(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 020 977 B4** 2011.05.05

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 020 977.8**
(22) Anmeldetag: **12.05.2009**
(43) Offenlegungstag: **25.11.2010**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **05.05.2011**

(51) Int Cl.: ***G01B 21/04*** (2006.01)
G01B 21/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten(§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertr. d. d. Bundesministerium f. Wirtschaft u. Technologie, d. vertr. d. d. Präsidenten d. Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE; Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122 Braunschweig

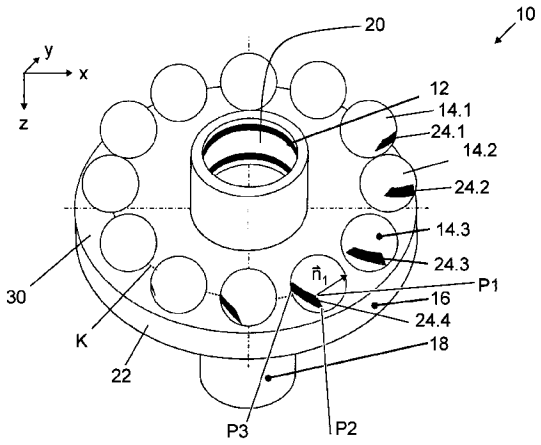
(72) Erfinder:
Härtig, Frank, Dr., 38116 Braunschweig, DE; Kniel, Karin, Dr., 38118 Braunschweig, DE; Goch, Gerd, Prof. Dr., 28209 Bremen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	**44 24 871**	**A1**
DE	**37 19 838**	**A1**
DE	**20 2007 000948**	**U1**
US	**2006/01 85 184**	**A1**

(54) Bezeichnung: **Kegelradnormal**

(57) Hauptanspruch: Kegelrad normal mit
(a) mindestens einer Einmess-Referenzfläche (12), die so ausgebildet ist, dass ein Kegelradnormal-Koordinatensystem des Kegelradnormals (10) ermittelbar ist, und
(b) zumindest zwei Geometrieelementen (14) in Form von Kugeln oder Teilen von Kugeln,
dadurch gekennzeichnet, dass
(c) die Geometrieelemente (14) auf einem Träger (16) in Form einer Scheibe befestigt sind und
(d) die Einmess-Referenzfläche (12) durch
eine Innenfläche einer zentralen Bohrung (20) in einem Schaft, der mit dem Träger (16) verbunden ist, und/oder
eine Außenfläche (22) an einem Umfang des Trägers (16) und/oder
eine Außenfläche eines zentralen Zylinders
gebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Kegelradnormal mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Überwachung und/oder Korrektur eines Kegelrad-Messprozesses.

[0002] Zur Qualitätsüberwachung bei der Fertigung von Kegelrädern werden Messvorrichtungen verwendet. Diese umfassen in der Regel eine Antasteinheit, mit der sie Kegelräder antasten, um so eine Punktwolke zum Beurteilen der Qualität des Kegelrads zu erzeugen. Der Messprozess auf derartigen Messvorrichtungen muss rückführbar spezifiziert werden. Dazu wurden in der Vergangenheit Kegelradnormale vorgeschlagen, die sich jedoch nicht durchsetzen konnten, da sie entweder aufgrund ihrer Geometrie nicht mit der erforderlichen Genauigkeit kalibriert werden konnten oder aufgrund ihres Aufbaus nicht wie ein normales Kegelrad gemessen werden konnten, so dass sie für den Einsatz in der industriellen Messtechnik nicht geeignet waren. Es existieren zurzeit keine praktisch einsetzbaren Kegelradnormale zur Überwachung von Messprozessen, um zuverlässige, dass heißt auf die SI-Einheit Meter rückgeführte, Messergebnisse an Kegelrädern zu erzielen, die den Genauigkeitsanforderungen der Industrie genügen. Die eingesetzten Messvorrichtungen könnten auch als Kegelrad-Messvorrichtungen bezeichnet werden.

[0003] Aus der DE 37 19 838 A1 ist ein gattungsgemäßes Kegelradnormal bekannt. Derartige Kegelradnormale konnten sich jedoch nicht durchsetzen. Die erreichbare Messgenauigkeit ist bei dem bekannten Kegelradnormal begrenzt, da zum Kalibrieren des Kegelradnormals die Position der Kugeln relativ zur Einmess-Referenzfläche in drei Dimensionen erfasst werden muss. Nachteilig ist zudem, dass zu kalibrierende Kegelrad-Messvorrichtungen zusätzliche Software benötigen, um mit derartigen Kegelradnormalen kalibriert zu werden.

[0004] Aus der DE 20 2007 000 948 U1 ist ein Prüfkörper zur Überprüfung von Messprozessen mit Messgeräten bekannt, der die Überprüfung wenigstens annährend aller Arten von Maß- Form- und Lagerabweichungen zulässt. Der dort beschriebene Prüfkörper ist jedoch nicht als Kegelradnormal tauglich.

[0005] Aus der US 2006/0185184 A1 ist ein Verfahren zum Kalibrieren von Verzahnungs- Lap- und Testmaschinen bekannt. Mangels in äquidistanten Winkelschritten angeordneten Geometrieelementen in Form von Kugeln oder Teilen von Kugeln ist das dort beschriebene Normal nicht als Kegelradnormal einsetzbar.

[0006] In der DE 44 24 871 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung der maschinenbedingten Messfehler einer Koordinatenmessmaschine in einem Ringbereich bekannt.

[0007] Dazu wird ein Normal mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen eingesetzt. Die Verwendung eines derartigen Normals als Kegelradnormal wird nicht beschrieben.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein einfach aufgebautes Kegelradnormal vorzuschlagen, mit dessen Hilfe Kegelrad-Messvorrichtungen mit hoher Genauigkeit einfacher kalibriert werden können.

[0009] Die Erfindung löst das Problem durch ein Kegelradnormal gemäß Anspruch 1.

[0010] Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Verfahren zur Überwachung und/oder Korrektur eines Kegelrad-Messprozesses mit den Merkmalen von Anspruch 3.

[0011] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass das Kegelradnormal eine hochgenaue Überprüfung und Korrektur des Messprozesses erlaubt. Aufgrund des Vorhandenseins der Einmess-Referenzfläche kann das Kegelradnormal mit hoher Genauigkeit relativ zu einem vorgegebenen Koordinatensystem orientiert werden. Da die Geometrieelemente Kugeln oder Teile von Kugeln sind, lassen sie sich mit hoher Genauigkeit fertigen und kalibrieren.

[0012] Wenn die Geometrieelemente in äquidistanten Winkelschritten angeordnet sind, kann ihre Anordnung relativ zueinander mit Hilfe eines Fehlertrennverfahrens unabhängig von der Genauigkeit des dazu verwendeten Messgerätes hochgenau kalibriert werden. Damit kann jeder Punkt auf der Oberfläche eines Geometrieelements analytisch aus einer Kugelgleichung bestimmt werden. Das wiederum erlaubt aus den im Folgenden angegebenen Gründen eine besonders hohe Genauigkeit bei der Überprüfung und Korrektur des Messprozesses.

[0013] Kegelräder besitzen eine Verzahnung, die ihrerseits Flanken aufweist. Die Geometrie der Flanken ist zumeist nicht analytisch bekannt, sondern durch Stützstellen vorgegeben. Um die Formhaltigkeit des Kegelrads zu überprüfen, muss daher das Kegelrad an seiner Flanke an den jeweiligen Stützstellen angetastet werden. Das ist praktisch unmöglich. Stattdessen wird die Flanke des Kegelrads in einem Punkt angetastet, der von dem nächstliegenden Stützpunkt für die Beschreibung der Flanke abweicht.

[0014] Es stellt sich dann das Problem, dass die Abweichung des gemessenen Punktes zu dem vorgegebenen Flankenstützpunkt bestimmt werden muss, obwohl das Flankenprofil an der Antaststelle nicht be-

kannt ist. Es muss daher durch die bekannten Stützstellen eine Ausgleichskurve berechnet werden. Aus dieser Ausgleichskurve wird dann der Soll-Wert für den Antastpunkt ermittelt und mit dem Ist-Antastpunkt verglichen. Da zwischen den Stützstellen für die Beschreibung der Flanken interpoliert oder approximiert werden muss, kommt es unweigerlich zu einem Fehler, der nicht von einer fertigungsbedingten Formabweichung unterschieden werden kann.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Kegelradnormal werden Geometrieelemente in Form von Kugeln oder Teilen von Kugeln verwendet. Das heißt, dass jeder Punkt auf der Kugel interpolationsfrei oder approximationsfrei direkt aus der Kugelgleichung berechnet werden kann, da der Mittelpunkt der Kugel im Kegelradnormal-Koordinatensystem mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Beim Prüfen eines Messprozesses kann daher der Ist-Wert für einen Antastpunkt direkt mit dem Soll-Wert verglichen werden. Etwaige Abweichungen sind der Messunsicherheit des Messprozesses zuzuordnen.

[0016] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Kegelradnormal ein Normal verstanden, das zur Überwachung und Korrektur eines Messprozesses ausgebildet ist. Das Kegelradnormal umfasst eine Maßverkörperung und einen zugehörigen Kalibrierschein.

[0017] Unter einer Einmess-Referenzfläche wird insbesondere eine Fläche des Kegelradnormals verstanden, die hinsichtlich ihrer Gestaltabweichung und Oberflächenbeschaffenheit so ausgebildet ist, dass das Kegelradnormal-Koordinatensystem bezüglich seiner Lage in x-y und z-Richtung mit einer Abweichung von weniger als 10 Mikrometern bestimmbar ist. Wird als Einmess-Referenzfläche eine Umfangsfläche verwendet, ist diese so ausgebildet, dass ein geometrischer Mittelpunkt mit einer Genauigkeit von weniger als 10 Mikrometern bestimmbar ist. Bevorzugt ist die Einmess-Referenzfläche so ausgebildet, dass sie ein reproduzierbares Einmessen des Kegelradnormal-Koordinatensystems mit einer Winkelgenauigkeit von besser als 10 Winkelsekunden erlaubt.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist für zumindest eine kalibrierte Kugel eine Menge an Kalibrierpunkten festgelegt, die so zueinander angeordnet sind, dass sie Punkten auf Flanken eines Kegelrads entsprechen, so dass ein Messprozess überwachbar und korrigierbar ist. Wie oben beschrieben, werden beim Messen von Kegelrädern einzelne Stützstellen angefahren. Dadurch, dass die Kugeln in Form und Lage bekannt sind, kann die Messvorrichtung so betrieben werden, als würde sie ein Kegelrad antasten.

[0019] Es kann eine Einmess-Referenzfläche durch eine Innenfläche einer zentralen Bohrung und/oder eine Außenfläche eines zentralen Zylinders und/oder eine Außenfläche der Trägerscheibe gebildet sein. Eine Innenfläche bzw. eine Außenfläche kann mit einer sehr hohen Formgenauigkeit hergestellt werden.

[0020] Zusätzlich kann eine Einmess-Referenzfläche durch eine Flachseite einer Trägerscheibe gebildet sein, wobei die Geometrieelemente auf der Trägerscheibe angeordnet sind.

[0021] Bevorzugt sind die zumindest zwei Geometrieelemente auf einem Kreis angeordnet, wobei der Kreismittelpunkt des Kreises mit einem Mittelpunkt einer Einmess-Referenzfläche zusammenfällt.

[0022] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines exemplarischen Ausführungsbeispiels näher erläutert. Dabei zeigt

[0023] Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Kegelradnormal und

[0024] Fig. 2 zum Vergleich ein Kegelrad.

[0025] Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Kegelradnormal **10** mit einer ersten Einmess-Referenzfläche **12** und einer Mehrzahl an Geometrieelementen **14.1**, **14.2**, ... in Form von Kugeln. Im Folgenden bezeichnen Bezugszeichen ohne Zählsuffix das Objekt jeweils als solches. Die Geometrieelemente **14** stellen Maßverkörperungen dar und können theoretisch nicht nur Kugeln oder Teile von Kugeln sein, sondern auch sphärische Elemente, Kegel und/oder Quader. Derartige Geometrieelemente führen jedoch in der Regel zu weniger praktisch handhabbaren Kegelradnormalen.

[0026] Die Geometrieelemente **14** sind auf einem Träger **16** in Form einer Scheibe befestigt. Der Träger **16** ist seinerseits mit einem Schaft **18** verbunden, der eine zentrale Bohrung **20** aufweist, an der die Einmess-Referenzfläche **12** ausgebildet ist. Der Träger **16** ist scheibenförmig oder hat die Form eines runden, abgestuften Tellers.

[0027] Alternativ oder additiv kann auch eine Außenfläche **22** an einem Umfang des scheibenförmigen Trägers **16** als Einmess-Referenzfläche ausgebildet sein. Die erste Einmess-Referenzfläche **12** und die etwaige zweite Einmess-Referenzfläche in Form der Außenfläche **22** sind durch Ultrapräzisionsdrehen und/oder Schleifen hergestellt. Sie weisen eine Gestaltabweichung von einem idealen Zylinder von weniger als 10 Mikrometern auf. So ist eine Lagenbestimmung des Kegelradnormals mit einer Genauigkeit von ebenfalls weniger als 10 Mikrometern möglich.

[0028] Die Geometrieelemente **14** sind in äquidistanten Winkelschritten auf einem schematisch einge-

zeichneten Kreis K angeordnet, dessen Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der zentralen Bohrung **20** zusammenfällt. In einem nicht dargestellten Kalibrierschein sind die Positionen der einzelnen Geometrieelemente **14.1**., **14.2**, ... relativ zu einem beliebig gewählten ersten Geometrieelement, im vorliegenden Fall dem Geometrieelement **14.1**, mit hoher Genauigkeit beschrieben. Beispielsweise wird die Lage der einzelnen Geometrieelemente relativ zueinander mit Hilfe eines Fehlertrennverfahrens mit hoher Genauigkeit bestimmt.

[0029] Aufgrund der Anordnung der Geometrieelemente **14** relativ zu einer Längsachse (z-Achse) des Schafts **18** lässt sich jeder Punkt auf einer Oberfläche eines jeden Geometrieelements **14** analytisch berechnen.

[0030] Zum Durchführen eines Verfahrens wird das Kegelradnormal **10** in einer Aufnahme eine Messvorrichtung eingesetzt und anhand der Einmess-Referenzfläche **12** und/oder **22** justiert, das heißt zum Koordinatensystem der Messvorrichtung ausgerichtet.

[0031] Danach wird das Kegelradnormal **10** in einer Mehrzahl von Kalibrierpunkten P1, P2, angetastet, die auf einer jeweiligen Messfläche **24** des jeweiligen Geometrieelements **14** liegen. So liegen die Kalibrierpunkte P1, P2, ... auf der Messfläche **24.4** des Geometrieelements **14.4**.

[0032] Auf dem Kegelradnormal **10** ist in Form der Kalibrierpunkte P ein Kegelrad wie das Kegelrad **28** verkörpert, das im Folgenden beschrieben ist. Es kann vorgesehen sein, dass in dem Kalibrierschein mehrere Sätze an Kalibrierpunkten verzeichnet sind, die mehrere verschiedene Kegelräder verkörpern.

[0033] Fig. 2 zeigt, dass die Kalibrierpunkte P so gewählt sind, dass ihre Normalenvektoren denen in den Punkten P' auf einer Flanke **26** eines Kegelrads **28** entsprechen. Beispielsweise korrespondiert der Normalenvektor $\vec{n}_1$, in Punkt P1 zu dem Normalenvektor im Punkt P1' auf der Flanke **26**. Von der Messvorrichtung wird dann durch Antasten die Lage der Kalibrierpunkte bestimmt, das heißt deren Ist-Koordinaten gemessen. Die Ist-Koordinaten werden mit aus dem Kalibrierschein entnommenen Soll-Koordinaten verglichen und so eine Abweichung ermittelt. Die Abweichung ist ein Maß für die Genauigkeit des Messprozesses.

[0034] Es ist alternativ auch möglich, dass bei angepasster geometrischer Ausführung des Kegelradnormals die Kalibrierpunkte P so gewählt sind, dass sie direkt den Punkten P auf der Flanke **26** eines Kegelrades **28** entsprechen.

[0035] Die Innenfläche der zentralen Bohrung **20** stellt eine Einmess-Referenzfläche in Form einer Rundlauffläche dar. Additiv kann eine der Einmess-Referenzflächen durch eine Planlauffläche **30** in Form einer Flachseite des Trägers **16** gebildet sein.

Bezugszeichenliste

10	Kegelradnormal
12	Einmess-Referenzfläche
14	Geometrieelement
16	Träger
18	Schaft
20	zentrale Bohrung
22	Außenfläche
24	Messfläche
26	Flanke
28	Kegelrad
30	Planlauffläche
K	Kreis
P	Kalibrierpunkt

Patentansprüche

1. Kegelrad normal mit
(a) mindestens einer Einmess-Referenzfläche (**12**), die so ausgebildet ist, dass ein Kegelradnormal-Koordinatensystem des Kegelradnormals (**10**) ermittelbar ist, und
(b) zumindest zwei Geometrieelementen (**14**) in Form von Kugeln oder Teilen von Kugeln,
dadurch gekennzeichnet, dass
(c) die Geometrieelemente (**14**) auf einem Träger (**16**) in Form einer Scheibe befestigt sind und
(d) die Einmess-Referenzfläche (**12**) durch
eine Innenfläche einer zentralen Bohrung (**20**) in einem Schaft, der mit dem Träger (**16**) verbunden ist, und/oder
eine Außenfläche (**22**) an einem Umfang des Trägers (**16**) und/oder
eine Außenfläche eines zentralen Zylinders
gebildet ist.

2. Kegelradnormal nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
– die zumindest zwei Geometrieelemente (**14**) auf einem Kreis (K) angeordnet sind, und
– der Kreismittelpunkt des Kreises mit einem Mittelpunkt einer Einmess-Referenzfläche (**12**) zusammenfällt.

3. Verfahren zur Überwachung und/oder Korrektur eines Kegelrad-Messprozesses, mit den Schritten
(a) Bereitstellen eines Kegelradnormals (**10**) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
(b) Bestimmen eines Kegelradnormal-Koordinatensystem anhand der Einmess-Referenzfläche (**12**, **22**),
(c) Messen einer Lage zumindest eines Kalibrierpunkts auf dem Kegelrad im Kegelrad normal-Koordinatensystem mit der Messvorrichtung, so dass Ist-

Koordinaten des Kalibrierpunkts (P1, P2, P3, P4) erhalten werden, und
(d) Berechnen einer Abweichung zwischen Ist-Koordinaten und Soll-Koordinaten des Kalibrierpunkts auf dem Geometrieelement
(e) wobei eine Mehrzahl an Kalibrierpunkten (P1, P2, P3, P4) gemessen wird, und die Geometrieelemente (**14**) in den Kalibrierpunkten Kalibrierpunkt-Normalenvektoren haben, die Kegelrad-Normalenvektoren auf einem Kegelrad entsprechen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Berechnen der Soll-Koordinaten anhand einer analytischen Beschreibung einer Oberfläche des jeweiligen Geometrieelements erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass solche Kalibrierpunkte mit der Messvorrichtung gemessen werden, deren Koordinaten solchen Koordinaten von Punkten auf einer Oberfläche einer Flanke eines Kegelrads zumindest annähernd entsprechen.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

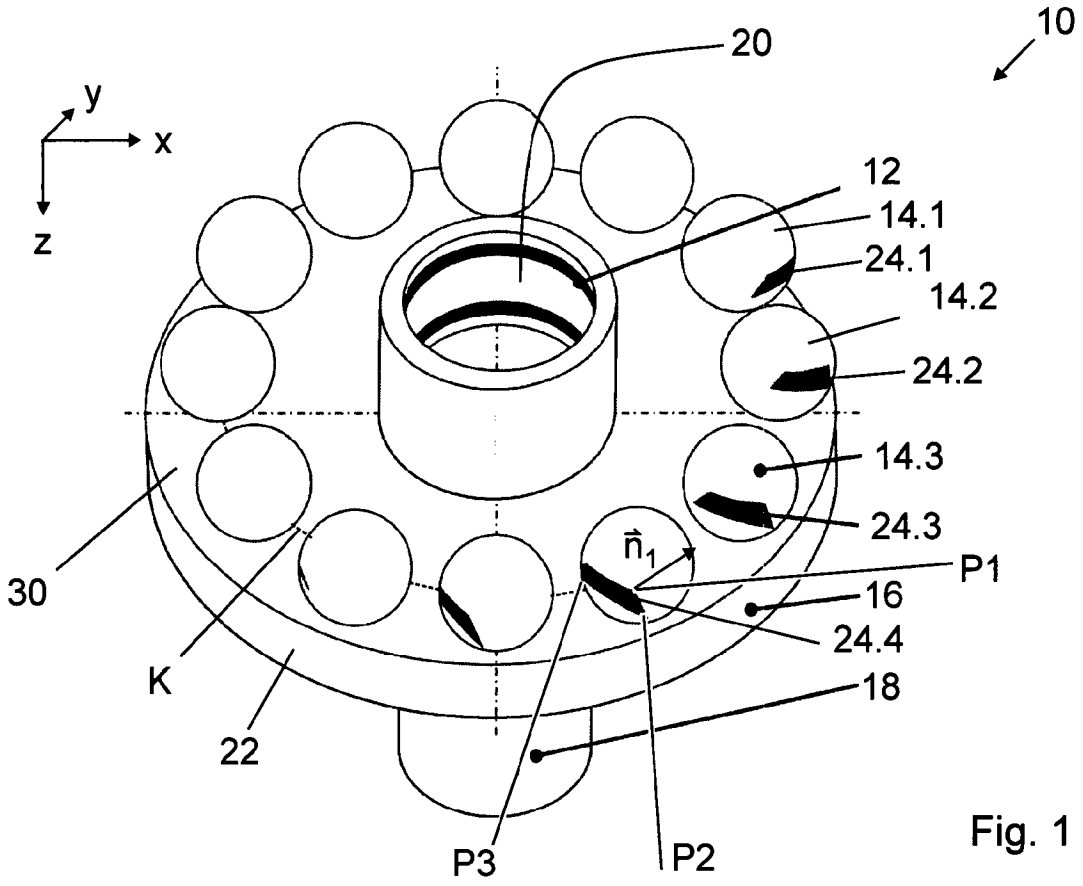


Fig. 1

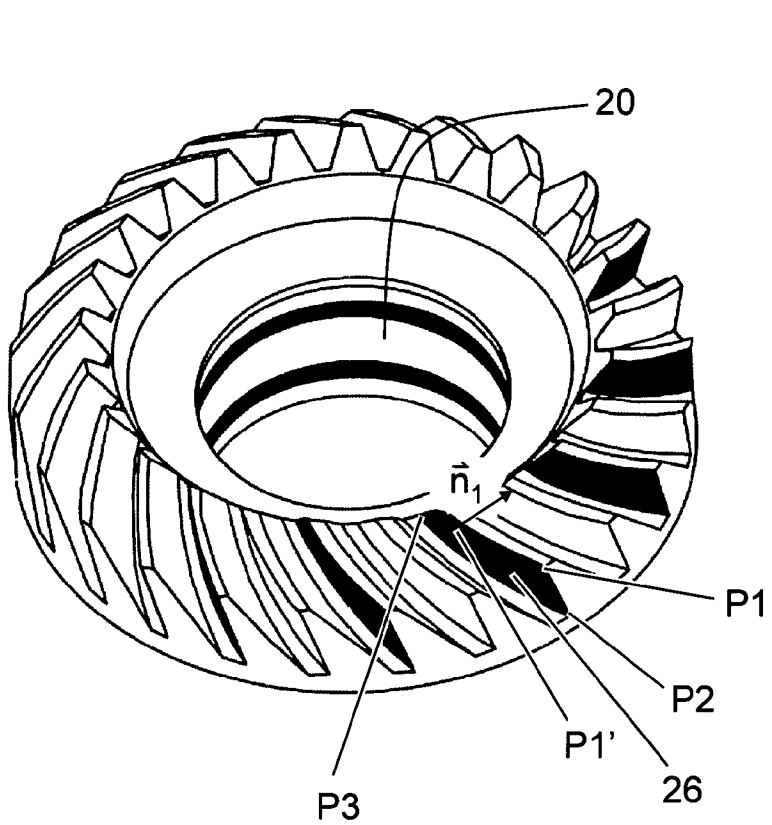


Fig. 2