannte Unterschied zwischen Radien, wird als neuer, im Folgenden zu verwendender anfänglicher Radius bestimmt.

[0100] Ferner kann bei der Initialisierung die Lage der Messstrahlung **12** in der Werkzeugmaschine bestimmt werden. Hierbei kann, wenn Wechselwirkungen zwischen Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** bezüglich einer 50%-igen Freigabe bzw. Abschattung der Messstrahlung **12** betrachtet werden, die zentrale Längsachse der Messstrahlung **12** herangezogen werden, um die Messstrahlungslage zu ermitteln. Geht man davon aus, dass bei der Radiusmessung eine Relativbewegung von Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** in einer Richtung verwendet wird, kann die Lage der Messstrahlung aus der Lage des Werkzeugs **4** und dem ermittelten Radius bestimmt werden. Werden Radiusmessungen bei Relativbewegungen von Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** in entgegengesetzten Richtungen durchgeführt, kann die Lage der Messstrahlung aus den für die entgegengesetzten Richtungen ermittelten Radien bestimmt werden. Die Lage der Messstrahlung **12** dient wie im Folgenden beschrieben, als Referenzwert.

[0101] Um während des Betriebs der Werkzeugmaschine zu überprüfen, ob das Werkzeug **4** einen unerwünschten, insbesondere zu großen Rundlauffehler, hier bezüglich des Werkzeugschafts **4b**, aufweist, wird, beispielsweise nach einem erfolgten Werkzeugwechsel, der kleinste Flugkreisradius des Werkzeugschafts **4b** ermittelt. Ohne Rundlauffehler ergibt sich ein im Wesentlichen konstanter Flugkreis für den Werkzeugschaft **4b**. Bei einem Rundlauffehler entspricht der kleinste Flugkreisradius des Werkzeugschafts **4b** dem tatsächlichen Radius des Werkzeugschafts **4b** bezüglich der Längsachse des Werkzeugs **4** abzüglich der Hälfte des Rundlauffehlers oder Radialschlags.

[0102] Um den Radius des Werkzeugschafts **4b** zu bestimmen, kann die wie oben beschrieben ermittelte Lage der Messstrahlung **12** und die Position des Werkzeugs **4** herangezogen werden, die bei Messung des Radius' vorliegt (hier die Position des Werkzeugs **4** zu dem Zeitpunkt, an dem die Messstrahlung **12** zur Hälfte freigegeben oder zur Hälfte abgeschattet ist).

[0103] Bei einer anderen Ausführungsform ist es vorgesehen, den Rundlauffehler des Werkzeugs **4** bezüglich der Schneiden C1, ..., C4 durchzuführen.

[0104] Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Schneiden C1, ..., C4 im Wesentlichen gleich beabstandet sind und unterschiedliche Längen

aufweisen, die beabsichtigt sind, also nicht auf Fehler zurückgeführt werden können. Dabei wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass es eine längste Schneide und eine kürzeste Schneide gibt. Die folgenden Ausführungen gelten für ein Werkzeug mit gleich langen Schneiden entsprechend.

[0105] Vergleichbar zu der vorherigen Ausführungsform ist auch hier eine Initialisierung vorgesehen. Im Unterschied zu der vorher beschriebenen Ausführungsform ist es hier vorgesehen, die Radiusmessung(en) bezüglich der längsten Schneide durchzuführen und die Messung bei einer Minimaldrehzahl, auf deren Grundlage ein anfänglicher Rundlauffehler ermittelt werden kann, bezüglich der kleinsten Schneide durchzuführen. Abgesehen von diesen Unterschieden gelten die entsprechenden obigen Ausführungen auch hier.

[0106] Der ermittelte Radius der längsten Schneide wird mit dem wie oben beschrieben ermittelten anfänglichen Radius verglichen. Ist der Unterschied zwischen dem anfänglichen Radius und dem ermittelten Radius kleiner als eine vorbestimmte Grenze, beispielsweise der obige ermittelte maximal zulässige Rundlauffehler, wird darauf geschlossen, dass kein oder kein zu großer Rundlauffehler vorliegt.

[0107] Ist dies der Fall, wird auf der Grundlage des bezüglich der längsten Schneide ermittelten Radius' und des anfänglichen Radius' der Referenzwert (hier die Lage der mittleren Längsachse der Messstrahlung **12**) korrigiert. Hierbei ist es vorgesehen, den ersten Referenzwert aus der Position des Werkzeugs **4** bei Erfassung des Radius' bezüglich der längsten Schneide und dem anfänglichen Radius zu bestimmen.

[0108] Der korrigierte Referenzwert wird bei der nachfolgenden Messung zur Rundlauffehlerkontrolle verwendet.

[0109] Die Korrektur des Referenzwerts kompensiert beispielsweise die sogenannte thermische Drift der für das Werkzeug **4** wirksamen Bewegungsachsen der Werkzeugmaschine sowie thermische Einflüsse, die die Positionierung der Messstrahlung **12** beeinflussen können.

[0110] Ergibt sich beim Vergleich des bezüglich der längsten Schneide ermittelten Radius' und des anfänglichen Radius', dass der Grenzwert überschritten wird, wird darauf geschlossen, dass ein beispielsweise durch fehlerhafte Einspannung verursachter Rundlauffehler oder eine durch eine Temperaturänderung (z.B. Temperatursprung) verursachte Änderung vorliegt, die die Radiusmessung beeinflusst.

[0111] In beiden Fällen ist eine der folgenden Radiusmessungen vorgesehen, die in Abhängigkeit der

Schneidenlängen und/oder -anzahl gewählt werden kann.

[0112] Bei einer Messung wird im Gegensatz zu der vorherigen Radiusmessung eine entgegengesetzte Relativbewegung zwischen Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** durchgeführt.

[0113] Ist der bei dieser Messung ermittelte Radius bezüglich der längsten Schneide kleiner als der anfängliche Radius, wird auf einen Rundlauffehler geschlossen. Dann kann beispielsweise der Bearbeitungsvorgang mit einer Fehlermeldung abgebrochen oder nicht begonnen werden.

[0114] Entspricht der bei dieser Messung bezüglich der längsten Schneide ermittelte Radius dem anfänglichen Radius oder ist größer als dieser, wird auf eine temperaturbedingte Änderung geschlossen. In diesem Fall wird, wie oben beschrieben, der Referenzwert korrigiert. Bei nachfolgenden Rundlauffehlerkontrollen wird wie beschrieben vorgegangen, wobei jeweils der zuvor korrigierte Referenzwert verwendet wird.

[0115] Bei einer anderen Messung ist es vorgesehen, die obige Radiusmessung bei gleicher oder entgegengesetzter Relativbewegung zwischen Werkzeug **4** und Messstrahlung **12** bezüglich der kleinsten Schneide durchzuführen. Hierbei wird, wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 5A](#) beschrieben, die Messung so durchgeführt, dass der Radius der kleinsten Schneide, beispielsweise durch entsprechende Drehzahlreduzierung, erfasst wird.

[0116] Der ermittelte Radius bezüglich der kleinsten Schneide wird mit dem obigen Radius bezüglich der größten Schneide verglichen. Ergibt dieser Vergleich, dass der Unterschied zwischen den Radien größer als der bei der Initialisierung ermittelte, maximal zulässige Radiusunterschied ist, wird auf einen Rundlauffehler geschlossen. Ergibt der Vergleich, dass der Unterschied zwischen den Radien kleiner als der bei der Initialisierung ermittelte maximal zulässige Radiusunterschied ist, wird auf eine temperaturbedingte Änderung geschlossen und der Referenzwert, wie oben beschrieben, korrigiert um beispielsweise thermische Drift zu kompensieren.

[0117] Bei nachfolgenden Rundlauffehlerkontrollen wird wie beschrieben vorgegangen, wobei jeweils der zuvor korrigierte Referenzwert verwendet wird.

[0118] Durch den Vergleich des jeweils aktuell gemessenen Radius' mit dem zuvor korrigierten Referenzwert, um einen mit dem Grenzwert zu vergleichenden Wert zu erhalten, können Rundlauffehler festgestellt werden, die beispielsweise kleiner als die Werkzeugpositioniergenauigkeit der Werkzeugmaschine sind. Bei der zugrunde gelegten Vorgehensweise wird eine

relative, radiale Größe, nämlich der Unterschied zwischen dem aktuell ermittelten Radius und dem Referenzwert, mit dem Grenzwert verglichen. Die Messung beeinflussende Parameter und Fehler, die keinen Einfluss auf den Rundlauffehler haben, werden dabei kompensiert.

[0119] Werden mehrere solche Messungen durchgeführt, können die beim Vergleich von ermitteltem Radius und Referenzwert erhaltenen Werte wie in [Fig. 7](#) veranschaulicht dargestellt werden. Die in [Fig. 7](#) gezeigte Darstellung gibt die Größe von Vergleichswerten über der Zeit an. Solange der Unterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Vergleichswerten kleiner als der Grenzwert ist, wird darauf geschlossen, dass kein (zu großer) Rundlauffehler vorliegt. Dies gilt unabhängig davon, ob die Vergleichswerte insbesondere aufgrund von thermischer Drift zunehmend größer oder kleiner werden. Tritt jedoch ein in [Fig. 7](#) mit dem Pfeil gekennzeichnete Vergleichswert auf, der verglichen mit dem vorherigen, Vergleichswert (d.h. dem Referenzwert), den Grenzwert verletzt, wird auf einen zu großen Rundlauffehler geschlossen.

[0120] Bei weiteren Ausführungsformen, die auch als analoge Vorgehensweise betrachtet werden kann, ist es vorgesehen, anstelle der Vorgehensweisen nach [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#), mit Bezug auf [Fig. 2A–Fig. 2D](#) erläuterte Messungen und dabei mögliche Messsignale zu verwenden.

[0121] Eine Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf einen Werkzeugbereich beschrieben, der quer zur Werkzeugachse WA einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt aufweist. Dies kann dann beispielsweise der Bereich **4b** oder ein an dem Werkzeug **4** angeordneter, hier nicht gezeigter Referenzzylinder oder -ring sein.

[0122] Bezugnehmend auf [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2C](#) wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich ohne Unterbrechung der Messstrahlung **12** ein Signal S1 mit hohem Pegel P1, bei vollständiger Unterbrechung der Messstrahlung **12** ein Signal S2 mit niedrigem Pegel P2 und ein Signal S3 ergeben, wenn die Messstrahlung **12** teilweise abgeschattet ist bzw. durchgelassen wird. Der Pegel P3 des Signals S3 liegt zwischen den Pegeln der Signale S1 und S2.

[0123] Liegt ein Rundlauffehler vor, ergibt sich bei dem hier zugrunde gelegten Werkzeugbereich, wenn dieser die Messstrahlung **12** teilweise abschattet, das in [Fig. 8A](#) gezeigte Signal S3 mit im Wesentlichen konstanten Pegel P3. Der sich bei der oben geschriebenen Initialisierung ergebende Pegel P3 des Signals S3 wird als anfänglicher Referenzwert verwendet.

[0124] Ergibt sich bei einer nachfolgenden Messung

das ebenfalls in [Fig. 8A](#) gezeigte Signal S3', kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund des weiterhin konstanten Pegels P3 des Signals S3' weiterhin kein Rundlauffehler vorliegt, aber angesichts des sich von dem anfänglichen Pegel P3 unterscheidenden Pegel P3' thermische Drift aufgetreten ist.

[0125] Die Korrektur des Referenzwerts erfolgt, wie oben beschrieben, dadurch, dass der Pegel P3' den anfänglichen Pegel P3 ersetzt und für eine nachfolgende Messung als Referenzwert verwendet wird. Eine solche Referenzwertkorrektur wird, falls erforderlich, vorteilhafterweise bei allen Messungen durchgeführt.

[0126] Liegt ein Rundlauffehler des Werkzeugs 4 vor, ergibt sich bei dem hier zugrunde gelegten Werkzeugbereich (z.B. Werkzeugbereich 4b) das in [Fig. 8B](#) gezeigte Signal S3rf. Die Amplitude des Signals S3rf gibt den Rundlauffehler an. Überschreitet die (maximale) Amplitude des Signals S3rf einen vorbestimmten, einen maximal zulässigen Rundlauffehler angegebenden Grenzwert nicht, wie dies in [Fig. 8B](#) veranschaulicht ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Rundlauffehler des Werkzeugs 4 akzeptabel ist. Wenn, wie in [Fig. 8C](#) gezeigt, die (maximale) Amplitude des Signals S3rf den vorbestimmten Grenzwert überschreitet, kann von einem zu großen Rundlauffehler ausgegangen werden.

[0127] Zur Korrektur der bei unterschiedlichen Messungen zu verwendenden Referenzwerte wird, wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 8A](#) ausgeführt, ein anfänglicher Referenzwert P3 für das Werkzeug 4 ohne Rundlauffehler ermittelt. Ergibt sich bei einer nachfolgenden Messung aufgrund eines Rundlauffehlers ein Signal S3rf, kann der Referenzwert wie folgt korrigiert werden. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass der Referenzwert korrigiert wird, wenn kein oder kein zu großer Rundlauffehler vorliegt.

[0128] Gibt das Signal S3rf keinen (zu großen) Rundlauffehler an, wird der Mittelwert P3m des Signals S3rf ermittelt. Unterscheidet sich der einen mittleren Pegel des Signals S3m angegebende Mittelwert P3m von dem anfänglichen Pegel P3, kann von thermischer Drift ausgegangen werden. Dann wird zur Driftkompensation der Pegel P3m für eine nachfolgende Messung als Referenzwert zugrunde gelegt. Ergibt sich bei der nachfolgenden Messung erneut ein anderer Mittelwert, wird dieser als neuer Referenzwert verwendet. Eine solche Referenzwertkorrektur wird, falls erforderlich, vorteilhafterweise bei jeder Messung durchgeführt.

[0129] Eine weitere "analoge" Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf die Schneiden C1, ..., C4 beschrieben.

[0130] Zur Veranschaulichung dieser Ausführungsform wird zunächst davon ausgegangen, dass die Schneiden C1, ..., C4 des Werkzeugs 4 im Wesentlichen gleich beabstandet und gleich lang sind. Zur Kontrolle des Rundlauffehlers wird das Werkzeug 4 so positioniert, dass ohne Wechselwirkungen zwischen den Schneiden C1, ..., C4 und der Messstrahlung 12 ein Signal mit dem Pegel P1 erzeugt wird, während sich davon abweichende (z.B. kleinere), variable Signalpegel P3v ergeben, wenn die Schneiden C1, ..., C4 in die Messstrahlung 12 eintauchen.

[0131] Abhängig von der Positionierung des Werkzeugs 4, der Schneidenanzahl und/oder der Form und/oder Dimensionierung der Messstrahlung 12 ist es möglich, dass ohne Wechselwirkungen zwischen Werkzeugschneiden und Messstrahlung ein Signal mit einem sich von dem Pegel P1 unterscheidenden, niedrigeren Pegel erzeugt wird. Abgesehen von diesem Unterschied gelten die folgenden Ausführungen für diesen Fall entsprechend.

[0132] Ohne Rundlauffehler ergibt sich ein in [Fig. 9A](#) gezeigtes Signal S3. Da von gleich langen Schneiden und einem Werkzeug ohne Rundlauffehler ausgegangen wird, führt ein Eintauchen der Schneiden C1, ..., C4 in die Messstrahlung 12 zu im Wesentlichen gleichen Abschattungen und dementsprechend zu im Wesentlichen gleichen variablen Pegeln P3v mit gleichen maximalen Pegelabsenkungen.

[0133] Diese gleichförmige Signalform ist nicht vorhanden, wenn ein Rundlauffehler vorliegt. Dies ist in [Fig. 9B](#) durch das Signal S3rf für einen Rundlauffehlerfall veranschaulicht. Ein Rundlauffehler führt dazu, dass das Ausmaß, in dem die Messstrahlung 12 beim Eintauchen der Schneiden C1, ..., C4 abgeschattet wird, unterschiedlich ist. Dementsprechend ergeben sich auch schneidenabhängig unterschiedliche variable Pegel P3v mit unterschiedlichen Pegeländerungen.

[0134] Als Maß für einen Rundlauffehler wird hierbei ein Unterschied ΔP_m zwischen einer maximalen Pegeländerung P_{mk} der Schneide mit dem minimalen Flugkreis und der maximalen Pegeländerung P_{ml} für die Schneide mit dem maximalen Flugkreis. Wenn der Unterschied ΔP_m zwischen den Pegeln P_{3mk} und P_{3ml} kleiner als ein vorbestimmter Grenzwert, der einen maximal zulässigen Rundlauffehler angibt, ist, kann von einem akzeptablen, nicht zu großen oder kleinen Rundlauffehler ausgegangen werden. Unterscheiden sich die Pegel P_{3mk} und P_{3ml} so, dass der Grenzwert durch den Pegelunterschied ΔP_m verletzt wird, kann von einem zu großen Rundlauffehler ausgegangen werden.

[0135] Bei einer Initialisierung wird ohne Rundlauffehler ein in [Fig. 9C](#) gezeigter Pegel Pref ermittelt.

Der Pegel Pref kann der maximalen Pegeländerung des Signals S3 entsprechen. Ergeben sich beispielsweise aufgrund Werkzeuggestoleranzen und/oder Messstoleranzen bei der Initialisierung (d.h. Messung ohne Rundlauffehler) für unterschiedliche Schneiden verschiedene maximale Pegeländerungen, kann der Pegel Pref durch Mittelwertbildung ermittelt werden. Der Pegel Pref wird für eine nachfolgende Messung als Referenzwert verwendet.

[0136] Ergibt sich bei der nachfolgenden Messung, wie in [Fig. 9C](#) veranschaulicht, ein Signal S3', dessen maximale Pegeländerung Pref oder dessen mittlere maximale Pegeländerung Pref sich von dem anfänglichen Pegel Pref unterscheidet, kann von thermischer Drift ausgegangen werden. Um diese bei einer nachfolgenden Messung zu berücksichtigen, wird der anfängliche Referenzwert Pref durch den Pegel Pref ersetzt, der für eine nachfolgende Messung als neuer Referenzwert wie im Folgenden beschrieben verwendet wird.

[0137] Ausgehend von dem neuen, korrigierten Referenzwert Pref wird bei einer nachfolgenden Messung das Werkzeug **4** so positioniert, dass, wenn kein Rundlauffehler vorliegt, ein Signal erzeugt wird, dessen maximale Pegeländerung oder dessen mittlere maximale Pegeländerung dem anfänglichen Referenzwert Pref entspricht. Beispielsweise kann zur Referenzwertkorrektur das Werkzeug **4** bei der nachfolgenden Messung an einer Messposition angeordnet werden, die von der Messstrahlung **12** weiter oder näher zu dieser beabstandet ist. Diese Referenzwertkorrektur wird, falls erforderlich, vorteilhafterweise bei allen Messungen durchgeführt.

[0138] Die unter Bezugnahme auf [Fig. 9B](#) gemachten Ausführungen hinsichtlich einer Referenzwertkorrektur gelten auch für die folgende Ausführungsform, bei der von unterschiedlich langen Schneiden C1, ..., C4 ausgegangen wird.

[0139] Zur Rundlauffehlerkontrolle wird das Werkzeug **4** so positioniert, dass ohne Wechselwirkungen zwischen Messstrahlung **12** und den Schneiden C1, C ein Signalpegel P1 erzeugt wird, während sich variable Signalpegel P3v ergeben, wenn die Schneiden C1, ..., C4 in die Messstrahlung **12** eintauchen. Aufgrund der unterschiedlichen Schneidenlängen unterscheiden sich die Signalbereiche mit variablem Pegel P3v. Dies ist in [Fig. 10A](#) durch das Signal S3 mit den Signalpegeln P1 und P3v veranschaulicht, wobei hier von einem Fall ohne Rundlauffehler ausgegangen wird.

[0140] Als Maß für einen Rundlauffehler wird hier der Unterschied ΔP_m zwischen der maximalen Pegeländerung Pmk durch die kürzeste Schneide und der maximalen Pegeländerung Pml durch die längste Schneide herangezogen.

[0141] Bei einem Rundlauffehler tauchen die Schneiden C1, ..., C4 jeweils verglichen mit einem Fall ohne Rundlauffehler anders ein. Dies führt dazu, dass für das in [Fig. 10B](#) veranschaulichte Signal S3rf im Fall eines Rundlauffehlers die Signalbereiche mit variablem Pegel P3v sich von denen des Signals S3 für einen Fall ohne Rundlauffehler unterscheiden. Überschreitet der Unterschied ΔP_m zwischen den Pegeln Pmk und Pml einen Grenzwert, der einen maximal zulässigen Rundlauffehler angibt, nicht, kann davon ausgegangen werden, dass kein oder kein zu großer Rundlauffehler vorliegt. Verletzt dieser Pegelunterschied ΔP_m den Grenzwert, kann von einem zu großen Rundlauffehler ausgegangen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle eines drehantreibbaren Werkzeugs, mit folgenden Schritten:

- Ermitteln eines Radius' an dem Werkzeug, und
 - Vergleichen des ermittelten Radius' und eines Referenzwerts, um einen Radiusvergleichswert zu erhalten,
- und mit folgenden Schritten, wenn der Radiusvergleichswert einen vorbestimmten Grenzwert verletzt:
- Ermitteln eines neuen Referenzwerts unter Verwendung des ermittelten Radius', und
 - Ersetzen des Referenzwerts durch den neuen Referenzwert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der ermittelte Radius ein ermittelter Flugkreisradius ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, mit folgenden Schritten:

- Ermitteln eines maximalen Radius' (Pml) an dem Werkzeug (**4**),
 - Vergleichen des maximalen Radius' (Pml) und des Referenzwerts (Pref), um den Radiusvergleichswert zu erhalten, und
- und mit folgenden Schritten, wenn der Radiusvergleichswert den vorbestimmten Grenzwert verletzt:
- Ermitteln des neuen Referenzwerts (Pref') unter Verwendung des maximalen Radius' (Pml), und
 - Ersetzen des Referenzwerts (Pref) durch den neuen Referenzwert (Pref').

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der neue Referenzwert (Pref') im Wesentlichen dem maximalen Radius (Pml) entspricht.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, mit folgenden Schritten:

- Ermitteln eines minimalen Radius' (Pmk) an dem Werkzeug (**4**),
- Vergleichen des minimalen Radius' (Pmk) und des maximalen Radius' (Pml), um einen Radiusunterschiedswert (ΔP_m) zu ermitteln, und
- Vergleichen des Radiusunterschiedswerts (ΔP_m) mit einem vorbestimmten Radiusunterschiedsgrenzwert,

wobei auf einen Rundlauffehler des Werkzeugs (4) geschlossen wird, wenn der Radiusunterschiedsgrenzwert verletzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, mit folgenden Schritten:

- Festlegen eines Referenzradius' als den Referenzwert,
 - Ermitteln des Radius' an dem Werkzeug (4), und
 - Vergleichen des ermittelten Radius' und des Referenzradius', um den Radiusvergleichswert zu erhalten,
- und mit folgenden Schritten, wenn der Radiusvergleichswert den vorbestimmten Grenzwert verletzt:
- Ermitteln des neuen Referenzwerts unter Verwendung des ermittelten Radius', und
 - Ersetzen des Referenzwerts durch den neuen Referenzwert.

7. Verfahren nach Anspruch 6, mit folgenden Schritten, wenn der Radiusvergleichswert den vorbestimmten Grenzwert verletzt:

- Ermitteln eines Durchmessers an dem Werkzeug (4),
 - Vergleichen des ermittelten Durchmessers und eines Referenzdurchmessers, um einen Durchmesservergleichswert zu erhalten,
- und mit folgenden Schritten, wenn der Durchmesservergleichswert einen vorbestimmten Durchmesser-grenzwert verletzt:
- Ermitteln des neuen Referenzwerts unter Verwendung des ermittelten Radius', und
 - Ersetzen des Referenzwerts durch den neuen Referenzwert.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem, wenn der Durchmesservergleichswert den vorbestimmten Durchmesser-grenzwert verletzt, auf einen Rundlauffehler des Werkzeugs (4) geschlossen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der Radius bezüglich eines sich in Umfangsrichtung des Werkzeugs (4) erstreckenden Bereichs (4b) des Werkzeugs (4) mit im Wesentlichen kreisförmigem Querschnitt ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem

- der Radius an einer ersten Messposition ermittelt wird, und
- der Durchmesser an einer zweiten Messposition ermittelt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem

- der Radius bezüglich einer längsten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) an einer ersten Messposition ermittelt wird, und
- der Durchmesser bezüglich der längsten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) an der ersten Mess-

position ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem

- der Radius bezüglich einer längsten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) an einer ersten Messposition ermittelt wird, und
- der Durchmesser bezüglich einer kürzesten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) an einer zweiten Messposition ermittelt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, bei dem der Radiusvergleichswert im Wesentlichen der Differenz zwischen dem ermittelten Radius und dem Referenzradius entspricht.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, bei dem der neue Referenzwert dem ermittelten Radius entspricht.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, bei dem der neue Referenzwert einem Mittelwert des ermittelten Radius' und des Referenzwerts entspricht.

16. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, mit folgenden Schritten, die vor den Schritten gemäß Anspruch 1 durchgeführt werden:

- Ermitteln eines ersten Initialisierungsradius' an dem Werkzeug (4),
- Ermitteln eines Initialisierungsreferenzradius' auf der Grundlage des ersten Initialisierungsradius', und
- Festlegen des Initialisierungsreferenzradius' als bei einer nachfolgenden Durchführung der Schritte gemäß Anspruch 1 zu verwendenden Referenzwert.

17. Verfahren nach Anspruch 16, mit folgenden Schritten:

- Ermitteln eines Initialisierungsdurchmessers an dem Werkzeug (4), und
- Vergleichen des Initialisierungsdurchmessers und eines vorbestimmten Durchmessers, wobei, wenn der Initialisierungsdurchmesser kleiner als der vorbestimmte Durchmesser ist,
- die Schritte, den Initialisierungsreferenzradius zu ermitteln und als bei der nachfolgenden Durchführung der Schritte gemäß Anspruch 1 zu verwendenden Referenzwert festzulegen, durchgeführt werden.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, bei dem der erste Initialisierungsradius bezüglich eines sich in Umfangsrichtung des Werkzeugs (4) erstreckenden Bereichs (4b) des Werkzeugs (4) mit im Wesentlichen kreisförmigem Querschnitt ermittelt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, bei dem wenigstens zwei erste Initialisierungsradien an unterschiedlichen Messpositionen ermittelt werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, bei dem der wenigstens eine erste Initialisierungsradius einem minimalen Radius oder einem Mittelwert mehrerer minimaler Radien des Werkzeugs (4) entspricht.

21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem
 – wenigstens ein zweiter Initialisierungsradius ermittelt wird, wobei der wenigstens zweite Initialisierungsradius einem maximalen Radius oder einem Mittelwert mehrerer maximaler Radien an dem Werkzeug (4) entspricht, und
 – der wenigstens eine erste Initialisierungsradius und der wenigstens eine zweite Initialisierungsradius verglichen werden, wobei
 – auf einen Rundlauffehler des Werkzeugs (4) geschlossen wird, wenn der Vergleich eine Grenzwertverletzung angibt.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16, 17 und 19 bis 21, bei dem der wenigstens eine erste Initialisierungsradius bezüglich einer längsten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) ermittelt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem wenigstens zwei erste Initialisierungsradien bezüglich der längsten Schneide (C1, ..., C4) an unterschiedlichen Messpositionen ermittelt werden.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, bei dem
 – wenigstens ein zweiter Initialisierungsradius bezüglich einer kürzesten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) ermittelt wird, und
 – der erste Initialisierungsradius und der wenigstens eine zweite Initialisierungsradius verglichen werden, wobei
 – auf einen Rundlauffehler des Werkzeugs (4) geschlossen wird, wenn der Vergleich eine Grenzwertverletzung angibt.

25. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Werkzeug (4) mit einer vorbestimmten Drehzahl gedreht wird.

26. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der Radius und/oder, soweit abhängig von Anspruch 7, der Durchmesser auf der Grundlage der Moment der Trennung einer Messstrahlung (12) und des Werkzeugs (4) ermittelt wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, bei dem das Werkzeug (4) mit einer Drehzahl gedreht wird, die derart von einer Schneidenanzahl des Werkzeugs (4) abhängt, dass der Radius und/oder, soweit abhängig von Anspruch 7, der Durchmesser bezüglich einer längsten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) ermittelt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, bei

dem das Werkzeug (4) mit einer Drehzahl gedreht wird, die derart von einer Schneidenanzahl des Werkzeugs (4) abhängt, dass der Radius und/oder, soweit abhängig von Anspruch 7, der Durchmesser bezüglich einer kürzesten Schneide (C1, ..., C4) des Werkzeugs (4) ermittelt wird.

29. Programmprodukt mit Programmcodeteilen zur Durchführung der Schritte des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche.

30. Programmprodukt nach Anspruch 29, das auf einem computerlesbaren Speichermedium oder in einer computerlesbaren Speichereinheit (30) oder in einer Steuerung (14, 20, 26) einer Werkzeugmaschine oder in Zuordnung zu derselben gespeichert ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

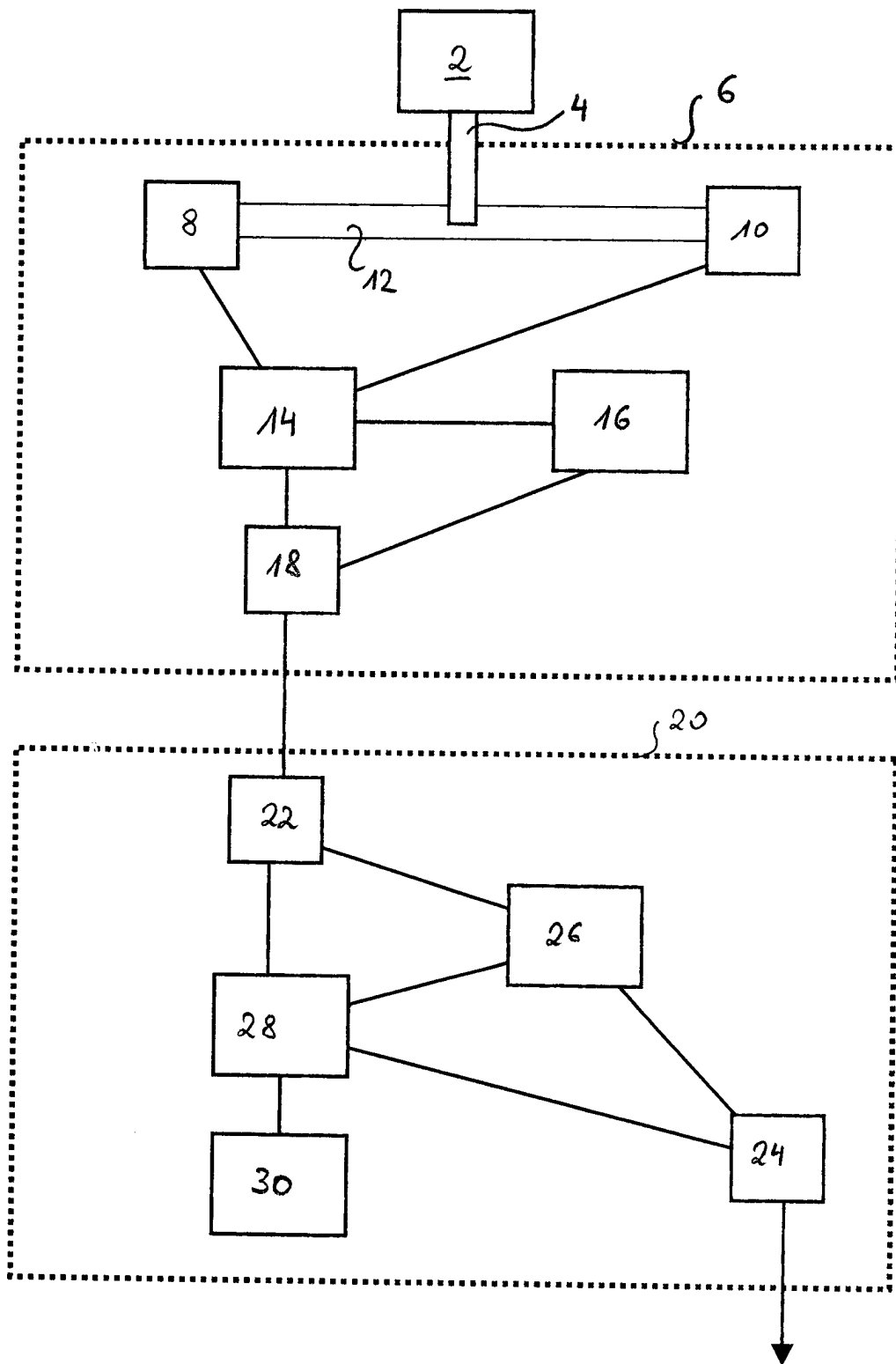


Fig. 1

Fig. 2A

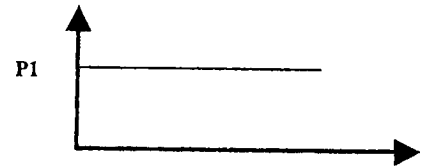
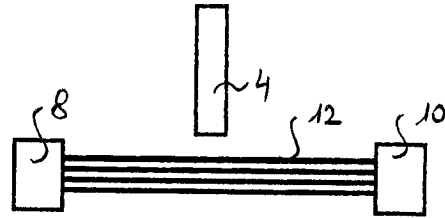


Fig. 2B

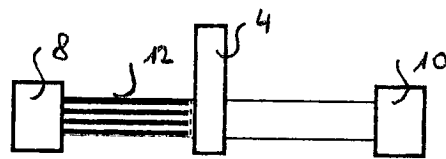


Fig. 2C

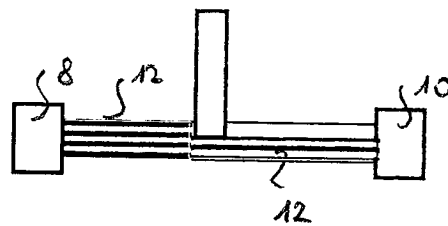


Fig. 2D

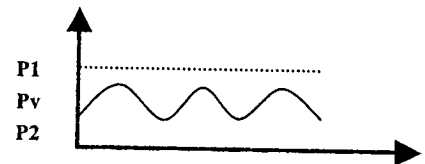
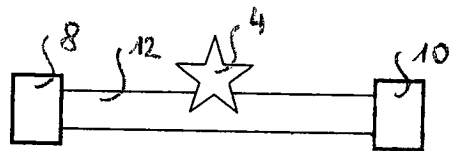


Fig. 2E

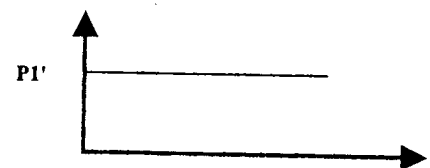
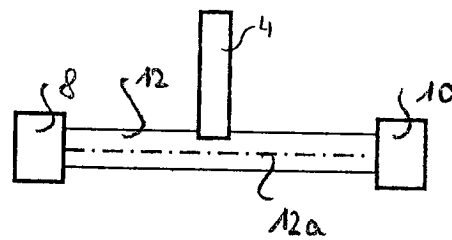


Fig. 2F

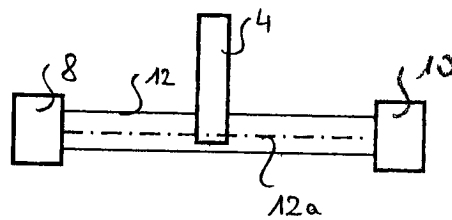


Fig. 3A

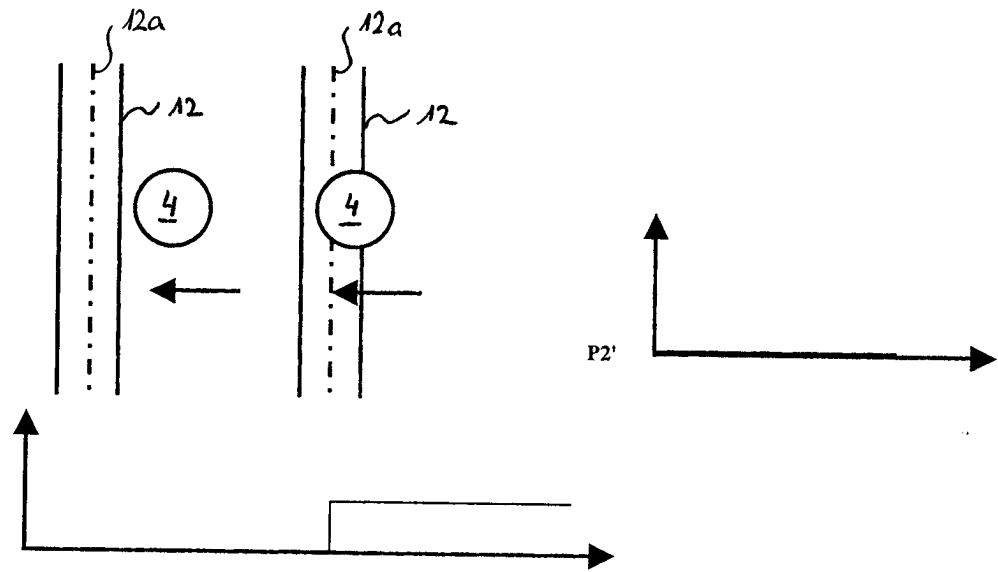


Fig. 3B

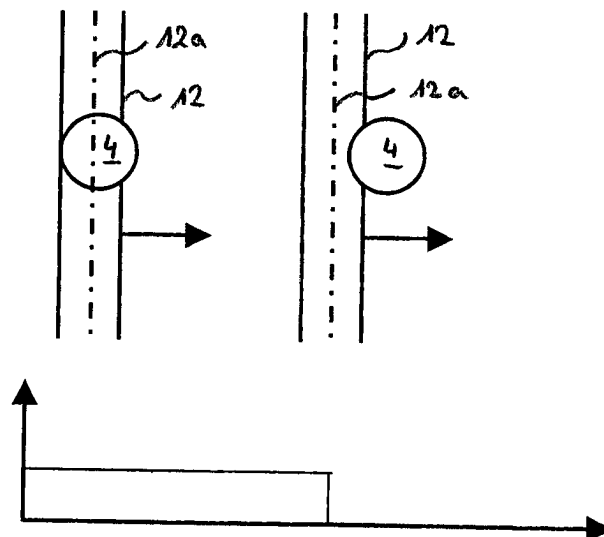


Fig. 4A

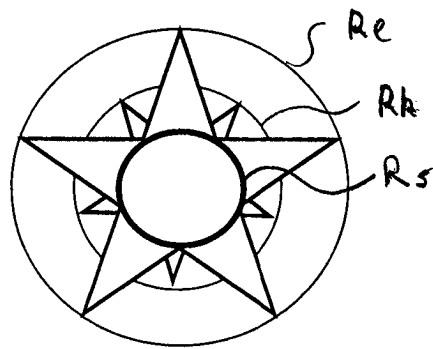


Fig. 4B

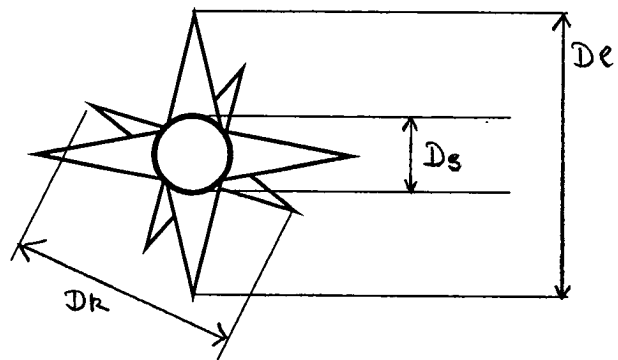


Fig. 5A

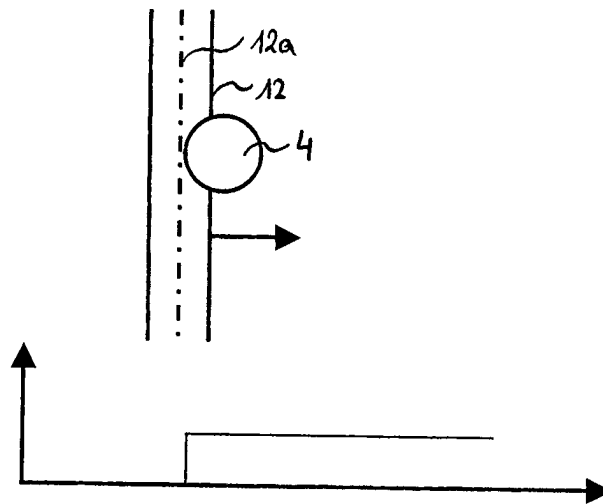
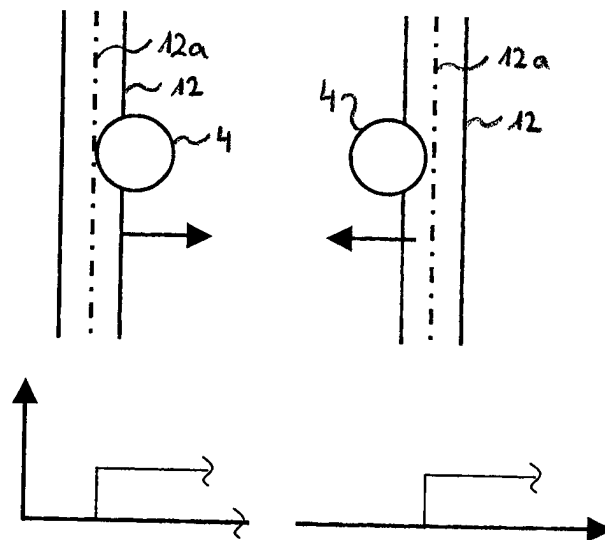


Fig. 5B



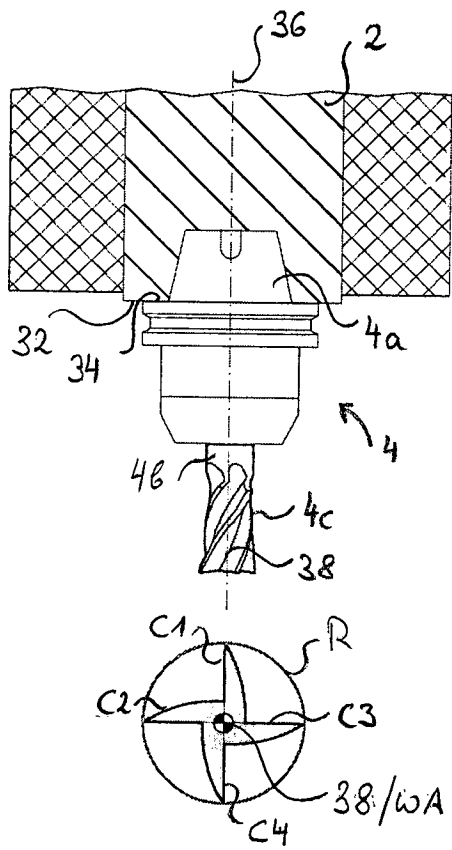


Fig. 6A

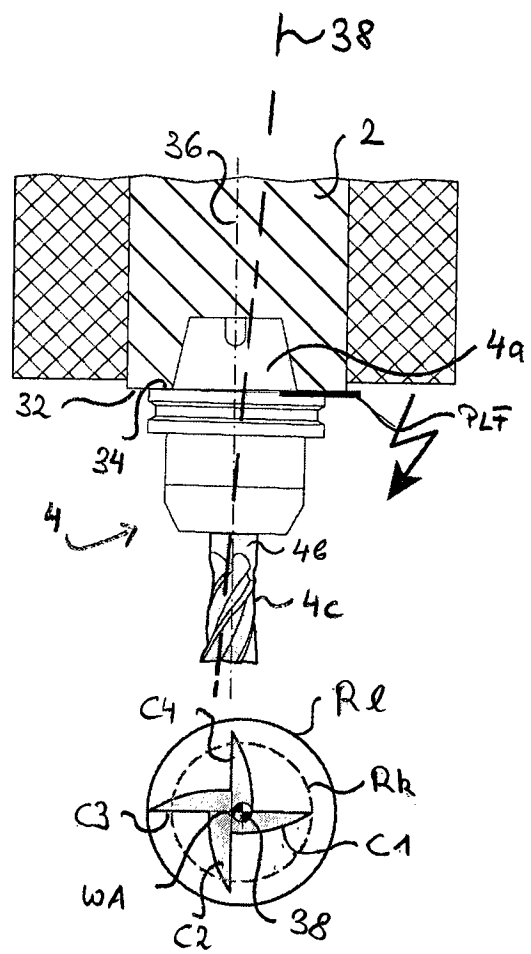


Fig. 6B

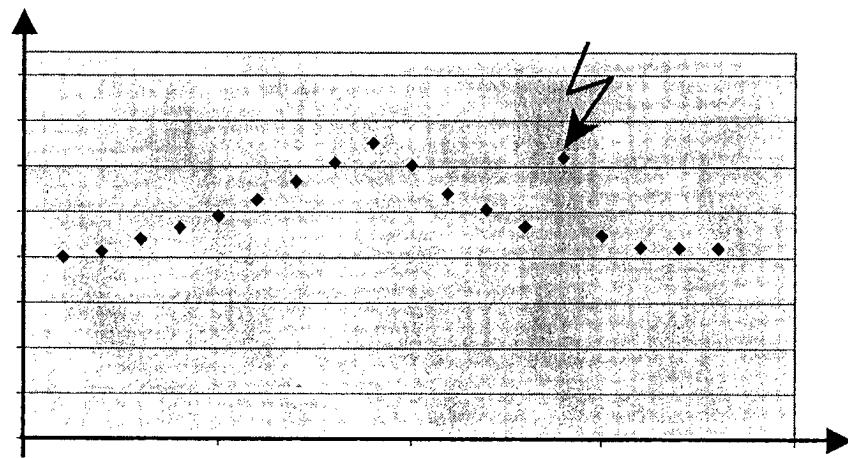


Fig. 7

Fig. 8A

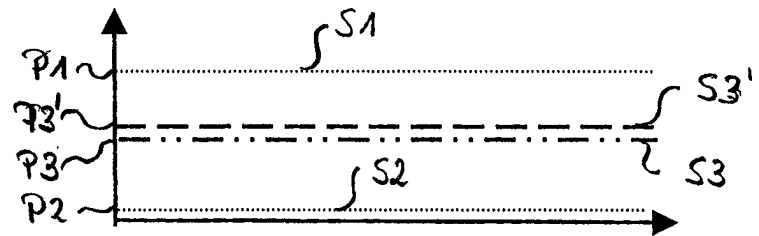


Fig. 8B

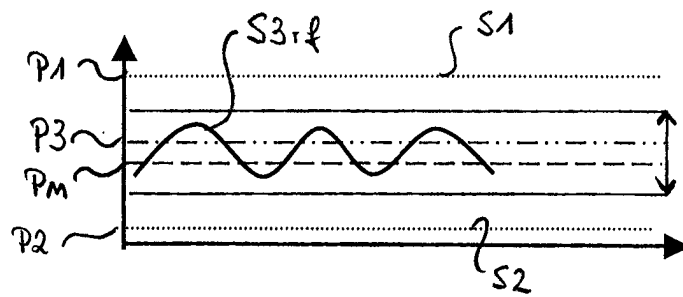


Fig. 8C

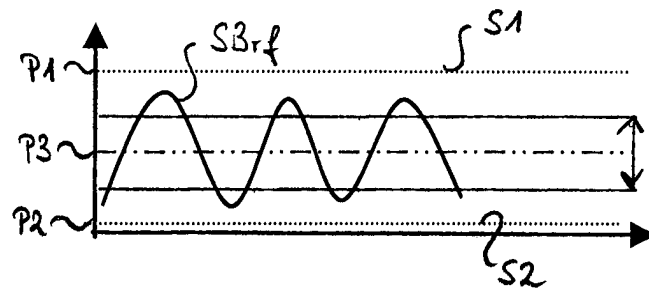


Fig. 9A

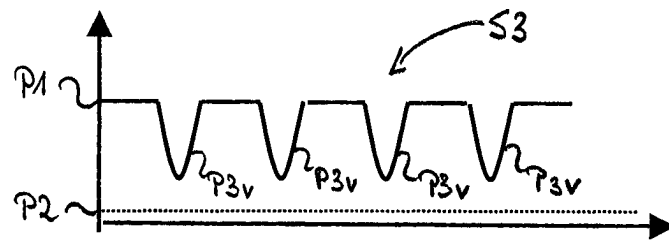


Fig. 9B

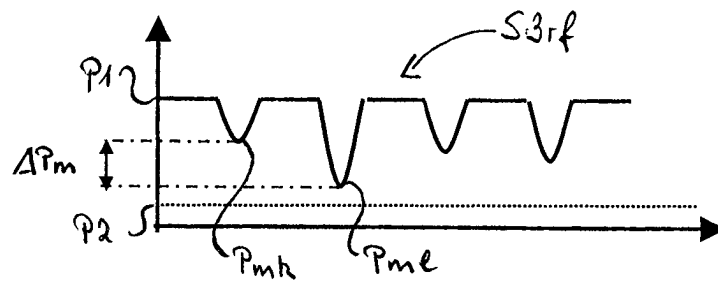


Fig. 9C

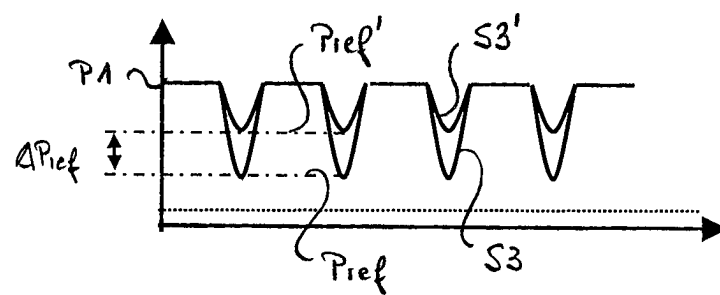


Fig. 10A

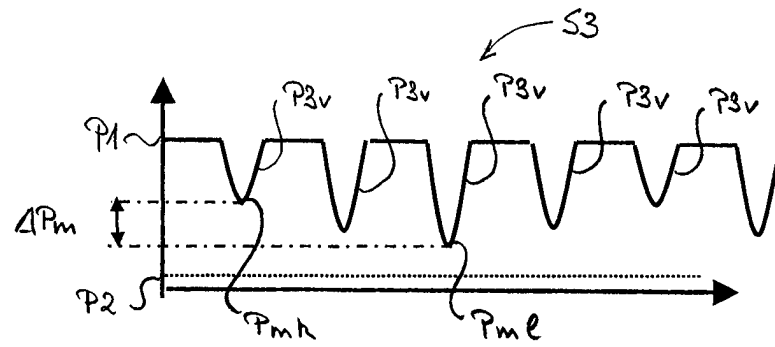


Fig. 10B

