

(19)

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 714 443 A1**

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinerischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **G01B 21/20** (2006.01)
B23Q 17/00 (2006.01)
B23F 23/12 (2006.01)
G05B 19/401 (2006.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 01526/17

(71) Anmelder:
Reishauer AG, Industriestrasse 36
8304 Wallisellen (CH)

(22) Anmeldedatum: 15.12.2017

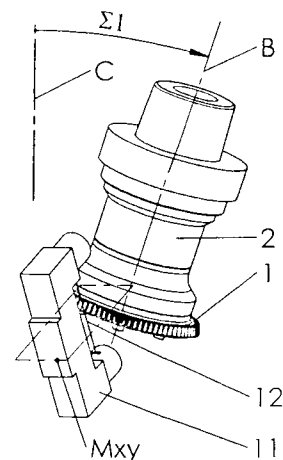
(72) Erfinder:
Philippe Huber, 8304 Wallisellen (CH)
Roger Kirsch, 76307 Karlsbad (DE)
Hartmut Marx, 8304 Wallisellen (CH)
Michael Mros, 68159 Mannheim (DE)
Michel Müller, 8610 Uster (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.06.2019

(74) Vertreter:
Isler & Pedrazzini AG, Postfach 1772
8027 Zürich (CH)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Vermessung eines Wälzbearbeitungswerkzeugs.**

(57) In einem Verfahren zur Vermessung eines Werkzeugs (1) für die Wälzbearbeitung verzahnter Werkstücke wird ein virtueller Berührungspunkt auf einer abgerundeten virtuellen Schneide eines virtuellen Werkzeugs berechnet. Sodann werden die Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse (B) und dem Messgerät (11) sowie eine translatorische Relativposition zwischen dem Werkzeug und dem Messgerät auf der Basis des berechneten virtuellen Berührungspunkts berechnet und eingestellt. Die Messung an der realen Schneide erfolgt in der eingestellten Relativorientierung und Relativposition. Sie kann insbesondere mit Hilfe eines zylindrischen Tastmittels in Form eines Lichtstrahls erfolgen, wobei das zylindrische Tastmittel die virtuelle Schneide im virtuellen Berührungspunkt tangential berührt.



Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermessung eines Wälzbearbeitungswerkzeugs sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

STAND DER TECHNIK

[0002] Beim Wälzschälverfahren handelt es sich um ein kontinuierliches spanabhebendes Verfahren, bei dem zahnradartige Werkzeuge zur Bearbeitung rotierender Werkstücke verwendet werden. Das Wälzschälverfahren kann, neben der Weichbearbeitung, insbesondere auch zur Hartfeinbearbeitung vorverzahnter Werkstücke Anwendung finden. Zur Werkstückbearbeitung werden Werkzeug und Werkstück auf Rotationsspindeln aufgenommen. Die Drehachsen von Werkzeug und Werkstück sind hierbei windschief angeordnet. Durch eine Kopplung der Drehbewegungen von Werkzeug und Werkstück um die Drehachsen wird die verfahrenstypische Wälzbewegung mit einer komplizierten Wälzschälkinematik realisiert. Mit diesem spanabhebenden Verfahren können sowohl Aussen- als auch Innenverzahnungen bearbeitet werden.

[0003] Die Zähne eines Wälzschälwerkzeugs bilden im Bereich der Stirnfläche des Werkzeugs Schneiden. Die Schneide eines jeden Zahns bildet in der Praxis nicht eine beliebig scharfe Kante, sondern ist mit einem Radius abgerundet. Die finale Zahnflanke am geschälten Werkstück wird mittels Hüllschnittbildung durch die geometrisch definierte Schneide des Wälzschälwerkzeugs ausgeformt, wobei am Ende der Wälzschälbearbeitung praktisch kein Span mehr abgenommen wird und die Berührung zwischen Werkzeug und Werkstück nur noch punktweise erfolgt. Im Verlauf der Wälzbewegung wandert der entsprechende Berührungspunkt zwischen dem fertig bearbeiteten Werkstück und dem Werkzeug stetig entlang der abgerundeten Schneide. Die windschiefe Anordnung der Drehachsen von Werkzeug und Werkstück führt dabei dazu, dass der Berührungspunkt nicht nur in Längsrichtung entlang der Schneide wandert, sondern gleichzeitig auch quer dazu seine Lage auf der Krümmung der Schneidzahnrundung verändert. Die im Laufe der Wälzbewegung wirkenden Berührungspunkte bilden also eine Raumkurve auf der Schneidzahnrundung. Der Verlauf dieser Raumkurve wird durch die Auslegung des Werkzeugs und Einstellgrößen wie die relative Orientierung und Lage von Werkzeug und Werkstück bestimmt. Die Raumkurve lässt sich aus den Auslegungsdaten berechnen.

[0004] Die Dissertationen von Andreas Hühsam, «Modellbildung und experimentelle Untersuchungen des Wälzschälprozesses», Forschungsbericht Band 111, wbk Institut der Universität Karlsruhe, Shaker Verlag GmbH, 2002, Seiten 23–66 und Andreas Bechle, «Beitrag zur prozesssicheren Bearbeitung beim Hochleistungsfertigungsverfahren Wälzschälverfahren», Forschungsbericht Band 132, wbk Institut der Universität Karlsruhe, Shaker Verlag GmbH, 2006, Seiten 26–28, diskutieren umfassend die Modellierung des Wälzschälens und die qualitätskonforme Fertigung eines Wälzschälwerkzeugs als entscheidendes Element des Wälzschälverfahrens. Hühsam stellt ein kinematisches Modell des Wälzschälens vor. Mit diesem Ansatz kann die komplexe Schneidengeometrie eines Wälzschälwerkzeugs berechnet werden. Den schematischen Vorgang zur Herstellung dieses Wälzschälwerkzeugs zeigt Bechle in der Abb. 2–21 auf Seite 28. Der Werkzeugrohling wird mittels Schleifen fertiggestellt. Nach dem ersten Schleifdurchgang wird das Wälzschälrad auf einer Messmaschine ausgemessen, und es werden die Mass- und Formgenauigkeit ermittelt. Abweichungen von der Sollgeometrie werden festgestellt und durch Korrektur des NC-Abrichtprozesses und erneutes Profilieren der Schleifscheibe beseitigt. Dieser Zyklus wiederholt sich so oft, bis Mass und Form stimmen.

[0005] Bei einer Messung mit einer herkömmlichen Messmaschine bleibt allerdings unberücksichtigt, dass die Berührungspunkte auf der Schneidenrundung im Verlauf der Wälzbewegung entlang der schon erwähnten Raumkurve wandern. Eine herkömmliche Messmaschine ist nicht in der Lage, diese Raumkurve zu berücksichtigen.

[0006] Zudem ist eine Messung auf einer separaten Messmaschine nachteilig, weil das Umspannen des Werkzeugs zwischen Messmaschine und Werkzeugspindel zeitaufwändig ist und dabei Auf- und Umspannfehler entstehen können, die das Fertigungsergebnis negativ beeinflussen.

[0007] In US 2015/0 081 083 A1 wird vorgeschlagen, ein Wälzschälwerkzeug tastend zu vermessen. Dazu wird ein Messkörper bereitgestellt, der eine genaue Abbildung der zu bearbeitenden Flanken einer Werkstückverzahnung darstellt. Diese Art der Vermessung ermöglicht zwar eine genaue Bestimmung des an der Bearbeitungsmaschine einzustellenden Abstands zwischen Werkstück- und Werkzeugachse, eignet sich jedoch nicht für eine Vermessung der beim Wälzschälens wirkenden Schneide.

[0008] In WO 2016/150 985 A1 wird vorgeschlagen, die Abweichung der Lage der Kopfschneidkante, der linken Schneidkante und der rechten Schneidkante jedes Schneidzahns eines Wälzschälwerkzeugs von einer Idealkontur zu messen, um auf diese Weise Rundlauffehler zu bestimmen. Die Messung erfolgt tastend mit einer Messkugel. Bei diesem Verfahren erfolgt zwar eine Bestimmung der Lage der Schneidkante, aber keine Vermessung der eigentlichen Schneidkante selbst. Die ermittelten Lageabweichungen werden dann bei der Werkstückbearbeitung dazu verwendet, die Auswirkungen des Rundlauffehlers auf die Werkstückgeometrie zu vermindern, indem eine periodische Nichtlinearität des Kopplungsverhältnisses zwischen Werkstück- und Werkzeugdrehung oder eine periodische Änderung des Achsabstands vorgesehen wird.

[0009] Aus dem Stand der Technik sind Verfahren zur optischen Vermessung von Messobjekten bekannt, die im Durchlichtverfahren arbeiten, d.h. das Messobjekt wird zwischen eine Lichtquelle und einen Lichtdetektor gebracht, und der Lichtdetektor erkennt, wenn das Messobjekt den Lichtstrahl der Lichtquelle unterbricht.

[0010] Ein solches Verfahren ist z.B. in DE 19 927 872 A1 offenbart. Um auch Bereiche erfassen zu können, die aufgrund der Geometrie des Messobjekts ansonsten nur schwierig erfassbar wären, wird vorgeschlagen, dass die Lichtquelle und der Lichtdetektor eine Einheit bilden und auf einer Schwenkeinrichtung angebracht sind. Die Schwenkeinrichtung ist um eine Achse verschwenkbar, die die Drehachse des Messobjekts schneidet. Die Schwenkeinrichtung ist zudem entlang einer senkrecht zur Schwenkachse verlaufenden zweiten Achse translatorisch verstellbar. Das Messobjekt ist entlang einer zur ersten Achse parallelen dritten Achse verstellbar und um eine parallel zur zweiten Achse verlaufende, von der ersten Achse geschnittene vierte Achse drehbar. Dadurch besteht die Möglichkeit, z.B. bei Schneidzähnen eines rotations-symmetrischen Werkzeugs hinter der Schneide zu messen. Das Dokument gibt keine Anregung, eine derartige Anordnung zur Vermessung von Wälzschälwerkzeugen, insbesondere mit Abrundungen an der Schneide, einzusetzen.

[0011] In EP 1 050 368 A1 wird eine optische Messeinrichtung für Positionier-vorrichtungen vorgeschlagen. Eine Lichtquelle und ein Lichtdetektor sind auf einem gemeinsamen Halter angeordnet und so ausgerichtet, dass ein Messlichtstrahl von der Lichtquelle auf den Lichtdetektor trifft. Der Lichtdetektor delektiert, wenn der Strahl durch ein Messobjekt unterbrochen wird. Wenn eine Unterbrechung eintritt, wird ein entsprechendes Signal generiert. Es erfolgt also eine einfache binäre Auswertung mit den Zuständen «Licht empfangen» («L») und «kein Licht empfangen» («0»). Der Lichtstrahl kann unkontrolliert sein, d.h. er kann von der Lichtquelle zum Lichtsensor hin leicht divergieren. Vor dem Lichtdetektor ist ein enger Lichtkanal angeordnet, durch den das Licht hindurchtreten muss, um zum Lichtdetektor zu gelangen. Dadurch «sieht» der Detektor effektiv nur einen zylindrischen Strahlbereich des von der Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlenbündels. Der Lichtstrahl wirkt also wie eine zylindrische Tastfläche, mit der das Messobjekt abgetastet wird. Eine Anwendung für die Vermessung von Wälzschälwerkzeugen ist nicht offenbart.

[0012] Eine entsprechende Laser-Messbrücke wird z. B. unter der Bezeichnung NC4 von der Firma Renishaw, Wotton-under-Edge, UK, angeboten.

[0013] US 8 411 283 B1 offenbart ein Verfahren, bei dem ein Zahnrad mittels Abstandsmessungen vermessen wird. In EP 1398 598 A1 wird die Vermessung einer kleinen Schneidkantengeometrie mittels Linienlaser und Bilderfassung vorgeschlagen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0014] In einem ersten Aspekt ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Messverfahren zur Vermessung der Schneide eines Wälzschälwerkzeugs anzugeben, welches eine Messung mit besonders hoher Präzision ermöglicht, automatisierbar ist und sich kostengünstig, einfach und schnell realisieren lässt.

[0015] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ausserdem wird eine Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 19 angegeben. Weitere Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0016] Es wird also ein Verfahren zur Vermessung eines Werkzeugs für die Wälzbearbeitung verzahnter Werkstücke angegeben. Das Werkzeug ist um eine Werkzeugachse drehbar und weist eine Mehrzahl von Schneidzähnen auf. Jeder der Schneidzähne bildet mindestens eine reale Schneide. Das Verfahren wird unter Einsatz eines Messgeräts ausgeführt. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf, wobei diese Schritte nicht notwendig in der angegebenen Reihenfolge ausgeführt werden:

- (a) Berechnen eines virtuellen Berührungspunkts auf einer virtuellen Schneide eines virtuellen Werkzeugs, wobei sich die virtuelle Schneide entlang einer Schneidenlängsrichtung erstreckt und quer zur Schneidenlängsrichtung eine Abrundung aufweist;
- (b) Berechnen einer Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse und dem Messgerät sowie einer translatorischen Relativposition zwischen dem Werkzeug und dem Messgerät auf der Basis des berechneten virtuellen Berührungspunkts;
- (c) Einstellen der berechneten Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse und dem Messgerät und der berechneten Relativposition zwischen dem Werkzeug und dem Messgerät; und
- (d) Durchführen einer Messung an der realen Schneide in der eingestellten Relativorientierung und Relativposition, wobei die vorstehenden Schritte (a) bis (d) für eine Mehrzahl von virtuellen Berührungspunkten entlang der virtuellen Schneide durchgeführt werden.

[0017] Es wird also zunächst ein virtuelles Werkzeug betrachtet, das eine virtuelle Schneide definiert. Wie aus der nachstehenden Beschreibung hervorgeht, dient die virtuelle Schneide dazu, zu berechnen, wie die Werkzeugachse relativ zum Messgerät ausgerichtet werden sollte und wie das Werkzeug relativ zum Messgerät positioniert werden sollte, damit die

Messung mit hoher Präzision erfolgen kann. Die virtuelle Schneide entspricht dabei einer vorgegebenen Schneidengeometrie, insbesondere der Soll-Schneidengeometrie gemäss Werkzeugauslegung. Diese virtuelle Schneide bildet entlang der Schneidenlängsrichtung nicht eine unendlich scharfe Kante, sondern ist zwischen Spanfläche bzw., soweit vorhanden, Spanflächenfase und Freifläche bzw., soweit vorhanden, Freiflächenfase definiert abergerundet. Die virtuelle Schneide bildet somit eine komplexe gekrümmte Fläche.

[0018] Auf dieser virtuellen Schneide befindet sich eine Raumkurve, die aus den Punkten besteht, an welchen die komplexe gekrümmte Fläche ein virtuelles Werkstück mit vorgegebener Sollflankengeometrie berühren würde, wenn das virtuelle Werkzeug mit dem virtuellen Werkstück die Wälzbewegung ausführt, wie sie auch bei der realen Bearbeitung eines realen Werkstücks mit dem realen Werkzeug stattfindet. Diese Punkte auf der virtuellen Schneide werden als virtuelle Berührpunkte bezeichnet. Die Kurve aus virtuellen Berührpunkten verläuft in der Regel nicht in einer Stirnschnittebene des Werkzeugs. Die Punkte im Raum, relativ zur Achse des virtuellen Werkstücks und zur Achse des virtuellen Werkzeugs, an denen diese Berührung über alle Wälzstellungen hinweg stattfindet, bilden ebenfalls eine Kurve, die virtuelle Eingriffslinie genannt wird. Der zu einem virtuellen Berührpunkt gehörende Punkt auf der virtuellen Eingriffslinie wird als virtueller Eingriffspunkt bezeichnet. Der virtuelle Berührpunkt auf der Schneide und der dazugehörige virtuelle Eingriffspunkt im Raum sind identisch für den Fall, dass man sich in der Wälzstellung befindet, in der der virtuelle Berührpunkt die finale Kontur der Werkstücksollflanke berührt. Auf dem virtuellen Werkstück, das der Sollgeometrie entspricht, befindet sich ebenfalls ein virtueller Berührpunkt, der in der Berührwälzstellung ebenfalls mit dem virtuellen Eingriffspunkt zusammenfällt.

[0019] Für einen ausgewählten virtuellen Berührpunkt wird nun bestimmt, wie die Werkzeugachse und das Messgerät relativ zueinander orientiert werden müssen, und wie das Werkzeug und das Messgerät relativ zueinander hinsichtlich ihrer translatorischen Position eingestellt werden müssen, damit mit dem Messgerät eine Messung im virtuellen Berührpunkt (und nicht etwa an einer anderen Stelle auf der Schneidenkrümmung) vorgenommen werden kann. Die so berechnete Orientierung und translatorische Position werden sich insbesondere für ein Wälzschälwerkzeug wegen der windschiefen Anordnung zwischen virtuellem Werkzeug und virtuellem Werkstück in der Regel von virtuellem Berührpunkt zu virtuellem Berührpunkt entlang der virtuellen Schneide ändern.

[0020] Das reale Werkzeug und das Messgerät werden nun relativ zueinander so eingestellt, wie dies zuvor berechnet wurde. Für diese Einstellung werden vorzugsweise CNC-Achsen der Maschine verwendet. In der so eingestellten Orientierung der Werkzeugachse relativ zum Messgerät und der so eingestellten Position des Werkzeugs relativ zum Messgerät wird anschliessend eine Messung an der realen Schneide des realen Werkzeugs vorgenommen. Wenn sich die Schneidengeometrie des realen Werkzeugs von derjenigen des virtuellen Werkzeugs im berechneten virtuellen Berührpunkt unterscheidet, quantifiziert die Messung die Abweichung am virtuellen Berührpunkt. Insbesondere kann zur Vornahme der Messung eine weitere Relativbewegung des Werkzeugs relativ zum Messgerät durchgeführt werden; z.B. kann zur Vornahme der Messung das reale Werkzeug um die Werkzeugachse gedreht und die Abweichung als Drehwinkeldifferenz ausgedrückt werden, um die das reale Werkzeug verdreht werden muss, damit die reale Schneide und die virtuelle Schneide im virtuellen Berührpunkt zusammenfallen.

[0021] Die vorstehenden Schritte können dann für einen oder mehrere weitere virtuelle Berührpunkte entlang der virtuellen Schneide wiederholt werden. Auf diese Weise wird die Schneide an mehreren Stellen entlang ihrer Längsrichtung vermessen. Insbesondere können die oben genannten Schritte (a) bis (d) für mindestens fünf virtuelle Berührpunkte entlang der virtuellen Schneide durchgeführt werden, um eine genügend detaillierte Aussage über die reale Schneidengeometrie zu ermöglichen.

[0022] Um zwischen den Messwerten für virtuelle Berührpunkte auf der Schneide zu interpolieren, kann aus den Messergebnissen, die für unterschiedliche Berührpunkte auf derselben Schneide ermittelt wurden, in an sich bekannter Weise mittels Ausgleichsrechnung eine Ausgleichskurve für die Beschreibung der realen Schneide berechnet werden.

[0023] Um die Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse und dem Messgerät einzustellen, ist es grundsätzlich denkbar, jeweils die Orientierung und Position des Messgeräts im Raum zu verändern, während die Orientierung der Werkzeugachse und die Position des Werkzeugs feststeht. Alternativ ist es denkbar, die Orientierung der Werkzeugachse und die Position des Werkzeugs im Raum zu verändern, während das Messgerät feststeht. Auch Mischformen sind möglich. Meistens sind jedoch an einer Werkzeugmaschine ohnehin schon die nötigen CNC-Achsen vorhanden, die es ermöglichen, die Orientierung der Werkzeugachse im Raum zu verändern und die Position des Werkzeugs im Raum einzustellen. Es ist daher von Vorteil, wenn das Messgerät während der Durchführung des Verfahrens räumlich feststehend angeordnet ist und die Einstellung der Relativorientierung und der Relativposition für den jeweiligen virtuellen Berührpunkt erfolgt, indem die Orientierung der Werkzeugachse im Raum und die Position des Werkzeugs im Raum verändert werden.

[0024] Das vorgeschlagene Verfahren kann mit unterschiedlichsten Messverfahren eingesetzt werden. Es eignet sich jedoch besonders für ein Messverfahren, bei dem die Schneide des Werkzeugs tangential abgetastet wird. Dazu kann das Messgerät ein berührungslos oder berührend arbeitendes Tastmittel bereitstellen, und die Relativorientierung und die Relativposition werden derart berechnet und eingestellt, dass das Tastmittel die virtuelle Schneide im berechneten virtuellen Berührpunkt tangential berührt. Das Tastmittel kann dabei ein berührend wirkendes, körperliches Tastmittel (ein realer, dauerhaft vorhandener Körper) sein, z.B. ein Tastfinger, oder es kann sich um ein berührungslos wirkendes, nicht körperliches Tastmittel handeln, z.B. in Form eines Lichtstrahles.

[0025] Weitere Vorteile ergeben sich, wenn das Tastmittel von zylindrischer Form ist und dadurch eine zylindrische Tastfläche definiert, da es dann für die Messung nicht auf die Lage des Werkzeugs entlang der Zylinderachse des Tastmittels ankommt. Dies erleichtert die Einstellung der Lage des Werkzeugs und des Messgeräts relativ zueinander und vereinfacht den Messvorgang.

[0026] Wenn das Tastmittel von zylindrischer Form ist, definiert dieses eine Zylinderachse, und die zylindrische Tastfläche verläuft in einem Abstand von der Zylinderachse, die dem Zylinderradius entspricht. In einer vorteilhaften Ausgestaltung werden die Relativorientierung und die Relativposition dann derart berechnet und eingestellt, dass die Zylinderachse des zylindrischen Tastmittels parallel zur Tangentialebene auf der virtuellen Schneide im berechneten virtuellen Berührungspunkt verläuft, und zwar in einem Abstand von dieser Tangentialebene, der dem Zylinderradius entspricht. Somit enthält die zylindrische Tastfläche den virtuellen Berührungspunkt und liegt dort tangential an die virtuelle Schneide an.

[0027] Beim Einsatz eines zylindrischen Tastmittels in der vorstehend genannten Weise verläuft die Zylinderachse in einer Ebene, die parallel zu Tangentialebene auf der virtuellen Schneide im berechneten virtuellen Berührungspunkt liegt. Dabei verbleibt immer noch ein Freiheitsgrad für die Ausrichtung der Zylinderachse innerhalb dieser Ebene. Diese Ausrichtung kann vorteilhaft so gewählt werden, dass die Zylinderachse im Wesentlichen entlang der Flankenrichtung des virtuellen Werkstücks verläuft. Diese Ausrichtung des zylindrischen Tastmittels vermindert im Falle eines körperlichen Tastmittels das Risiko von Kollisionen mit anderen Werkzeugbereichen. Im Falle eines Tastmittels in Form eines Lichtstrahls vermindert diese Ausrichtung das Risiko, dass der Lichtstrahl durch andere Werkzeugbereiche abgeschattet wird.

[0028] Wenn das Tastmittel durch einen Lichtstrahl gebildet wird, kann das Verfahren in einfacher Weise wie folgt ausgeführt werden: Zur Durchführung der Messung wird das Werkzeug in der jeweils eingestellten Relativorientierung der Werkzeugachse und bei der jeweils eingestellten Relativposition zwischen Werkzeug und Messgerät im Schritt (d) um die Werkzeugachse gedreht, und während der Drehung wird detektiert, bei welchem Ist-Drehwinkel der Lichtstrahl durch die Schneide unterbrochen wird. Dadurch entstehen abwechselnd Signale «L» (Lichtstrahl nicht unterbrochen, Detektor hell) und «O» (Lichtstrahl unterbrochen, Detektor dunkel). Auf dieser Basis kann eine Abweichung zwischen dem detektierten Ist-Drehwinkel und einem für die virtuelle Schneide berechneten Soll-Drehwinkel ermittelt werden. Diese Abweichung ist ein direktes Mass für die Abweichung der Ist-Schneidengeometrie von der Soll-Schneidengeometrie. Ein Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens liegt darin, dass diese Abweichung nicht an irgendeiner vorgegebenen oder zufälligen Stelle auf der Krümmung der Schneide ermittelt wird, sondern genau an der Stelle, an der sich Werkstück und Werkzeug final berühren würden, wenn das Werkzeug die vorgegebene Sollgeometrie hätte. Die Messung erfolgt also genau an denjenigen Punkten, auf die es bei der Bearbeitung tatsächlich ankommt und an denen die Schneide daher besonders präzise vermessen werden sollte.

[0029] Die Messung im Schritt (d) kann in der jeweils eingestellten Relativorientierung und Relativposition für mehrere oder alle Schneidzähne des Werkzeugs durchgeführt werden, sodass mehrere oder alle Schneidzähne nacheinander den Lichtstrahl unterbrechen und wieder freigeben. Auf diese Weise können schnell und effizient mehrere Schneidzähne an den relevanten virtuellen Berührungspunkten vermessen werden, ohne dass die Relativorientierung zwischen Werkzeugachse und Messgerät und die Relativposition zwischen diesen Messungen verändert werden müssen.

[0030] Aus Messungen an mehreren oder allen Schneidzähnen kann mindestens einer der folgenden Parameter bestimmt werden:

- Werkzeuggrundlauf;
- Schneidzahnmitte;
- Mitte der Zahnücke.

[0031] Aus Messungen an einem, mehreren oder allen Schneidzähnen kann eine der folgenden Größen bestimmt werden:

- mindestens ein Mass für die Abweichung des Profus einer mit der realen Schneide gefertigten Flanke zu einer mit der virtuellen Schneide (insbesondere der Soll-Schneide) gefertigten virtuellen Flanke (z.B. Profilformfehler, Teilungsfehler);
- mindestens ein Mass für die Veränderung der Schneide während der Bearbeitung, zum Beispiel durch Verschleiss.

[0032] Das Verfahren kann ausserdem mindestens die folgenden Schritte umfassen:

- (e) Ermitteln mindestens einer Einstellung für eine Maschinensteuerung aufgrund eines Ergebnisses der Messungen, wobei die Einstellung bewirkt, dass eine Relativposition zwischen dem Werkzeug und einem Werkstück für die Bearbeitung des Werkstücks eingestellt wird; und
- (f) Übergeben der Einstellung an die Maschinensteuerung.

[0033] In anderen Worten kann aufgrund der ermittelten Schneidengeometrie die Einstellung des Werkzeugs relativ zum Werkstück verändert werden, um z.B. die Abnutzung der Schneide auszugleichen.

[0034] Die in Schritt (e) ermittelte Einstellung kann auch an ein externes Computersystem übergeben werden, welches die Einstellungen zu mehreren Zeitpunkten abspeichert und für ein Nachschärfen des Werkzeugs aufbereitet. Die Übergabe kann dabei über Standardschnittstellen erfolgen.

[0035] Das Verfahren kann ausserdem das Visualisieren eines Ergebnisses der Messung auf einem Bildschirm umfassen, insbesondere auf einem Bildschirm einer Bedientafel einer CNC-Maschinensteuerung.

[0036] Beim Werkzeug kann es sich insbesondere um ein Wälzschälwerkzeug oder ein Wälzstosswerkzeug handeln.

[0037] Insbesondere bei einem Wälzschälwerkzeug weist das hier vorgeschlagene Verfahren besondere Vorteile auf, weil sich durch die windschiefe Anordnung der Rotationsachsen von Werkzeug und Werkstück sowie die quasi nichtevolventische, komplexe Schneidengeometrie Besonderheiten ergeben, die bei herkömmlichen Messverfahren in der Regel nicht genügend berücksichtigt werden.

[0038] Insbesondere kann es sich bei dem Werkzeug um ein Wälzschälwerkzeug mit variablen Spanflächenfasen handeln, wie es in der Schweizer Patentanmeldung CH 01412/16 vom 21.10.2016 beschrieben wird. Die Offenbarung dieser Patentanmeldung wird hierin durch Verweis vollständig aufgenommen.

[0039] Das Verfahren kann ausgeführt werden, während sich das Werkzeug auf einer Werkzeugspindel befindet, mit der auch die Bearbeitung von Werkstücken stattfindet. In anderen Worten kann das Verfahren direkt auf der Maschine ausgeführt werden, mit der auch die Werkstückbearbeitung stattfindet. Es ist also nicht nötig, das Werkzeug zunächst auf die Spindel einer separaten Messmaschine umzuspannen. Es ist aber auch denkbar, das Verfahren auf einer separaten Messmaschine durchzuführen.

[0040] Vor der Durchführung des eigentlichen Messverfahrens können zusätzlich Verfahrensschritte zur Kalibrierung der Messposition in der Maschine ausgeführt werden. Derartige Kalibrierungsschritte können bei Bedarf während eines Bearbeitungszyklus wiederholt werden.

[0041] Eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens kann aufweisen:

- eine Werkzeugspindel zum Antreiben des Werkzeugs zu einer Drehung um die Werkzeugachse;
- das schon erwähnte Messgerät;
- mindestens eine angetriebene Schwenkachse, um die Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse und dem Messgerät zu verändern; und
- mindestens eine angetriebene Linearachse, um die translatorische Relativposition zwischen dem Werkzeug und dem Messgerät zu verändern.

[0042] Die Vorrichtung weist dann ausserdem eine Steuerung auf, die dazu ausgebildet ist, das oben dargestellte Verfahren auszuführen. Die oben angegebenen Überlegungen zum Verfahren gelten gleichermassen auch für die erfindungsgemässe Vorrichtung. Die Steuerung kann insbesondere eine Software aufweisen, die bei der Ausführung durch einen Prozessor der Steuerung bewirkt, dass die Steuerung das oben dargestellte Verfahren ausführt.

[0043] Die Vorrichtung kann mehr als eine Schwenkachse aufweisen, um die Orientierung der Werkzeugachse im Raum relativ zum Messgerät frei einstellen zu können. In diesem Fall sind die Schwenkachsen vorzugsweise nicht parallel zueinander und verlaufen vorzugsweise orthogonal zueinander. Die Vorrichtung kann entsprechend auch mehr als eine Linearachse aufweisen, um die translatorische Relativposition zwischen dem Werkzeug und dem Messgerät frei zu verändern. Die Richtungen der zwei bzw. drei Linearachsen sind dann vorzugsweise im mathematischen Sinne linear unabhängig und vorzugsweise ebenfalls orthogonal zueinander.

[0044] Insbesondere kann die Anordnung der Schwenk- und Linearachsen nach folgenden Regeln ausgeführt werden:

- Das Messgerät ist ortsfest auf dem Maschinenbett angeordnet, und die Ausrichtung und Positionierung des Werkzeugs im Raum erfolgen mittels mindestens einer Linearachse sowie mittels mindestens einer Schwenkachse; oder
- das Messgerät ist fest auf einem verschiebbaren Schlitten angeordnet, der mindestens entlang einer Linearachse verschiebbar ist, und die Ausrichtung und Positionierung des Werkzeugs im Raum erfolgen mittels mindestens einer Schwenkachse.

[0045] In beiden Ausführungsvarianten können weitere Schwenk- und/oder Linearachsen für das Werkzeug und/oder für das Messgerät vorgesehen sein.

[0046] Insbesondere kann auf dem Werkzeugträger einer bekannten Verzahnmaschine gemäss einem Maschinenkonzept nach US 6 565 418 B1 oder nach US 5 857 894 ein Wälzschälkopf anstelle eines Schleifkopfes angeordnet werden. Das Messgerät kann in diesen Maschinen wie folgend angeordnet werden:

(i) Beim Maschinenkonzept der Verzahnmaschine nach US 6 565 418 B1 ist ein Wälzschälkopf auf einem Werkzeugträger angeordnet, der gegenüber dem Maschinenbett verschiebbar ist. Das Maschinenbett trägt ausserdem einen bewegbaren, insbesondere verschiebbaren oder schwenkbaren, Werkstückträger. Das Messgerät kann dann auf diesem Werkstückträger angeordnet und mittels dieses bewegbaren Werkstückträgers von einer Parkstellung in eine Messstellung bewegbar sein. Bei diesem Maschinenkonzept realisiert der bewegbare Werkzeugträger mit Wälzschälkopf drei lineare Achsen X, Y und Z sowie eine Schwenkachse A und eine Rotationsachse B. Zusätzlich ist eine weitere Linear- oder Schwenkachse C* vorhanden, die den Werkstückträger mit dem Messgerät von der Parkstellung in die Messstellung und zurück bewegt. Der bewegbare Werkstückträger kann weiteren Zwecken dienen. Insbesondere kann auf dem bewegbaren Träger ausserdem mindestens eine Werkstückspindel zum Aufspannen eines zu bearbeitenden Werkstücks angeordnet sein.

(ii) Beim Maschinenkonzept nach US 5 857 894 ist der Wälzschälkopf auf einem Werkzeugträger angeordnet, der gegenüber dem Maschinenbett verschieb- und schwenkbar ist. Das Maschinenbett trägt ausserdem einen ortsfesten Werkstück-

träger mit Werkstückspindel. Das Messgerät kann dann ortsfest auf diesem Maschinenbett angeordnet sein. Bei diesem Maschinenkonzept realisiert der bewegbare Werkzeugträger mit Wälzschälkopf ebenfalls drei lineare Achsen X, Y und Z sowie eine Schwenkachse A und eine Rotationsachse B. Zusätzlich ist auch hier eine weitere Linear- oder Schwenkachse C* vorhanden; diese dient aber dazu, den Werkzeugträger (und nicht, wie beim vorstehend geschilderten Maschinenkonzept, den Werkstückträger) zu verschwenken. Der Werkzeugträger ist in diesem Fall bevorzugt zwischen einer Arbeitsstellung, in der ein auf der Werkzeugspindel angebrachtes Werkzeug in Eingriff mit einem Werkstück bringbar ist, und einer Messstellung, in der das Werkzeug mit dem Messgerät zusammenwirkt, bewegbar, insbesondere verschwenkbar.

[0047] Wie schon ausgeführt wurde, kann das Messgerät ein berührungslos oder berührend wirkendes Tastmittel bereitstellen, und die Steuerung kann die Relativorientierung und die Relativkoordinaten derart berechnen und einstellen, dass das Tastmittel die virtuelle Schneide im berechneten virtuellen Berührungspunkt tangential berührt. Dabei ist es wie erwähnt von Vorteil, wenn das Tastmittel von zylindrischer Form ist.

[0048] Das Messgerät kann insbesondere eine Lichtschranke bilden. Dazu kann das Messgerät eine Lichtquelle und einen Lichtdetektor aufweisen, wobei die Lichtquelle dazu ausgebildet ist, einen Lichtstrahl zu erzeugen, der auf den Lichtdetektor ausgerichtet ist. Das Tastmittel wirkt in diesem Fall berührungslos und wird durch mindestens einen Bereich des Lichtstrahls gebildet. Bevorzugt sind die Lichtquelle und der Lichtdetektor derart ausgestaltet, dass effektiv ein zylindrischer Strahlbereich des Lichtstrahls als Tastmittel wirkt. Die Steuerung wirkt derart mit der Werkzeugspindel zusammen, dass die Werkzeugspindel das Werkzeug zur Durchführung der Messung in der eingestellten Relativorientierung der Werkzeugachse und bei den eingestellten Relativkoordinaten um die Werkzeugachse dreht. Der Lichtdetektor ist dann dazu ausgebildet, während der Drehung zu detektieren, bei welchem Ist-Drehwinkel der Lichtstrahl durch die Schneide unterbrochen wird. Die Lichtquelle kann insbesondere einen Laser umfassen, so dass das Messgerät eine Laserbrücke bildet. Der Laser kann insbesondere einen Strahl von kreiszylindrischer Form erzeugen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0049] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen beschrieben, die lediglich zur Erläuterung dienen und nicht einschränkend auszulegen sind. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Werkstück- und Werkzeugzuordnung mit Wälzschälwerkzeug sowie Messvorrichtung und weitere Bausteine einer Wälzschälmaschine;
- Fig. 1a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 1 im Bereich D1;
- Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines Schneidzahns eines Wälzschälwerkzeugs mit senkrechter Achslage der Werkzeugspindel, wobei achsparallele zylindrische Tastflächen in fester Orientierung an der Schneide anliegen;
- Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines Schneidzahns eines Wälzschälwerkzeugs in windschiefer Achslage (analog zur Achsstellung beim Bearbeiten), wobei zylindrische Tastflächen in unterschiedlichen Orientierungen an der Schneide anliegen;
- Fig. 3a eine vergrößerte Schnittansicht in Ebene S1 der Fig. 3 im Berührungspunkt m1;
- Fig. 3b eine vergrößerte Schnittansicht in Ebene S2 der Fig. 3 im Berührungspunkt m2;
- Fig. 3c eine vergrößerte Schnittansicht in Ebene S3 der Fig. 3 im Berührungspunkt m3;
- Fig. 3d eine vergrößerte Schnittansicht in Ebene S4 der Fig. 3 im Berührungspunkt m4;
- Fig. 3e eine vergrößerte Schnittansicht in Ebene S5 der Fig. 3 im Berührungspunkt m5;
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht eines virtuellen Werkstücks im Eingriff mit einem virtuellen Werkzeug zur Verdeutlichung der Lage einer zylindrischen Tastfläche;
- Fig. 4a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 4 im Bereich D2, wobei zur besseren Darstellung einer gekrümmten Zahnflanke noch Flächenkurven eingetragen sind;
- Fig. 5 eine andere perspektivische Ansicht eines Schneidzahns nach Fig. 3 mit fünf Messspuren und zugehörigen zylindrischen Tastflächen in den Berührungspunkten auf der wirksamen Schneide;
- Fig. 5a eine Seitenansicht eines Schneidzahns nach Fig. 5 mit zugehörigen Z-Werten der fünf Berührungspunkte;
- Fig. 5b eine Draufsicht eines Schneidzahns nach Fig. 5 mit fünf Messspuren und zugehörigen Winkelpositionen;
- Fig. 6 eine weitere perspektivische Ansicht eines Schneidzahns nach Fig. 3 und 5;

CH 714 443 A1

- Fig. 6a eine schematische Schnittansicht in Ebene S1 der Fig. 6 in windschiefer Achslage (analog zur Achsstellung beim Bearbeiten);
- Fig. 6b eine schematische Schnittansicht in Ebene S1 der Fig. 6 mit tangential anliegendem Laserstrahl im Berührungspunkt m1 in vertikaler Lage;
- Fig. 6c eine schematische Schnittansicht in Ebene S5 der Fig. 6 in windschiefer Achslage (analog zur Achsstellung beim Bearbeiten);
- Fig. 6d eine schematische Schnittansicht in Ebene S5 der Fig. 6 mit tangential anliegendem Laserstrahl im Berührungspunkt m5 in vertikaler Lage;
- Fig. 7 eine perspektivische Ansicht einer vertikal angeordneten Laserbrücke beim Prüfen eines Wälzschälwerkzeugs und schematischer Darstellung eines entsprechenden L/0- Signalbandes;
- Fig. 7a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 7 im Bereich D3, wobei L- und 0-Signale sowie der Rundlauf des Werkzeugs schematisch dargestellt sind;
- Fig. 8 ein Diagramm zur schematischen Darstellung der Messwerte an den virtuellen Berührungspunkten eines mit beispielsweise 75 Schneidzähnen ausgeführten Wälzschälwerkzeugs, wobei schematisch Ist-Werte, berechnete Ausgleichskurve, Schneidzahnmitte, Zahnteilung und ein Toleranzbereich dargestellt sind;
- Fig. 9 eine Seitenansicht einer Anordnung mit vertikal angeordneter Laserbrücke und Werkzeugspindel;
- Fig. 9a eine perspektivische Ansicht nach Fig. 9 mit Rotations- und Linearachsen zum Messen;
- Fig. 10 eine Seitenansicht einer Anordnung mit gekippt angeordneter Laserbrücke und Werkzeugspindel;
- Fig. 10a eine perspektivische Ansicht nach Fig. 10;
- Fig. 11 eine perspektivische Ansicht einer Anordnung mit einem scannenden und taktilen Taster;
- Fig. 11a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 11 im Bereich D4;
- Fig. 12 eine perspektivische Ansicht einer Verzahnmaschine zum Wälzschälen mit einem Wälzschälkopf auf einem verschiebbaren Werkzeugträger und mit zwei Werkstückspindeln auf einem schwenkbaren Werkstückträger, wobei der Werkstückträger die Messvorrichtung trägt;
- Fig. 12a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 12 im Bereich D5;
- Fig. 13 eine perspektivische Ansicht einer Verzahnmaschine mit einer Werkstückspindel zum Wälzschälen mit einem Wälzschälkopf auf einem verschieb- und schwenkbaren Werkzeugträger, wobei eine Messvorrichtung fest auf einem Maschinenbett angeordnet ist;
- Fig. 13a eine vergrößerte Detailansicht der Fig. 13 im Bereich D6;
- Fig. 14 eine perspektivische Ansicht zum Kalibrieren mit Kalibrierdorn und gekippt angeordneter Laserbrücke;
- Fig. 14a eine Vorderansicht der Fig. 14 mit Achsstellungen in Y- Richtung;
- Fig. 14b eine Seitenansicht der Fig. 14 mit Achsstellungen in X- Richtung; und
- Fig. 15 eine perspektivische Ansicht einer Anordnung zur Post-Prozess-Messung des Werkstücks mit einem scannenden, taktilen Taster.

BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0050] Die für Stirnräder geltenden Begriffe und Verzahnungsgeometrien sind festgelegt in der Norm DIN ISO 21771:2014-08 und werden in diesem Dokument in Einklang mit dieser Norm verstanden.

[0051] In den Zeichnungen werden Ausführungsformen des erfindungsgemässen Verfahrens jeweils schematisch und vergrößert dargestellt. In allen Figuren werden für gleiche bzw. gleichartige Flächen, Achsen, Winkel oder weitere Elemente übereinstimmende Bezugszeichen verwendet. Virtuelle Objekte wie virtuelle Werkzeuge, virtuelle Werkstücke usw. werden mit dem Buchstaben «v» bezeichnet, welcher dem Bezugszeichen für das entsprechende reale Objekt nachgestellt wird. Die Beschreibungen zu den Figuren erfolgen generell für das Wälzschälen von Aussenverzahnungen. Für das Wälzschälen von Innenverzahnungen gelten analoge Betrachtungen.

[0052] Ausführungsbeispiele des erfindungsgemässen Verfahrens werden im Folgenden insbesondere anhand eines realen Wälzschälwerkzeugs 1 und eines virtuellen Wälzschälwerkzeugs 1v erläutert. Das Wälzschälwerkzeug 1 bzw. 1v ist zahnradförmig und weist eine Vielzahl von Schneidzähnen 14 (siehe z.B. Fig. 2) auf, die im Bereich der Stirnseite des Werkzeugs jeweils eine abgerundete Schneide bilden. Es wird darauf hingewiesen, dass dieses Werkzeug in den Zeichnungen stark vereinfacht dargestellt ist. Die nachstehenden Überlegungen lassen sich für beliebige Wälzschälwerkzeuge, auch solche mit Treppenschliff oder anderen geometrischen Gestaltungen anwenden.

[0053] Die Fig. 1 zeigt beispielhaft eine perspektivische Ansicht von ausgewählten Elementen einer modernen CNC-Wälzschälmaschine 22. Zur Beschreibung von Richtungen in der Wälzschälmaschine wird ein rechtwinkliges Koordinatensystem K verwendet, welches die Richtungen X, Y und Z definiert. Der Ursprung des Koordinatensystems liegt in der Werkstückmitte bzw. der Werkstückachse C. Eine CNC-Steuerung 8 dient dazu, die Maschinenachsen A, B, C, X, Y und Z anzusteuern. Eine Bedientafel 9 bildet das Interface für das Bedienpersonal zur CNC-Steuerung 8.

[0054] Die Maschine definiert einen Arbeitsraum 20. Sie weist ein Maschinenbett 6 auf. Im vorliegenden Beispiel ist hierbei eine Werkstückspindel 4 auf einem CNC-gesteuerten Zustellschlitten 5 mit Verschiebung in Y-Richtung angeordnet. Auf der Werkstückspindel 4 wird mit Hilfe eines zeichnerisch nicht dargestellten Spannmittels ein Werkstück 3 aufgespannt. Die Werkstückspindel 4 ist um eine Werkstückachse C drehbar, wobei die Werkstückachse im vorliegenden Beispiel vertikal verläuft. Eine Einzentriersonde 7 dient dazu, berührungslos die Winkellage der Zahnluken des Werkstücks 3 um die Werkstückachse C zu ermitteln, um das Werkstück 3 kollisionsfrei in das Wälzschälwerkzeug 1 einzufädeln.

[0055] Das Wälzschälwerkzeug 1 ist auf einer Werkzeugspindel 2 montiert und um eine Werkzeugachse B drehbar. Die Werkzeugachse B kann weiterhin mit der Achse A um einen Werkzeugeinstellwinkel 2 gegenüber der Vertikalen verschwenkt werden, wobei die Schwenkachse A im vorliegenden Beispiel parallel zur X-Achse verläuft. Dazu kann die Maschine 22 in bekannter Weise einen nicht zeichnerisch dargestellten Werkzeugträger mit daran schwenkbar befestigtem Schwenkkörper aufweisen, an dem wiederum die Werkzeugspindel 2 befestigt ist. Die Werkzeugspindel 2 ist mittels nicht dargestellter Schlitten (im Folgenden auch als Maschinenachsen bezeichnet) entlang der Richtungen X und Z gegenüber dem Maschinenbett 6 verschiebbar. Ist alternativ die CNC-Wälzschälmaschine 22 mit einer ortsfesten Werkstückspindel 4 ausgerüstet, dann ist die Werkzeugspindel 2 auch noch in Y-Richtung verschieblich.

[0056] Die Maschine 22 weist ausserdem eine Laserbrücke 11 auf. Die Laserbrücke umfasst eine Lichtquelle in Form eines Lasers, der einen vertikal (in Z-Richtung) verlaufenden Laserstrahl erzeugt, und einen Lichtdetektor, der eine Unterbrechung des Laserstrahls durch ein Objekt erfasst. Der Laserstrahl verläuft in einem Abstand zur Werkstückachse C, wobei der Laserstrahl um einen Betrag x_m entlang der X-Achse und einen Betrag y_m entlang der Y-Achse gegenüber der Werkstückachse C beabstandet ist. Im vorliegenden Beispiel ist die Laserbrücke 11 fest am verschiebbaren Zustellschlitten 5 auf dem Maschinenbett 6 angeordnet. Alle zur Messung erforderlichen Bewegungen werden durch die rotatorischen und translatorischen Maschinenachsen A, B, X, Y und Z ausgeführt. Insbesondere wird die Werkzeugspindel 2 entlang den translatorischen Achsen X und Z aus der Achsstellung zum Bearbeiten des Werkstücks 3 verfahren und durch Verschwenken um die Schwenkachse A in eine Winkelposition $\Sigma 1$ in eine geeignete Orientierung gebracht. Die beabstandete Laserbrücke 11 wird dann durch Verschieben des Y-Schlittens 5 in eine Achsstellung zum Vermessen des Wälzschälwerkzeugs 1 gefahren. Wenn die Laserbrücke 11 alternativ ortsfest auf dem Maschinenbett 6 angeordnet ist, dann sind alle translatorischen Achsen X, Y und Z der Werkzeugspindel 2 zugeordnet.

[0057] In einer sehr vereinfachten Ausführung dieser festen Anordnung der Laserbrücke 11 könnte nur eine Linearachse zur linearen Positionierung des Werkzeugs 1 genutzt werden. Dabei würde die X-Achse das Werkzeug 1 weg vom Werkstück 3 in die Achsstellung zum Messen verschieben. Die Z-Achse wäre beim Einsatz einer Laserbrücke 11 mit zylindrischem Laserstrahl 12 nicht zwingend erforderlich, würde aber beim Wegfall Genauigkeitsnachteile verursachen. Ein Verzicht auf die Y-Achse würde dagegen das nachstehend beschriebene Messverfahren partiell einschränken.

[0058] Die relative Positionierung und Ausrichtung von Messbrücke 11 und Werkzeug 1 kann auch auf andere Weise als vorstehend beschrieben realisiert werden.

[0059] Zusätzlich ist in der Fig. 1 ein virtuelles Werkzeug 1v mit der Messposition M_p dargestellt. Die Bedeutung des virtuellen Werkzeugs 1v wird nachstehend im Zusammenhang mit der Fig. 1a näher erläutert.

[0060] Die Fig. 1a zeigt eine vergrösserte Detailansicht der Laserbrücke 11 im Bereich D1 mit dem windschief angeordneten, virtuellen Werkzeug 1v sowie mit einem virtuellen Werkstück 3v, welches mit dem virtuellen Wälzschälwerkzeug 1v in Wälzeingriff steht. Ebenfalls in der Fig. 1a eingezeichnet sind mehrere Bezugsebenen M_{xy} , M_{xz} , M_{yz} und B_{xy} . Dabei definieren die Bezugsebenen M_{xy} , M_{xz} , M_{yz} die Lage und Orientierung der Laserbrücke 11. Insbesondere enthält die Bezugsebene M_{xz} im vorliegenden Beispiel den Laserstrahl 12 und verläuft durch das Gehäuse der Laserbrücke. Die Bezugsebene M_{yz} enthält ebenfalls den Laserstrahl 12 und verläuft orthogonal zur Bezugsebene M_{xy} . Die Bezugsebene M_{xy} verläuft horizontal und orthogonal zu den beiden vertikalen Bezugsebenen M_{xz} und M_{yz} . Sie definiert die Mitte der Laserbrücke. Die Messposition M_p befindet sich im gemeinsamen Schnittpunkt der Ebenen M_{xy} , M_{xz} , M_{yz} . Die Bezugsebene B_{xy} verläuft orthogonal zur Werkzeugachse B und stellt eine Stirnschnittebene des virtuellen Werkzeugs 1v dar, wobei diese Stirnschnittebene durch die Schneiden des virtuellen Werkzeugs 1v verläuft.

[0061] Das virtuelle Werkzeug 1v und das virtuelle Werkstück 3v stehen im Wälzeingriff miteinander. Das virtuelle Werkstück 3v weist eine vorgegebene Sollflankengeometrie auf. Das virtuelle Werkzeug 1v weist eine Vielzahl von virtuellen

Schneidzähnen auf, wie sie beispielhaft in den Fig. 2, 3, 5 und 6 dargestellt sind. Jeder Schneidzahn definiert eine abgerundete virtuelle Schneide. Diese virtuelle Schneide ist derart ausgelegt, dass sie durch die Wälzbewegung des Werkzeugs 1v mit dem Werkstück 3v genau die vorgegebene Sollflankengeometrie des Werkstücks 3v generiert. Das virtuelle Werkzeug 1v und das virtuelle Werkstück 3v berühren sich auf einer beliebigen vorgegebenen Flanke zu jedem Zeitpunkt der Wälzbewegung höchstens in einem einzigen virtuellen Berührungspunkt. Im Verlauf der Wälzbewegung wandert die Berührung von Berührungspunkt zu Berührungspunkt auf der abgerundeten Schneide vom Zahnfuss zum Zahnkopf des Schneidzahns oder umgekehrt. Aufgrund der Drehbewegung des virtuellen Werkzeugs 1v beschreibt die virtuelle Eingriffslinie eine komplexe Raumkurve. Die Lage eines virtuellen Eingriffspunkts im Raum kann ohne Weiteres in Abhängigkeit vom betrachteten virtuellen Berührungspunkt des virtuellen Werkzeugs 1v berechnet werden, wenn die Werkzeugauslegung bekannt ist.

[0062] Das virtuelle Werkstück 3v und das virtuelle Werkzeug 1v sind in der Fig. 1a derart ausgerichtet und positioniert, dass der Laserstrahl 12 im Wesentlichen parallel zu einer der Flanken des virtuellen Werkstücks 3v entlang von dessen Schrägungswinkel ausgerichtet ist und genau durch den virtuellen Eingriffspunkt verläuft, und zwar in der Wälzstellung, in der ein virtueller Berührungspunkt des virtuellen Werkzeugs 1v das virtuelle Werkstück 3v berührt und mit dem virtuellen Eingriffspunkt zusammenfällt. Der Laserstrahl 12 verläuft also in der Fig. 1a durch einen Punkt auf der Schneide des virtuellen Werkzeugs 1v, in dem diese Schneide die Flanke des virtuellen Werkstücks 3v berührt, und zwar tangential zur Flanke des virtuellen Werkstücks 3v in dessen virtuellem Berührungspunkt und tangential zur Schneide des virtuellen Werkzeugs 1v in dessen virtuellem Berührungspunkt. Die dazu nötige Ausrichtung und Position des virtuellen Werkzeugs 1v hängt von jedem virtuellen Berührungspunkt entlang der Schneide ab. So erfordert ein virtueller Berührungspunkt in der Nähe des Zahnfusses des Schneidzahns eine andere Ausrichtung und Positionierung des virtuellen Werkzeugs 1v als ein virtueller Berührungspunkt in der Nähe des Zahnkopfs. Die nötige Ausrichtung und Position des virtuellen Werkzeugs 1v lässt sich für jeden virtuellen Berührungspunkt auf der Schneide ohne Weiteres berechnen.

[0063] Für eine Messung am realen Werkzeug 1 wird nun das reale Werkzeug genau in diejenige Position und Orientierung gebracht, in der sich in der Fig. 1a das virtuelle Werkzeug 1v befindet. Das reale Werkzeug wird nun um die Werkzeugachse B gedreht, und es wird beobachtet, bei welchen Drehwinkeln die Schneidzähne des realen Werkzeugs den Laserstrahl 12 unterbrechen. Wenn die Schneidengeometrie des realen Werkzeugs 1 nicht mit der Schneidengeometrie des virtuellen Werkzeugs 1v am ausgewählten Berührungspunkt übereinstimmt, werden die so ermittelten Drehwinkel von denjenigen Drehwinkeln abweichen, bei denen das virtuelle Werkzeug 1v den Laserstrahl unterbrechen würde. Diese Abweichung ist ein Mass für die Abweichung der realen Schneidengeometrie von der virtuellen Schneidengeometrie in dem ausgewählten virtuellen Berührungspunkt.

[0064] Diese Messung wird nun für weitere virtuelle Berührungspunkte entlang der Schneide des virtuellen Werkzeugs 1v wiederholt.

[0065] Während der Messung beschreibt der Laserstrahl 12 in der Bezugsebene Bxy vom sich drehenden Werkzeug aus betrachtet jeweils eine Kreisbahn. Der Radius der Kreisbahn hängt vom virtuellen Berührungspunkt auf der Schneide des virtuellen Werkzeugs 1v ab. Für einen virtuellen Berührungspunkt am Zahnfuss des Schneidzahns ist der Radius kleiner als für einen virtuellen Berührungspunkt am Zahnkopf. Die entsprechende Kreisbahn wird im Folgenden als Messspur bezeichnet. In der Fig. 1a ist eine dieser Messspuren eingezeichnet und mit der Bezeichnung R3 versehen. In der Praxis werden Messungen für mindestens fünf Messspuren mit unterschiedlichen Radien durchgeführt, wobei die Berührungspunkte unterschiedliche Radien der entsprechenden Messspur definieren. Für jeden Berührungspunkt bzw. jeden Radius einer Messspur erfolgt die Messung in einer anderen relativen Stellung zwischen dem Werkzeug 1 und der Laserbrücke 11. Diese Stellung wird dabei gerade so gewählt, dass die Messung an derjenigen Stelle der Schneide stattfindet, an der die Schneide auch bei der tatsächlichen Bearbeitung wirkt, nämlich beim Berührungspunkt während der Bearbeitung. Dadurch werden Messfehler vermieden, die entstehen würden, falls das Werkzeug für verschiedene virtuelle Berührungspunkte auf der Schneide einfach immer in derselben Orientierung vermessen würde. Dies wird nachstehend anhand der Fig. 2 und 3 näher erläutert.

[0066] In der Fig. 2 ist ein einzelner Schneidzahn 14 eines Wälzschälwerkzeugs 1 mit vertikaler Achslage B der Werkzeugspindel 2 dargestellt, wobei der Schneidzahn genau gemäss der Werkzeugauslegung gefertigt wurde. Der Schneidzahn 14 weist eine linke Schneide 28 und eine rechte Schneide 29 auf. Zwischen Spanfläche 18 und Schneide ist jeweils eine Spanflächenfase 19 ausgebildet. Anhand der Fig. 2 wird ein nicht erfindungsgemässes Verfahren erläutert, bei dem die Messungen an den Schneiden erfolgen, ohne dass der Verlauf der Berührungspunkte über die Schneiden berücksichtigt wird. Im Verfahren der Fig. 2 erfolgt die Messung für alle Positionen entlang der Schneide immer in derselben relativen Orientierung zwischen Werkzeug 1 und Laserstrahl 12. Dazu wird der Laserstrahl 12 in der Fig. 2 als zylindrische Tastfläche verstanden und abhängig von der relativen Position zwischen Werkzeug 1 und Laserstrahl als T1 bis T5 bezeichnet. Die zylindrischen Tastflächen T1 bis T5 stehen bei diesem Verfahren immer parallel zur Werkzeugachse B, unabhängig von der zu vermessenden Position auf der jeweiligen Schneide. Wenn nun das Werkzeug durch den Laserstrahl hindurch rotiert wird, beschreibt der Laserstrahl bzw. die Tastfläche relativ zum Werkzeug eine Kreisbahn R1 bis R5. Dabei unterbricht die Schneide 28 den Laserstrahl immer an ihrem äussersten Rand, d.h. an der Kante 16 zur angrenzenden Freifläche hin, und gibt ihn auch erst an ihrem äussersten Rand wieder frei. Der Punkt, an dem die Schneide 28 den Laserstrahl unterbricht, entspricht jedoch nicht dem tatsächlichen Berührungspunkt zwischen Schneide und Werkstück bei der Werkstückbearbeitung: Der tatsächliche Berührungspunkt wird wegen der windschiefen Anordnung von Werkzeug und Werkstück in aller Regel weiter entfernt von der Freifläche auf der abgerundeten Schneide liegen. Aus der Fig. 2 ist ersichtlich, dass durch

diese Abweichung Messfehler entstehen können. Da der Radius, mit dem die Schneide abgerundet ist, üblicherweise im Mikrometerbereich liegt, entstehen durch dieses herkömmliche Verfahren also Messfehler im Mikrometerbereich.

[0067] Anhand der Fig. 3 und den Fig. 3a bis 3e wird im Folgenden das erfindungsgemässe Verfahren näher erläutert. In der Fig. 3 ist wiederum ein Schneidzahn 14 dargestellt, der genau gemäss der Werkzeugauslegung gefertigt wurde, allerdings in einer um einen Winkel Σ verkippten Orientierung. Auf der linken Schneide 28 (im Folgenden auch vereinfacht pauschal als Schneide S bezeichnet) dieses Zahnes 14 sind Berührungspunkte m1 bis m5 eingezeichnet, in denen die Schneide während der Werkstückbearbeitung die Zahnflanke eines fertig bearbeiteten Werkstücks berühren würde, wobei jeder der Berührungspunkte m1 bis m5 einem anderen Wälzwinkel zwischen Werkzeug und Werkstück entspricht. Die Berührungspunkte m1 bis m5 lassen sich aus der Werkzeugauslegung ohne Weiteres berechnen. Sie liegen auf einer Bahn, die über die abgerundete Schneide hinweg verläuft. Die Verbindung dieser Berührungspunkte m1 bis m5 bildet die Ausgleichskurve 17. Man erkennt, dass diese Bahn erheblich von der Kante 16 in der Fig. 2 abweicht.

[0068] Das erfindungsgemässe Verfahren berücksichtigt diese Abweichung. Die Werkzeugachse wird dazu für jeden Berührungspunkt m1 bis m5 jeweils um einen anderen Winkel Σ gegenüber der Vertikalen verkippt, so dass der Laserstrahl 12 bzw. die zylindrischen Tastflächen T1 bis T5 die Schneide jeweils in dem betreffenden Berührungspunkt m1 bis m5 tangential berühren. Die dazu erforderlichen Werte des Winkels S lassen sich ebenfalls anhand der Werkzeugauslegung ohne Weiteres berechnen. Auf diese Weise kann durch die Messung die Geometrie der Schneide entlang der Bahn des Berührungspunktes exakt erfasst werden. Dabei gilt: Die Flächennormale der Schneide steht im jeweiligen Berührungspunkt m1 bis m5 immer im Lot zur bearbeiteten Flanke des Werkstücks, und der Laserstrahl bzw. die zylindrische Tastflächen T1 bis T5 stehen entsprechend immer im rechten Winkel zu diesem Lot.

[0069] Die Fig. 3a bis 3e zeigen in vergrösserten Schnitten in den Ebenen S1 bis S5 schematisch die geometrischen Verhältnisse an den Berührungspunkten m1 bis m5. In der Fig. 3e sind stellvertretend für die Fig. 3a bis 3d alle hier relevanten Bezugszeichen eingetragen (Berührungspunkt m5, Radius r5, Spanfläche 18, Spanflächenfase 19, räumliche Bewegungsbahn 24 des Berührungspunktes, Lot 32 an der Schneide). Man erkennt, wie sich die Lage des Berührungspunktes m1 bis m5 auf der Krümmung von Berührungspunkt zu Berührungspunkt verändert, und wie sich entsprechend die dazu tangentialen Richtung der zylindrischen Tastfläche T1 bis T5 relativ zur Werkzeugachse B verändert. Soll die abgerundete rechte virtuelle Schneide 29 vermessen werden, dann erfolgt analog eine weitere Messrunde auf veränderten Achsstellungen.

[0070] In den Fig. 4 und 4a wird ein virtuelles Werkstück 3v gezeigt, welches durch das virtuelle Werkzeug 1v bearbeitet wird. Das virtuelle Werkstück 3v entspricht einem mit dem virtuellen Werkzeug 1v fertig bearbeiteten Werkstück. Anhand dieser Darstellung soll noch einmal die Lage einer zylindrischen Tastfläche, hier der Tastfläche T3 bzw. des Laserstrahls 12, im Raum erläutert werden. Die Werkzeugachse B des virtuellen Werkzeugs 1v ist um den Winkel $\Sigma 3$ in ihre Messstellung eingeschwenkt. Die rechte Schneide 29 des virtuellen Werkzeugs 1v berührt die gekrümmte Zahnflanke Cz des virtuellen Werkstücks 3v im Berührungspunkt m3. Die Krümmung wird dabei durch die Flächenkurven 13 angedeutet. Die Tastfläche T3 bzw. der Laserstrahl 12 verläuft nun so, dass die Tastfläche T3 auf der gekrümmten Zahnflanke Cz in der zum Berührungspunkt m3 zugehörigen Tangentialebene Ct liegt und in Flankenrichtung, d.h. in Richtung des Schrägungswinkels (hier angedeutet durch den Winkel $\beta 3$), ausgerichtet ist.

[0071] In den Fig. 5, 5a und 5b werden verschiedene Ansichten eines Schneidzahns 14 mit fünf Berührungspunkten m1 bis m5, fünf dazugehörigen Messspuren R1 bis R5 und fünf dazugehörigen zylindrischen Tastflächen T1 bis T5 gezeigt. Die Fig. 5 zeigt dabei eine perspektivische Ansicht analog zur Fig. 3. Die Fig. 5a zeigt die Seitenansicht dieses Schneidzahns 14. Man erkennt, dass die einzelnen Berührungspunkte m1 bis m5 jeweils unterschiedliche Positionen Z1 bis Z5 entlang der Z-Achse besitzen. Sie liegen also nicht in einer gemeinsamen Ebene senkrecht zur Z-Achse. Daher muss die Z-Position des Werkzeugs für die Messungen an den unterschiedlichen Berührungspunkten m1 bis m5 jeweils verändert werden.

[0072] Die Fig. 5b zeigt eine Draufsicht des Schneidzahns 14. Wird das Wälzschälwerkzeug 1 mit dem Schneidzahn 14 beispielsweise auf der Messspur R1 an der zylindrischen Tastfläche T1 vorbei bewegt, kann der Drehwinkel $\Phi 1$ bestimmt werden, bei dem die Schneide die Tastfläche T1 im Berührungspunkt m1 berührt, indem ein 0-Signal der Laserbrücke ermittelt wird. Für die weiteren Messspuren R2 bis R5 werden analog die Drehwinkel $\Phi 2$ bis $\Phi 5$ erfasst, wobei die zylindrischen Tastflächen T2 bis T5 jeweils eine veränderte Winkellage relativ zur Werkzeugachse B besitzen. Die Erfassung dieser Drehwinkel ermöglicht ein exaktes Abbild der Berührungspunkte auf der Schneide S.

[0073] In Fig. 6 ist wieder eine perspektivische Ansicht eines Schneidzahns 14 analog Fig. 3 dargestellt, wobei nur zwei Berührungspunkte m1 und m5 mit zugehörigen Schnittebenen S1 und S5 und zugehörigen Tastflächen T1 und T5 eingezeichnet sind. Die Tastflächen können wiederum durch einen Laserstrahl 12 realisiert sein. Die Fig. 6a bis 6d zeigen schematisch Schnitte durch den Schneidzahn 14 in den Ebenen S1 und S5, wobei folgende Erläuterungen gelten:

- Fig. 6a zeigt in Ebene S1 einen Schnitt in der Achsstellung zum Bearbeiten und Fig. 6b in der Achsstellung zum Messen des Berührungspunktes m1.
- Fig. 6c zeigt in Ebene S5 einen Schnitt in der Achsstellung zum Bearbeiten und Fig. 6d in der Achsstellung zum Messen des Berührungspunktes m5.

- In der relevanten Achsanordnung zum Messen sind die zylindrischen Tastflächen T1 und T5 immer räumlich fest und vertikal angeordnet.

[0074] Um das Werkzeug von der Achsstellung zum Bearbeiten zur Achsstellung zum Messen des ersten Berührungspunkts m1 zu bringen und relativ zur zylindrischen Tastfläche auszurichten, werden die vorhandenen Maschinenachsen eingesetzt. Dazu fährt die Werkzeugspindel 2 und je nach Ausführung der Erfindung auch die Werkstückspindel 4 mittels der translatorischen Achsen X und Y zur Messposition Mp. Dabei steht die Werkzeugspindel 2 zunächst noch im ursprünglichen Einstellwinkel Σ . Mittels der weiteren Achse Z wird der erste Berührungspunkt m1 auf dem Schneidzahn 14 in die Mitte des Laserstrahles 12 auf der Höhe der horizontalen Ebene Mxy (vgl. Fig. 1a) gebracht. Bei Bedarf werden hierzu nochmals die X- und Y-Achsen verwendet. Bei der Ausrichtung der Achsen zum Messen schwenkt die Werkzeugspindel 2 mittels der Schwenkachse A in den neuen Einstellwinkel Σ_1 , wobei der bisherige Werkzeugeinstellwinkel Σ um den Schrägungswinkel β_1 im Berührungspunkt m1 korrigiert wird. Dadurch erfolgt eine Transformation der Einstellwerte von der Achsstellung zum Bearbeiten in die Achsstellung zum Messen am ausgewählten Berührungspunkt. Nach dem Einschwenken auf den Werkzeugeinstellwinkel Σ_1 fährt die Werkzeugspindel 2 mit definierter Drehzahl nB mindestens eine volle Spindelumdrehung ab, und die Drehwinkel Φ , bei denen der Laserstrahl durch die Schneide unterbrochen wird, werden erfasst. Nach der ersten Messung wird die Werkzeugspindel 2 in die Achsstellung zum Messen im nächsten Berührungspunkt m2 gefahren, und der Ablauf wiederholt sich analog bis zur Messung im Berührungspunkt m5. Die Reihenfolge dieser Messungen kann auch umgekehrt erfolgen. Nach der Messung der Berührungspunkte auf einer Seite der Schneide werden analog die Berührungspunkte auf der anderen Schneidenseite gemessen. Hierzu kann die gleiche oder eine geänderte Drehrichtung der Werkzeugspindel 2 verwendet werden.

[0075] Mit einem berührungslos arbeitenden Laserstrahl 12 können beim Messen problemlos Spindeldrehzahlen nB größer 60 U/min verwendet werden. Damit ist eine komplette Messung mit mindestens fünf Messspuren R1 bis R5 in weniger als 5 bis 10 Sekunden durchführbar. Nach fünf Messrunden sind im Normalfall ausreichend viele Messwerte aufgenommen und in der CNC-Steuerung 8 tabellarisch abgespeichert. Nunmehr können diese Werte nach Bedarf mit in der Messtechnik üblichen Methoden ausgewertet werden. Bei Bedarf kann die Zahl der Messrunden erhöht werden. Im vorstehenden Beispiel ist der Laserstrahl 12 bzw. die Tastfläche T1 bis T5 vertikal angeordnet. Stattdessen kann der Laserstrahl aber auch jede beliebige andere Orientierung im Raum haben. Bei einem anders angeordneten Laserstrahl bzw. einer anders angeordneten Tastfläche erfolgt analog die Transformation der Einstellwerte von der Achsstellung zum Bearbeiten in die zum jeweils zu messenden Berührungspunkt zugehörige Achsstellung zum Messen.

[0076] In Fig. 7 wird eine Messvorrichtung 11 mit vertikalem Laserstrahl 12 gezeigt, wobei sich ein virtuelles Wälzschälwerkzeug 1v mit dem Berührungspunkt m3 in der Messposition Mp befindet. Das virtuelle Wälzschälwerkzeug 1v kann hierbei auch als vereinfachte Darstellung eines realen Werkzeugs 1 in einer Stirnschnittebene Bxy aufgefasst werden. Die Spindelachse B bzw. die Stirnschnittebene Bxy sind um den zuvor erläuterten Werkzeugeinstellwinkel Σ_3 eingeschwenkt. Die Messposition Mp liegt im festen Schnittpunkt der Ebenen Mxy, Mxz und Myz. Ebenfalls dargestellt ist ein virtuelles Werkstück 3v, das mit dem virtuellen Wälzschälwerkzeug 1v in Wälzeingriff steht, wobei der Laserstrahl 12 im gemeinsamen Berührungspunkt m3 tangential die Zahnflanke Cz berührt. Dieses virtuelle Werkstück 3v ist rein zur visuellen Erläuterung dargestellt.

[0077] Das virtuelle Wälzschälwerkzeug 1v rotiert mit der Spindeldrehzahl nB am Laserstrahl 12 vorbei, wobei abwechselnd ein L-Signal 26 und ein 0-Signal 27 pro Schneidzahn 14 entstehen. Der Schneidzahn 14 unterbricht den Laserstrahl 12, wobei ein 0-Signal 27 entsteht. In der Zahnücke wird dieser Laserstrahl 12 wieder freigegeben, und es entsteht ein L-Signal 26. Sowohl beim L-Signal 26 als auch beim 0-Signal 27 wird die entsprechende Winkelposition der CNC-Werkzeugspindel B erfasst. Zu beachten ist dabei, dass bei der ersten Messrunde für beispielsweise die rechte Schneide 29 nur die 0-Signale 27 bewertet und tabellarisch in der CNC-Steuerung 8 abgespeichert werden. In der zweiten Messrunde werden bei gleicher Drehrichtung der Werkzeugspindel B, aber veränderter Achsstellung für die linke Schneide 28, nur die L-Signale bewertet und ebenfalls tabellarisch abgespeichert. In der CNC-Steuerung 8 werden die Messwerte jeder Messspur zugeordnet, und ein mögliches finales Ergebnis wird schematisch in Fig. 8 gezeigt. An einem vom Laserstrahl 12 weggeschwenkten ersten Schneidzahn 14 ist weiterhin in Fig. 7a dargestellt, dass mit dieser ersten Messung mittels L/0-Signalen eine erste Schneidzahnmitte 15 in windschiefer Position definiert werden kann. Wird diese Mitte 15 als Referenzwert verwendet, dann können sich die folgenden Winkelpositionen der Werkzeugspindel B auf diesen Wert beziehen.

[0078] Dabei kann es ausreichen, nur in einer Messspur R3 jede einzelne Schneidzahnmitte 15 zu ermitteln und hieraus einen Mittelwert zu bilden. Liegt dieser Mittelwert innerhalb eines definierten Toleranzbereiches Δ , dann kann die Bearbeitung ohne Bedenken starten. Eine Messung in nur einer Messspur kann auch für die Messung des Rundlaufs R ausreichen, wobei die Rundlaufmessung analog zur Erfassung der Schneidzahnmitte erfolgt. Zur Erfassung der Schneidenform des Schneidzahns 14 sind jedoch Messungen in mehreren, vorzugsweise mindestens fünf Messspuren R1 bis R5 erforderlich.

[0079] Die L/0-Signale an einem zahnförmigen Werkzeug 1v können schematisch auch als ein lineares L/0-Signalband 25 dargestellt werden. Bei 75 Schneidzähnen z1 bis z75 am Werkzeug 1v ergeben sich auch 75-mal L- und 0-Signale. Die gemessenen Abweichungen können damit visuell sehr gut dargestellt werden, insbesondere auf dem Bildschirm einer Bedientafel 9.

[0080] In Fig. 7a ist eine vergrösserte Detailansicht im Bereich D3 am Berührungspunkt m3 gezeigt. In dieser Ansicht sind zur Erläuterung die Schneiden 28, 29, 30 und 31 beispielhaft dargestellt. Weiterhin sind dargestellt: virtuelles Werkzeug 1v, Laserstrahl 12, Schneidzahn 14, Schneidezahnmitte 15 in windschiefer Position, L- und O-Signale 26, 27, Berührungspunkt m3, Messposition Mp, Rundlauf R, Messspur R3 und Teilungswinkel τ .

[0081] In der Fig. 8 sind die Winkelpositionen Φ der L/O-Signale für jede Messspur R1 bis R5 schematisiert dargestellt. Diese Winkelpositionen können wie schon genannt in der CNC-Steuerung 8 abgespeichert, auf dem Bildschirm der Bedientafel 9 dargestellt und je nach Bedarf für die verschiedensten Messaufgaben verwendet werden. Mittels mathematischer Standardverfahren zur Ausgleichsrechnung können mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate z.B. relativ einfach und schnell der Rundlauf R, die Schneidzahnmitte 15 und/oder der Teilungswinkel τ ermittelt werden. Zur Erfassung der räumlichen Schneiden S werden mehrere, bevorzugt mindestens fünf Messspuren R1 bis R5 abgefahren. Die Geometrie der Schneide S mit der Ausgleichskurve 17 kann dann ebenfalls mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate aus den Messwerten ermittelt werden. Ein Vergleich mit einer zuvor berechneten idealen Schneide 21 ist dann möglich. Zur Überprüfung der Messergebnisse kann in kürzester Zeit eine weitere Messspur abgefahren werden. Gestrichelt eingezeichnet sind vorgegebene Toleranzbänder (Toleranzspanne Δ).

[0082] Die Fig. 9, 9a, 10 und 10a illustrieren, dass die Laserbrücke 11 nicht notwendigerweise vertikal ausgerichtet sein muss. In den Fig. 9 und 9a ist die Laserbrücke wie zuvor beschrieben derart ausgerichtet, dass der Laserstrahl 12 vertikal, parallel zur Z-Achse verläuft. Wenn der Laserstrahl 12 exakt zylindrisch ist, bzw. wenn der bei der Messung wirksame Bereich des Laserstrahls 12 von exakt zylindrischer Form ist, spielt bei dieser Anordnung die exakte Position des Werkstücks 1 entlang der Z-Achse keine Rolle. Eine exakte Positionierung in Z-Richtung ist also nicht erforderlich. Insbesondere muss sich das Werkzeug 1 für die Messung nicht notwendigerweise in der Bezugsebene Mxy der Fig. 1a befinden. In den Fig. 10 und 10a ist dagegen die Laserbrücke 11 aus der Vertikalen heraus um die Y-Achse mit dem Winkel δ verkippt. Dadurch wird das Risiko einer Kollision der Laserbrücke 11 mit dem Werkzeughalter bzw. Werkzeugschaft der Werkzeugspindel 2 vermindert. Allerdings verläuft der Laserstrahl 12 nun nicht mehr parallel zur Z-Achse. Die Werkzeugspindel 2 muss daher während der Messung bezüglich der Z-Richtung so positioniert sein, dass sich der zu vermessende Berührungspunkt auf der virtuellen Schneide gerade in der Bezugsebene Mxy befindet. Bei dieser Ausrichtung des Laserstrahls 12 ist also eine exakte Positionierung des Werkzeugs entlang der Z-Richtung erforderlich.

[0083] In Fig. 11 wird alternativ eine Messung eines Wälzschälwerkzeugs 1v mittels eines taktilen Tasters 23 gezeigt. Der Schneidzahn 14 wird dabei bevorzugt abgescannt. Wegen der berührenden Messung ist ein freies Drehen des Wälzschälwerkzeugs 1v während der Messung nicht möglich. Beim Scanvorgang bewegen sich die CNC-Achsen A, B und X synchron und relativ langsam. Die Z-Achse muss nicht unbedingt verfahren werden. Bei Bedarf kann auch die Y-Achse noch synchron zugeschaltet werden. In der Praxis können an mindestens drei Schneidzähnen 14 entsprechende Messkurven 21 ausgemessen werden. Der Taster 23 verwendet dabei ebenfalls einen zylindrischen Taststift mit zylindrischer Tastfläche T1.

[0084] In Fig. 11a wird der Eingriff der zylindrischen Tastfläche T1 des taktilen Tasters 23 an dem zu scannenden Schneidzahn 14 im Bereich D4 der Fig. 11 gezeigt. Bei dieser Abtastung kommt die zylindrische Tastfläche T1 des taktilen Tasters 23 ebenfalls tangential an der verrundeten Schneide S des Wälzschälwerkzeugs 1v zum Einsatz. Hierbei werden aber gescannte Messwerte 21 anstelle der L/O-Signale erzeugt, die in Bezug zur zugehörigen Winkellage Φ um die Werkzeugachse B stehen.

[0085] Die Fig. 12 und 13 zeigen mögliche Anordnungen der Laserbrücke 11 auf Wälzschälmaschinen, welche auf der Plattform von traditionellen Verzahnmaschinen aufgebaut werden.

[0086] Die Fig. 12 illustriert eine Variante einer Wälzschälmaschine, bei der das Messgerät in Form einer Laserbrücke 11 auf einem beweglichen Träger in Form eines Werkstückträgers 33 angeordnet ist. Der Werkstückträger 33 ist um eine vertikale Achse C* in mehrere Stellungen verschwenkbar. Ein Maschinenkonzept mit einem derartigen beweglichen Werkstückträger ist in US 6 565 418 B1 offenbart. Eine Werkstückspindel 4 ist bezüglich der Schwenkrichtung versetzt (im vorliegenden Beispiel um 90° versetzt) zur Laserbrücke 11 ebenfalls auf dem Werkstückträger 33 angeordnet. Durch ein Verschwenken dieses Werkstückträgers um die Achse C* kann wahlweise die Werkstückspindel 4 oder die Laserbrücke 11 in eine Position gebracht werden, in der diese mit dem Werkzeug 1 zusammenwirkt. Der Werkstückträger kann eine zweite Werkstückspindel (nicht zeichnerisch dargestellt) tragen, welche um 180° versetzt zur ersten Werkstückspindel angeordnet ist. In der Darstellung der Fig. 12 befindet sich diese zweite Werkstückspindel auf der Rückseite dieses Werkstückträgers. Auf diese Weise kann eine Bearbeitung auf einer der Werkstückspindeln erfolgen, während auf der anderen Werkstückspindel ein fertig bearbeitetes Werkstück durch ein neu zu bearbeitendes Werkstück ersetzt werden kann. Dadurch werden unproduktive Nebenzeiten vermieden. Die Werkzeugspindel 2 ist in diesem Maschinenkonzept in einem bewegbaren Wälzschälkopf 35 untergebracht, welcher am Werkzeugträger 34 angeordnet ist, der sich verschiebbar auf einem Maschinenbett 6 befindet.

[0087] In der Fig. 12a ist ein vergrößerter Ausschnitt aus der Fig. 12 im Bereich D5 dargestellt. Wie man aus diesem Ausschnitt erkennt, ist im vorliegenden Beispiel der Laserstrahl 12 der Laserbrücke 11 nicht vertikal ausgerichtet, sondern steht bevorzugt in einem Kippwinkel δ zur Vertikalen. Damit wird erreicht, dass die Laserbrücke 11 innerhalb der Kontur des Werkstückträgers 33 bleiben kann, wodurch das Abdichten des Arbeitsraumes erleichtert wird.

[0088] Eine andere Variante einer Wälzschälmaschine ist in der Fig. 13 dargestellt. Diese Wälzschälmaschine beruht auf einem Maschinenkonzept, wie es in US 5 857 894 offenbart ist. In dieser Ausführungsform ist die Laserbrücke 11 ortsfest auf einem Maschinenbett 6 angeordnet, und die zum Messen erforderlichen Bewegungen werden durch einen verschieb- und schwenkbaren Werkzeugträger 34 ausgeführt. Die Werkzeugspindel 2 ist in diesem Maschinenkonzept in einem bewegbaren Wälzschälkopf 35 untergebracht, welcher an diesem Werkzeugträger 34 angeordnet ist, der sich auf einem Maschinenbett 6 befindet. Der Werkzeugträger 34 ist um eine vertikale Achse C* zwischen einer nicht dargestellten Bearbeitungsstellung und der in Fig. 13 dargestellten Messstellung verschwenkbar. In der Bearbeitungsstellung ist das Werkzeug 1 so angeordnet, dass es mit dem Werkstück 3 zusammenwirken kann, um dieses zu bearbeiten. In der Messstellung ist das Werkzeug 1 dagegen so angeordnet, dass es mit einem Messgerät in Form einer Laserbrücke 11 zusammenwirken kann. Im vorliegenden Beispiel beträgt der Schwenkwinkel zwischen der Bearbeitungsstellung und der Messstellung 180°. Es sind aber selbstverständlich auch andere Schwenkwinkel denkbar.

[0089] In der Fig. 13a ist ein vergrößerter Ausschnitt aus der Fig. 13 im Bereich D6 dargestellt. Wie man aus diesem Ausschnitt erkennt, ist auch im vorliegenden Beispiel der Laserstrahl 12 der Laserbrücke 11 nicht vertikal ausgerichtet, sondern steht in einem Winkel δ zur Vertikalen. Es ist aber auch eine ortsfeste, vertikale Anordnung der Laserbrücke 11 denkbar.

[0090] Automatisierte Werkzeugmessungen in einer Verzahnmaschine 22 für die Hartbearbeitung erfordern hochpräzise Relativbewegungen zwischen dem beschriebenen Wirkpaar aus Werkzeug 1 und Messvorrichtung in Messposition Mp. Die vorhandenen Relativbewegungen zwischen dem anderen Wirkpaar aus Werkzeug 1 und Werkstück 3 haben schon generell eine hohe geometrische Grundgenauigkeit im Mikrometerbereich bzw. für rotatorische Achsen im Bereich von Winkelsekunden. Zur sicheren Gewährleistung einer hochpräzisen Messung im Arbeitsraum einer Wälzschälmaschine 22 sollte die Messposition Mp zu Beginn jeder Bearbeitung und bei Bedarf auch zwischendurch automatisch kalibriert werden. Eine mögliche Vorgehensweise hierzu wird im Folgenden anhand der Fig. 14, 14a und 14b erläutert.

[0091] Fig. 14 zeigt einen Kalibrierdorn 36 in einer nicht dargestellten Wälzschälmaschine 22 mit Koordinatensystem für die Achsen X, Y und Z. Der Kalibrierdorn 36 mit einer definierten Höhe h (siehe Fig. 14a) und einem definierten Kalibrierdurchmesser $\varnothing D$ (siehe Fig. 14b) wird von der nicht dargestellten Werkzeugspindel 2 aufgenommen und in die Kalibrierebene EK auf Position Z1* verfahren. In dieser Ebene befindet sich auch die Messposition Mp der Laserbrücke 11. Wenn also in Fig. 14a zuerst der Kalibrierdorn 36 von einer geeigneten X-Position startet und mit der Y-Achse in Richtung Messposition Mp bewegt wird, schneidet dieser mit seinem Kalibrierdurchmesser $\varnothing D$ den Laserstrahl 12, und dieser wird ausgeblendet. Dabei entsteht in der Laserbrücke 11 ein 0-Signal 27, welches in der CNC-Steuerung 8 die Y-Position Y1*.0 markiert. Fährt die Y-Achse weiter, dann gibt der Kalibrierdurchmesser $\varnothing D$ den Laserstrahl 12 frei und dabei entsteht analog zum 0-Signal 27 ein L-Signal 26, welches in der CNC-Steuerung 8 die Y-Position Y1*.L markiert. Mittels CNC-Steuerung 8 wird die Mitte zwischen beiden Y-Positionen als Abstand y_m zwischen Laserstrahl 12 und Werkstückachse C definiert. Für die hochpräzise Kalibrierung des Messpunktes Mp ist dies aber noch nicht ausreichend. Auch die exakte Winkellage ε des Laserstrahles 12 in der Ebene Y-Z muss erfasst bzw. eingestellt werden.

[0092] Im Rahmen der Erfindung könnte in jeder beliebigen Winkellage ε die Messung eines Wälzschälwerkzeugs 1 erfolgen, wobei natürlich bevorzugt die vertikale Lage zum Einsatz kommt. Deshalb ist ein zweiter Kalibrierschritt auf einer höheren Z-Position Z2* sinnvoll, wobei analog die Y-Positionen Y2*.0 und Y2*.L markiert und ausgewertet werden. Bei noch höheren Genauigkeitsanforderungen können auch in weiteren Z-Positionen Kalibrierschritte durchgeführt werden. Mit diesen Werten kann die CNC-Steuerung 8 die Winkellage ε hochpräzise bestimmen. Schneidet bei dieser Kalibrierung in Y-Richtung der Laserstrahl 12 den Kalibrierdurchmesser $\varnothing D$ nicht, dann muss in X-Richtung zugestellt werden.

[0093] Der nächste Schritt beim Kalibrieren erfolgt in X-Richtung zur Ermittlung des Abstandes x_m und der Winkellage δ , dargestellt in Fig. 14b. Da in den vorhergehenden Schritten zum Kalibrieren der y_m -Abstand des Laserstrahls 12 zur Werkstückachse C ermittelt wurde, kann die Y-Achse mit Werkzeugspindel 2 den rotationssymmetrischen Kalibrierdorn 36 auf diese Position fahren. Beim Start steht diese Werkzeugspindel 2 auf der Null-Position der X-Achse und auf der Z1*-Position der Kalibrierebene EK. Nunmehr fährt die Werkzeugspindel 2 den Kalibrierdorn 36 in X-Richtung soweit vor, bis der Kalibrierdurchmesser $\varnothing D$ den Laserstrahl 12 schneidet und dabei nach obiger Beschreibung ein 0-Signal 27 generiert, welches in der CNC-Steuerung 8 die X-Position X1*.0 markiert und damit den x_m -Abstand des Laserstrahles von der Werkstückachse C definiert. Mit einem analogen Kalibriervorgang auf Höhe Z2* kann der Kipp-Einstellwinkel δ in der Ebene X-Z ermittelt werden.

[0094] Nach jedem Kalibriervorgang können damit in der CNC-Steuerung 8 kalibrierte Abstände y_m und x_m und die relevanten Winkellagen δ und ε für die Messposition Mp abgelegt und für weitere Messungen verwendet werden.

[0095] Die Beschreibung dieses Kalibriervorganges zeigt aber auch, dass eine bevorzugte Messung des Wälzschälwerkzeugs 1 in der Kalibrierebene EK von Winkelfehlern weitgehend unabhängig ist und deshalb auch bei einem exakt zylindrischen Laserstrahl 12 vorteilhaft zum Einsatz kommen kann.

[0096] Die Fig. 15 illustriert eine optionale Post-Prozess-Messung am geschälten Werkstück 3 mittels eines scannenden Tasters 10, welcher bevorzugt an der Werkzeugspindel 2 angeordnet werden kann. Diese Messung erfolgt z.B. in mindestens drei Zahnücken nach der herkömmlichen Grundkreismessung. Anhand der Messergebnisse werden bei Bedarf

weitere Korrekturen der Einstellwerte für die Werkstückbearbeitung durchgeführt. Hiermit kann eine optimale Qualitätssicherung erreicht werden.

[0097] Das Werkzeug wird in allen vorliegenden Zeichnungen stark schematisch dargestellt. Des Weiteren liegen bei dem Werkzeug der vorstehenden Zeichnungen die Spanflächen aller Schneidzähne in einer gemeinsamen Ebene. Die vorstehenden Überlegungen sind jedoch nicht auf das dargestellte Werkzeug beschränkt, sondern lassen sich für beliebige Wälzschälwerkzeuge, auch solche mit Treppenschliff oder anderen geometrischen Gestaltungen, oder andere zahnradförmige Werkzeuge anwenden.

[0098] Insgesamt ermöglicht das hier vorgeschlagene Verfahren folgende Vorteile:

- Berührungslose, schnelle und hochpräzise In-Prozess-Messung mittels Laserbrücke 11 zu Beginn und während der Bearbeitung eines Werkstückes, wobei alle Messwerte in der Steuerung abgespeichert werden.
- Durch einen fortlaufenden Vergleich der aktuellen Messwerte mit den Startwerten können massliche Änderungen an der Schneide erkannt werden, zum Beispiel der Verschleiss V (siehe Fig. 6b).
- Direkte Erfassung der räumlich wirkenden, gerundeten Schneide S mit der Ausgleichskurve 17, welche bei der Wälzschälbearbeitung durch ihre Hüllschnitte die finale Zahnflanke am geschälten Werkstück 3 erzeugt und damit auch definiert.
- Bei der Bearbeitung einer Serie von Werkstücken kann das zeitaufwendige Finden der geeigneten Einstellwerte für die CNC-Achsen der Wälzschälmaschine durch eine exakte Vermessung der wirkenden Schneiden deutlich vermindert werden, wobei verfahrensbedingter Ausschuss weitgehend vermieden wird.

[0099] Zusammenfassend weist das hier vorgeschlagene Verfahren folgende Besonderheiten auf:

- Zur Messung kann eine zylindrische Tastfläche zum Einsatz kommen, welche tangential an der verrundeten Schneide anliegt.
- Die zylindrische Tastfläche ist derart angeordnet, dass sie im jeweiligen Berührungspunkt auf der gekrümmten Zahnflanke des Werkstücks in der zugehörigen Tangentialebene liegt und dabei vorzugsweise in Richtung des entsprechenden Schrägungswinkels ausgerichtet ist.
- Als zylindrische Tastfläche wird bevorzugt ein exakt kreisrunder, zylindrischer, hochpräziser Laserstrahl eingesetzt. Als Beispiel für andere Realisierungsformen der Erfindung kann auch ein taktiler Messtaster mit einem zylindrischen Tasteinsatz verwendet werden. Nachteilig sind hierbei allerdings die langen Messzeiten, das taktile Abtasten und die aufwändige Signalverarbeitung.
- Der messende Laserstrahl liegt also in der Tangentialebene eines entsprechenden Berührungspunktes auf der gekrümmten Zahnflanke des Werkstücks und müsste beim Messen in anderen Berührungspunkten in den zugehörigen Schrägungswinkel eingeschwenkt werden. Dieser punktuelle Schrägungswinkel auf einer Zahnflanke vergrößert sich mit zunehmender Zahnhöhe. Die Ausrichtung des Laserstrahles und damit auch die Einstellung einer entsprechenden Messeinrichtung wird durch diesen Schrägungswinkel und den Werkzeugeinstellwinkel bestimmt, wobei in der Summe ein einstellbarer Winkelbereich von ca. 0 bis 90° für den Laserstrahl erforderlich wäre.
- In der Praxis wäre es aber hinsichtlich der Kosten eher nachteilig, wenn die Messeinrichtung mit dem Laserstrahl diese Bewegungen ausführen müsste. Vorteilhaft kann daher der Laserstrahl quasi fest und vertikal im Arbeitsraum der Wälzschälmaschine angeordnet werden, und die Einstellung der Ausrichtung zwischen Laserstrahl und Werkzeugachse wird stattdessen durch die vorhandene CNC-Schwenkeinrichtung der Werkzeugspindel realisiert. Entsprechend können auch die linearen Zustellungen von den vorhandenen CNC-Achsen X, Y und Z realisiert werden. Die Maschinen-Einstellwerte sind dazu entsprechend der Messposition zu berechnen. Ausserdem ist es vorteilhaft, die quasi feste Messposition beabstandet zur Werkstückposition anzuordnen, damit genügend kollisionsfreier Raum zur Positionierung der Werkzeugspindel mit Werkzeug vorhanden ist.
- Mittels fest angeordnetem Laserstrahl können dann im Bereich der zahnförmigen, verrundeten Schneiden am rotierenden Wälzschälwerkzeug mehrere, bevorzugt mindestens fünf radiale Messspuren bei definierter Drehzahl abgetastet werden, wobei jede Messspur bei fest eingestellten Werten der Werkzeugeinstellwinkel abgefahren wird. Der jeweilige berechnete Berührungspunkt pro Flanke wird durch lineare und rotatorische Zustellungen in den Achsen X, Y, Z, A und B in der Messposition am Laserstrahl positioniert. Mit dem Laserstrahl kann durch den abwechselnden Unterbruch beim Verdrehen des zahnförmigen Werkzeugs sehr leicht ein sicheres und einfaches L/O-Signal erzeugt werden. Nach der Vermessung einer Schneidenseite kann analog, aber mit geänderten Einstellwerten, die andere Schneidenseite vermessen werden.
- Wird nun ein Schneidzahn am Werkzeug auf einer Messspur am Laserstrahl vorbei bewegt, dann kann dieser den Berührungspunkt einfach mittels L/O-Signal erkennen, und der entsprechende Winkelwert der rotierenden CNC-Werkzeugspindel kann erfasst werden. Diese Winkelwerte und die Einstellwerte für die radialen Messspuren können tabellarisch in der CNC-Steuerung abgespeichert und dann für die verschiedensten verzahnungstypischen Messungen verwendet werden.

[0100] Das hier vorgeschlagene Verfahren wurde vorstehend anhand von Beispielen erläutert, bei denen eine zylindrische Tastfläche (z.B. in Form eines Laserstrahls) die Schneide tangential abtastet. Dabei war ein wichtiger Aspekt, dass jeweils ein virtueller Berührungspunkt auf einer virtuellen Schneide berechnet wird und die Messung in einer Orientierung und translatorischen Position zwischen Schneide und Messgerät ausgeführt wird, die von der Lage des virtuellen Berührungspunktes auf der Schneide abhängt. Zumindest ein Teil der vorstehend genannten Vorteile kann dabei auch erreicht werden, indem

eine Tastfläche verwendet wird, die nicht von zylindrischer Form ist. Z.B. ist es denkbar, einen Laserstrahl zu verwenden, der auf den Berührungspunkt fokussiert ist. Auch ist es denkbar, ein nichtzylindrisches, körperliches Tastmittel einzusetzen, z.B. in Form einer Kugel.

[0101] Zumindest ein Teil der genannten Vorteile kann zudem auch erreicht werden, indem nicht eine tangentiale Abtastung durchgeführt wird, sondern die Schneide auf andere Weise vermessen wird, z.B. durch Abstandsmessungen mittels Triangulationsverfahren oder einer 3D-Scan-Messung. Das vorstehend vorgestellte Verfahren ist insofern nicht auf eine tangentiale Abtastung mittels zylindrischer Tastflächen beschränkt.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0102]

1	Wälzschälwerkzeug
1v	virtuelles Wälzschälwerkzeug
2	Werkzeugspindel
3	Werkstück, Zahnrad
3v	virtuelles Werkstück
4	Werkstückspindel
5	Zustellschlitten
6	Maschinenbett
7	Einzentriersonde
8	CNC-Steuerung
9	Bedientafel
10	scannender Messtaster
11	Laserbrücke
12	Laserstrahl
13	Flächenkurven
14	Schneidzahn
15	Schneidzahnmitte
16	Kante am Übergang Schneidenradius zur Freifläche
17	Ausgleichskurve
18	Spanfläche
19	Spanflächenfase
20	Arbeitsraum einer Wälzschälmaschine
21	gescannte Messkurve, Messwerte
22	Wälzschälmaschine, Verzahnmaschine
23	taktiler Messtaster
24	Bewegungsbahn eines Berührungspunktes
25	L/0-Signalband
26	L-Signal
27	0-Signal

CH 714 443 A1

28	Schneide, links
29	Schneide, rechts
30	Schneide am Fuss
31	Schneide am Kopf
32	Lot an der Schneide
33	Werkstückträger
34	Werkzeugträger
35	Wälzschälkopf
36	Kalibrierdorn
37	Schneidenrohling
A	Schwenkachse der Werkzeugspindel
B	Werkzeugachse
Bxy	Werkzeugbezugsebene im Stirnschnitt
C	Werkstückachse
Ct	Tangentialebene im Berührungspunkt eines Werkzeugs mit einem Werkstück
Cz	Zahnflanke am Werkstück
C*	Schwenkachse des Werkzeugträgers
C**	Schwenkachse des Werkstückträgers
D1 bis D6	Detailbereiche in den Figuren
∅D	Kalibrierdurchmesser am Kalibrierdorn
EK	Kalibrierebene auf Position Z1*
h	Höhe am Kalibrierdorn
K	Koordinatensystem der Maschine mit X- und Y-Ursprung in der Werkstückachse C
Mp	Messposition
Mxz	vertikale Ebene durch die Mitte des Laserstrahles in X-Richtung;
Myz	vertikale Ebene durch die Mitte des Laserstrahles in Y-Richtung;
Mxy	horizontale Mittenebene der Laserbrücke
m1 bis m5	virtuelle Berührungspunkte auf der Schneide
nB	Drehzahl der Werkzeugspindel
R	Rundlauf des Wälzschälwerkzeugs
R1 bis R5	Radien der Messspuren am Wälzschälwerkzeug
r1 bis r5	Radien an der Schneide
S	virtuelle Schneide
S1 bis S5	Schnittflächen am Schneidzahn, senkrecht zur Spanfläche und rechtwinklig zur Ausgleichskurve
T1 bis T5	zylindrische Tastflächen, die tangential an einer verrundeten Schneide anliegen

CH 714 443 A1

V	Verschleiss an der Schneide
X	translatorische CNC-Achse
X1*.0	X-Position beim Kalibrieren auf Kalibrierebene EK
X2*.0	X-Position beim Kalibrieren auf Z-Position Z2*
xm	X-Abstand des Laserstrahles zur Werkstückachse
Y	translatorische CNC-Achse
Y1*.0	Y-Position beim Kalibrieren auf Kalibrierebene EK mit 0-Signal an der Laserbrücke
Y1*.L	Y-Position beim Kalibrieren auf Kalibrierebene EK mit L-Signal an der Laserbrücke
Y2*.0	Y-Position beim Kalibrieren auf Z-Position Z2* mit 0-Signal an der Laserbrücke
Y2*.L	Y-Position beim Kalibrieren auf Z-Position Z2* mit L-Signal an der Laserbrücke
ym	Y-Abstand des Laserstrahles zur Werkstückachse
Z	translatorische CNC-Achse
Z1*	Z-Position beim Kalibrieren auf Kalibrierebene EK
Z2*	Z-Position beim Kalibrieren; erhöht
Z1 bis Z5	Z-Höhe des Berührungspunktes auf dem Werkzeug, bezogen auf die Schneidzahnmitte 15
z1 bis z75	Zahnnummer des Werkzeugs, z. B. z75
β	Schrägungswinkel im Teilkreis
$\beta 1$ bis $\beta 5$	Schrägungswinkel der Werkstückflanke bei verschiedenen Zahnhöhen
δ	Kipp-Einstellwinkel des Laserstrahles zur Rotationsachse der Werkstückspindel in X-Richtung
ϵ	Winkellage des Laserstrahles zur Rotationsachse der Werkstückspindel in Y-Richtung
Δ	Toleranzbereich
Σ	Werkzeugeinstellwinkel in der Achsstellung zum Bearbeiten
$\Sigma 1$ bis $\Sigma 5$	Werkzeugeinstellwinkel in der Achsstellung zum Messen
τ	Teilungswinkel
$\Phi 1$ bis $\Phi 5$	Winkelpositionen der CNC-Werkzeugspindel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vermessung eines Werkzeugs (1) für die Wälzbearbeitung verzahnter Werkstücke (3), wobei das Werkzeug um eine Werkzeugachse (B) drehbar ist und eine Mehrzahl von Schneidzähnen (14) aufweist, wobei jeder der Schneidzähne eine reale Schneide bildet, und wobei das Verfahren unter Einsatz eines Messgeräts (11; 23) ausgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren aufweist:
 - (a) Berechnen eines virtuellen Berührungspunktes (m1 bis m5) auf einer virtuellen Schneide (S) eines virtuellen Werkzeugs (1v), wobei sich die virtuelle Schneide entlang einer Schneidenlängsrichtung erstreckt und quer zur Schneidenlängsrichtung eine Abrundung aufweist;
 - (b) Berechnen einer Relativorientierung ($\Sigma 1$ bis $\Sigma 5$) zwischen der Werkzeugachse (B) und dem Messgerät (11; 23) sowie einer translatorischen Relativposition zwischen dem Werkzeug (1) und dem Messgerät (11; 23) auf der Basis des berechneten virtuellen Berührungspunktes (m1 bis m5);
 - (c) Einstellen der berechneten Relativorientierung zwischen der Werkzeugachse (B) und dem Messgerät (11; 23) und der berechneten Relativposition zwischen dem Werkzeug (1) und dem Messgerät (11; 23); und
 - (d) Durchführen einer Messung an der realen Schneide in der eingestellten Relativorientierung und Relativposition.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die vorstehenden Schritte (a) bis (d) für eine Mehrzahl von virtuellen Berührungspunkten (m1 bis m5) entlang der virtuellen Schneide (S) durchgeführt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei aus Messergebnissen, die für unterschiedliche Berührungspunkte auf derselben realen Schneide ermittelt wurden, eine Ausgleichskurve (17) für die Beschreibung der realen Schneide berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei aus Messergebnissen, die für unterschiedliche Berührungspunkte auf derselben realen Schneide ermittelt wurden, mindestens einer der folgenden Parameter bestimmt wird:
mindestens ein Mass für die Abweichung eines Profils einer mit der realen Schneide gefertigten Flanke zu einer mit der virtuellen Schneide gefertigten virtuellen Flanke;
mindestens ein Mass für eine Veränderung der realen Schneide während der Wälzbearbeitung.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messungen in Schritt (d) für eine Mehrzahl von Schneidzähnen (14) durchgeführt werden, und wobei aus den Messungen mindestens einer der folgenden Parameter bestimmt wird:
– Werkzeuggrundlauf;
– Schneidzahnmitte;
– Zahnlückenmitte.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Messgerät (11) während der Durchführung des Verfahrens räumlich feststehend angeordnet ist und die Einstellung der Relativorientierung ($\Sigma 1$ bis $\Sigma 5$) und der Relativposition erfolgt, indem die Orientierung der Werkzeugachse (B) im Raum und die Position des Werkzeugs (1) im Raum verändert werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Messgerät (11; 23) ein berührungslos oder berührend arbeitendes Tastmittel bereitstellt, und wobei die Relativorientierung ($\Sigma 1$ bis $\Sigma 5$) und die Relativposition derart berechnet und eingestellt werden, dass das Tastmittel die virtuelle Schneide (S) im berechneten virtuellen Berührungspunkt (m1 bis m5) tangential berührt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Tastmittel von zylindrischer Form ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Tastmittel eine Zylinderachse, einen Zylinderradius und eine im Abstand des Zylinderradius von der Zylinderachse verlaufende zylindrische Tastfläche definiert, und wobei die Relativorientierung ($\Sigma 1$ bis $\Sigma 5$) und die Relativposition derart berechnet und eingestellt werden, dass die Zylinderachse parallel zu einer Tangentialebene auf der virtuellen Schneide (S) im virtuellen Berührungspunkt verläuft, und dass die Zylinderachse von dieser Tangentialebene einen Abstand aufweist, der dem Zylinderradius entspricht.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Zylinderachse entlang einer Flanke eines virtuellen Werkstücks (3v), das mit dem virtuellen Werkzeug (1v) in Wälzeingriff steht, verläuft.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10,
– wobei das Tastmittel durch einen Lichtstrahl (12) gebildet wird,
– wobei das Werkzeug (1) zur Durchführung der Messung im Schritt (d) um die Werkzeugachse (B) gedreht wird, und
– wobei während der Drehung detektiert wird, bei welchem Ist-Drehwinkel der Lichtstrahl durch die Schneide unterbrochen wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei eine Abweichung zwischen dem detektierten Ist-Drehwinkel und einem für die virtuelle Schneide berechneten Soll-Drehwinkel ermittelt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Messung in Schritt (d) für mehrere oder alle Schneidzähne (14) des Werkzeugs (1) durchgeführt wird, indem das Werkzeug (1) genügend weit um die Werkzeugachse (B) gedreht wird, dass mehrere oder alle Schneidzähne (14) nacheinander den Lichtstrahl (12) unterbrechen und wieder freigeben.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei das Tastmittel ein zylindrischer Tastfinger ist.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messung in Schritt (d) an einer Messposition (Mp) erfolgt, und wobei vor und/oder während der Bearbeitung eines Werkstückloses eine Kalibrierungsmessung für die Messposition (Mp) durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches ausserdem mindestens die folgenden Schritte umfasst:
(e) Ermitteln mindestens einer Einstellung für eine Maschinensteuerung (8) aufgrund eines Ergebnisses der Messungen; und
(f) Übergeben der Einstellung an die Maschinensteuerung (8),
wobei die Einstellung bewirkt, dass für die Bearbeitung eines Werkstücks (3) eine Relativposition zwischen dem Werkstück (3) und dem Werkzeug (1) eingestellt wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es sich beim Werkzeug (1) um eines der folgenden Werkzeuge handelt:
– ein Wälzschälwerkzeug; oder
– ein Wälzstosswerkzeug.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren ausgeführt wird, während sich das Werkzeug auf einer Werkzeugspindel (2) befindet, mit der auch eine Bearbeitung von Werkstücken (3) stattfindet.

19. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Vermessung eines Werkzeugs (1) für die Wälzbearbeitung verzahnter Werkstücke (3), wobei das Werkzeug (1) eine Mehrzahl von Schneidzähnen (14) aufweist, wobei jeder der Schneidzähne eine reale Schneide bildet, wobei die Vorrichtung aufweist:
- eine Werkzeugspindel (2) zum Antreiben des Werkzeugs (1) zu einer Drehung um eine Werkzeugachse (B);
 - ein Messgerät (11);
 - mindestens eine angetriebene Schwenkachse (A), um eine Relativorientierung (Σ) zwischen der Werkzeugachse (B) und dem Messgerät (11) zu verändern; und
 - mindestens eine angetriebene Linearachse (X, Y, Z), um eine translatorische Relativposition zwischen dem Werkzeug (1) und dem Messgerät (11) zu verändern, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Steuerung (8) aufweist, die dazu ausgebildet ist, das folgende Verfahren auszuführen:
 - (a) Berechnen eines virtuellen Berührungspunkts (m1 bis m5) auf einer virtuellen Schneide (S) eines virtuellen Werkzeugs (lv), wobei sich die virtuelle Schneide (S) entlang einer Schneidenlängsrichtung erstreckt und quer zur Schneidenlängsrichtung eine Abrundung aufweist;
 - (b) Berechnen einer Relativorientierung (Σ 1 bis Σ 5) zwischen der Werkzeugachse (B) und dem Messgerät (11) sowie einer translatorischen Relativposition zwischen dem Werkzeug (1) und dem Messgerät (11) auf der Basis des berechneten virtuellen Berührungspunkts (m1 bis m5);
 - (c) Einstellen der berechneten Relativorientierung (Σ 1 bis Σ 5) und Relativposition mittels der Schwenkachse (A) und der mindestens einen Linearachse (X, Y, Z);
 - (d) Durchführen einer Messung an der realen Schneide in der eingestellten Relativorientierung (Σ 1 bis Σ 5) und Relativposition.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei die Steuerung die vorstehenden Schritte (a) bis (d) für eine Mehrzahl von virtuellen Berührungspunkten (m1 bis m5) an unterschiedlichen Positionen entlang der virtuellen Schneide (S) durchführt.
21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, wobei das Messgerät (11) während der Messung ortsfest angeordnet ist, wobei die Schwenkachse (A) dazu ausgebildet ist, die Orientierung der Werkzeugachse (B) im Raum relativ zum feststehenden Messgerät (11) zu verändern, und wobei die mindestens eine Linearachse (X, Y, Z) dazu ausgebildet ist, die translatorische Lage des Werkzeugs (1) im Raum relativ zum Messgerät (11) zu verändern.
22. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, wobei die Vorrichtung ein Maschinenbett (6) sowie einen gegenüber dem Maschinenbett (6) bewegbaren, insbesondere schwenkbaren, Träger (31) aufweist, der gegenüber dem Maschinenbett (6) zwischen mehreren Stellungen bewegbar ist, wobei das Messgerät (11) auf dem bewegbaren Träger (31) angeordnet ist, und wobei das Messgerät (11) mittels des bewegbaren Trägers (31) von einer Parkposition in eine Messposition bewegbar ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei auf dem bewegbaren Träger (33) ausserdem mindestens eine Werkstückspindel (4) zum Aufspannen eines zu bearbeitenden Werkstücks (3) angeordnet ist.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, wobei das Messgerät (11; 23) ein berührungslos oder berührend arbeitendes Tastmittel bereitstellt, und wobei die Steuerung die Relativorientierung (Σ 1 bis Σ 5) und die Relativkoordinaten derart berechnet und einstellt, dass das Tastmittel die virtuelle Schneide (S) im berechneten virtuellen Berührungspunkt (m1 bis m5) tangential berührt.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, wobei das Tastmittel von zylindrischer Form ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, wobei das Messgerät (11) eine Lichtquelle und einen Lichtdetektor aufweist, wobei die Lichtquelle dazu ausgebildet ist, einen Lichtstrahl (12) zu erzeugen, der auf den Lichtdetektor ausgerichtet ist, und wobei das Tastmittel durch mindestens einen Bereich des Lichtstrahls (12) gebildet wird, wobei die Steuerung derart mit der Werkzeugspindel (2) zusammenwirkt, dass die Werkzeugspindel (2) das Werkzeug (1) zur Durchführung der Messung in der eingestellten Relativorientierung (Σ 1 bis Σ 5) der Werkzeugachse (B) und bei den eingestellten Relativkoordinaten um die Werkzeugachse (B) dreht, und wobei der Lichtdetektor dazu ausgebildet ist, während der Drehung zu detektieren, bei welchem Ist-Drehwinkel der Lichtstrahl (12) durch die Schneide unterbrochen wird.
27. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, wobei das Tastmittel ein zylindrischer Tastfinger ist.

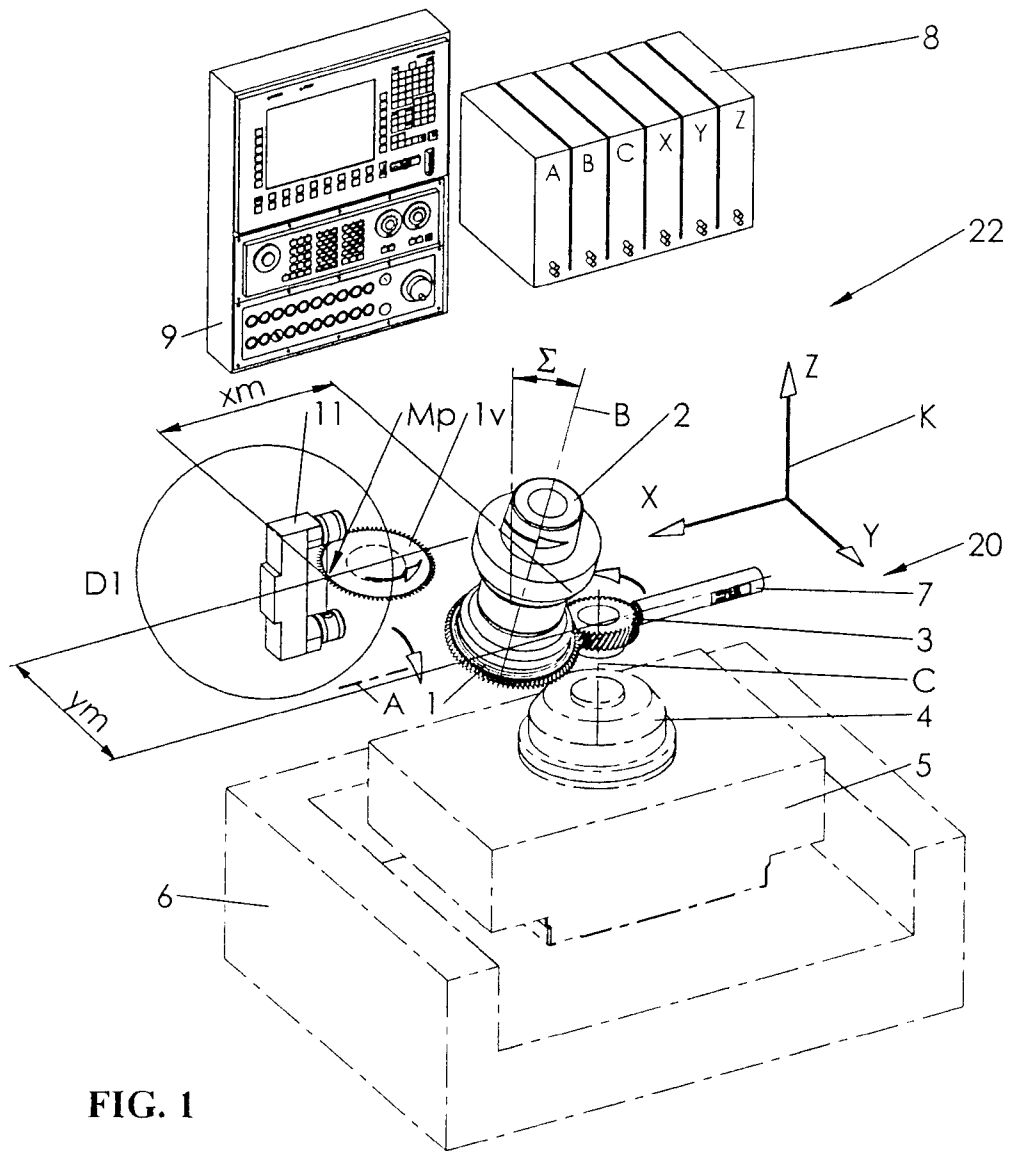


FIG. 1

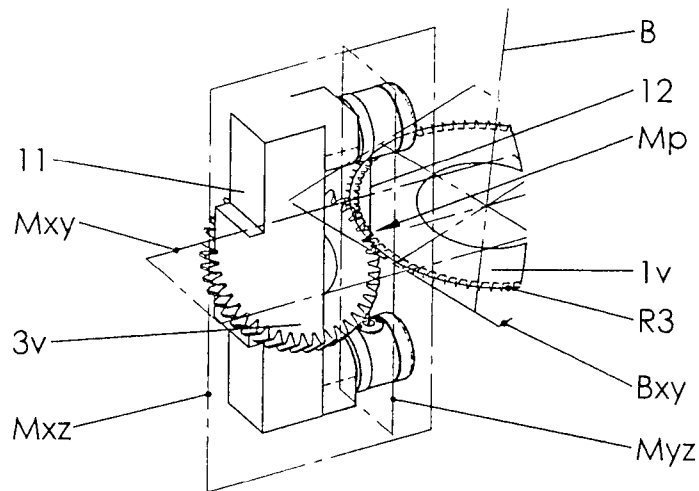


FIG. 1a

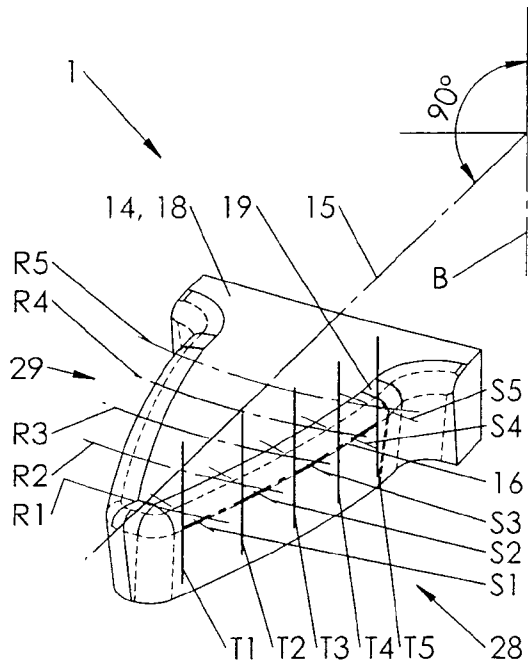


FIG. 2

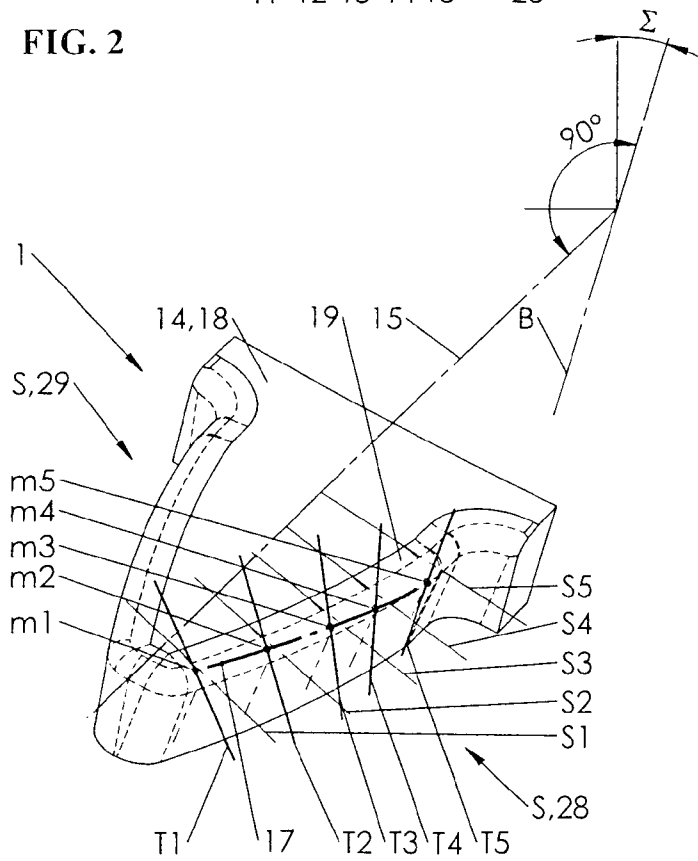


FIG. 3

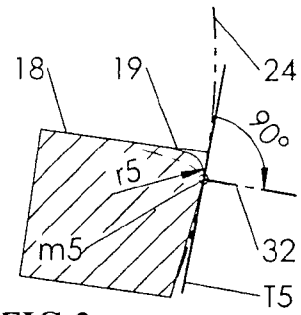


FIG. 3e

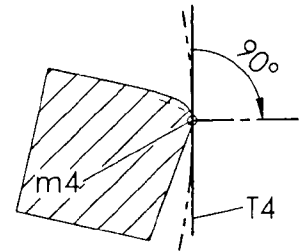


FIG. 3d

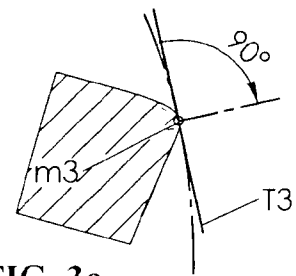


FIG. 3c

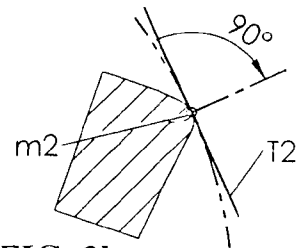


FIG. 3b

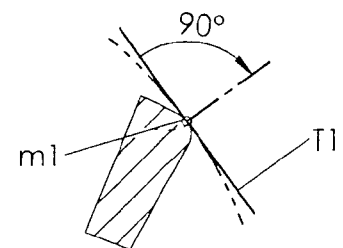


FIG. 3a

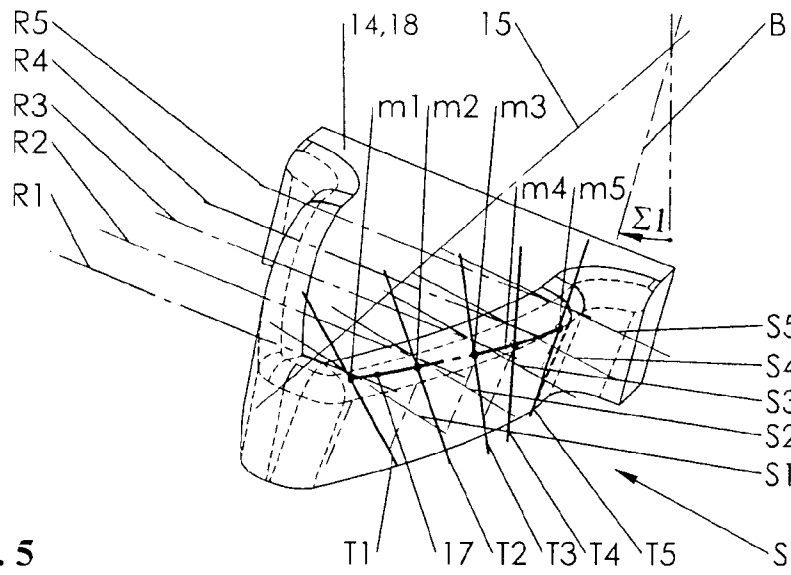


FIG. 5

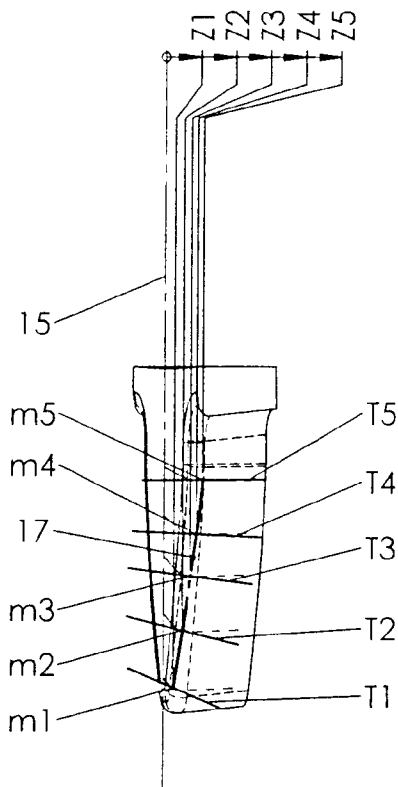


FIG. 5a

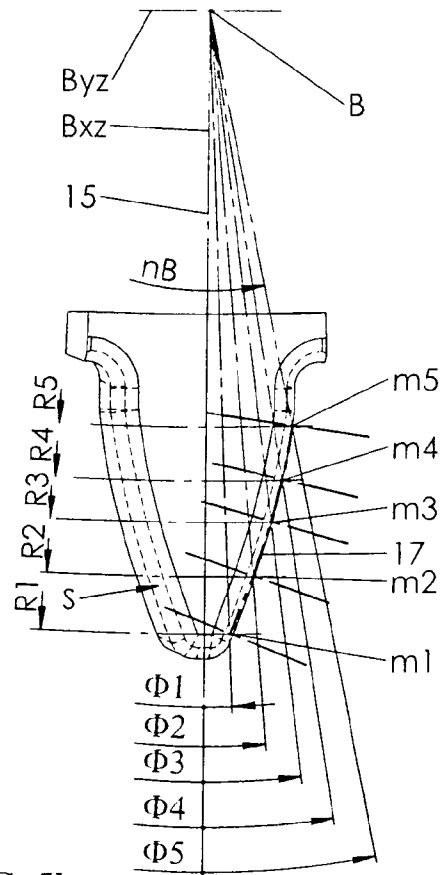


FIG. 5b

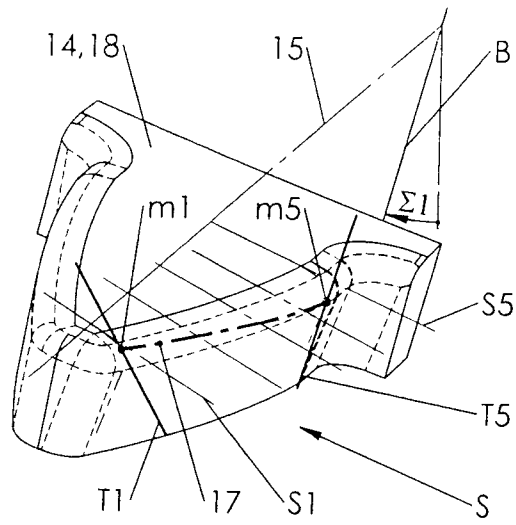


FIG. 6

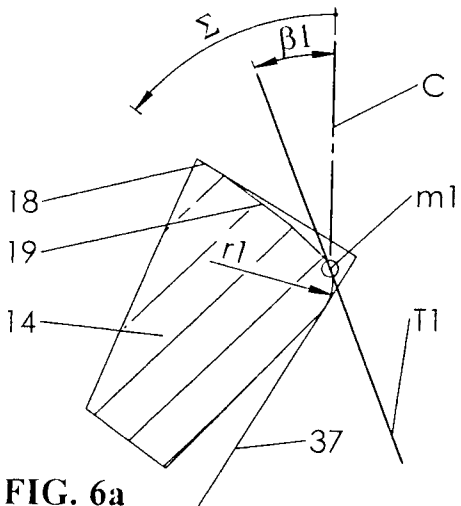


FIG. 6a

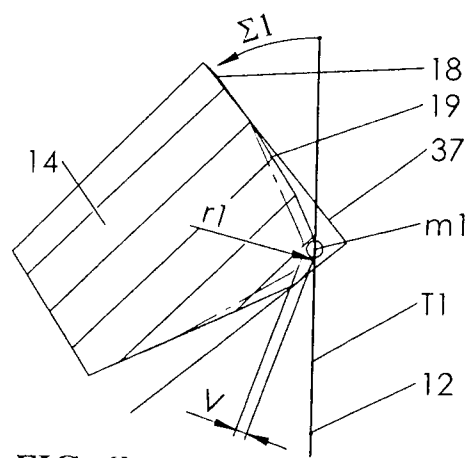


FIG. 6b

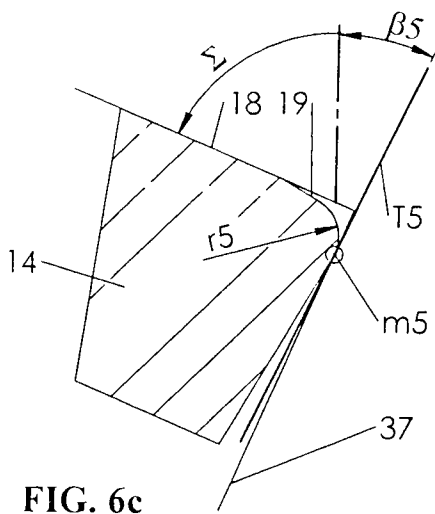


FIG. 6c

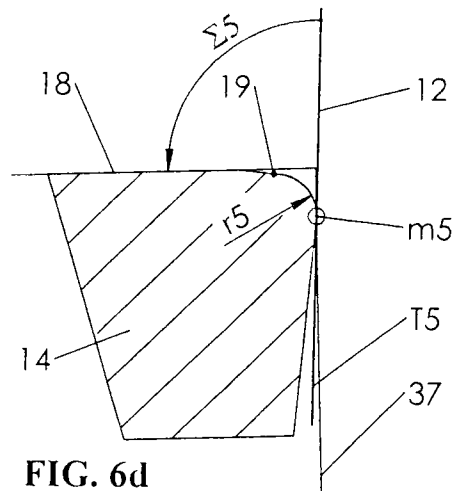


FIG. 6d

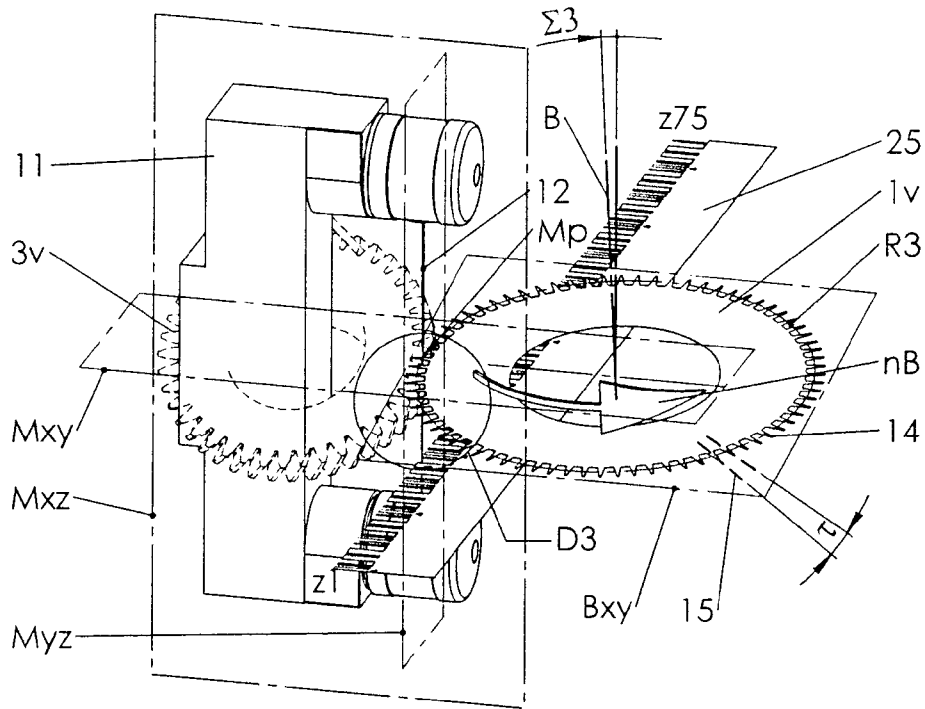


FIG. 7

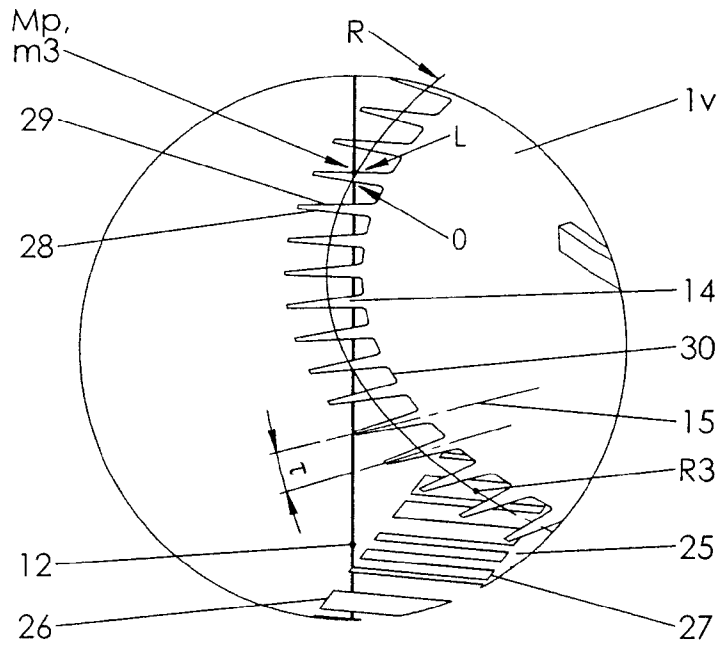


FIG. 7a

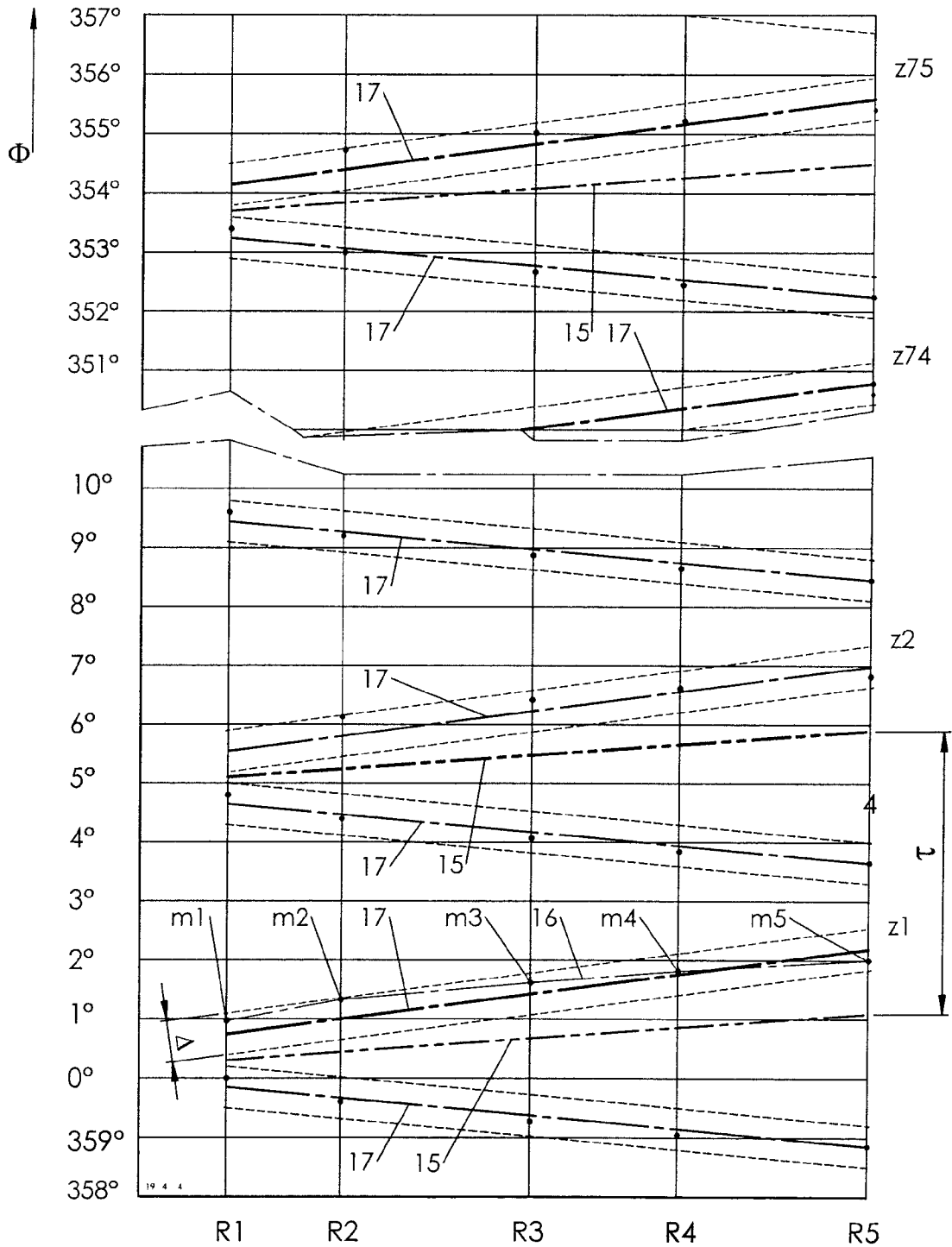


FIG. 8

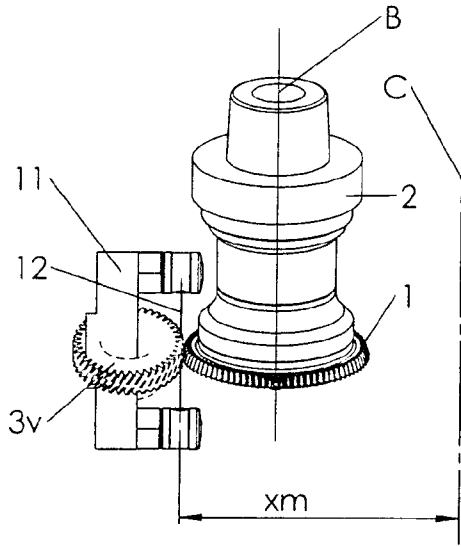


FIG. 9

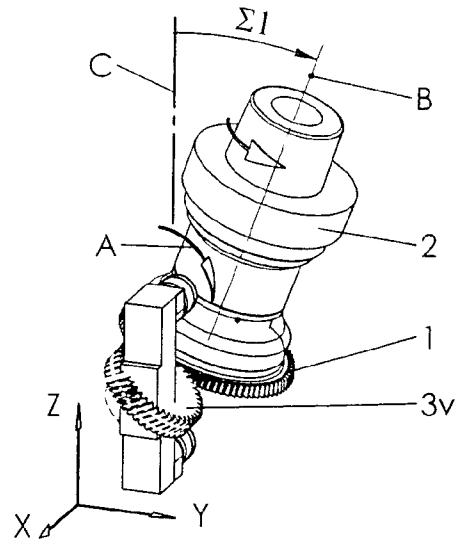


FIG. 9a

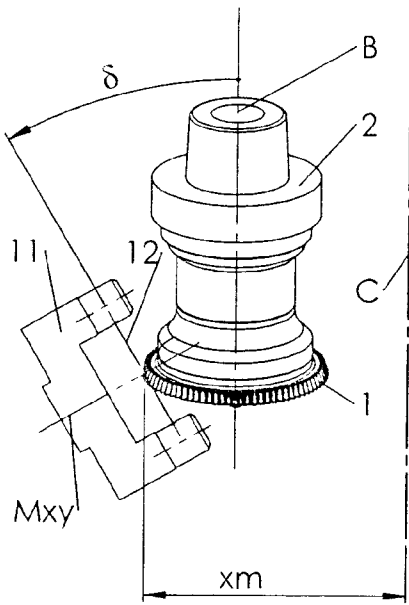


FIG. 10

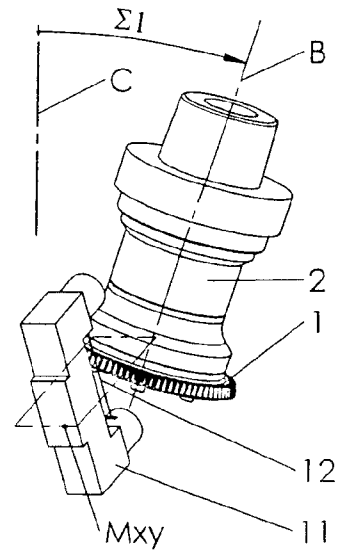


FIG. 10a

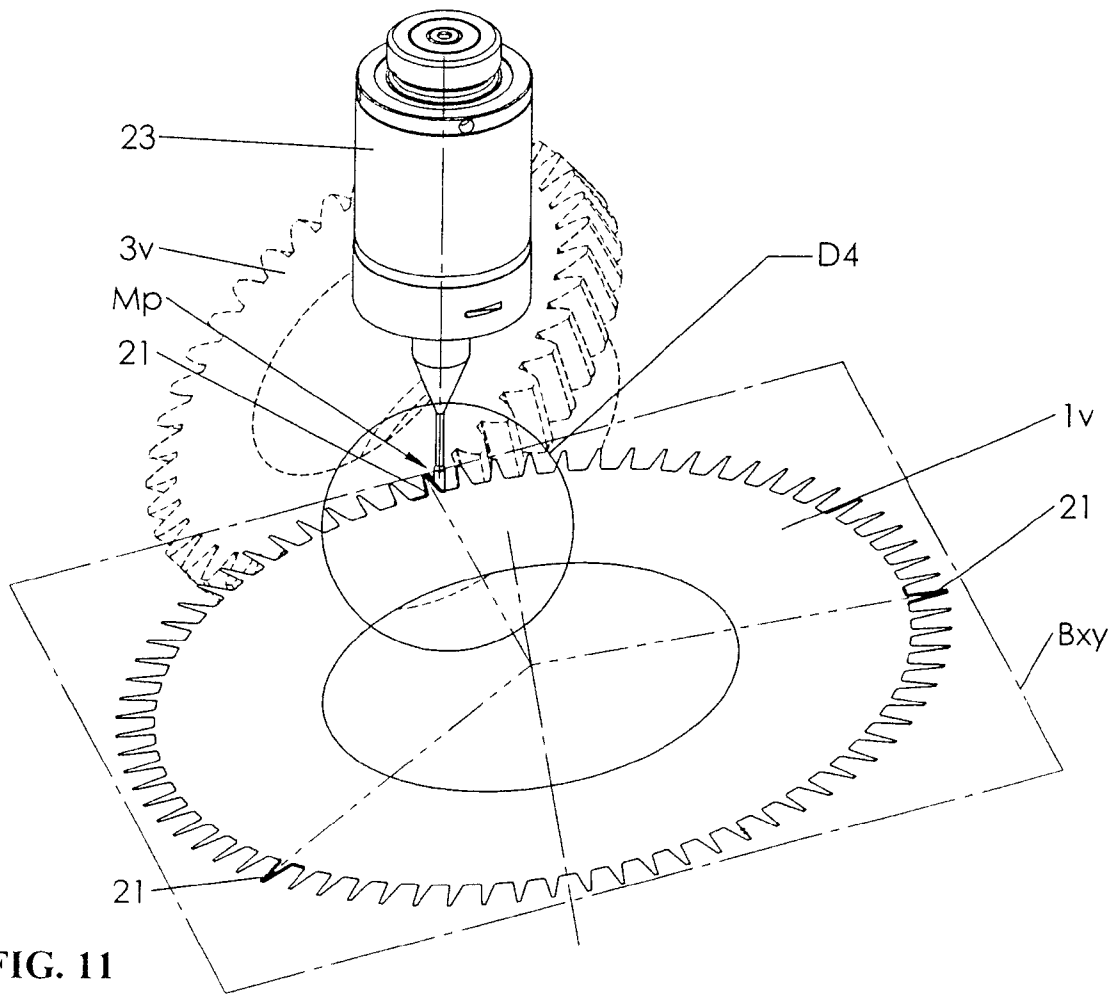


FIG. 11

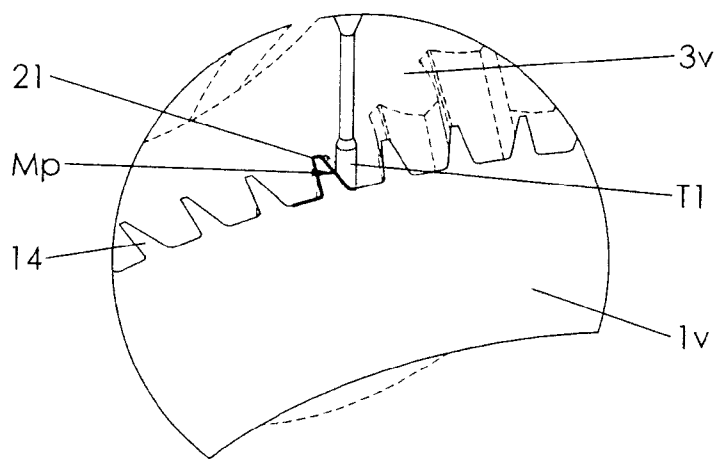


FIG. 11a

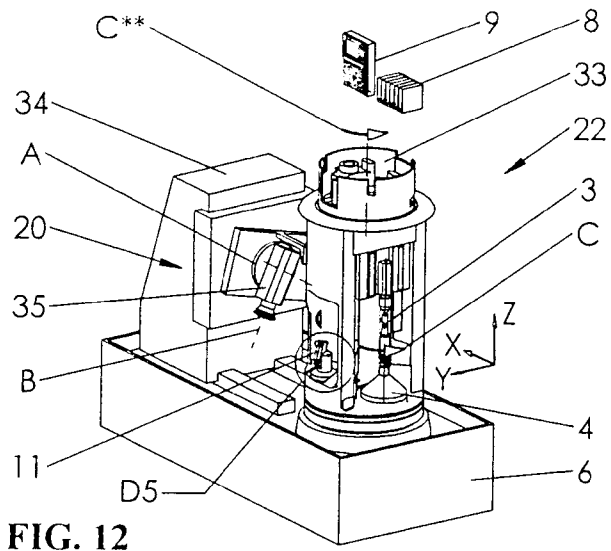


FIG. 12

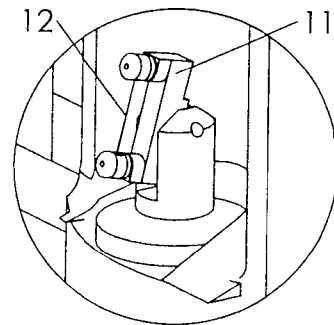


FIG. 12a

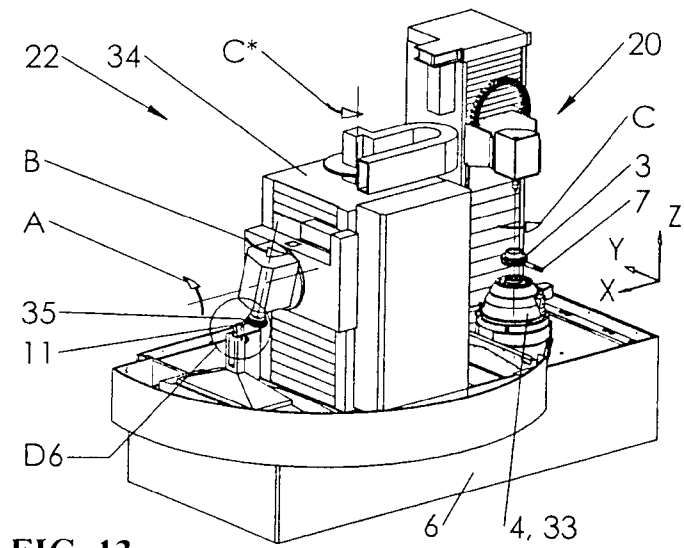


FIG. 13

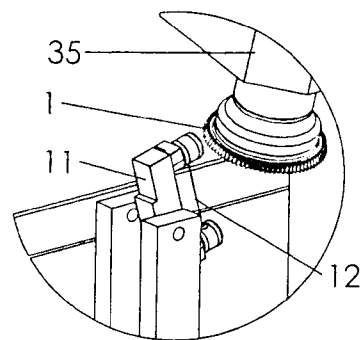


FIG. 13a

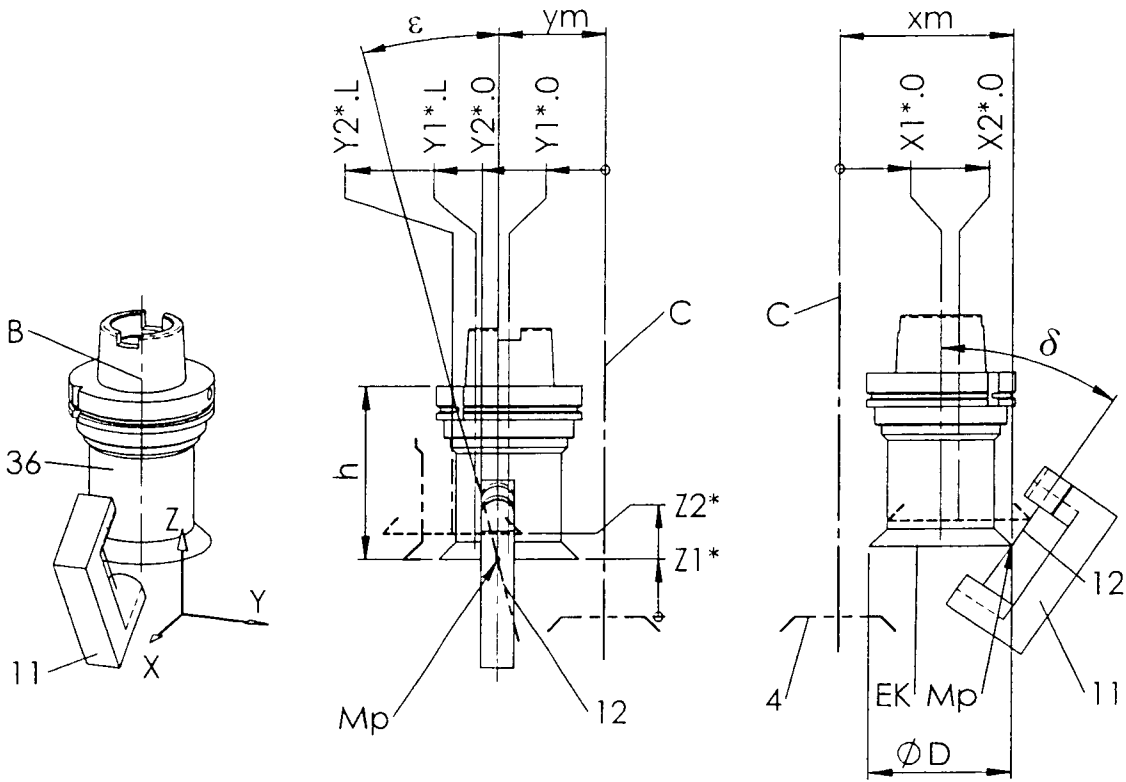


FIG. 14

FIG. 14a

FIG. 14b

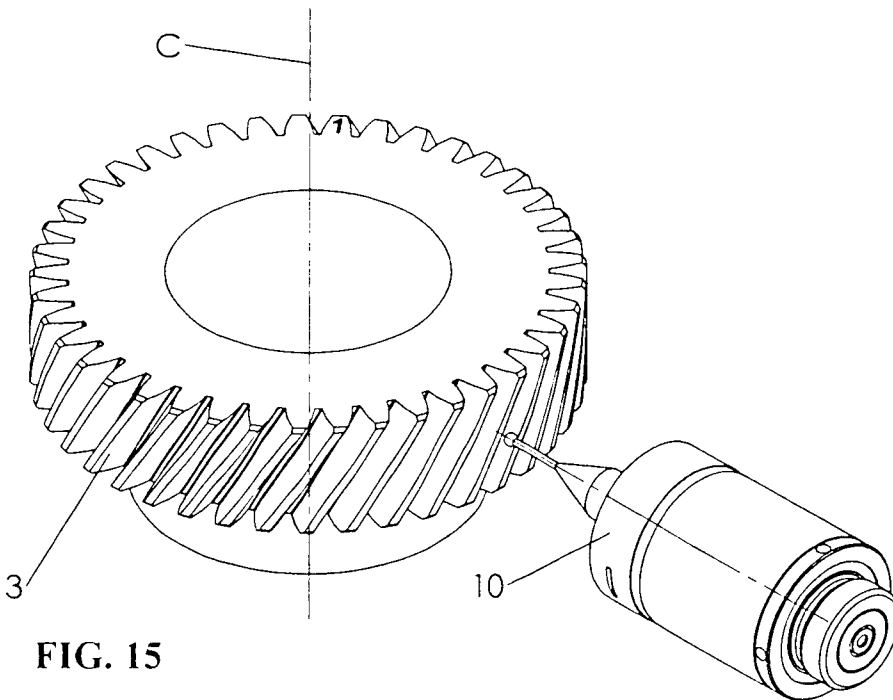


FIG. 15

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		ARTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		P174736 RE/AD/CL	
Nationales Aktenzeichen		Anmeldedatum	
15262017		15-12-2017	
Anmeldeland		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
CH			
Anmelder (Name)			
Reishauer AG			
Datum des Antrags auf eine Recherche Internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche Internationaler Art zugeteilt hat	
05-01-2018		SN70323	
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS <small>(treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)</small>			
<small>Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC</small>			
G01B11/24			
II. RESEARCHIERTE SACHGEBIETE			
<small>Recherchiertes Mindestprüfobjekt</small>			
<small>Klassifikationssystem</small>		<small>Klassifikationssymbole</small>	
IPC		G01B	
<small>Recherchierte, nicht zum Mindestprüfobjekt gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen:</small>			
III. <input type="checkbox"/> EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RESEARCHIERBAR ERWIESEN <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			
IV. <input type="checkbox"/> MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			

Formblatt PCT/ISA 201 a (11/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 15262017

<p>A. KLASSE/FÜHRUNG DER ANMELDUNGSBEZÜGENDEN INV. G01B11/24 ADD.</p> <p>Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC</p>													
<p>B. RECHERCHIERTE GEBIETSBEZIEHE Recherchiertes Mindestprüfobjekt (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole) G01B</p> <p>Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfobjekt gehörende Veröffentlichungen, soweit diese über die recherchierten Gebiete fallen</p> <p>Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Forme der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data</p>													
<p>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kategorie*</th> <th>Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich: unter Angabe der in Betracht kommenden Teile</th> <th>Elek. Anspruchs Nr.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>DE 10 2010 054742 A1 (ZOLLER GMBH & CO KG [DE]) 21. Juni 2012 (2012-06-21) * Absatz [0025] - Absatz [0061]; Abbildungen 1,2 *</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>DE 10 2007 053993 A1 (CARL MAHR HOLDING GMBH [DE]) 2. April 2009 (2009-04-02) * Absatz [0022] - Absatz [0027]; Abbildung 1 *</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>A,D</td> <td>DE 199 27 872 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 26. Oktober 2000 (2000-10-26) in der Anmeldung erwähnt * Spalte 4, Zeile 14 - Spalte 4, Zeile 23 * * Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 6, Zeile 58; Abbildungen 1-11 *</td> <td>1-27</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">----- -/-</p>		Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich: unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Elek. Anspruchs Nr.	A	DE 10 2010 054742 A1 (ZOLLER GMBH & CO KG [DE]) 21. Juni 2012 (2012-06-21) * Absatz [0025] - Absatz [0061]; Abbildungen 1,2 *	1-27	A	DE 10 2007 053993 A1 (CARL MAHR HOLDING GMBH [DE]) 2. April 2009 (2009-04-02) * Absatz [0022] - Absatz [0027]; Abbildung 1 *	1-27	A,D	DE 199 27 872 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 26. Oktober 2000 (2000-10-26) in der Anmeldung erwähnt * Spalte 4, Zeile 14 - Spalte 4, Zeile 23 * * Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 6, Zeile 58; Abbildungen 1-11 *	1-27
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich: unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Elek. Anspruchs Nr.											
A	DE 10 2010 054742 A1 (ZOLLER GMBH & CO KG [DE]) 21. Juni 2012 (2012-06-21) * Absatz [0025] - Absatz [0061]; Abbildungen 1,2 *	1-27											
A	DE 10 2007 053993 A1 (CARL MAHR HOLDING GMBH [DE]) 2. April 2009 (2009-04-02) * Absatz [0022] - Absatz [0027]; Abbildung 1 *	1-27											
A,D	DE 199 27 872 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 26. Oktober 2000 (2000-10-26) in der Anmeldung erwähnt * Spalte 4, Zeile 14 - Spalte 4, Zeile 23 * * Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 6, Zeile 58; Abbildungen 1-11 *	1-27											
<p><input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie</p>													
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als beanspruchbar bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"B" älteste Dokumentation, die jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei anzuerkennen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer späteren im Recherchebereich geltenden Veröffentlichung beseitigt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie angegeben)</p> <p>"C" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht korrespondiert, sondern nur zum Verständnis der Erfindung zugunstenliegender Prinzipie oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungsberechtigter Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindungsberechtigter Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>													
<p>Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art</p> <p>22. Februar 2018</p>	<p>Abschließdatum des Berichts über die Recherche internationaler Art</p> <p>06-03-2018</p>												
<p>Name und Postanschrift der internationalen Recherchierbehörde</p> <p>Eurochemisches Patentamt, P. B. 6816 Patentkloster 2 NL - 2260 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-3040 Fax: (+31-70) 340-3016</p>	<p>Bausmündigster Recherchierer</p> <p>Beyfuß, Martin</p>												

2

Formblatt PCT/IS/2001 (2001.2) (Januar 2004)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 15262017

0 (Fortsetzung) ALB WESSENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Bestand vorhandenen Teile	Betr. Antrags-Nr.
A	<p>PED' S E ET AL: "Development of a Model Series of Hardware-Software Complexes for Automated Measurements of the Parameters of Gear-Cutting Tools", MEASUREMENT TECHNIQUES, CONSULTANTS BUREAU, NEW YORK, US, Bd. 56, Nr. 12, 29. März 2014 (2014-03-29), Seiten 1370-1376, XP035367433, ISSN: 0543-1972, DOI: 10.1007/S11018-014-0384-5 [gefunden am 2014-03-29] * das ganze Dokument *</p> <p>-----</p>	1-27
A	<p>US 2012/129434 A1 (HACKMAN ROGER L [US] ET AL) 24. Mai 2012 (2012-05-24) * Absatz [0026] - Absatz [0030]; Abbildungen 5-7 *</p> <p>-----</p>	1-27

CH 714 443 A1

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 15262017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010054742 A1	21-06-2012	DE 102010054742 A1	21-06-2012
		EP 2668464 A1	04-12-2013
		ES 2555269 T3	30-12-2015
		WO 2012079734 A1	21-06-2012

DE 102007053993 A1	02-04-2009	DE 102007053993 A1	02-04-2009
		WO 2009036686 A1	26-03-2009

DE 19927872 A1	26-10-2000	KEINE	

US 2012129434 A1	24-05-2012	CN 102596497 A	18-07-2012
		EP 2480374 A1	01-08-2012
		ES 2406430 T3	07-06-2013
		JP 5785552 B2	30-09-2015
		JP 2013595843 A	21-02-2013
		KR 20120085779 A	01-08-2012
		US 2012129434 A1	24-05-2012
		WO 2011038093 A1	31-03-2011

Formblatt PC-TISSAN/011 (Verfolgung Patentfamilie) (Januar 2004)