

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
29. November 2012 (29.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/159942 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B23F 5/16 (2006.01) *B23F 21/04* (2006.01)
- (74) Anwalt: **HEUSCH, Christian**; OK pat AG, Chamerstrasse 50, CH-6300 Zug (CH).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/059062
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (22) Internationales Anmeldedatum:
15. Mai 2012 (15.05.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
11167703.5 26. Mai 2011 (26.05.2011) EP
11173901.7 14. Juli 2011 (14.07.2011) EP
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **KLINGELNBERG AG** [CH/CH]; Binzmühlestrasse 171, CH-8050 Zürich (CH).
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MX, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **VOGEL, Olaf** [DE/DE]; Dieselstrasse 28, 76275 Ettlingen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR HOB PEELING EXTERNAL TEETH AND DEVICE HAVING A CORRESPONDING HOB PEELING TOOL

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM WÄLZSCHÄLEN VON AUSSENVERZÄHNUNGEN UND VORRICHTUNG MIT ENTSPRECHENDEM WÄLZSCHÄLWERKZEUG

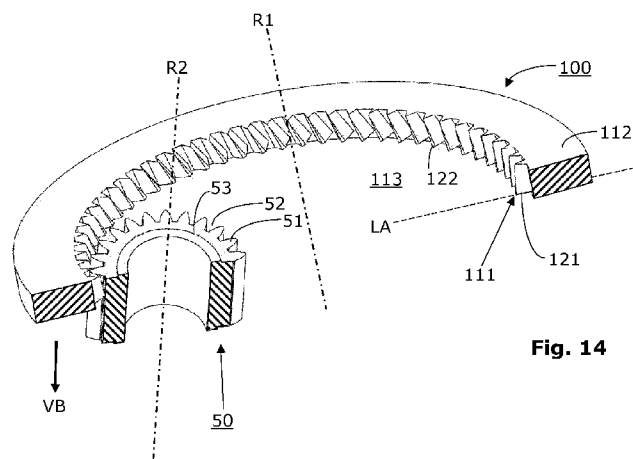


Fig. 14

(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for hob peeling a workpiece (50) having an external, rotationally symmetric, periodic structure (51, 52) using a hob peeling tool. The following steps are carried out: rotating the hob peeling tool about a first rotational axis (R1), rotating the workpiece (50) about a second rotational axis (R2) in a coupled manner, and carrying out an axial advancing motion (VB) of the hob peeling tool relative to the workpiece (50) in a direction parallel to the second rotational axis (R2). During the hob peeling, the two rotational axes (R1, R2) are arranged askew relative to each other at an axis intersection angle (Σ). The hob peeling tool is an inner peeling ring (100), which spans an interior (113) and has a plurality of cutting teeth (111), wherein at least one cutting edge, a cutting head tip (122), and a rake face (121) are provided on each cutting tooth (111), wherein the rake faces (121) of all cutting teeth (111) are arranged on an end-face plane or end-face cone surface of the inner peeling ring (100) so as to be rotationally symmetric with respect to the first rotational axis (R1), and wherein the cutting teeth (111) protrude into the interior (113) and point in the direction of the first rotational axis (R1).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/159942 A1



LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls
Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Es geht um ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Wälzsälen eines Werkstücks (50) mit aussenliegender, rotationssymmetrischer, periodischer Struktur (51, 52) unter Einsatz eines Wälzsälwerkzeugs. Es werden die folgenden Schritte ausgeführt: Drehen des Wälzsälwerkzeugs um eine erste Rotationsachse (R1), gekoppeltes Drehen des Werkstücks (50) um eine zweite Rotationsachse (R2), Ausführen einer axialen Vorschubbewegung (VB) des Wälzsälwerkzeugs in Bezug zu dem Werkstück (50) in einer Richtung parallel zur zweiten Rotationsachse (R2). Während des Wälzsälens sind die beiden Rotationsachsen (R1, R2) mit einem Achskreuzwinkel (Σ) windschief relativ zueinander angestellt. Bei dem Wälzsälwerkzeug handelt es sich um einen Innenschälring (100), der einen Innenraum (113) aufspannt, eine Mehrzahl von Schneidzähnen (111) aufweist, wobei an jedem Schneidzahn (111) mindestens eine Schneidkante, eine Schneidkopfspitze (122) und eine Spanfläche (121) angebracht sind, wobei die Spanflächen (121) aller Schneidzähne (111) bezüglich der ersten Rotationsachse (R1) rotationssymmetrisch auf einer Stirnebene oder stirnseitigen Kegelfläche des Innenschälrings (100) angeordnet sind, und wobei die Schneidzähne (111) in den Innenraum (113) ragen und in Richtung der ersten Rotationsachse (R1) zeigen.

5

10

15

**Verfahren zum Wälzschälen von Aussenverzahnungen und
Vorrichtung mit entsprechendem Wälzschälwerkzeug**

Gebiet der Erfindung

20 [0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Wälzschälen einer Aussenverzahnung oder einer anderen aussenliegenden periodischen Struktur und eine Vorrichtung mit einem entsprechenden Wälzschälwerkzeug.

Hintergrund der Erfindung, Stand der Technik

25 [0002] Es gibt zahlreiche Verfahren zur Fertigung von Zahnrädern. Bei der spanenden Weichvorbearbeitung unterscheidet man Wälzfräsen (im Englischen hobbing genannt), Wälzstossen (im Englischen gear shaping genannt), Wälzhobeln (im Englischen generating planing genannt) und Wälzschälen (im Englischen power skiving genannt). Das Wälzfräsen und Wälzschälen sind sogenannte kontinuierliche Verfahren, wie im Folgenden näher erläutert wird.

30 [0003] Bei der spanenden Herstellung von Zahnrädern unterscheidet man zwischen dem Einzelteilverfahren (auch intermittierendes Teilverfahren und im Englischen intermitted indexing process oder single indexing process genannt) und dem kontinuierlichen Verfahren, das teilweise auch als kontinuierliches

Teilungsverfahren (im Englischen continuous indexing process, oder face hobbing genannt) bezeichnet wird.

[0004] Beim kontinuierlichen Verfahren kommt beispielsweise ein Werkzeug mit entsprechenden Messern zum Einsatz, um die Flanken eines Werkstücks zu schneiden. Das Werkstück wird in einer Aufspannung kontinuierlich, d.h. im pausenlosen Verfahren fertig geschnitten. Das kontinuierliche Verfahren basiert auf komplexen, gekoppelten Bewegungsabläufen, bei denen das Werkzeug und das zu bearbeitende Werkstück relativ zueinander eine kontinuierliche Teilungsbewegung ausführen. Die Teilungsbewegung ergibt sich aus dem koordinierten, respektive gekoppelten Antreiben mehrere Achsantriebe einer entsprechenden Maschine.

[0005] Beim Einzelteilverfahren wird eine Zahnücke bearbeitet, dann erfolgen zum Beispiel eine relative Bewegung des Werkzeugs und eine sogenannte Teilungsbewegung (Teilungsdrehung), bei der sich das Werkstück relativ zum Werkzeug dreht, bevor dann die nächste Zahnücke bearbeitet wird. Es wird so Schritt für Schritt ein Zahnrad gefertigt.

[0006] Das eingangs genannte Wälzstossverfahren kann durch ein Zylinderradgetriebe beschrieben oder dargestellt werden, da der Kreuzungswinkel (auch Achskreuzwinkel genannt) zwischen der Rotationsachse R1 des Stosswerkzeugs 1 und der Rotationsachse R2 des Werkstücks 2 Null Grad beträgt, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt. Die beiden Rotationsachsen R1 und R2 verlaufen parallel, wenn der Achskreuzwinkel Null Grad beträgt. Das Werkstück 2 und das Stosswerkzeug 1 drehen sich kontinuierlich um ihre Rotationsachsen R2, bzw. R1. Das Stosswerkzeug 1 macht zusätzlich zu der Drehbewegung eine Hubbewegung, die in Fig. 1 durch den Doppelpfeil s_{hx} bezeichnet ist, und nimmt bei dieser Hubbewegung Späne vom Werkstück 2 ab.

[0007] Vor einiger Zeit wurde ein Verfahren erneut aufgegriffen, das als Wälzschälen bezeichnet wird. Die Grundlagen sind circa 100 Jahre alt. Eine erste Patentanmeldung mit der Nummer DE 243514 zu diesem Thema geht auf das Jahr 1912 zurück. Nach den ursprünglichen Überlegungen und Untersuchungen der Anfangsjahre wurde das Wälzschälen nicht mehr ernsthaft weiter verfolgt. Es waren

bisher aufwendige Prozesse, die teilweise empirisch waren, notwendig, um eine geeignete Werkzeuggeometrie für das Wälzschälverfahren zu finden.

[0008] Ungefähr Mitte der 1980er Jahre wurde das Wälzschälen erneut
5 aufgegriffen. Erst mit den heutigen Simulationsverfahren und den modernen CNC-
Steuerungen der Maschinen, konnte das Prinzip des Wälzschälens in ein
produktives, reproduzierbares und robustes Verfahren umgesetzt werden. Hinzu
kommen die hohe Verschleißfestigkeit heutiger Werkzeugmaterialien, die enorm
hohe statische und dynamische Steifigkeit und die hohe Güte des Synchronlaufs der
10 modernen Maschinen.

[0009] Beim Wälzschälen wird nun, wie in Fig. 2A gezeigt, ein Achskreuzwinkel Σ
zwischen der Rotationsachse R1 des Wälzschälzeugs 10 (auch als Schälrade
bezeichnet) und der Rotationsachse R2 des Werkstücks 20 vorgegeben, der
15 ungleich Null ist. Die resultierende Relativbewegung zwischen dem
Wälzschälwerkzeug 10 und dem Werkstück 20 ist eine Schraubbewegung, die in
einen Drehanteil (rotatorischer Anteil) und einen Schubanteil (translatorischer
Anteil) zerlegt werden kann. Als antriebstechnisches Analogon kann ein
Wälzschraubgetriebe betrachtet werden, wobei der Drehanteil dem Wälzen und der
20 Schubanteil dem Gleiten der Flanken entspricht. Um so größer der Achskreuzwinkel
 Σ betragsmäßig ist, um so mehr nimmt der für die Bearbeitung des Werkstücks 20
notwendige translatorische Bewegungsanteil zu. Er bewirkt nämlich eine
Bewegungskomponente der Schneiden des Wälzschälwerkzeugs 10 in Richtung der
Zahnflanken des Werkstücks 20. Beim Wälzschälen wird somit der Gleitanteil der
25 kämmenden Relativbewegung der im Eingriff stehenden Zahnräder des
Schraubradersatzgetriebes ausgenutzt, um die Schnittbewegung auszuführen. Beim
Wälzschälen ist nur ein langsamer Axialvorschub s_{ax} (auch axialer Vorschub
genannt) parallel zur Rotationsachse R2 des Werkstücks 20 erforderlich und es
entfällt die sogenannte Stossbewegung, die für das Wälzstossen typisch ist. Beim
30 Wälzschälen tritt somit auch keine Rückhubbewegung auf.

[0010] Die Schnittgeschwindigkeit beim Wälzschälen wird direkt von der Drehzahl
des Wälzschälwerkzeugs 10 bzw. des Werkstücks 20 und von dem verwendeten
Achskreuzwinkel Σ der Rotationsachsen R1 und R2 beeinflusst. Der Achskreuzwinkel

Σ und damit der Gleitanteil sollte so gewählt werden, dass für die Bearbeitung des Materials bei gegebener Drehzahl eine optimale Schnittgeschwindigkeit erzielt wird.

[0011] Die Bewegungsabläufe und weitere Details eines vorbekannten Wälzschälverfahrens sind der bereits erwähnten schematischen Darstellung in Fig. 2A zu entnehmen. Fig. 2A zeigt das Wälzschälen einer Außenverzahnung an einem zylindrischen Werkstück 20. Das Werkstück 20 und das Werkzeug 10 (hier ein zylindrisches Wälzschälwerkzeug 10) rotieren in entgegengesetzter Richtung, wie in Fig. 2A z.B. anhand der Winkelgeschwindigkeiten ω_1 und ω_2 zu erkennen ist.

[0012] Hinzu kommen weitere Relativbewegungen. Es ist der bereits erwähnte Axialvorschub s_{ax} erforderlich, um die gesamte Zahnbreite des Werkstücks 20 mit dem Werkzeug 10 bearbeiten zu können. Der Axialvorschub bewirkt eine Verschiebung des Werkzeugs 10 gegenüber dem Werkstück 20 in paralleler Richtung zur Rotationsachse R2 des Werkstücks 20. Die Richtung dieser Bewegung des Werkzeugs 10 ist in Fig. 2A mit s_{ax} gekennzeichnet. Falls am Werkstück 20 eine Schrägverzahnung erwünscht ist (d.h. $\beta_2 \neq 0$), wird dem Axialvorschub s_{ax} ein Differentialvorschub s_D überlagert, welcher, wie in Fig. 2A gekennzeichnet, einer zusätzlichen Drehung des Werkstücks 20 um seine Rotationsachse R2 entspricht. Der Differentialvorschub s_D und der Axialvorschub s_{ax} werden am Auslegungspunkt derart aufeinander abgestimmt, dass der resultierende Vorschub des Werkzeugs 10 gegenüber dem Werkstück 20 in Richtung der zu erzeugenden Zahnücke erfolgt. Zusätzlich kann ein Radialvorschub s_{rad} eingesetzt werden, um etwa die Balligkeit der Verzahnung des Werkstücks 20 zu beeinflussen.

[0013] Beim Wälzschälen ergibt sich der Vektor der Schnittgeschwindigkeit \vec{v}_c im Wesentlichen als Differenz der beiden um den Achskreuzwinkel Σ zueinander geneigten Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_1 und \vec{v}_2 der Rotationsachsen R1, R2 von Werkzeug 10 und Werkstück 20. \vec{v}_1 ist der Geschwindigkeitsvektor am Umfang des Werkzeugs 10 und \vec{v}_2 ist der Geschwindigkeitsvektor am Umfang des Werkstücks 20. Die Schnittgeschwindigkeit v_c des Wälzschälprozesses kann durch den Achskreuzwinkel Σ und die Drehzahl im Schraubradersatzgetriebe verändert werden. Der wie bereits erwähnt relativ langsame Axialvorschub s_{ax} hat beim

Wälzschälverfahren nur einen kleinen Einfluss auf die Schnittgeschwindigkeit v_c , der vernachlässigt werden kann. Deshalb ist der Axialvorschub s_{ax} in dem Vektordiagramm mit den Vektoren \vec{v}_1 , \vec{v}_2 und \vec{v}_c in Fig. 2A nicht berücksichtigt.

5 [0014] In Fig. 2B ist das Wälzschälen einer Außenverzahnung eines Werkstücks 20 mit einem konischen Wälzschälwerkzeug 10 gezeigt. In Fig. 2B sind wiederum der Achskreuzwinkel Σ , der Vektor der Schnittgeschwindigkeit \vec{v}_c , die Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_1 am Umfang des Werkzeugs 10 und \vec{v}_2 am Umfang des Werkstücks 20, sowie der Schrägungswinkels β_1 des Werkzeugs 10 und der
10 Schrägungswinkel β_2 des Werkstücks 20 gezeigt. Der Schrägungswinkel β_2 hier ungleich Null. Der Zahnkopf des Werkzeugs 10 ist in Fig. 2B mit dem Bezugszeichen 4 gekennzeichnet. Die Zahnbrust ist in Fig. 2B mit dem Bezugszeichen 5 gekennzeichnet. Die beiden Rotationsachsen R1 und R2 schneiden sich nicht, sondern sind windschief zueinander angeordnet. Bei einem konischen
15 Wälzschälwerkzeug 10 wird der Auslegungspunkt AP üblicherweise auf dem Gemeinlot der beiden Rotationsachsen R1 und R2 gewählt, da ein Ankippen des Wälzschälwerkzeugs 10 zur Beschaffung von Freiwinkeln nicht notwendig ist. Der Auslegungspunkt AP fällt hier mit dem sogenannten Berührungspunkt zusammen. In diesem Auslegungspunkt AP berühren sich die Wälzkreise des
20 Schraubwälzersatzgetriebes.

[0015] Beim Wälzschälen kommt ein Werkzeug 10 zum Einsatz, das mindestens eine geometrisch bestimmte Schneidkante umfasst. Die Schneidkante/Schneidkanten sind in Fig. 2A und Fig. 2B nicht gezeigt. Die Form
25 und Anordnung der Schneidkanten sowie der angrenzenden Span- und Freiflächen gehören zu denjenigen Aspekten, die in der Praxis bei einer konkreten Auslegung berücksichtigt werden müssen.

[0016] Das Wälzschälwerkzeug 10 hat in dem in Fig. 2A gezeigten Beispiel die
30 Form eines geradverzahnten Stirnrads. Die Außenkontur des Grundkörpers in Fig. 2A ist zylindrisch. Sie kann aber auch kegelig (auch konisch genannt) sein, wie in Fig. 2B gezeigt. Da der oder die Zähne des Wälzschälwerkzeugs 10 über die

gesamte Schneidkantenlänge in Eingriff kommen, benötigt jeder Zahn des Werkzeugs 10 an der Schneidkante einen ausreichenden Freiwinkel.

[0017] Wenn man von einem gerad- oder schrägverzahnten konischen Wälzschälwerkzeug 10 ausgeht, wie in den Figuren 3A und 3B gezeigt, dann erkennt man, dass ein solches Wälzschälwerkzeug 10 sogenannte konstruktive Freiwinkel aufgrund der konischen Grundform des Wälzschälwerkzeugs 10 aufweist. D.h. die Freiwinkel am Kopf und an den Flanken des konischen Wälzschälwerkzeugs 10 sind aufgrund der Geometrie des Wälzschälwerkzeugs 10 vorgegeben. Das Profil der Schneiden eines konischen Wälzschälwerkzeugs 10 muss jedoch bestimmte Bedingungen erfüllen, um überhaupt ein Nachschleifen zu ermöglichen. In den Figuren 3A und 3B ist ein konisches (Außen-)Wälzschälwerkzeug 10 beim Aussenverzahnen eines Werkstücks 20 gezeigt. Der sogenannte konstruktive Freiwinkel α_{ko} am Schneidenkopf des konischen Wälzschälwerkzeugs 10 ist in Fig. 3B zu erkennen. Der Achskreuzpunkt AK und der Berührungspunkt BP der Wälzkreise von Wälzschälwerkzeug 10 und Werkstück 20 fallen bei der Fig. 3A zusammen und liegen auf dem Gemeinlot (nicht in den Figuren 3A und 3B zu erkennen bzw. gezeigt) der Rotationsachsen R1 und R2.

[0018] Eigene Untersuchungen bisheriger Wälzschälverfahren haben gezeigt, dass es je nach Auslegung der Wälzschälwerkzeuge 10 zu einem deutlichen Verschleiß des Wälzschälwerkzeugs 10 kommen kann. Es werden daher Lösungen gesucht, die es ermöglichen den Verschleiß der Wälzschälwerkzeuge 10 zu reduzieren, respektive die Standzeit der Wälzschälwerkzeuge 10 zu verbessern. Um den Verschleiß der Wälzschälwerkzeuge 10 zu reduzieren, kann man zum Beispiel möglichst viele Schneidzähne am Werkzeug 10 vorsehen. Dadurch wird das Wälzschälverfahren wirtschaftlicher, da die Herstellkosten beim Verzahnen von Werkstücken 20 wesentlich durch die Werkzeugstandzeiten beeinflusst werden. Um möglichst viele Schneidzähne auf dem Werkzeug 10 unterbringen zu können, muss das Wälzschälwerkzeug 10 möglichst groß gestaltet werden. Der möglichen Größe der einsetzbaren Wälzschälwerkzeuge 10 sind insbesondere durch die zu verwendende Bearbeitungsmaschine Grenzen gesetzt. Genauer gesagt, besteht eine Beschränkung durch den Arbeitsraum der Maschine sowie durch die möglichen Verfahrswege der Achsen, bzw. Anordnung der Achsen.

[0019] Die Probleme, die sich durch die Beschränkung des Arbeitsraums ergeben, werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die bereits beschriebenen Figuren 3A und 3B näher erläutert. In diesen beiden Figuren ist ein Werkstück 20 mit einer Außenverzahnung nach DIN867 mit Normalmodul 8mm, Zähnezahl 25 und Schrägungswinkel $\beta_2 = 0$ Grad gezeigt, wobei der Schrägungswinkel β_2 nicht gezeigt ist. Dieses Werkstück 20 soll mittels Wälzschälen unter einem Achskreuzwinkel Σ von 25 Grad mit einem üblichen konischen (Außen-) Wälzschälwerkzeug 10 (ohne Neigung) bearbeitet werden. Der Wälzkreisdurchmesser des Werkstücks 20 beträgt hierbei 200mm. Der Arbeitsraum AR in Achsabstandsrichtung der einzusetzenden Bearbeitungsmaschine beträgt 600mm. Aufgrund dieser platzbeschränkenden Vorgaben, kann das einzusetzende konische (Außen-)Wälzschälwerkzeug 10 höchstens 44 Schneidzähne umfassen, bei einem größtmöglichen Werkzeugwälzkreisdurchmesser von ca. 388mm. Der Achsabstand AA beträgt hierbei ca. 294mm.

[0020] Die Probleme, die sich durch die Beschränkung des Achsabstands respektive des Fahrwegs der Achsen einer Maschine ergeben, werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren 4A und 4B näher erläutert. Es soll die gleiche Außenverzahnung wie in den Figuren 3A und 3B wiederum mit einem Achskreuzwinkel Σ von 25 Grad mit einem üblichen konischen (Außen-) Wälzschälwerkzeug 10 (ohne Neigung) bearbeitet werden. Der Wälzkreisdurchmesser des Werkstücks 20 beträgt hierbei 200mm. Zusätzlich zur Arbeitsraumeinschränkung erlauben die Fahrwege der einzusetzenden Bearbeitungsmaschine einen maximalen Achsabstand AA von 200mm. Dann kann das einzusetzende (Außen-)Wälzschälwerkzeug 10 mit einem größtmöglichen Werkzeugwälzkreisdurchmesser von ca. 194mm höchstens 22 Schneidzähne umfassen. Die maximale Größe des (Außen-)Wälzschälwerkzeugs 10 ist in diesem Beispiel also nur noch halb so groß wie in dem Beispiel, das in den Figuren 3A und 3B gezeigt ist. Der Achsabstand AA beträgt hierbei ca. 197mm.

[0021] Um die Standzeit der Wälzschälwerkzeuge 10 zu verbessern, kann man, wie bereits erwähnt, die Anzahl der Schneidzähne erhöhen. Idealerweise würde man nicht nur die Anzahl der Schneidzähne erhöhen, sondern man würde das Wälzschälwerkzeug 10 mit nachschleifbaren Messerstäben ausstatten. Die

Messerstäbe können dann bei Bedarf an den Schneidzähnen nachgeschliffen werden oder sie können notfalls sogar ausgetauscht werden. Auch das trägt zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei. Man kann hierbei jedoch eine hohe Packungsdichte der Messerstäbe nur durch eine sehr komplexe Anordnung der Messerschäfte der Messerstäbe erreichen, wie beispielsweise in der deutschen Gebrauchsmusteranmeldung DE 202011050054.3, die am 6. Mai 2011 unter dem Titel „WÄLZSCHÄLWERKZEUG MIT MESSERSTÄBEN“ eingereicht wurde, beschrieben.

[0022] Alternativ kann, um eine Durchdringung der Messerschäfte zu vermeiden, die sich bei einer hohen Packungsdichte der Messerstäbe ergibt, mit einer Teilbestückung des Wälzschälwerkzeugs 10 gearbeitet werden. D.h. dass nicht alle Schneidzähne eines Vollschälrades ausgebildet werden, sondern z.B. nur jede zweite oder dritte. Dadurch wird die tatsächliche Schneidzähnezahl jedoch reduziert, was zu Ungunsten der Werkzeugstandzeit geht.

[0023] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum spanenden Bearbeiten der Zahnflanken eines Zahnrades oder anderer periodischer aussenliegender Strukturen bereitzustellen, das sich durch eine Reduktion der Produktionskosten pro Zahnrad oder Werkstück auszeichnet.

[0024] Insbesondere geht es darum, unter den Restriktionen von Arbeitsraum und Verfahrwegen einer einzusetzenden Bearbeitungsmaschine eine möglichst hohe Schneidzähnezahl und damit Werkzeugstandzeit zu gewährleisten.

[0025] Insbesondere geht es darum, die Werkzeugkosten möglichst niedrig zu halten, indem die Standzeit der Werkzeuge verbessert wird.

[0026] Vorzugsweise sollen die Schneidzähne der Wälzschälwerkzeuge durch nachschleifbare Messereinsätze (z.B. in Form von Stabmessern) ausgebildet werden.

[0027] Diese Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung durch ein Verfahren gelöst, das hier als Innen-Wälzschälverfahren bezeichnet wird.

[0028] Das Innen-Wälzschälverfahren lässt sich im Zusammenhang mit der Herstellung rotationssymmetrischer, periodischer, aussenliegender Strukturen, wie Aussenverzahnungen und dergleichen, einsetzen.

[0029] Bei dem Innen-Wälzschälverfahren kommt ein Wälzschälwerkzeug zum Einsatz, das hier aufgrund seiner speziellen Bauform auch als Innenschälring bezeichnet wird.

[0030] Gemäss Erfindung geht es um ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Wälzschälen eines Werkstücks mit aussenliegender, rotationssymmetrischer, periodischer Struktur unter Einsatz eines Wälzschälwerkzeugs. Es werden die folgenden Schritte ausgeführt:

- Drehen des Wälzschälwerkzeugs um eine erste Rotationsachse,
- gekoppeltes Drehen des Werkstücks um eine zweite Rotationsachse,
- Ausführen einer axialen Vorschubbewegung des Wälzschälwerkzeugs in Bezug zu dem Werkstück in einer Richtung parallel zur zweiten Rotationsachse,

wobei während des Wälzschälens die beiden Rotationsachsen mit einem Achskreuzwinkel windschief relativ zueinander angestellt sind. Bei dem Wälzschälwerkzeug handelt es sich um ein Innenschälring, das einen Innenraum aufspannt, eine Mehrzahl von Schneidzähnen aufweist, wobei an jedem Schneidzahn mindestens eine Schneidkante, eine Schneidkopfspitze und eine Spanfläche angebracht sind, wobei die Spanflächen aller Schneidzähne bezüglich der ersten Rotationsachse rotationssymmetrisch an einer stirnseitigen Ebene oder stirnseitigen Kegelfläche des Innenschälrings angeordnet sind, und wobei die Schneidkopfspitzen aller Schneidzähne in den Innenraum, d.h. in Richtung der ersten Rotationsachse zeigen.

[0031] Kennzeichnend für das Innen-Wälzschälen der Erfindung ist, dass die relativen Bewegungsabläufe (Relativbewegungen genannt) zwischen Werkstück und Innenschälring so vorgegeben und ausgeführt werden, dass aussen am Werkstück fortschreitend Material abgetragen wird bis die Zähne oder die anderen aussenliegenden periodischen Strukturen vollständig ausgebildet sind.

[0032] Vorzugsweise sind die Spanflächen an einer stirnseitigen Kegelfläche, welche zu einer Stirnebene entarten kann, rotationssymmetrisch bezüglich der Rotationsachse des Innenschälrings angeordnet.

[0033] Gemäss Erfindung kann der relativen Vorschubbewegung des Innenschälrings eine radiale Bewegung überlagert sein, um z.B. die Balligkeit der Zähne, gemäss der technischen Lehre der deutschen Patentanmeldung DE3915976 A1, zu beeinflussen.

[0034] Das Innen-Wälzschälen kann an einem unverzahnten Werkstück, vorzugsweise bei einer Weichbearbeitung, zum Einsatz kommen.

[0035] Das Innen-Wälzschälen kann an einem vorverzahnten Werkstück, vorzugsweise nach einer Weichbearbeitung, zum Einsatz kommen.

[0036] Während des Innen-Wälzschälens vollführt der sich drehende Innenschälring eine axiale Vorschubbewegung in Bezug auf das sich drehende Werkstück in Richtung der zweiten Rotationsachse, wobei diese axiale Vorschubbewegung gleichsinnig oder gegenläufig zur Schnittrichtung verläuft.

[0037] Die Zahnlücken können gemäss Erfindung direkt auf die volle Tiefe gebracht werden und müssen in diesem Fall nicht in einer Mehrschnittstrategie erzeugt werden.

[0038] Das Innen-Wälzschälen kann im Rahmen eines Mehrschnitt-Wälzschälverfahrens zum Einsatz kommen. Gemäss Erfindung können den axialen Bewegungen radiale Bewegungen überlagert sein, um eine Mehrschnittstrategie umzusetzen, oder um einlaufende oder auslaufende Zahnnuten gemäss der technischen Lehre der internationalen Patentanmeldung WO 2010/060733 A1 zu erzeugen.

[0039] Gemäss Erfindung wird die Standzeit der als Wälzschälwerkzeug dienenden Innenschälringe deutlich verbessert, da aufgrund der speziellen Bauform der Innenschälringe mehr Schneidzähne untergebracht werden können. Insbesondere können mehr Schneidplatten oder Messerstäbe am Innenschälring

untergebracht werden als bisher unter den beschriebenen Beschränkungen von realen Bearbeitungsmaschinen bei Wälzschälwerkzeugen möglich.

[0040] Die Rotationsachse des Innenschälringes ist beim Innen-Wälzschälen
5 windschief gegenüber der Rotationsachse des Werkstücks angestellt, d.h. der Achskreuzwinkel Σ ist stets ungleich Null.

[0041] Zusätzlich kann der Innenschälring während des Wälzschälens in Richtung auf das Werkstück hingeneigt oder vom Werkstück weggeneigt sein, wie zum Beispiel in einer Parallelanmeldung des vorliegenden Anmelders beschrieben,
10 die am 26.5.2011 unter der Anmeldenummer EP11167703.5 beim Europäischen Patentamt eingereicht wurde.

[0042] Bei dem Innen-Wälzschälen handelt es sich um ein kontinuierliches, spanabhebendes Verfahren.

[0043] Vorzugsweise kommt bei allen Ausführungsformen ein scheibenartiger
15 Innenschälring zum Einsatz, der sich deutlich von anderen Wälzschälwerkzeugen unterscheidet.

[0044] Gemäss Erfindung weist der Innenschälring einen scheibenartigen Werkzeugbereich auf, der Schneidköpfe hat, die in Form von Schneidzähnen ausgeprägt sind, die gerade oder schräg in den Innenraum in Richtung der
20 Rotationsachse des Innenschälringes ragen.

[0045] Die scheibenartigen Innenschälringe gemäss Erfindung können als sogenannte Vollwerkzeuge ausgelegt sein, d.h. es handelt sich um Werkzeuge, die im Wesentlichen einstückig ausgeführt sind. Bei den Vollwerkzeugen sind die Schneidzähne ein integraler Bestandteil des Werkzeugs. Besonders bevorzugt sind
25 für alle Ausführungsformen der Erfindung Messerkopf-Innenschälringe (hier Stabmesser-Innenschälringe genannt), die einen ringförmigen (meist scheibenartigen) Messerkopfgrundkörper haben, der mit Messereinsätzen, vorzugsweise in Form von Stabmessern, so bestückt ist, dass die Schneidzähne gerade oder schräg in den Innenraum in Richtung der Rotationsachse des
30 Innenschälringes ragen. Auch möglich sind Ausführungsformen der Erfindung, die als

Schneidplatten-Werkzeuge ausgelegt sind, die einen ringförmigen (meist scheibenartigen) Messerkopfgrundkörper haben, der mit Schneidplatten bestückt ist, deren Schneidzähne gerade oder schräg in den Innenraum in Richtung der Rotationsachse des Innenschälrings ragen.

5 [0046] Die Erfindung bietet gegenüber dem konventionellen Wälzschälern eine Reihe von Vorteilen, die im Folgenden zusammenfassend aufgeführt sind:

- längere Standzeit der Werkzeuge;
- geringere Werkzeugstückkosten;
- reduziertes Werkzeugversagen;
- 10 – reduzierter Platzbedarf (Achsabstand und/oder Grösse des Arbeitsraums) für den Bearbeitungsbereich der Maschine;
- bessere Wirtschaftlichkeit;
- verbesserte Spanbildungsbedingungen durch längeren Eingriff eines jeden Schneidzahns aufgrund des höheren Überdeckungsverhältnisses.

15

[0047] Das erfindungsgemässe Verfahren kann sowohl im Zusammenhang mit einer Trocken- als auch einer Nassbearbeitung durchgeführt werden.

[0048] Das erfindungsgemässe Verfahren kann zur Weich- und/oder Hartbearbeitung eingesetzt werden.

20 ZEICHNUNGEN

[0049] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und mit Bezug auf die Zeichnung beschrieben. In allen schematischen Zeichnungen sind, der Einfachheit der Darstellung halber, Werkstück und Wälzschälwerkzeug auf die Situation am Wälzkreis (bzw. am
25 Werkstück auf den Wälzzyylinder) reduziert. Die dargestellten Verhältnisse gelten aber auch für die ganze Verzahnung mit einer Zahnhöhe.

FIG. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Stossrads mit zylindrischer Außenkontur im Eingriff mit einem außenverzahnten Werkstück beim Wälzstossen;

- FIG. 2A** zeigt eine schematische Darstellung eines geradverzahnten Schälrads mit zylindrischer Außenkontur im Eingriff mit einem außenverzahnten Werkstück beim Wälzschälen;
- FIG. 2B** zeigt eine schematische Darstellung eines schrägverzahnten Schälrads mit konischer Außenkontur im Eingriff mit einem außenverzahnten Werkstück beim Wälzschälen;
- FIG. 3A** zeigt eine schematische Achskreuzprojektion (Berührebenenprojektion) eines konischen (Außen-)Wälzschälwerkzeugs beim Wälzschälen eines außenverzahnten Werkstücks, wobei ein Achskreuzwinkel von 25 Grad vorgegeben ist;
- FIG. 3B** zeigt eine schematische Achskreuzseitenprojektion (Berührebenenenseitenprojektion) des konischen (Außen-) Wälzschälwerkzeugs und Werkstücks nach Fig. 3A;
- FIG. 4A** zeigt eine schematische Achskreuzprojektion (Berührebenenprojektion) eines konischen (Außen-)Wälzschälwerkzeugs beim Wälzschälen eines außenverzahnten Werkstücks, wobei ein Achskreuzwinkel von 25 Grad vorgegeben ist;
- FIG. 4B** zeigt eine schematische Achskreuzseitenprojektion (Berührebenenenseitenprojektion) des konischen (Außen-) Wälzschälwerkzeugs und Werkstücks nach Fig. 4A;
- FIG. 5A** zeigt eine schematische Achskreuzrückseitenprojektion (Berührebenenprojektion) eines konischen Innenschälrings der Erfindung beim Wälzschälen eines außenverzahnten Werkstücks, wobei ein Achskreuzwinkel von 25 Grad vorgegeben ist;
- FIG. 5B** zeigt eine schematische Berührebenenenseitenprojektion des konischen Innenschälrings und Werkstücks nach Fig. 5A;

- FIG. 6** zeigt eine schematische Ansicht eines Innenschältrings in Bezug zur sogenannten Berührebene mit einem deutlichen negativen Neigungswinkel $\delta = -25$ Grad;
- FIG. 7** zeigt eine schematische Ansicht eines Innenschältrings in Bezug zur sogenannten Berührebene mit einem deutlichen positiven Neigungswinkel $\delta = 25$ Grad;
- FIG. 8** zeigt eine schematische Ansicht eines zylindrischen Innenschältrings beim Wälzschälen eines Werkstücks, wobei ein effektiver Achskreuzwinkel von 30 Grad vorgegeben ist und der Innenschälring mit einem Neigungswinkel von 15 Grad vom Werkstück weggeneigt ist;
- FIG. 9** zeigt eine schematische Ansicht eines konischen Innenschältrings beim Wälzschälen eines Werkstücks, wobei ein effektiver Achskreuzwinkel von 30 Grad vorgegeben ist und der Innenschälring mit einem Neigungswinkel von -20 Grad zum Werkstück hingeneigt ist;
- FIG. 10** zeigt eine stark schematisierte Ansicht eines Innenschältrings und des Wälzkreises eines Werkstücks, wobei hier nur drei Messerstäbe des Innenschältrings gezeigt sind;
- FIG. 11A** zeigt eine stark schematisierte Ansicht eines konischen Innenschältrings, der im Zusammenhang mit der Erfindung eingesetzt werden kann, wobei der Innenschälring mit Messerstäben bestückt ist, deren Spanflächen auf einer stirnseitigen Kegelfläche liegen (der Innenschälring hat in Wirklichkeit einen größeren Durchmesser als gezeigt);
- FIG. 11B** zeigt eine stark schematisierte Ansicht des Innenschältrings nach Fig. 11A zusammen mit einem aussenverzahnten zylindrischen Werkstück, wobei ein Neigungswinkel δ von -20 Grad vorgegeben ist;
- FIG. 12A** zeigt eine stark schematisierte Ansicht eines konischen Innenschältrings, der im Zusammenhang mit der Erfindung eingesetzt

werden kann, wobei der Innenschälring mit Messerstäben bestückt ist, deren Spanflächen auf einer stirnseitigen Kegelfläche liegen (der Innenschälring hat in Wirklichkeit einen größeren Durchmesser als gezeigt);

5 **FIG. 12B** zeigt eine stark schematisierte Ansicht des Innenschälrings nach Fig. 12A zusammen mit einem aussenverzahnten zylindrischen Werkstück, wobei ein Neigungswinkel δ von 20 Grad vorgegeben ist;

10 **FIG. 13** zeigt eine schematisierte Perspektivansicht eines Teiles eines Innenschälrings beim Innenwälzschälen eines geradverzahnten Werkstücks von schräg unten, wobei nur einige Messerstäbe des Innenschälrings gezeigt sind und der ringförmige Grundkörper des Innenschälrings ausgeblendet wurde;

15 **FIG. 14** zeigt eine schematisierte Perspektivansicht eines Teiles eines Innenschälrings (Vollwerkzeug) beim Innenwälzschälen eines geradverzahnten Werkstücks von schräg oben, wobei der Innenschälring und das Werkstück jeweils im Schnitt gezeigt sind;

FIG. 15A zeigt eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemässen Maschine mit einem Innenschälring beim Verzahnen eines aussenverzahnten Werkstücks;

20 **FIG. 15B** zeigt Details einer bevorzugten Form der Aufspannung des Innenschälrings an einer Werkzeugspindel in einer erfindungsgemässen Maschine nach Fig. 15A.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

25 [0050] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Beschreibung werden Begriffe verwendet, die auch in einschlägigen Publikationen und Patenten Verwendung finden. Es sei jedoch angemerkt, dass die Verwendung dieser Begriffe lediglich dem besseren Verständnis dienen soll. Der erfinderische Gedanke und der Schutzbereich der Patentansprüche soll durch die spezifische Wahl der Begriffe nicht in der Auslegung eingeschränkt werden. Die Erfindung lässt sich ohne

weiteres auf andere Begriffssysteme und/oder Fachgebiete übertragen. In anderen Fachgebieten sind die Begriffe sinngemäß anzuwenden.

[0051] Rotationssymmetrische, periodische, aussenliegende Strukturen sind zum Beispiel Zahnräder mit Außenverzahnung. Es kann sich aber zum Beispiel auch
5 um Kupplungs- oder Getriebeelemente und dergleichen handeln. Insbesondere eignen sich die Innen-Wälzschälwerkzeuge zur Herstellung von Ritzelwellen, Schnecken, Aussenzahnpumpen, Ringgelenknaben (Ringgelenke finden zum Beispiel im Kraftfahrzeugsektor Verwendung, um die Kraft von einem Differential auf ein Fahrzeugrad zu übertragen), Keilwellenverbindungen, Riemenscheiben und
10 dergleichen. Die periodischen Strukturen werden hier auch als periodisch wiederkehrende Strukturen bezeichnet.

[0052] Im Folgenden ist primär von Zahnrädern, Zähnen und Zahnlücken die Rede. Die Erfindung lässt sich aber auch auf andere Bauteile mit anderen periodischen, aussenliegenden Strukturen übertragen, wie oben erwähnt. Bei
15 diesen anderen Bauteilen geht es in diesem Fall dann nicht um Zahnlücken sondern zum Beispiel um Nuten oder Rillen.

[0053] Alle Bilder sind der Einfachheit halber auf die Situation an den Wälzkreisen bzw. Wälzflächen reduziert. In den Figuren sind daher die entsprechenden Wälzkörper gezeigt.

[0054] Das erfindungsgemässe Wälzschälverfahren, das hier auch als Innen-Wälzschälverfahren bezeichnet wird, ist zum Wälzschälen eines Werkstücks 50 mit
20 rotationssymmetrischer, periodischer, aussenliegender Struktur unter Einsatz eines Innenschälrings 100 ausgelegt. Der Innenschälring 100, der hier zum Einsatz kommt, hat einen ringförmigen Grundkörper 112, der z.B. in Fig. 5B deutlich zu
25 erkennen ist.

[0055] Bei dem Innenschälring 100 handelt es sich um ein Innenwerkzeug, das einen (meist kreisrunden) Innenraum 113 aufspannt. Der Innenschälring 100 weist eine Mehrzahl von Schneidköpfen 111 auf (nicht in Fig. 5A und 5B gezeigt), an denen die Schneidkanten zur spanenden Bearbeitung des Werkstücks 50
30 angebracht sind. Jeder Schneidkopf 111 weist eine Spanfläche (in den Figuren 11A,

11B, 12A, 12B, 13, 14 mit dem Bezugszeichen 121 gekennzeichnet) auf, die bezüglich der Rotationsachse R1 rotationssymmetrisch an einer stirnseitigen Ebene (Stirnebene SE genannt) oder an einer stirnseitigen Kegelfläche KE (gegebenenfalls einzeln gegenüber der Stirnebene SE oder Kegelfläche KE um einen Treppenwinkel verkippt) angeordnet ist. In Fig. 10 ist die Stirnebene SE durch zwei konzentrische Kreise K1 und K2 festgelegt (der Kreis K2 kann dem Wälzkreis W1 des Werkzeugs 100 entsprechen). Die beiden konzentrischen Kreise K1 und K2 können z.B. den Aussendurchmesser DA und Innendurchmesser DI des ringförmigen Grundkörpers 112 des Innenschälrings 100 repräsentieren.

10 [0056] Die Spanflächen 121 sind an einer stirnseitigen Kegelfläche, welche zu einer Stirnebene entarten kann, rotationssymmetrisch bezüglich der Rotationsachse R1 des Werkzeugs 100 angeordnet.

[0057] Die Spanflächen 121 können als ebene Flächen oder als leicht gekrümmte Flächen an den Schneidköpfen 111 ausgebildet sein. Die Spanflächen 15 121 können auch leicht gewölbt sein.

[0058] Generell (d.h. bei allen Ausführungsformen) gilt, dass beim Wälzschälen die Schnittrichtung respektive der Schnittgeschwindigkeitsvektor \vec{v}_c mit der Rotationsachse R1 des Werkzeugs 100 einen Winkel ungleich 90 Grad einschließt. Der spitze der beiden eingeschlossenen Winkel ist vorzugsweise kleiner 20 gleich 60 Grad, besonders vorzugsweise kleiner gleich 45 Grad.

[0059] Der sich während der Spanabnahme an den Schneidkanten ergebende effektive Schnittgeschwindigkeitsvektor eines Schneidkantenpunktes weicht beim Wälzschälen bedingt durch die komplexe Kinematik möglicherweise vom Schnittgeschwindigkeitsvektor \vec{v}_c am Auslegungspunkt AP ab. Diese Abweichung ist 25 jedoch nicht groß, so dass auch für diese effektiven Schnittgeschwindigkeitsvektoren die folgende Aussage getroffen werden kann (diese Aussage gilt für alle Ausführungsformen der Erfindung):

- der effektive Schnittgeschwindigkeitsvektor schließt mit der Rotationsachse R1 des Werkzeugs 100 einen Winkel ungleich 90 Grad ein.

- Der spitze der beiden eingeschlossenen Winkel ist vorzugsweise kleiner gleich ca. 60 Grad, besonders vorzugsweise kleiner gleich ca. 45 Grad.

[0060] In den Figuren 5A und 5B ist ein beispielhafter Innenschälring 100 in stark schematisierter Form gezeigt, der eine konische Innenmantelfläche aufweist. Die Konizität der Innenmantelfläche (Kegelfläche 114 genannt) des Innenschälrings 100 kann man in Fig. 5A gut erkennen. Die konische Form der Innenmantelfläche dient der konstruktiven Freiwinkelbeschaffung, wie man es von Fig. 3B kennt. Ein konischer Innenschälring 100 hat somit eine konische Innenmantelfläche.

[0061] Das Beispiel der Figuren 5A und 5B wurde bewusst so gewählt, dass es um das Wälzschälen der gleichen Außenverzahnung wie in den Figuren 3A, 3B und 4A, 4B geht. Wiederum soll mit einem Achskreuzwinkel Σ von 25 Grad gearbeitet werden. Der Wälzkreisdurchmesser des Werkstücks 50 beträgt hierbei wiederum 200mm. Der Arbeitsraum AR in Achsabstandsrichtung der einzusetzenden Bearbeitungsmaschine beträgt 600mm. Die Verfahrswege der einzusetzenden Bearbeitungsmaschine erlauben einen maximalen Achsabstand AA von 200mm.

[0062] In einer solchen beispielhaften Konstellation, kann ein konischer Innenschälring 100 bei einer Ringstärke RS von 50mm mit einem größtmöglichen Wälzkreisdurchmesser von ca. 494mm insgesamt 56 nach innen weisende Schneidköpfe 111, die in Form von Schneidzähnen ausgeprägt sind, umfassen. Der Achsabstand AA beträgt hierbei nur ca. 147mm.

[0063] Im Vergleich zum Beispiel der Figuren 3A, 3B ist beim Einsatz des Innenschälrings 100 mit 56 nach innen weisenden Schneidzähnen 111 eine um mehr als 27% höhere Werkzeugstandzeit zu erwarten. Im Vergleich zum Beispiel der Figuren 4A, 4B ist eine um ca. 155% höhere Werkzeugstandzeit zu erwarten.

[0064] Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemässen Innenschälringe 100 ist die höhere Überdeckung beim Eingriff der Schneidzähne 111. Die resultierende längere Eingriffstrecke bedingt bessere Spanbildungsbedingungen.

[0065] Bei allen Ausführungsformen der Erfindung stehen die beiden Rotationsachsen R1 und R2 windschief zueinander. Der Achskreuzwinkel Σ ist stets ungleich Null.

[0066] Vorzugsweise können die erfindungsgemässen Innenschälringe 100 während des Innen-Wälzschälens in Richtung auf das Werkstück 50 hingeneigt oder vom Werkstück 50 weggeneigt sein. Das entsprechende Neigen des Werkzeugs 100 ist optional. Es dient generell der Kollisionsvermeidung. Ausserdem bietet es aber
5 die folgenden Vorteile:

- Das Wegneigen ermöglicht zylindrische Innen-Schälräder 100, welche beim Nachschleifen gleiche Schneidenprofile ermöglichen wie von zylindrischen (Aussen-) Schälrädern bekannt;
- Das Hinneigen ermöglicht nachschleifbare flach angeordnete Messerstäbe.

10 [0067] Anhand der Figuren 6 und 7 wird der Neigungswinkel δ definiert.

[0068] Fig. 6 zeigt eine schematische Ansicht eines Innenschälrings 100 in Bezug zur sogenannten Berührebene BE. Die Darstellung des Hinneigens ($\delta < 0$) gegenüber der Berührebene BE gemäss Fig. 6 ist besonders anschaulich. Die Rotationsachse R1 des Werkzeugs schneidet die Berührebene BE im
15 Schneidenhalbraum (der Schneidenhalbraum wird später im Text definiert).

[0069] Fig. 7 zeigt eine schematische Ansicht eines Innenschälrings 100 in Bezug zur sogenannten Berührebene BE. Die Darstellung des Wegneigens ($\delta > 0$) gegenüber der Berührebene BE gemäss Fig. 7 ist besonders anschaulich. Die Rotationsachse R1 des Werkzeugs schneidet die Berührebene BE im Spanhalbraum
20 (der Spanhalbraum wird später im Text definiert).

[0070] Falls der Neigungswinkel δ gleich Null ist, verläuft die Rotationsachse R1 des Innenschälrings 100 in einem Abstand parallel zur Berührebene BE, d.h. die Rotationsachse R1 schneidet die Berührebene BE nicht in einem Schnittpunkt SP.

[0071] Vorzugsweise liegt der Neigungswinkel δ im Bereich zwischen -30 Grad
25 und +30 Grad.

[0072] Im Folgenden werden mehrere Beispiele für geneigte Innenschälringe 100 beim Wälzschälen beschrieben.

[0073] In Fig. 8 ist ein weggeneigter zylindrischer Innenschälring 100 (Zylinderring genannt) gezeigt. Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} beträgt 30 Grad, der Neigungswinkel δ beträgt 15 Grad und der kinematisch erzeugte Freiwinkel beträgt am Schneidenkopf ca. 15 Grad und an den Flanken ca. 7,5 Grad. Der zylindrische Innenschälring 100 hat eine gedachte zylindrische Innenmantelfläche 114. Das Gemeinlot GL liegt in der gezeigten Ansicht oberhalb des Werkstücks 50. Genauer gesagt, liegt das Gemeinlot GL im Schneidenhalbraum des Innenschälrings 100.

[0074] Als weggeneigte Wälzschälwerkzeuge 100 eignen sich sowohl zylindrische als auch konische Innenschälringe 100, wobei es aufgrund des Wegneigens nicht zu einer Kollision des Innenschälrings 100 mit dem Werkstück 50 kommt.

[0075] In Fig. 9 ist ein hingeneigter konischer Innenschälring 100 gezeigt. Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} beträgt 30 Grad, der Neigungswinkel δ beträgt -20 Grad. Der konische Innenschälring 100 hat eine gedachte kegelige Innenmantelfläche 114. Als hingeneigte Wälzschälwerkzeuge 100 eignen sich nur konische Innenschälringe 100, weil es sonst zu Kollisionen kommen würde. Das Gemeinlot GL liegt in der gezeigten Ansicht unterhalb des Werkstücks 50 und ist daher nicht sichtbar. Genauer gesagt, liegt das Gemeinlot GL im Spanhalbraum des Innenschälrings 100.

[0076] Gemäss Erfindung weist jeder Schneidkopf 111 respektive jeder Schneidzahn eine Schneidkopfspitze 122 auf, die in den Innenraum 113 ragt und in Richtung der ersten Rotationsachse R1 zeigt. Dieser Aspekt der erfindungsgemässen Innenschälringe 100 ist z.B. in Fig. 10 zu erkennen, wo der Einfachheit halber nur drei von einer grossen Anzahl von Messerstäben 120 gezeigt sind. Im gezeigten Beispiel schneiden die Längsachsen LA1, LA2, LA3 aller Messerstäbe 120 die Rotationsachse R1 in einem gemeinsamen Punkt. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Längsachsen LA1, LA2, LA3 aller Messerstäbe 120 windschief in Richtung der ersten Rotationsachse R1 zeigen, die Rotationsachse R1 aber nicht berühren. Ebenso müssen die Längsachsen LA1, LA2, LA3 nicht in einer Ebene liegen.

[0077] Diese Aussage gilt auch für Vollwerkzeuge (siehe z.B. Fig. 14), die mit integrierten Schneidköpfen 111 ausgeführt sind. Auch hier verlaufen die Längsachsen (in Fig. 14 ist nur eine Längsachse LA gezeigt) in Richtung der Rotationsachse R1. Sie können die Rotationsachse R1 schneiden oder an der Rotationsachse R1 vorbei laufen. Sie müssen nicht in einer Ebene liegen.

[0078] Bei allen Ausführungsformen ragt der Schneidkopf 111 mindestens ein Stück weit aus dem Material des Grundkörpers 112 heraus und in den Innenraum 113 hinein.

[0079] In Fig. 11A ist eine stark schematisierte Ansicht eines konischen Innenschälrings 100 gezeigt, der im Zusammenhang der Erfindung zum Wälzschälen eingesetzt werden kann. Wie in der schematischen Darstellung in Fig. 11A gezeigt, handelt es sich bei dem Wälzschälwerkzeug 100 um ein Werkzeug mit ringförmigem Grundkörper 112, der mit Messereinsätzen, vorzugsweise in Form von Stabmessern 120, bestückt ist. Der Innenschälring 100 wird mittels einer Werkzeugspindel, die hier nicht gezeigt ist, bewegungstechnisch mit einer Maschine 200 verbunden. Details einer bevorzugten Form der Aufspannung des Innenschälrings 100 an einer Werkzeugspindel 170 sind der Fig. 15B zu entnehmen. Die Spanflächen 121 der Stabmesser 120 liegen hier auf einer stirnseitigen Kegelfläche KE, deren Rotationsachse mit der Rotationsachse R1 des Innenschälrings 100 zusammen fällt. Das Werkstück 50 (hier nicht gezeigt) befindet sich während des Wälzschälens mindestens teilweise im Innenraum 113 des Innenschälrings 100. In Wirklichkeit sind der Innendurchmesser DI und Aussendurchmesser DA des Innenschälrings 100 deutlich grösser als in Fig. 11A gezeigt. Als Mindestinnendurchmesser wird der Gesamtinnendurchmesser des Innenschälrings 100 samt der Schneidzähne 111 und anderer überstehender Elemente betrachtet.

[0080] Vorzugsweise ist der Mindestinnendurchmesser des Innenschälrings 100 bei allen Ausführungsformen der Erfindung mindestens 1,5 mal so groß wie der Aussendurchmesser DWA des zu fertigenden Werkstücks 50. Besonders bevorzugt sind Innenschälringe 100, deren Mindestinnendurchmesser mindestens 2 mal so groß ist wie der Aussendurchmesser DWA des zu fertigenden Werkstücks 50. Zusätzlich zur Vorgabe eines zur kollisionsfreien Aufnahme des Werkstücks 50

geeigneten Innendurchmessers DI , sollte beim Festlegen des Achskreuzwinkels Σ und des Neigungswinkels δ (falls dieser ungleich Null ist) darauf geachtet werden, dass es zu keiner Kollision des Werkstücks 50 mit dem Werkzeug 100 kommt. Zusätzlich zum Vorgeben des Innendurchmessers DI respektive des
5 Mindestinnendurchmessers, des Achskreuzwinkels Σ und des Neigungswinkels δ (falls dieser ungleich Null ist), kann die Innenmantelfläche 114 eine Konizität aufweisen (wie z.B. in Fig. 11A gezeigt), um so Kollisionen zu vermeiden. Ein Innenschälring 100 nach Fig. 11A ist speziell zum Hinneigen (d.h. δ kleiner 0 Grad) in Richtung eines Werkstücks 50 geeignet.

10 [0081] FIG. 11B zeigt eine stark schematisierte Ansicht des Innenschälrings 100 nach Fig. 11A zusammen mit einem zylindrischen Werkstück 50, wobei ein Neigungswinkel δ von -20 Grad vorgegeben ist. Der Innenschälring 100 hat eine Innenmantelfläche 114 als innenliegende Kollisionskontur, die so gewählt wurde, dass es trotz des deutlichen Hinneigens des zylindrischen Werkstücks 50 mit $\delta = -$
15 20 Grad zu keiner Kollision des Innenschälrings 100 mit dem Werkstück 50 kommt. In Fig. 11B entspricht der Maßstab des Innenschälrings 100 und des Werkstücks 50 eher der Realität als in Fig. 11A.

[0082] In Fig. 12A ist eine stark schematisierte Ansicht eines konischen Innenschälrings 100 gezeigt, der im Zusammenhang der Erfindung zum
20 Wälzschälen eingesetzt werden kann. Wie in der schematischen Darstellung in Fig. 12A gezeigt, handelt es sich bei dem Wälzschälwerkzeug 100 um ein Werkzeug mit ringförmigem Grundkörper 112, der mit Messereinsätzen, vorzugsweise in Form von Stabmessern 120, bestückt ist. Der Innenschälring 100 wird mittels einer Werkzeugspindel, die hier nicht gezeigt ist, bewegungstechnisch mit einer Maschine
25 200 befestigt. Die Spanflächen 121 der Stabmesser 120 liegen auf einer stirnseitigen Kegelfläche KE , deren Rotationsachse mit der Rotationsachse $R1$ des Innenschälrings 100 zusammen fällt. Das Werkstück 50 (hier nicht gezeigt) befindet sich während des Wälzschälens mindestens teilweise im Innenraum 113 des Innenschälrings 100. In Wirklichkeit sind der Innendurchmesser DI und
30 Aussendurchmesser DA des Innenschälrings 100 deutlich grösser als in Fig. 12A gezeigt.

[0083] Das Werkzeug 100 nach Fig. 12A hat wiederum eine Innenmantelfläche 114, die eine Konizität aufweist. Ein Innenschälring 100 nach Fig. 12A ist speziell zum Wegneigen (d.h. δ grösser 0 Grad) vom Werkstück 50 geeignet.

5 [0084] FIG. 12B zeigt eine stark schematisierte Ansicht des Innenschälrings 100 nach Fig. 12A zusammen mit einem zylindrischen Werkstück 50, wobei ein Neigungswinkel δ von 20 Grad vorgegeben ist. Der Innenschälring 100 hat eine Innenmantelfläche 114 als innenliegende Kollisionskontur, die so gewählt wurde, dass es zu keiner Kollision des Innenschälrings 100 mit dem Werkstück 50 kommt,
10 aber die Stabmesser optimal gehalten werden, d.h. möglichst wenig aus dem Grundkörper 112 herausragen. Es sei hier angemerkt, dass die Innenmantelfläche 114 des Werkzeugs 100 nach Fig. 11A und 11B anders herum konisch verläuft als bei dem Werkzeug 100 nach Fig. 12A und 12B.

[0085] Beim Hinneigen ist der Innenschälring 100 vorzugsweise konisch
15 ausgeführt, um Kollisionen zu vermeiden. Beim Wegneigen muss der Innenschälring nicht konisch ausgeführt sein. Er kann in diesem Fall z.B. auch zylindrisch ausgeführt sein. In Fig. 12A und 12B ist der Innenschälring 100 an sich nicht wegen Kollisionsvermeidung konisch, sondern weil durch das Wegneigen genug Platz vorhanden ist, um die Messerstäbe 120 so besser halten/umschließen
20 zu können.

[0086] FIG. 13 zeigt eine schematisierte Perspektivansicht eines Teiles eines Innenschälrings 100 beim Innenwälzschälen eines geradzahnten Werkstücks 50, wobei nur einige Messerstäbe 120 des Innenschälrings 100 gezeigt sind. An dem geradzahnten Werkstück 50 sind die Zähne 51, respektive die Zahnlücken 52
25 zwischen den Zähnen 51 bereits fast fertig gestellt. Der ringförmige Grundkörper 112 des Innenschälrings 100 wurde ausgeblendet. Anhand von Fig. 13 ist gut zu erkennen, dass die Schäfte (hier mit rechteckigem Querschnitt gezeigt) der Messerstäbe 120 problemlos und kollisionsfrei in einem ringförmigen Grundkörper 112 angeordnet werden können. In Fig. 13 sind die beiden Kreise K1 und K2 durch
30 Kreisbogensegmente angedeutet. Diese Kreise K1 und K2 legen die Stirnebene SE fest, wie bereits im Zusammenhang mit Fig. 10 erwähnt. In Fig. 13 sind an einem der Messerstäbe 120 der Schneidzahn 111, die Spanfläche 121 und die Längsachse

LA bezeichnet. Die Spanflächen 121 der Schneidzähne 111 sind im gezeigten Beispiel leicht gegenüber der Stirnebene SE gekippt.

[0087] FIG. 14 zeigt eine schematisierte Perspektivansicht eines Teiles eines Innenschälrings 100, der hier als Vollwerkzeug ausgebildet ist, beim Innenwälzschälen eines geradverzahnten Werkstücks 50 von schräg oben. Der Innenschälring 100 und das Werkstück 50 sind hier im Schnitt gezeigt. An dem geradverzahnten Werkstück 50 sind die Zähne 51, respektive die Zahnlücken 52 zwischen den Zähnen 51 bereits fast fertig gestellt. Die Schneidzähne 111 sind hier ein integraler Bestandteil des ringförmigen Grundkörpers 112 des Innenschälrings 100. In Fig. 14 sind an einem der Schneidzähne 111 die Spanfläche 121 und die Längsachse LA bezeichnet. Die Spanflächen 121 der Schneidzähne 111 sind im gezeigten Beispiel leicht gegenüber der Stirnebene SE gekippt.

[0088] Anhand von Fig. 13 und Fig. 14 ist zu erkennen, dass beim erfindungsgemässen Innenwälzschälen stets mehr als nur ein Schneidzahn 111 in eine korrespondierende Zahnlücke 52 des Werkstücks 50 eingreifen und schneiden, wenn alle Schneidzähne 111 an der Innenmantelfläche des Innenschälrings 100 ausgebildet sind.

[0089] Das Innen-Wälzschälverfahren umfasst die folgenden Schritte:

- Drehen des Innenschälrings 100 um die erste Rotationsachse R1,
- gekoppeltes Drehen des Werkstücks 50 um die zweite Rotationsachse R2, und
- Ausführen einer axialen Vorschubbewegung VB des Innenschälrings 100 in Bezug zu dem Werkstück 50 in einer Richtung parallel zur zweiten Rotationsachse R2.

[0090] Die beiden Rotationsachsen R1, R2 sind während des Wälzschälens mit einem Achskreuzwinkel Σ windschief relativ zueinander angestellt.

[0091] Das Innenwälzschälen zeichnet sich dadurch aus, dass der Innenschälring 100 einen Innenraum 113 aufspannt, und eine Mehrzahl von Schneidzähnen 111 aufweist. An jedem Schneidzahn 111 sind mindestens eine Schneidkante, eine Schneidkopfspitze 122 und eine Spanfläche 121 angebracht. Die Spanflächen 121 aller Schneidzähne 111 sind bezüglich der ersten Rotationsachse

R1 rotationssymmetrisch auf einer Stirnebene SE oder stirnseitigen Kegelfläche KE des Innenschälringes 100 angeordnet. Die Schneidzähne 111 ragen in den Innenraum 113 und zeigen in Richtung der ersten Rotationsachse R1.

[0092] Gemäss Erfindung wird eine der Schnittrichtung entgegengesetzte Vorschubrichtung oder eine gleichgesetzte Vorschubrichtung durch einen entsprechenden Axialvorschub VB des Innenschälringes 100 relativ zu dem Werkstück 50 erzeugt. Die Richtung der Vorschubbewegung VB ist in den Figuren 13 und 14 angedeutet. Eine entsprechende Maschine 200, wie beispielhaft in Fig. 15A gezeigt, erzeugt die geeigneten Bewegungen unter Einsatz einer CNC-Steuerung 201.

[0093] Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} liegt vorzugsweise bei allen Ausführungsformen im folgenden Bereich: $-60^\circ \leq \Sigma_{\text{eff}} \leq 60^\circ$, $\Sigma_{\text{eff}} \neq 0^\circ$. Besonders bevorzugt sind effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} zwischen betragsmäßig 5 und 45 Grad.

[0094] Eine CNC-gesteuerte Überlagerung der gekoppelten Drehbewegungen des Innenschälringes 100 um die erste Rotationsachse R1 und des Werkstücks 50 um die zweite Rotationsachse R2, und der Vorschubbewegungen VB des Wälzschälwerkzeugs 100 relativ zum Werkstück 50 ergibt eine spanabhebende Wälzschälbewegung der Schneidzähne 111 des Innenschälringes 100.

[0095] Am Anfang des Innen-Wälzschälens kann der Innenschälring 100 radial von aussen nach innen in das Material des Werkstücks 50 eingestochen werden, oder der Innenschälring 100 kann axial, d.h. von der Stirnseite 53 des Werkstücks 50 her kommend, eingestochen werden. In Figuren 5A und 5B ist die obere Stirnseite beispielhaft mit dem Bezugszeichen 53 und die untere Stirnseite mit dem Bezugszeichen 54 gekennzeichnet.

[0096] In den folgenden Absätzen werden weitere Erläuterungen zum erfindungsgemässen Innen-Wälzschälen gegeben.

[0097] Grundsätzlich entspricht die Relativbewegung zwischen dem Innenschälring 100 und dem Werkstück 50 auch beim Innen-Wälzschälen einem

Schraubradgetriebe, auch Wälzschraubgetriebe genannt. Es handelt sich bei dem Schraubradgetriebe um ein räumliches Getriebe.

[0098] Die Grundausslegung des Innen-Wälzschälprozesses erfolgt deshalb, wie bei der Auslegung von Getrieben, an einem sogenannten Auslegungspunkt AP (siehe z.B. Fig. 2B). Unter Grundausslegung wird hier die Festlegung der räumlichen Anordnung und Bewegung des Innenschälrings 100 bzgl. des Werkstücks 50 (Kinematik) sowie die Festlegung der geometrischen Grundgrößen (hier Werkzeuggrundgeometrie genannt) des Innenschälrings 100 wie etwa Wälzkreisdurchmesser, Konizität und Schrägungswinkel verstanden.

10 [0099] An dem Auslegungspunkt AP werden die geometrischen und kinematischen Eingriffsverhältnisse möglichst optimal gestaltet. Die Eingriffsverhältnisse ändern sich mit zunehmender Entfernung vom Auslegungspunkt AP. Das Innen-Wälzschäl stellt in diesem Zusammenhang ein sehr komplexes Verfahren dar, bei dem sich die Eingriffsverhältnisse auch bei der
15 Bewegung der Schneiden kontinuierlich ändern. Jedoch lassen sich über die Eingriffsverhältnisse am Auslegungspunkt AP die sich ändernden Eingriffsverhältnisse gezielt beeinflussen.

[00100] Deshalb kommt der korrekten Auslegung der Eingriffsverhältnisse am Auslegungspunkt AP eine wesentliche Bedeutung bei der Auslegung von
20 Wälzschälprozessen zu.

Begriffe zur Achsanordnung:

[00101] Es gibt mehrere Begriffe, die zur Festlegung der Achsanordnung erforderlich sind. Diese Begriffe werden in der folgenden Tabelle beschrieben.

<p>Gemeinlot, Gemeinlotfuß- punkte, Gemeinlotvektor</p>	<p>Wälzschälprozesse zeichnen sich durch sich im Raum kreuzende Rotationsachsen R2 und R1 von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 aus. Zu den beiden sich kreuzenden Rotationsachsen R2 und R1 lässt sich eindeutig das Gemeinlot GL angeben.</p> <p>Der Fußpunkt des Gemeinlots auf der Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 sei GLF2 (siehe z.B. Fig. 8). Der Fußpunkt des Gemeinlots auf der Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100 sei GLF1. Der Gemeinlotvektor GLV (siehe z.B. Fig. 5B) sei der Verbindungsvektor von GLF1 nach GLF2.</p>
<p>Achskreuz- projektion, Achskreuzpunkt</p>	<p>Die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 entlang des Gemeinlots GL in Richtung des Gemeinlotvektors GLV wird als Achskreuzprojektion (siehe z.B. Fig. 5A) bezeichnet.</p> <p>In der Achskreuzprojektion schneiden sich die projizierten Rotationsachsen R1 und R2 im Achskreuzpunkt AK, welcher dem in der Projektion zum Punkt reduzierten Gemeinlot GL entspricht.</p>
<p>Achskreuzwinkel</p>	<p>Der Achskreuzwinkel Σ ist der betragsmäßig kleinere Winkel, der von den beiden Rotationsachsen R1 und R2 eingeschlossen wird. Er wird in der Achskreuzprojektion sichtbar (siehe z.B. Fig. 5A). Es gilt</p> $-90^\circ < \Sigma < 90^\circ, \Sigma \neq 0^\circ.$ <p>Der Achskreuzwinkel Σ ist vorzeichenbehaftet. Das Vorzeichen ist für Außenverzahnungen in der Achskreuzprojektion wie folgt ohne Beschränkung der Allgemeinheit festgelegt: Der Achskreuzwinkel Σ ist positiv, wenn die projizierte Rotationsachse R1 um den Achskreuzpunkt AK mathematisch positiv um Σ bezüglich der projizierten Rotationsachse R2 verdreht ist.</p>
<p>Achsabstand</p>	<p>Der Achsabstand AA entspricht der Länge des Gemeinlotvektors GLV (siehe z.B. Fig. 5B). Er beschreibt den kleinsten Abstand zwischen den Rotationsachsen R1 und R2.</p>

Begriffe zum Kontakt zwischen Wälzschälwerkzeug und Werkstück:

[00102] Es gibt mehrere Begriffe, die zur Beschreibung des Kontakts zwischen Innenschälring 100 und Werkstück 50 erforderlich sind. Diese Begriffe werden in der folgenden Tabelle beschrieben.

Wälzkreise	<p>Die Wälzkreise von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 berühren sich im Auslegungspunkt AP, der deshalb auch Berührungspunkt BP genannt wird.</p> <p>Der Wälzkreis W2 (siehe z.B. Fig. 5B) des Werkstücks 50 (auch Werkstückwälzkreis genannt) liegt in einer Ebene, die senkrecht zur Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 liegt. Der Mittelpunkt des Wälzkreises W2 liegt auf der Rotationsachse R2 des Werkstücks 50. Der Durchmesser des Werkstückwälzkreises W2 lautet d_{w2}.</p> <p>Der Wälzkreis W1 (siehe z.B. Fig. 5B) des Wälzschälwerkzeugs 100 (auch Werkzeugwälzkreis genannt) liegt in einer Ebene, die senkrecht zur Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100 liegt. Der Mittelpunkt des Wälzkreises W1 liegt auf der Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100. Der Durchmesser des Werkzeugwälzkreises W1 lautet d_{w1}. Für einen Innenschälring ist d_{w1} negativ.</p>
Bezugsebenen	<p>Die Werkstückbezugsebene ist diejenige Ebene, in der der Werkstückwälzkreis W2 liegt.</p> <p>Die Werkzeugbezugsebene ist diejenige Ebene, in der der Werkzeugwälzkreis W1 liegt.</p>
Spanhalbraum, Schneidenhalbraum	<p>Die Werkzeugbezugsebene teilt den 3-dimensionalen Raum in zwei Hälften. Der Spanhalbraum sei diejenige Hälfte, in die die aus dem Schneidenmaterial des Wälzschälwerkzeugs 100, der Messerstäbe 120 oder Schneidplatten herauszeigenden Spanflächennormalen hineinzeigen. Die andere Hälfte sei mit Schneidenhalbraum bezeichnet. Die Schneidzähne 111 des Wälzschälwerkzeugs 100 erstrecken sich also im Wesentlichen im Schneidenhalbraum, können aber auch in den</p>

	Spanhalbraum hineinreichen, wobei die Spanflächen 121 dem Spanhalbraum zugewandt sind.
Geschwindigkeitsvektoren	<p>Im Auslegungspunkt AP kann der aus der Werkstückdrehung um R2 resultierende Geschwindigkeitsvektor \vec{v}_2 des zugehörigen Werkstückpunktes angegeben werden. Er liegt in der Werkstückbezugsebene, tangential zum Werkstückwäzkreis W2. Der Betrag ist $v_2 = \pi \cdot d_{w2} \cdot n_2$ mit der vorzeichenbehafteten Werkstückdrehzahl n_2.</p> <p>Im Auslegungspunkt AP kann ebenso der aus der Werkzeugdrehung um R1 resultierende Geschwindigkeitsvektor \vec{v}_1 des zugehörigen Werkzeugpunktes angegeben werden. Er liegt in der Werkzeugbezugsebene, tangential zum Werkzeugwäzkreis W1. Der Betrag ist $v_1 = \pi \cdot d_{w1} \cdot n_1$ mit der vorzeichenbehafteten Werkzeugdrehzahl n_1.</p>
Berührradiusvektoren	<p>Vom Auslegungspunkt AP kann das Lot auf die Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 gefällt werden. Der zugehörige Lotfußpunkt LF2 entspricht dem Schnittpunkt zwischen Werkstückbezugsebene und Werkstückrotationsachse R2. Der Berührradiusvektor \vec{r}_2 des Werkstücks 50 ist der Vektor vom Auslegungspunkt AP zum Lotfußpunkt LF2. Seine Länge ist $d_{w2} /2$.</p> <p>Vom Auslegungspunkt AP kann das Lot auf die Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100 gefällt werden. Der zugehörige Lotfußpunkt LF1 (siehe z.B. Fig. 6) entspricht dem Schnittpunkt zwischen Werkzeugbezugsebene und Werkzeugrotationsachse R1. Der Vektor vom Auslegungspunkt AP zum Lotfußpunkt LF1 heißt Berührradiusvektor \vec{r}_1 des Innenschälrings 100. Seine Länge ist $d_{w1}/2$.</p>
Berührebene BE	Die beiden Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_2 und \vec{v}_1 spannen die sogenannte Berührebene BE auf (siehe z.B. Fig. 6 und 7). In dieser Berührebene BE berühren sich die Wäzkreise W2 und

	<p>W1 von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100, und zwar im Auslegungspunkt AP. Darüber hinaus berühren sich in dieser Berührebene BE auslegungsgemäß auch die theoretische Wälzfläche der Verzahnung von Werkstück 50 und der Wälzkreis W1 von Wälzschälwerkzeug 100. Genauer gesagt, ist die Berührebene BE tangential zur erwähnten Wälzfläche der Verzahnung von Werkstück 50, und zwar im Auslegungspunkt AP.</p>
<p>Wälzfläche, Bezugswälzfläche</p>	<p>Die Wälzfläche einer Verzahnung wird auch Bezugswälzfläche genannt. Sie geht durch den Auslegungspunkt AP, ist rotationssymmetrisch bezüglich der Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 und spiegelt einen Teil der Grundgeometrie der Verzahnung wieder. Der Wälzkreis W2 ist Teil der Wälzfläche der Verzahnung von Werkstück 50.</p> <p>Für die hier detailliert beschriebenen und in den Figuren gezeigten zylindrischen Verzahnungen ist die Wälzfläche ein Zylinder, für kegelige Verzahnungen ein Kegel, für plane Verzahnungen eine Ebene und für allgemeine räumliche Verzahnungen, wie z.B. bei Hypoidrädern, ein Hyperboloid. Die Ausführungen, die im Folgenden im Zusammenhang mit zylindrischen Verzahnungen gemacht werden, lassen sich entsprechend auf andere Verzahnungen übertragen.</p>
<p>Berührebenen- normale</p>	<p>Die Berührebenennormale \vec{n} (siehe z.B. Fig. 6) sei derjenige im Auslegungspunkt AP verankerte Normalenvektor der Berührebene BE, der in die Verzahnung des Werkstücks 50 hineinzeigt, d. h. vom Kopfbereich zum Fussbereich der Verzahnung zeigt. Bei der hier betrachteten Außenverzahnungen am Werkstück 50 zeigt die Berührebenennormale \vec{n} somit zur Rotationsachse R2 des Werkstücks 50. Für zylindrische Verzahnungen zeigt die Berührebenennormale \vec{n} in dieselbe Richtung wie der Berührradiusvektor \vec{r}_2 des Werkstücks 50, d.h. \vec{n} und \vec{r}_2 unterscheiden sich nur durch ihre Länge.</p>

Berührebenenprojektion	<p>Die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 in Richtung des Berührradiusvektors \vec{r}_2 des Werkstücks 50 wird als Berührebenenprojektion bezeichnet.</p> <p>In der Berührebenenprojektion (siehe z.B. Fig. 5A) schneiden sich die projizierten Rotationsachsen R1 und R2 im Auslegungspunkt AP bzw. Berührungspunkt BP.</p>
Effektiver Achskreuzwinkel	<p>Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} ist der von den beiden Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_2 und \vec{v}_1 eingeschlossene Winkel gemäß $\cos(\Sigma_{\text{eff}}) = \frac{\vec{v}_2 \cdot \vec{v}_1}{ \vec{v}_2 \vec{v}_1 }$. Gemäss Erfindung gilt -</p> <p>$90^\circ < \Sigma_{\text{eff}} < 90^\circ, \Sigma_{\text{eff}} \neq 0^\circ$.</p> <p>Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} ist wie der Achskreuzwinkel Σ vorzeichenbehaftet. Das Vorzeichen ist für die hier betrachtete Paarung von Außenverzahnung am Werkstück 50 mit Innenschälring 100 wie folgt ohne Beschränkung der Allgemeinheit festgelegt: Der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} ist positiv, wenn die Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_1 und \vec{v}_2 und die Berührebenennormale \vec{n} in dieser Reihenfolge ein Linkssystem bilden.</p> <p>Für nicht-plane Verzahnungen am Werkstück 50 entspricht der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} der senkrechten Projektion des Achskreuzwinkels Σ auf die Berührebene BE, also dem Achskreuzwinkel Σ in der Berührebenenprojektion.</p>
Neigungswinkel	<p>Der Neigungswinkel δ beschreibt die Neigung der Werkzeugbezugsebene und damit des Wälzschälwerkzeugs 100 bzgl. der Berührebene BE (siehe Fig. 6 und 7). Er ist der vom Berührradiusvektor \vec{r}_1 des Wälzschälwerkzeugs 100 und der Berührebenennormale \vec{n} eingeschlossene Winkel gemäß</p> <p>$\cos(\delta) = \frac{\vec{n} \cdot \vec{r}_1}{ \vec{n} \vec{r}_1 }$ mit $-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ (siehe Fig. 6 und 7).</p> <p>Der Neigungswinkel δ ist identisch zum (betragsmäßig kleineren) Schnittwinkel zwischen der Rotationsachse R1 des</p>

	<p>Wälzschälwerkzeugs 100 und der Berührebene BE.</p> <p>Der Neigungswinkel δ ist 0°, wenn die Werkzeugbezugsebene senkrecht zur Berührebene BE steht und die Werkzeugrotationsachse R1 somit parallel zur Berührebene BE verläuft.</p> <p>Der Neigungswinkel δ ist vorzeichenbehaftet. Der Neigungswinkel δ ist für einen Innenschälring 100 negativ, wenn die Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100 die Berührebene BE im Spanhalbraum schneidet. Der Neigungswinkel δ ist positiv, wenn die Rotationsachse R1 des Wälzschälwerkzeugs 100 die Berührebene BE im Schneidenhalbraum schneidet.</p>
--	---

Weitere Projektionen:

[00103] Es gibt verschiedene weitere Projektionen, die zur Veranschaulichung der Erfindung eingesetzt werden. Die entsprechenden Projektionen sind in der
5 folgenden Tabelle erläutert.

<p>Achskreuzseitenprojektion</p>	<p>Der Achskreuzseitenprojektionsvektor sei derjenige zum Gemeinlot GL und zur Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 senkrechte Vektor, der mit dem Geschwindigkeitsvektor \vec{v}_2 des berührenden Werkstückpunktes einen spitzen Winkel einschließt. Dann wird die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 in Richtung dieses Achskreuzseitenprojektionsvektors als Achskreuzseitenprojektion bezeichnet.</p> <p>In der Achskreuzseitenprojektion (siehe z.B. Fig. 5B) verlaufen die projizierten Rotationsachsen R1 und R2 parallel zueinander.</p>
<p>Achskreuzrückseitenprojektion</p>	<p>Die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 entlang des Gemeinlots GL in</p>

	entgegengesetzter Richtung des Gemeinlotvektors GLV wird als Achskreuzrückseitenprojektion bezeichnet.
Berührebenen-seitenprojektion	Die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 in Richtung des Geschwindigkeitsvektors \vec{v}_2 des berührenden Werkstückspunktes wird als Berührebenenseitenprojektion bezeichnet.
Berührebenenrückseitenprojektion	Die Betrachtung von Werkstück 50 und Wälzschälwerkzeug 100 in entgegengesetzter Richtung des Berührradiusvektors \vec{r}_2 des Werkstücks 50 wird als Berührebenenrückseitenprojektion bezeichnet.

[00104] Die folgende Gleichung [1] stellt für nicht-plane Aussenverzahnungen den Zusammenhang zwischen den die räumliche Anordnung der Rotationsachsen R1 und R2 beschreibenden Winkeln her und ist damit für die Umrechnung der einzelnen Größen wichtig:

$$\cos(\Sigma) = \cos(\Sigma_{eff}) \cdot \cos(\delta) \quad [1]$$

[00105] Der Achskreuzwinkel Σ wird in den effektiven Achskreuzwinkel Σ_{eff} und den Neigungswinkel δ zerlegt, wobei der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} die bestimmende Größe für die Erzeugung der relativen Schnittbewegung mit dem Schnittgeschwindigkeitsvektor \vec{v}_c zwischen dem sich drehenden Wälzschälwerkzeug 100 und dem sich drehenden Werkstück 50 ist. Für plane Verzahnungen sind der effektive Achskreuzwinkel Σ_{eff} und der Neigungswinkel δ wohl definiert, jedoch gilt nicht der Zusammenhang [1].

[00106] Gemäss Erfindung kann ein Neigungswinkel δ vorgegeben werden, dessen Betrag ungleich Null Grad ist, d.h. die Neigung der Werkzeugbezugsebene und damit des Wälzschälwerkzeugs 100 bezüglich der Berührebene BE (die durch die beiden Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_2 und \vec{v}_1 aufgespannt wird) ist negativ oder positiv.

- [00107] Gemäss Erfindung weist der Innenschälring 100 bei allen Ausführungsformen Schneidkanten und -flächen auf, die an Schneidzähnen 111 ausgeprägt sind, wobei die Schneidzähne 111 gerade oder schräg nach innen ragen, wie z.B. in den Figuren 10, 11A, 11B, 12A, 12B, 13 und 14 zu erkennen. Die Spanflächen 121 der Schneidzähne 111 sind im Wesentlichen an der Stirnebene SE des Innenschälrings 100 oder an einer stirnseitigen Kegelfläche KE ausgeprägt. Die Spanflächen 121 können jeweils auch gegenüber der Stirnebene SE oder der Kegelfläche KE angewinkelt (geneigt) sein, um die Spanflächen vorzugsweise normal zur Schnittrichtung auszurichten.
- 5 [00108] Das Innen-Wälzschälverfahren kann an einem unverzahnten Werkstück 50, vorzugsweise im Rahmen einer Weichbearbeitung, zum Einsatz kommen.
- [00109] Das Innen-Wälzschälverfahren kann auch an einem vorverzahnten Werkstück 50, vorzugsweise nach einer Weichbearbeitung, zum Einsatz gebracht werden. D.h. das Innen-Wälzschälverfahren kann auch zur Hart- oder Fertigungsbearbeitung eingesetzt werden. Das entsprechende Innen-Wälzschälverfahren wird hier auch als Innen-Hart-Wälzschälen bezeichnet.
- 15 [00110] Das Innen-Wälzschälverfahren kann aber auch im Rahmen eines Mehrschnitt-Wälzschälverfahrens zum Einsatz kommen.
- [00111] Es sind im Rahmen eines solchen Mehrschnitt-Wälzschälverfahrens mehrere Ansätze möglich. Entweder können die periodischen Strukturen am Werkstück 50 in zwei oder mehr als zwei Schnittphasen erzeugt werden. Während einer ersten Schnittphase kann beim Innen-Wälzschälen z.B. eine Lücke oder Nut auf eine Tiefe von 50% geschnitten werden. Dann wird der Innenschälring 100 radial weiter nach innen in Richtung der Rotationsachse R2 des Werkstücks 50 bis zur vollen Tiefe zugestellt und in der zweiten Schnittphase kann die Lücke oder Nut dann auf die volle Tiefe geschnitten werden.
- 25 [00112] Der Wälzkreisdurchmesser d_{w1} des Innenschälrings 100 ist bei allen Ausführungsformen der Erfindung deutlich grösser als der Wälzkreisdurchmesser d_{w2} des Werkstücks 50. Vorzugsweise beträgt der Wälzkreisdurchmesser d_{w2} des
- 30

Werkzeugs 50 weniger als 60% des Wälzkreisdurchmessers d_{w1} des Innen-Wälzschälwerkzeugs 100.

[00113] Vorzugsweise weisen die Längsachsen LA1, LA2, LA3 aller Messerstäbe 120 bei allen als Messerkopf-Werkzeuge ausgebildeten Innenschälringe 100 der Erfindung radial nach innen in Richtung der Rotationsachse R1, wie in Fig. 10 anhand von drei Messerstäben 120 gezeigt. Diese Aussage gilt auch analog für Vollwerkzeuge, wie in Fig. 14 gezeigt.

[00114] Eine Maschine 200, die zum erfindungsgemässen Innen-Wälzschälen ausgelegt ist, weist eine CNC-Steuerung 201 auf, die eine Koppelung der Achsen R1 und R2, respektive eine Koordination der Achsbewegungen ermöglicht. Die CNC-Steuerung 201 kann Teil der Maschine 200 sein, oder sie kann extern ausgeführt und zur kommunikationstechnischen Verbindung 202 mit der Maschine 200 ausgelegt sein. Die entsprechende Maschine 200 umfasst einen sogenannten „elektronischen Getriebezug“, respektive eine „elektronische oder steuerungstechnische Achskopplung“ um eine Vorschubbewegung VB des Innenschälrings 100 in Bezug zu dem aussenverzahnten, wälzgeschälten Werkstück 50 auszuführen (das Werkstück 50 ist in Fig. 15A nicht zu erkennen, da es im Innenraum 171 sitzt). Das gekoppelte Bewegen des Innenschälrings 100 und des Werkstücks 50 wird so ausgeführt, dass sich während der Bearbeitungsphase eine Relativbewegung zwischen dem Innenschälring 100 und dem Werkstück 50 ergibt, die der Relativbewegung eines Schraubradgetriebes entspricht. Der elektronische Getriebezug, respektive die elektronische oder steuerungstechnische Achskopplung sorgen für eine Drehzahlsynchronisierung von mindestens zwei Achsen der Maschine 200. Hierbei sind mindestens die Rotationsachse R1 der Werkzeugspindel 170 mit der Rotationsachse R2 der Werkstückspindel 180 gekoppelt. Ausserdem ist vorzugsweise bei allen Ausführungsformen die Rotationsachse R1 der Werkzeugspindel 170 mit der Axialvorschubbewegung VB in Richtung R2 gekoppelt. Diese Axialvorschubbewegung VB ergibt sich aus einer Überlagerung von Bewegungen 204 (vertikal) und 208 (horizontal). Zusätzlich kann die Werkstückspindel 180 mittels eines (Dreh-)Schlittens 205 parallel zu einer Schwenkachse SA linear verschoben werden, wie durch einen Doppelpfeil 206 dargestellt. Ausserdem kann der (Dreh-)Schlitten 205 samt Werkstückspindel 180

und Werkstück 50 um die Schwenkachse SA gedreht werden, wie durch einen Doppelpfeil 207 dargestellt. Durch das Drehen um die Schwenkachse SA kann der Achskreuzwinkel Σ eingestellt werden. Der Achsabstand AA wird durch die lineare Verschiebungsbewegung 206 eingestellt werden.

5

[00115] Vorzugsweise kommt eine Maschine 200 zum Einsatz, die auf einer Vertikalanordnung basiert, wie in Fig. 15A und Fig. 15B gezeigt. Bei einer solchen Vertikalanordnung sitzt entweder der Innenschälring 100 samt Werkzeugspindel 170 oberhalb des Werkstücks 50 samt Werkstückspindel 180, oder umgekehrt. Die
10 Späne, die beim Wälzschälen entstehen, fallen aufgrund der Schwerkraftwirkung nach unten und können z.B. über ein Spanbett, das nicht gezeigt ist, entfernt werden. Daher ist die in den Figuren 15A und 15B gezeigte Anordnung besonders bevorzugt, da bei dieser Anordnung keine Späne in den Innenraum 171 fallen, der vom Werkzeug 100 samt Werkzeugspindel 170 gebildet wird.

15

[00116] Weiterhin sorgt eine Maschine 200, die zum erfindungsgemässen Innen-Wälzschälen ausgelegt ist, für die richtigen komplexen geometrischen und kinematischen Maschineneinstellungen und Achsbewegungen der genannten Achsen. Vorzugsweise hat die Maschine bei allen Ausführungsformen sechs Achsen.

20 Folgende Achsbewegungen sind bevorzugt:

- Drehen des Wälzschälwerkzeugs um die erste Rotationsachse R1;
- Gekoppeltes Drehen des Werkstücks 50 um die zweite Rotationsachse R2;
- Drehbewegung um die Schwenkachse SA;
- Lineare Vertikalbewegung parallel zu 204;
- 25 - Lineare Horizontalbewegung parallel zu 206;
- Lineare Horizontalbewegung parallel zu 208.

[00117] In Fig. 15B ist zu erkennen, dass vorzugsweise die Werkzeugspindel 170 und/oder ein entsprechender Adapter als rotationsförmiger Hohlkörper (z.B. als
30 Hohlzylinder) ausgelegt ist. Die Werkzeugspindel 170 und/oder der entsprechende Adapter hat vorzugsweise eine Topfform. An der Werkzeugspindel 170 und/oder dem entsprechenden Adapter ist der Innenschälring 100 befestigt. In Fig. 15B ist eine Ausführungsform gezeigt, bei der der Innenschälring 100 ein fester Bestandteil der Werkzeugspindel 170 und/oder des entsprechenden Adapters ist. Die

entsprechenden Aufnahmeöffnungen für die Messerstäbe 120 können direkt an der Werkzeugspindel 170 und/oder an dem entsprechenden Adapter vorgesehen sein. In Fig. 15B ist zu erkennen, dass die Schäfte der Messerstäbe 120 radial nach aussen aus dem Material der Werkzeugspindel 170 und/oder des entsprechenden
5 Adapters ragen.

[00118] Eine topfförmige Werkzeugspindel 170 und/oder ein topfförmiger Adapter können auch als Vollwerkzeug ausgebildet sein oder mit Schneidplatten bestückt sein.
10

[00119] Eine topfförmige Werkzeugspindel 170 und/oder ein topfförmiger Adapter können aber auch zum Befestigen eines separaten, ringförmigen Innenschälrads 100 ausgelegt sein.
15

[00120] Aufgrund der speziellen Konstellation beim Innen-Wälzschälen, reichen Maschinen 200 mit einem Arbeitsraum AR mit einer Maximalabmessung in Achsabstandsrichtung der ersten Rotationsachse R1 von der zweiten Rotationsachse R2, der so groß ist wie der maximale Aussendurchmesser des Innenschälrings 100 (d.h. es geht um den Durchmesser DA des Grundkörpers 112 zusammen mit den
20 überstehenden Schneidzähnen 111 bzw. Messerstäben 120).

[00121] Das Innen-Wälzschälverfahren kann bei allen Ausführungsformen trocken oder nass angewendet werden, wobei die Verwendung des Innen-Wälzschälens im Trockenen bevorzugt ist.
25

[00122] Das Einsatzspektrum des Innen-Wälzschälverfahrens ist groß und erstreckt sich auf die Anwendung bei der Herstellung verschiedenster rotationssymmetrischer periodischer Strukturen.
30

Bezugszeichenliste:

Stossrad	1
Werkstück	2
Zahnkopf	4
Zahnbrust	5
Schneidzahn/-kopf	6
Wälzschälwerkzeug	10
(wälzgeschältes) Werkstück	20
(wälzgeschältes) Werkstück	50
Zahn	51
Zahnlücke	52
Obere Stirnseite	53
untere Stirnseite	54
Wälzschälwerkzeug / Innenschälring	100
Schneidzähne / Schneidköpfe	111
Ringförmiger Grundkörper	112
kreisrunder Innenraum	113
Innenmantelfläche	114
Messerstäbe	120
Spanfläche	121
Schneidkopfspitze	122
Werkzeugspindel	170
Innenraum	171
Werkstückspindel	180
Maschine	200
CNC-Steuerung	201

kommunikationstechnische Verbindung	202
Linearvorschub	203
Vertikaler Bewegungsanteil	204
(Dreh-) Schlitten	205
Linearverschiebung (Horizontalbewegung)	206
Drehbewegung	207
lineare Horizontalbewegung	208
konstruktiver Freiwinkel	α_{K0}
Achsabstand	AA
Achskreuzpunkt	AK
Auslegungspunkt	AP
Arbeitsraum	AR
Berührungspunkt	BP
Schrägungswinkel des Werkzeugs	β_1
Schrägungswinkel des Werkstücks	β_2
Neigungswinkel	δ
Durchmesser des Werkzeugwälzkreises	d_{w1}
Durchmesser des Werkstückwälzkreises	d_{w2}
Aussendurchmesser	DA
Innendurchmesser	DI
Aussendurchmesser	DWA
Gemeinlot	GL
Gemeinlotfußpunkte	GLF1, GLF2
Gemeinlotvektor	GLV
konzentrische Kreise	K1, K2
Stirnseitige Kegelfläche	KE
Längsachsen	LA, LA1, LA2, LA3
Lotfußpunkte	LF1, LF2
Berührebenennormale	\vec{n}
Werkzeugdrehzahl	n_1
Werkstückdrehzahl	n_2

Rotationsachse des Werkzeugs (Werkzeugachse)	R1
Berührradiusvektor des Werkzeugs 100	\vec{r}_1
Rotationsachse des Werkstücks (Werkstückachse)	R2
Berührradiusvektor des Werkstücks 50	\vec{r}_2
Ringstärke	RS
Schwenkachse	SA
Stirnebene	SE
Hubbewegung	S_{hx}
Axialvorschubs	S_{ax}
Axialvorschubvektor	\vec{s}_{ax}
Differentialvorschub	S_D
Radialvorschub	S_{rad}
Schnittpunkt	SP
Effektiver Achskreuzwinkel	Σ_{eff}
Achskreuzwinkel	Σ
Vorschubbewegung	VB
Betrag der Schnittgeschwindigkeit	v_c
Schnittgeschwindigkeitsvektor	\vec{v}_c
Betrag des Geschwindigkeitsvektors	v_1
Wälzschälwerkzeug	
Geschwindigkeitsvektor Wälzschälwerkzeug	\vec{v}_1
Betrag des Geschwindigkeitsvektors	v_2
Werkstück	
Geschwindigkeitsvektor Werkstück	\vec{v}_2
Werkzeugwälzkreis	W1
Wälzkreis des Werkstücks	W2
Rotation um die Achse R1	ω_1
Rotation um die Achse R2	ω_2

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zum Wälzschälen eines Werkstücks (50) mit aussenliegender, rotationssymmetrischer, periodischer Struktur (51, 52) unter Einsatz eines Wälzschälwerkzeugs, das mehrere Schneiden umfasst, mit den folgenden Schritten:
- Drehen des Wälzschälwerkzeugs um eine erste Rotationsachse (R1),
 - gekoppeltes Drehen des Werkstücks (50) um eine zweite Rotationsachse (R2),
 - Ausführen einer axialen Vorschubbewegung (VB) des Wälzschälwerkzeugs in Bezug zu dem Werkstück (50) in einer Richtung parallel zur zweiten Rotationsachse (R2),
- wobei die beiden Rotationsachsen (R1, R2) während des Wälzschälens mit einem Achskreuzwinkel (Σ) windschief relativ zueinander angestellt sind, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Wälzschälwerkzeug um einen Innenschälring (100) handelt, der
- einen Innenraum (113) aufspannt,
 - eine Mehrzahl von Schneidzähnen (111) aufweist, wobei an jedem Schneidzahn (111) mindestens eine Schneidkante, eine Schneidkopfspitze (122) und eine Spanfläche (121) angebracht sind,
 - wobei die Spanflächen (121) aller Schneidzähne (111) bezüglich der ersten Rotationsachse (R1) rotationssymmetrisch auf einer Stirnebene (SE) oder stirnseitigen Kegelfläche (KE) des Innenschälrings (100) angeordnet sind, und
 - wobei die Schneidzähne (111) in den Innenraum (113) ragen und in Richtung der ersten Rotationsachse (R1) zeigen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spanflächen (121) einzeln gegenüber der Stirnebene (SE) oder stirnseitigen Kegelfläche (KE) verkippt angeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenschälring (100) einen ringförmigen Grundkörper (112) mit einer

Innenkontur oder Innenmantelfläche (114) aufweist, die zylindrisch oder kegelig ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die
5 Spanflächen (121) als ebene Flächen oder als gekrümmte Flächen ausgebildet sind.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das
10 Werkstück (50) einen Aussendurchmesser (DWA) und der Innenschälring (100) einen Mindestinnendurchmesser aufweist, der mindestens 1,5 mal so groß ist wie der maximale Aussendurchmesser (DWA) des Werkstücks (50).
6. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das
15 Werkstück (50) einen Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) und der Innenschälring (100) einen Wälzkreisdurchmesser (d_{w1}) aufweist, der mindestens 1,5 mal so groß ist wie der Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) des Werkstücks (50).
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der
20 Mindestinnendurchmesser mindestens 2 mal so groß ist wie der maximale Aussendurchmesser (DWA) des Werkstücks (50).
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der
25 Wälzkreisdurchmesser (d_{w1}) des Innenschälrings (100) mindestens 2 mal so groß ist wie der Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) des Werkstücks (50).
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der
Innenschälring (100) während des Wälzschälens zum Werkstück (50) hingeneigt oder vom Werkstück (50) weggeneigt ist.
- 30 10. Vorrichtung (200) zum Wälzschälen eines Werkstücks (50) mit rotationssymmetrischer, periodischer, aussenliegender Struktur (51, 52) unter Einsatz eines Wälzschälwerkzeugs, mit:
 - einer Werkzeugspindel (170) zum Befestigen des Wälzschälwerkzeugs,
 - einer Werkstückspindel (180) zum Befestigen des Werkstücks (50),

- numerisch kontrollierten Antrieben zum gekoppelten Ausführen einer Vorschubbewegung (VB) und zum gekoppelten Rotieren des Wälzschälwerkzeugs (100) samt Werkzeugspindel (170) um eine erste Rotationsachse (R1) und des Werkstücks (50) samt Werkstückspindel (180) um eine zweite Rotationsachse (R2),
- einem Wälzschälwerkzeug in Form eines Innenschälrings (100), der
 - einen Innenraum (113) aufspannt,
 - eine Mehrzahl von Schneidzähnen (111) aufweist, wobei an jedem Schneidzahn (111) mindestens eine Schneidkante, eine Schneidkopfspitze (122) und eine Spanfläche (121) angebracht sind,
 - wobei die Spanflächen (121) aller Schneidzähne (111) bezüglich der ersten Rotationsachse (R1) rotationssymmetrisch auf einer Stirnebene (SE) oder stirnseitigen Kegelfläche (KE) des Innenschälrings (100) angeordnet sind, und
 - wobei die Schneidzähne (111) in den Innenraum (113) ragen und in Richtung der ersten Rotationsachse (R1) zeigen,wobei die Vorrichtung (200) eine numerische Steuerung (201) umfasst oder mit einer numerischen Steuerung (201) verbindbar ist, die dazu ausgelegt ist während des Wälzschälens einen Achskreuzwinkel (Σ) vorzugeben, um die beiden Rotationsachsen (R1, R2) während des Wälzschälens windschief relativ zueinander anzustellen.

11. Vorrichtung (200) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenschälring (100) einen kreisrunden Innenraum (113) aufspannt.
12. Vorrichtung (200) nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Spanflächen (121) einzeln gegenüber der Stirnebene (SE) oder stirnseitigen Kegelfläche (KE) verkippt angeordnet sind.
13. Vorrichtung (200) nach Anspruch 10, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (50) einen maximalen Aussendurchmesser (DWA) hat und der Innenschälring (100) einen Mindestinnendurchmesser aufweist, der mindestens 1,5 mal so groß ist wie der Aussendurchmesser (DWA) des Werkstücks (50).

14. Vorrichtung (200) nach Anspruch 10, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (50) einen Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) und der Innenschälring (100) einen Wälzkreisdurchmesser (d_{w1}) aufweist, der mindestens 1,5 mal so groß ist wie der Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) des Werkstücks (50).
- 5
15. Vorrichtung (200) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Mindestinnendurchmesser mindestens 2 mal so groß ist wie der maximale Aussendurchmesser (DWA) des Werkstücks (50).
- 10 16. Vorrichtung (200) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Wälzkreisdurchmesser (d_{w1}) des Innenschälrings (100) mindestens 2 mal so groß ist wie der Wälzkreisdurchmesser (d_{w2}) des Werkstücks (50).
- 15 17. Vorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Steuerung (201) dazu ausgelegt ist während des Wälzschälens den Innenschälring (100) zum Werkstück (50) hin oder vom Werkstück (50) weg zu neigen, wobei vorzugsweise ein Neigungswinkel (δ) im Bereich zwischen -30 Grad und +30 Grad vorgebar ist.
- 20 18. Vorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenschälring (100) einen maximalen Aussendurchmesser (DA) hat und die Vorrichtung (200) einen Arbeitsraum (AR) mit einer Maximalabmessung in Achsabstandsrichtung der ersten Rotationsachse (R1) von der zweiten Rotationsachse (R2) hat, der maximal
- 25 50% grösser ist als der maximale Aussendurchmesser des Innenschälrings (100)

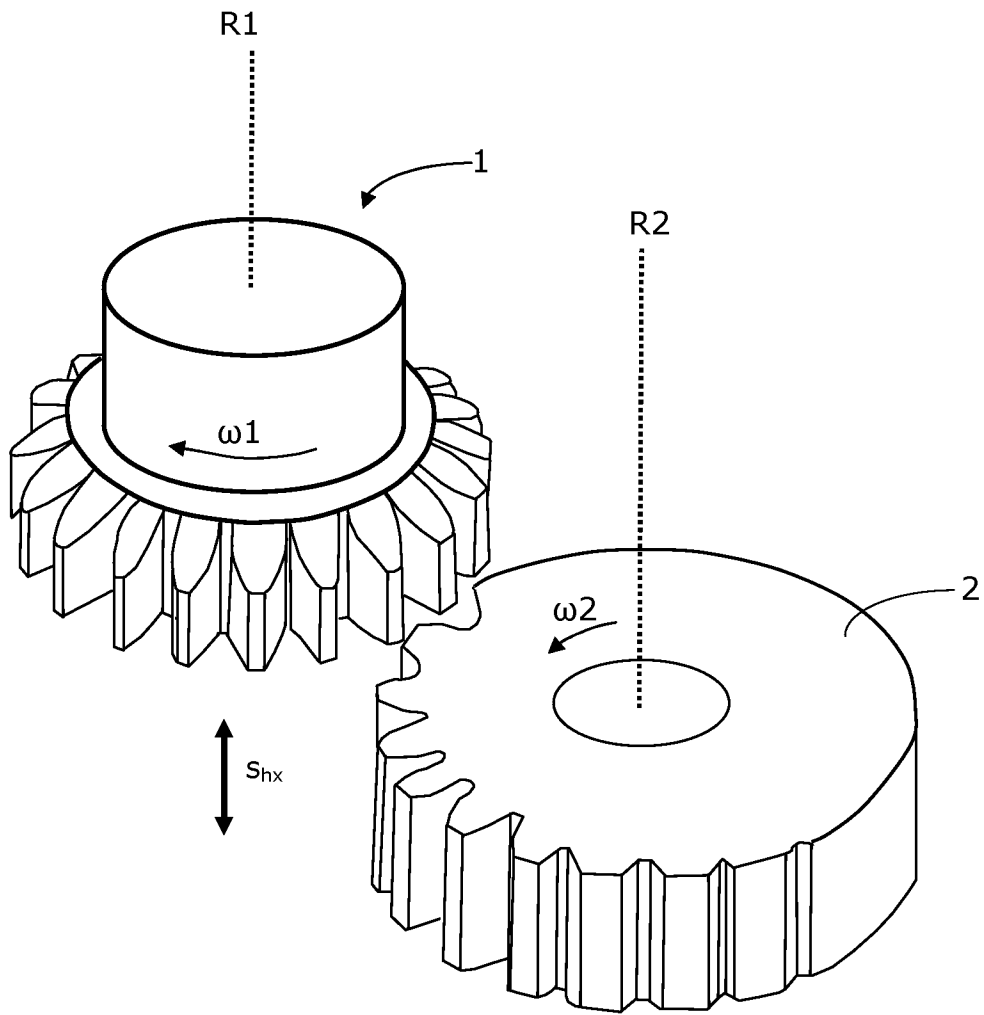


Fig. 1

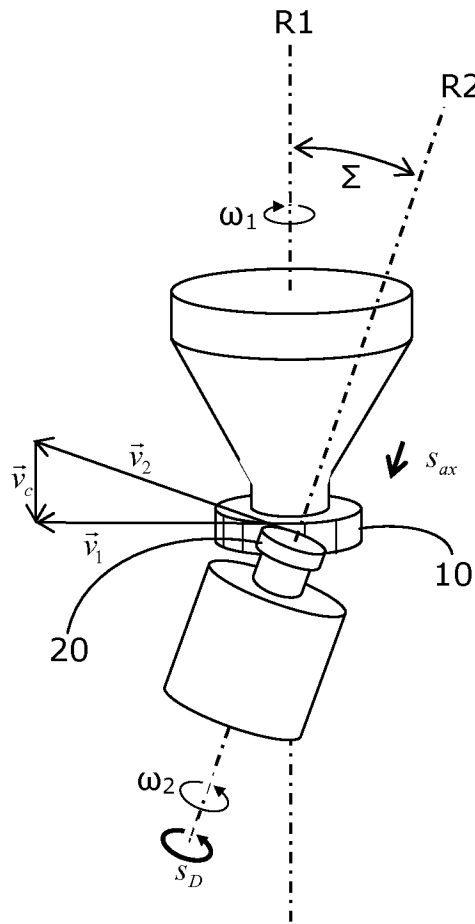


Fig. 2A

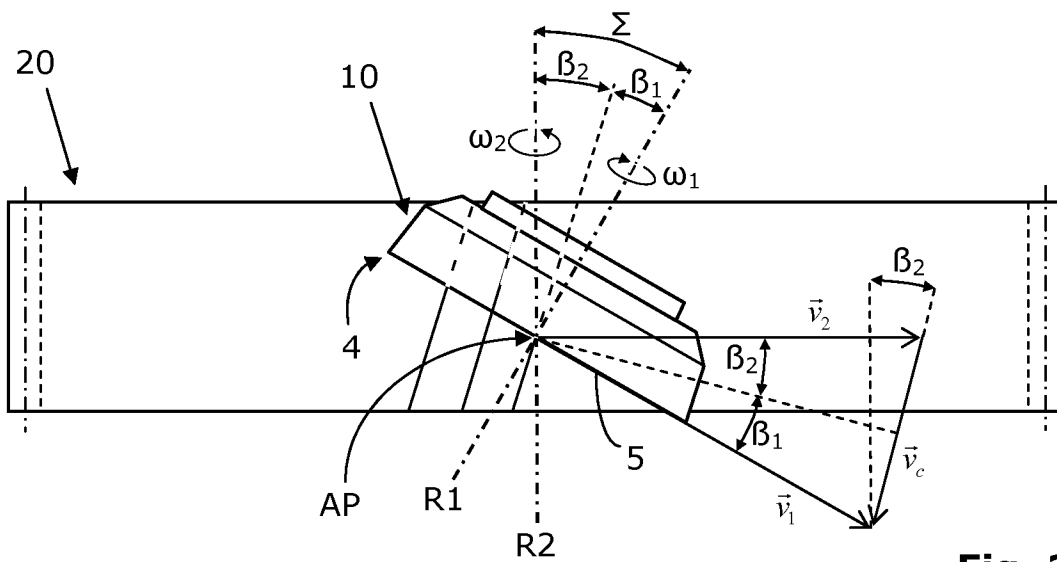
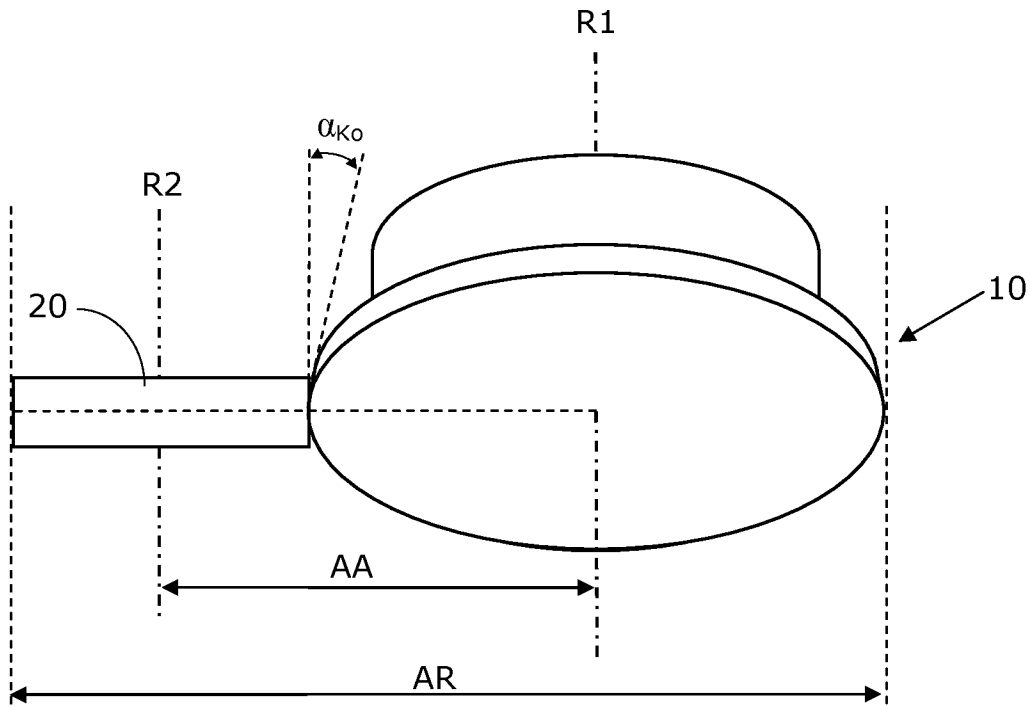
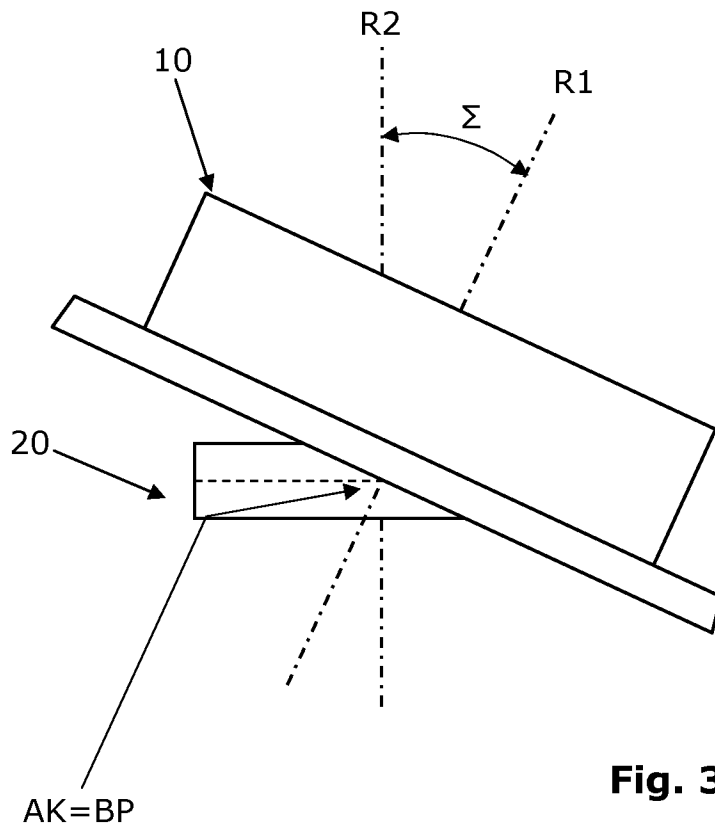


Fig. 2B



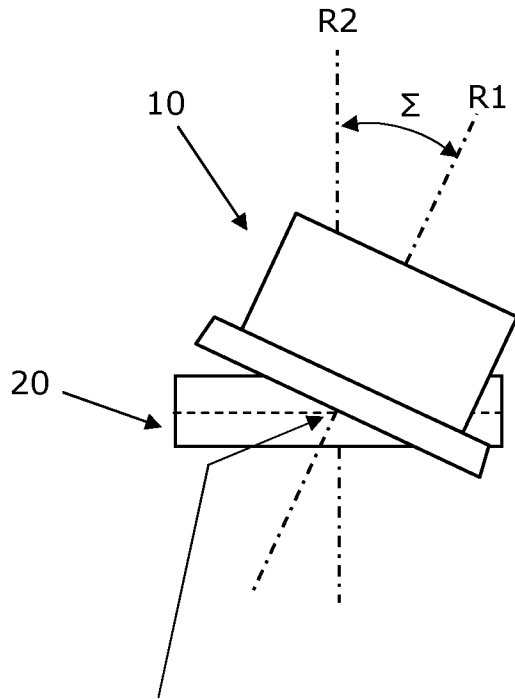


Fig. 4A

AK=BP

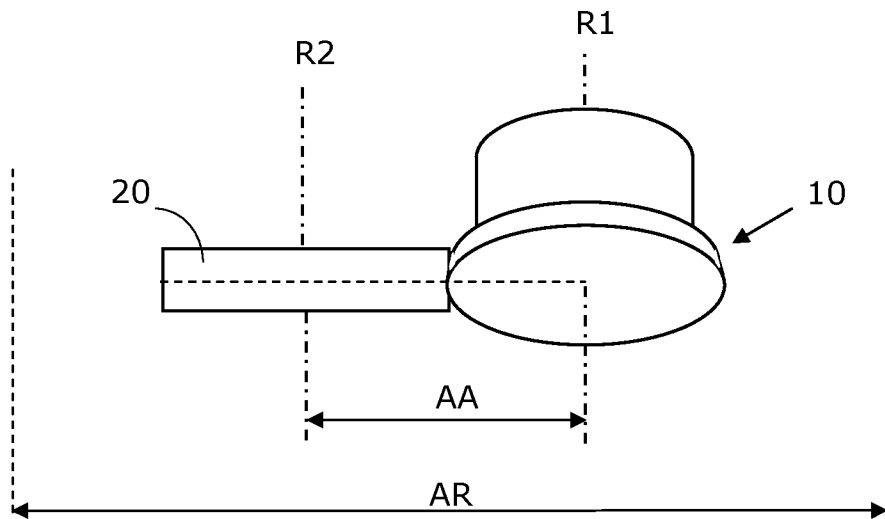


Fig. 4B

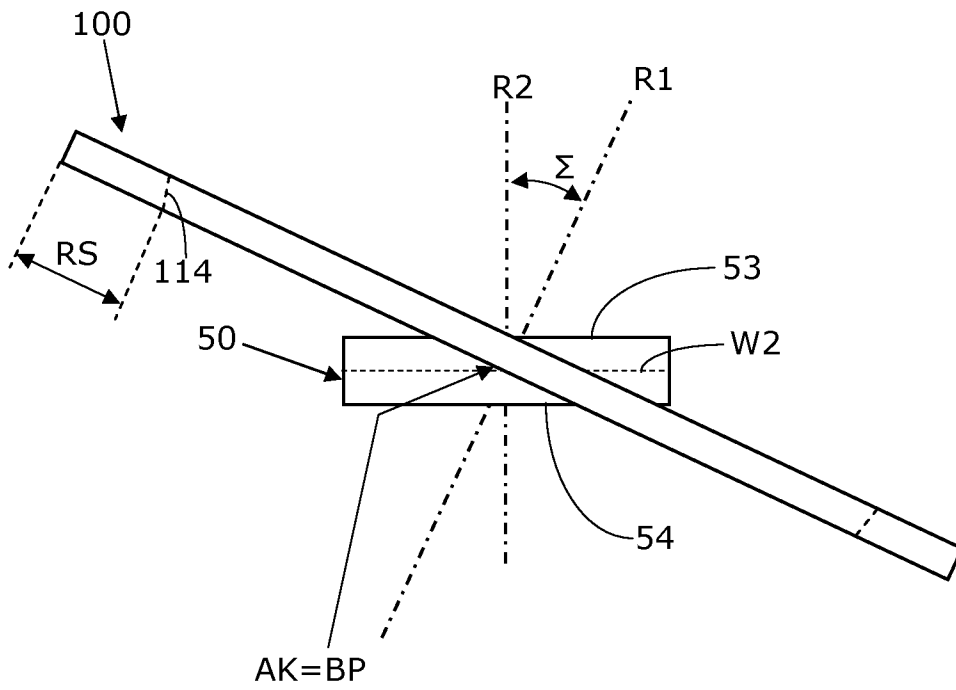


Fig. 5A

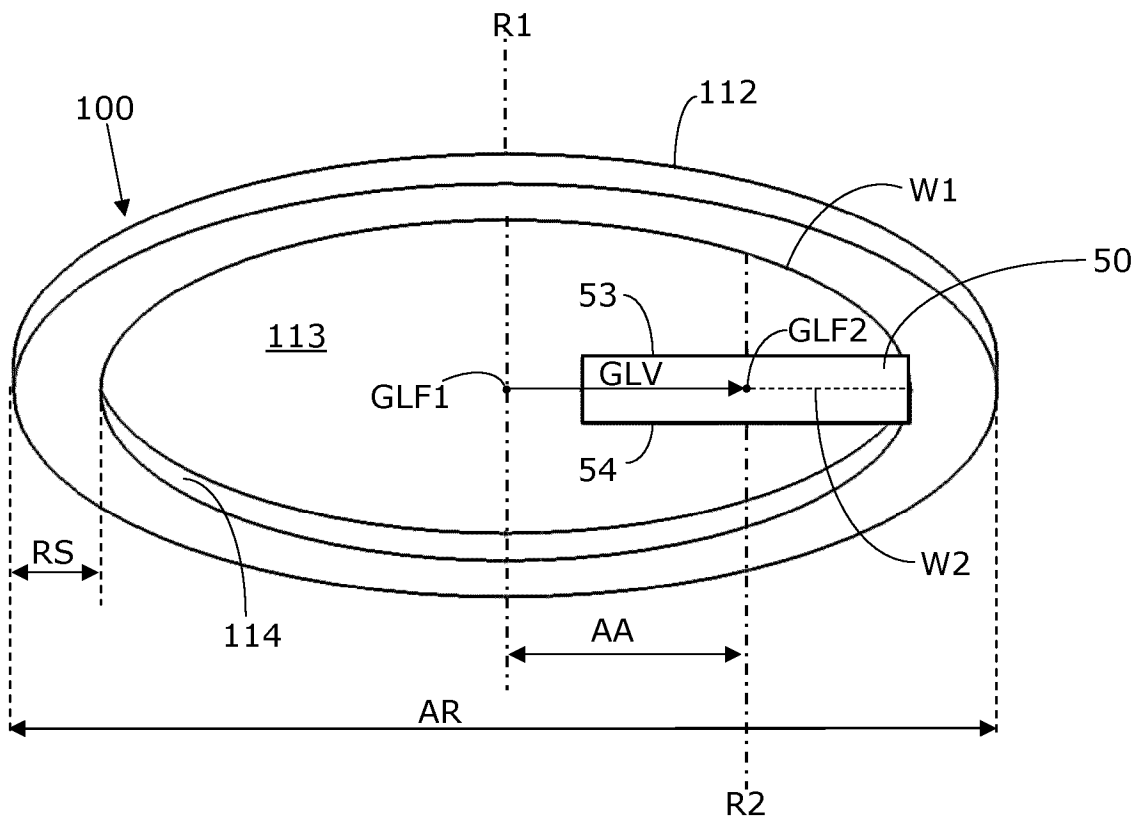


Fig. 5B

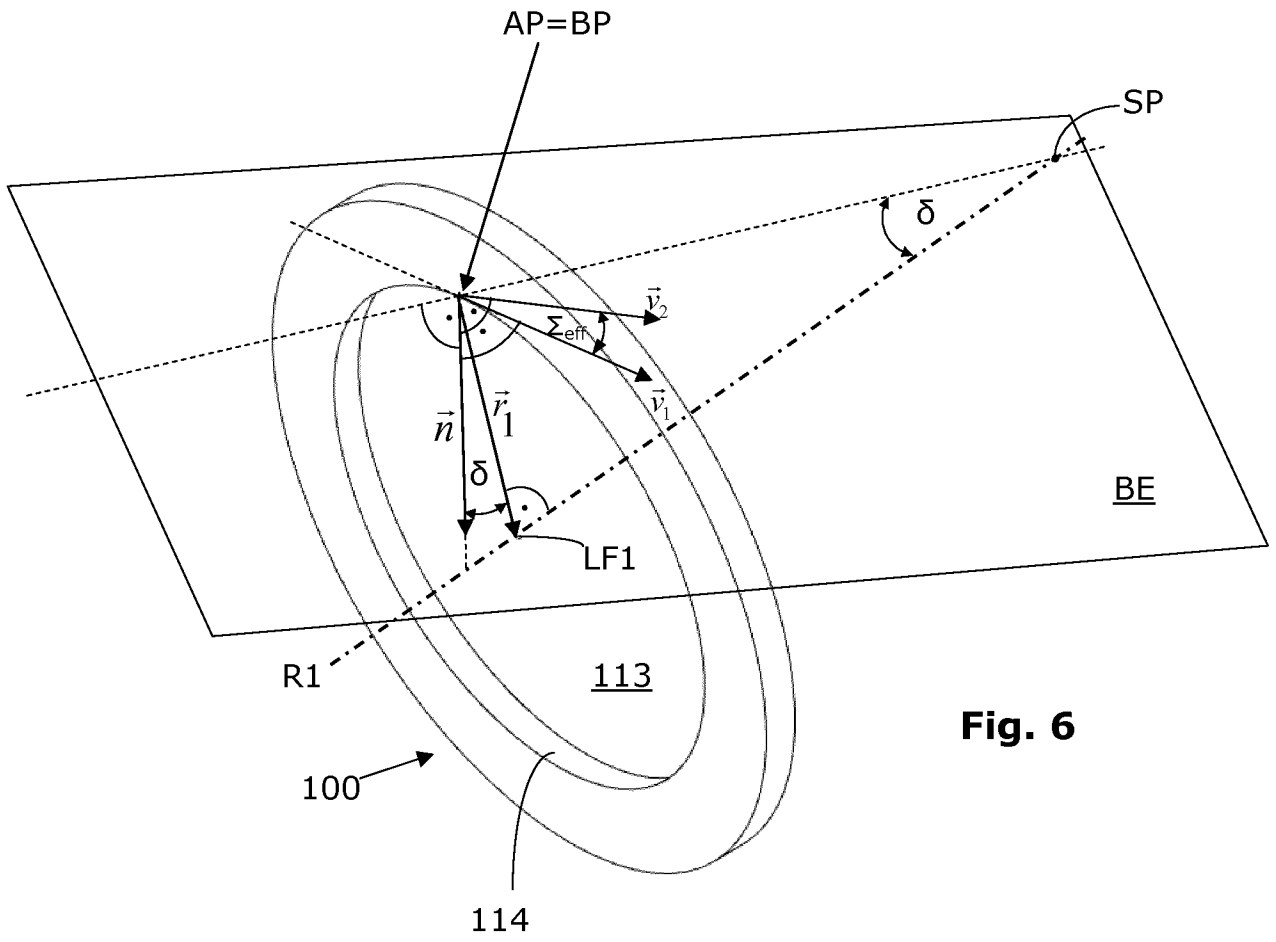


Fig. 6

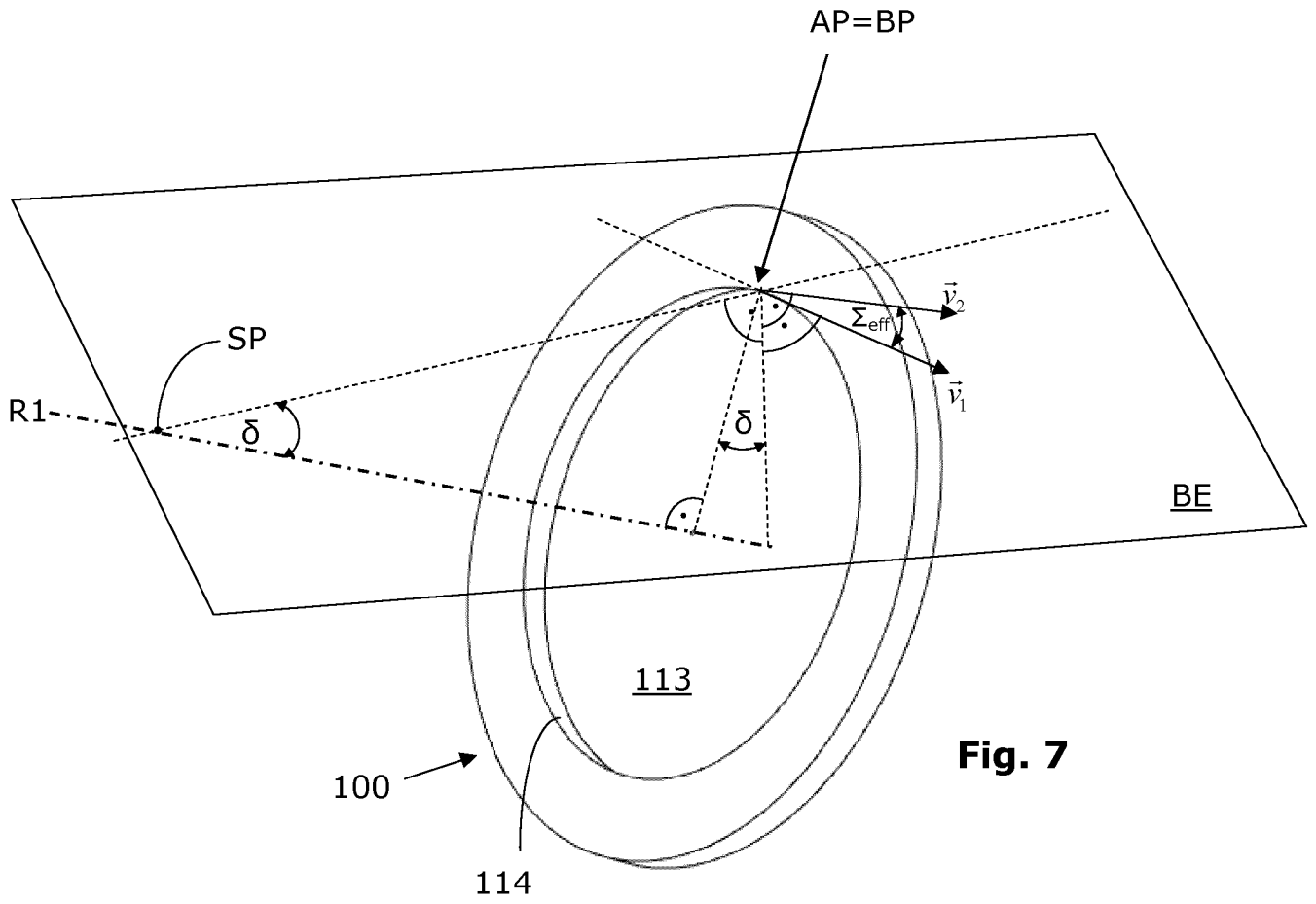


Fig. 7

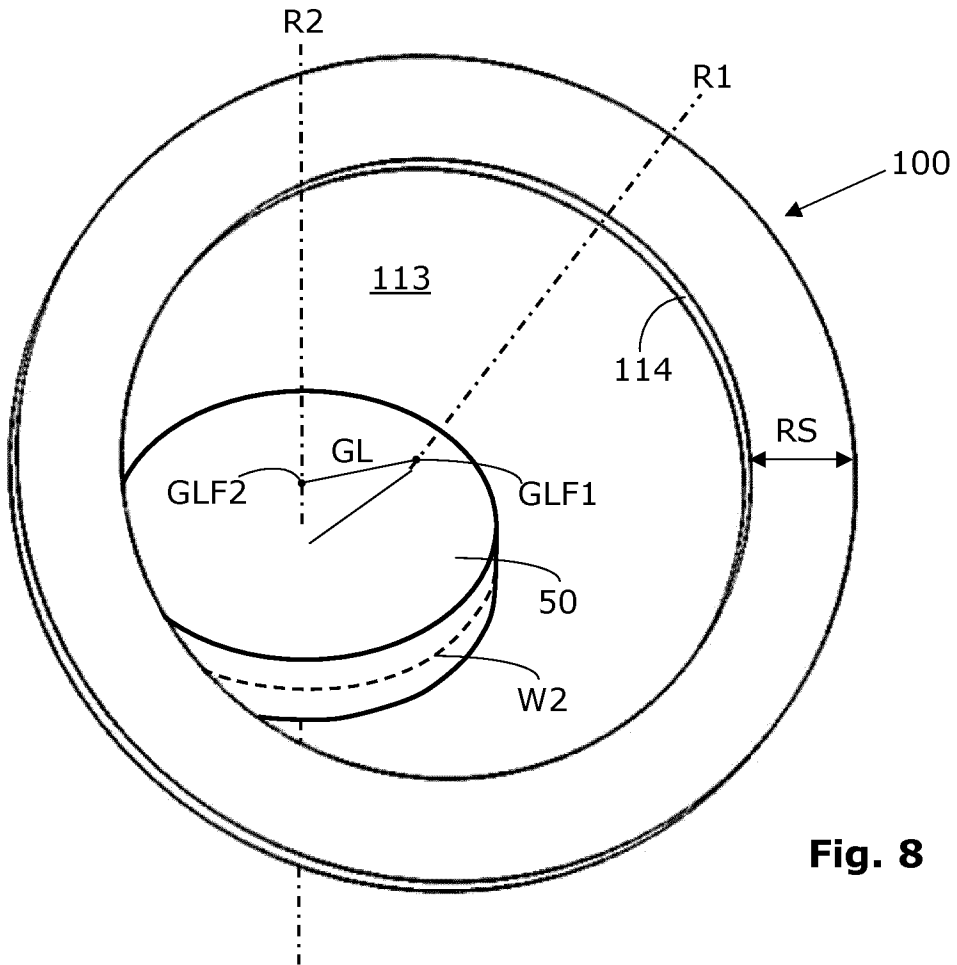


Fig. 8

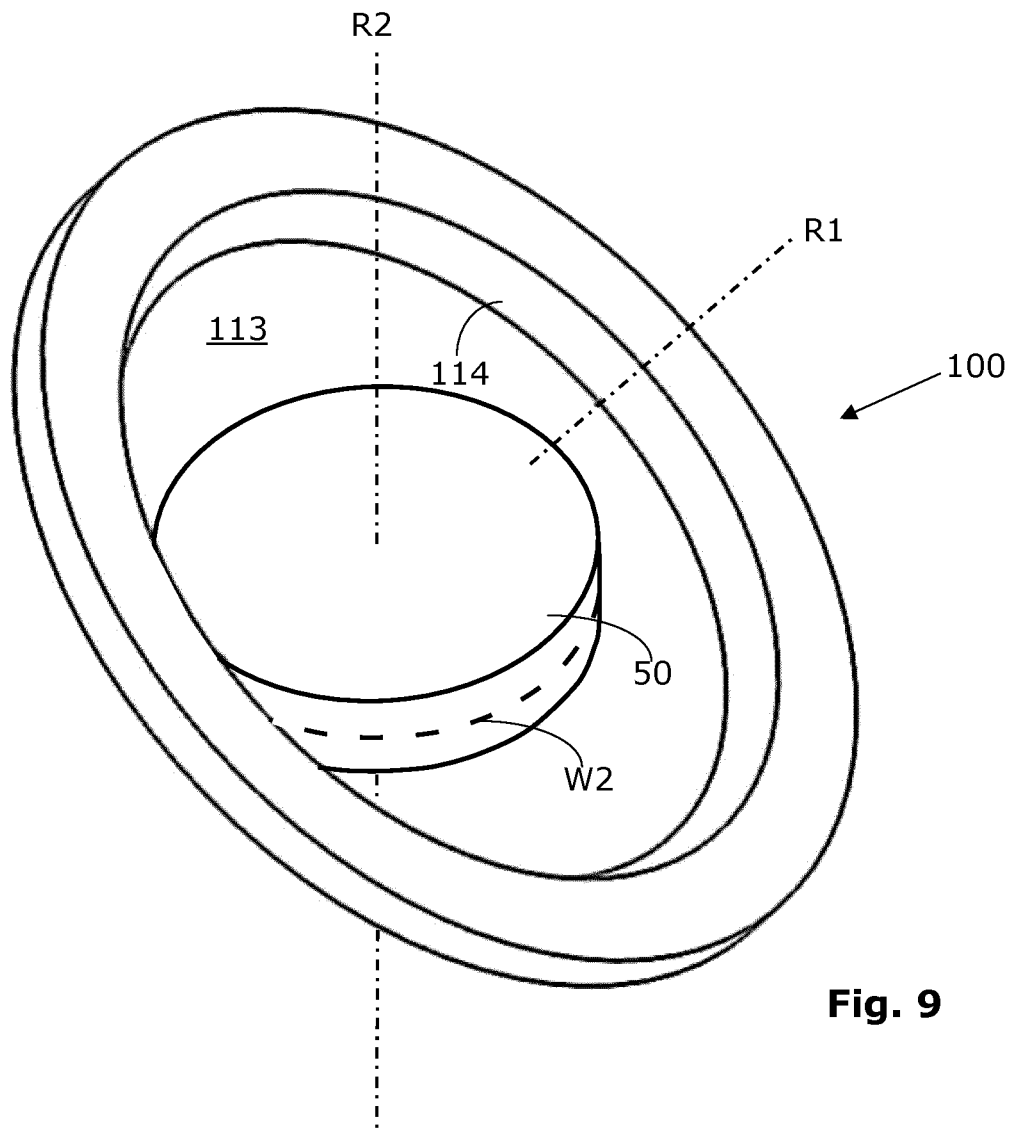


Fig. 9

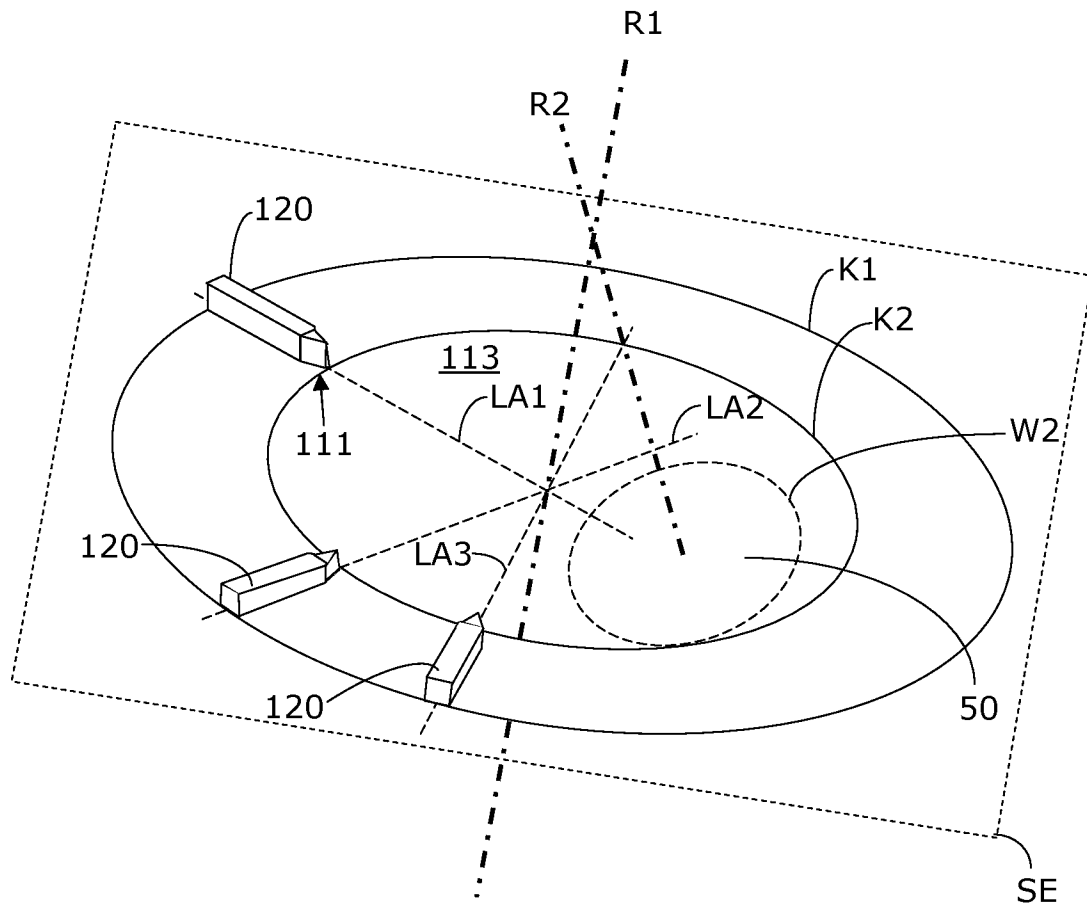


Fig. 10

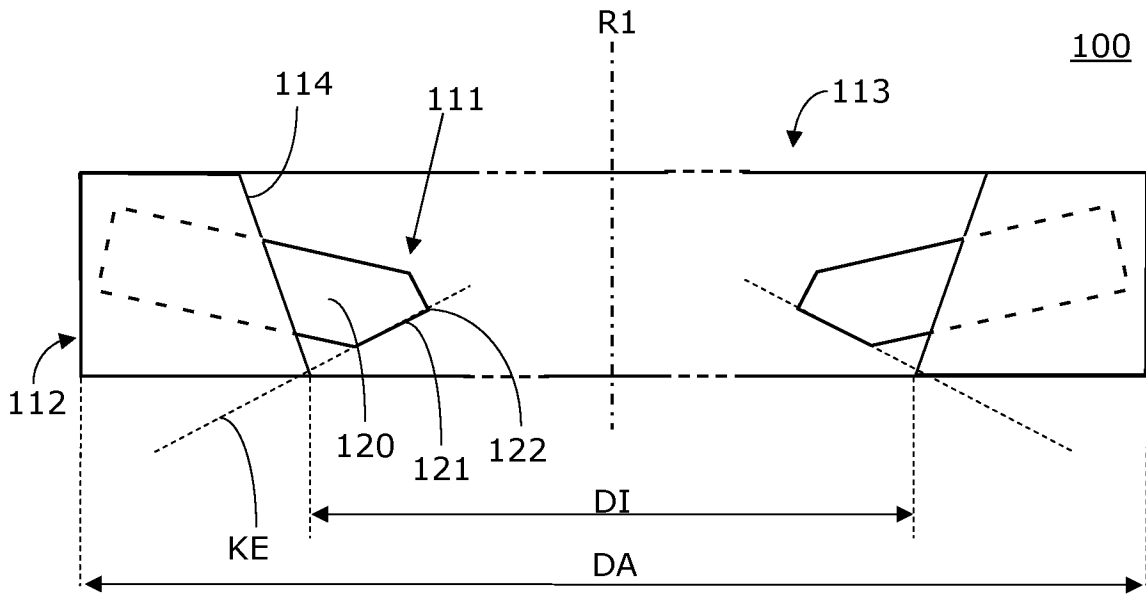


Fig. 11A

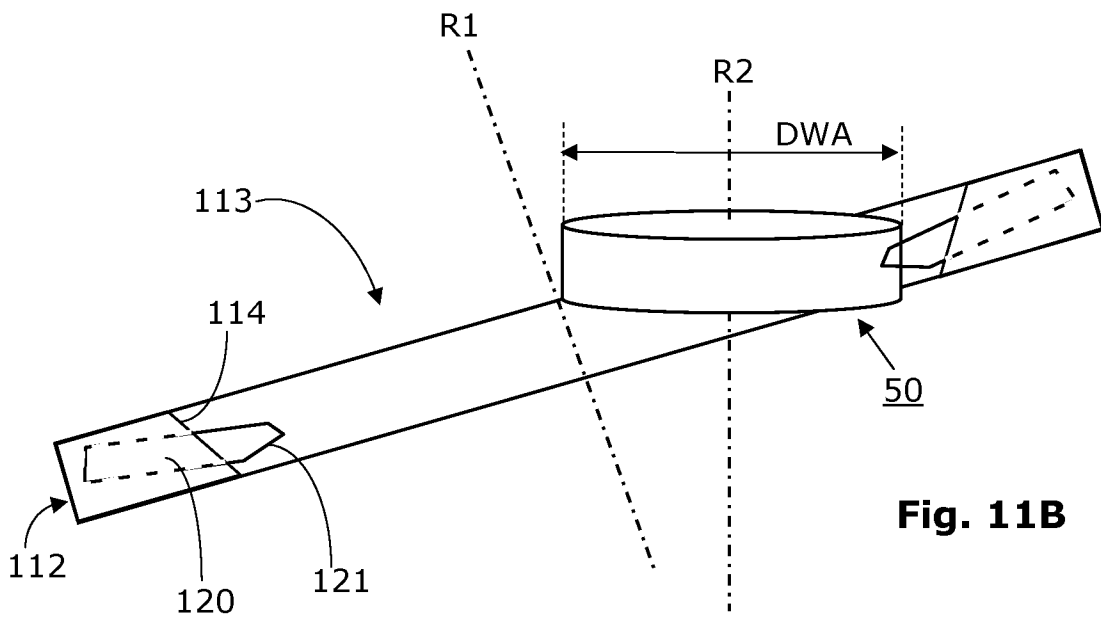


Fig. 11B

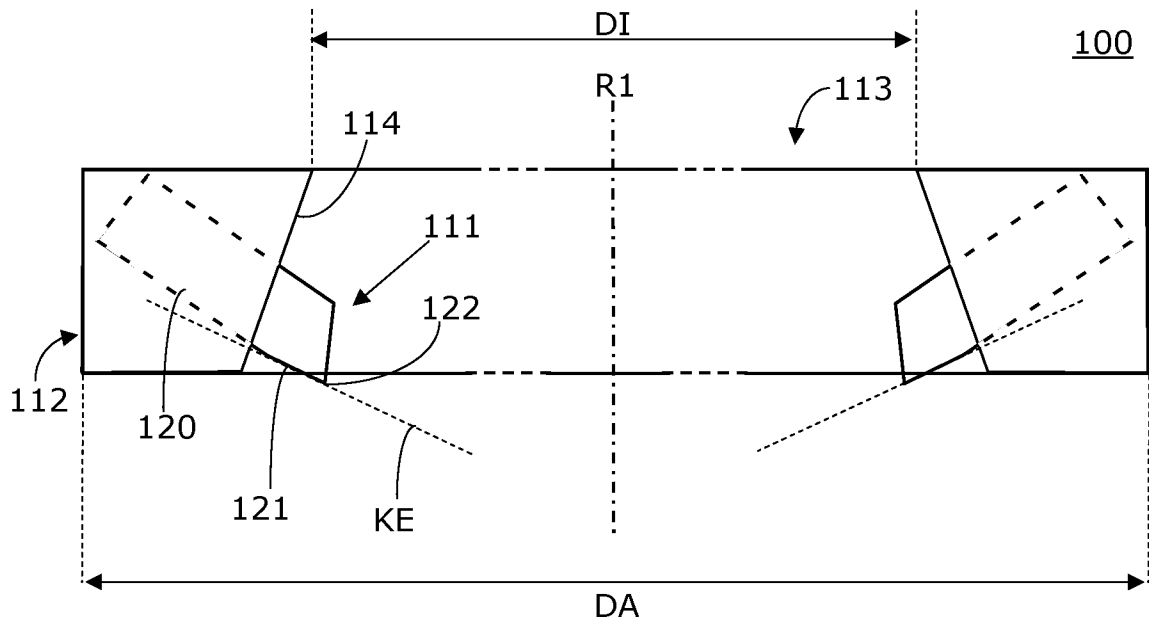


Fig. 12A

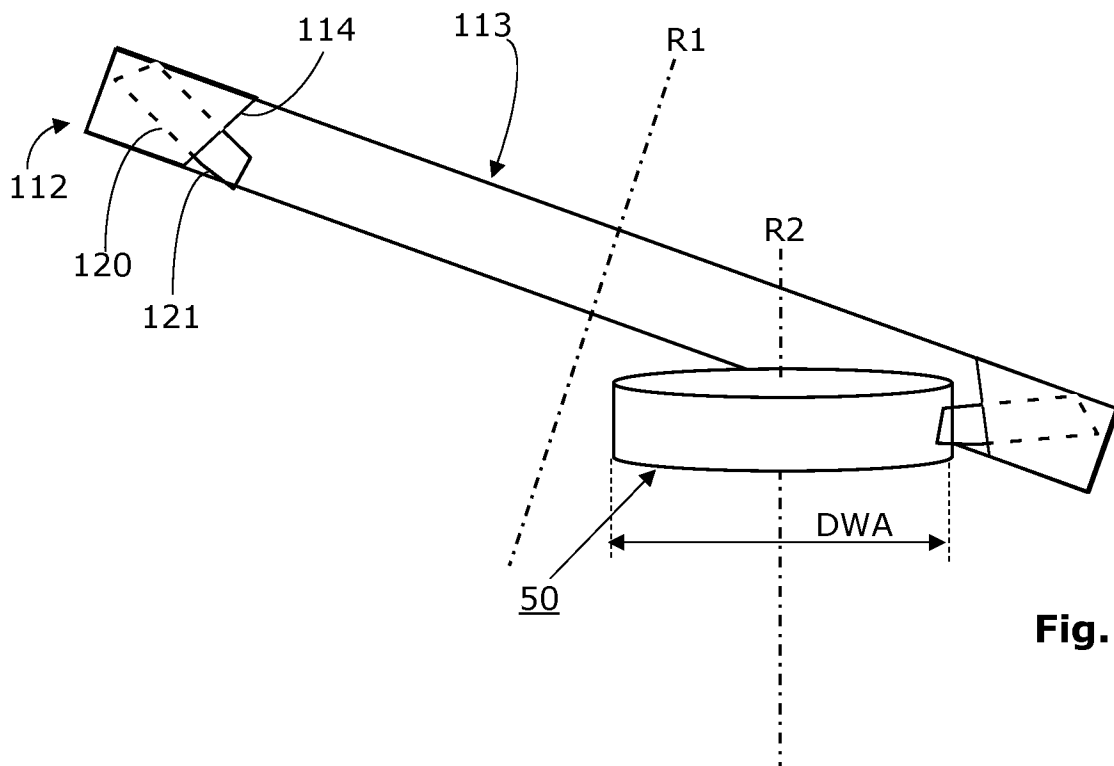


Fig. 12B

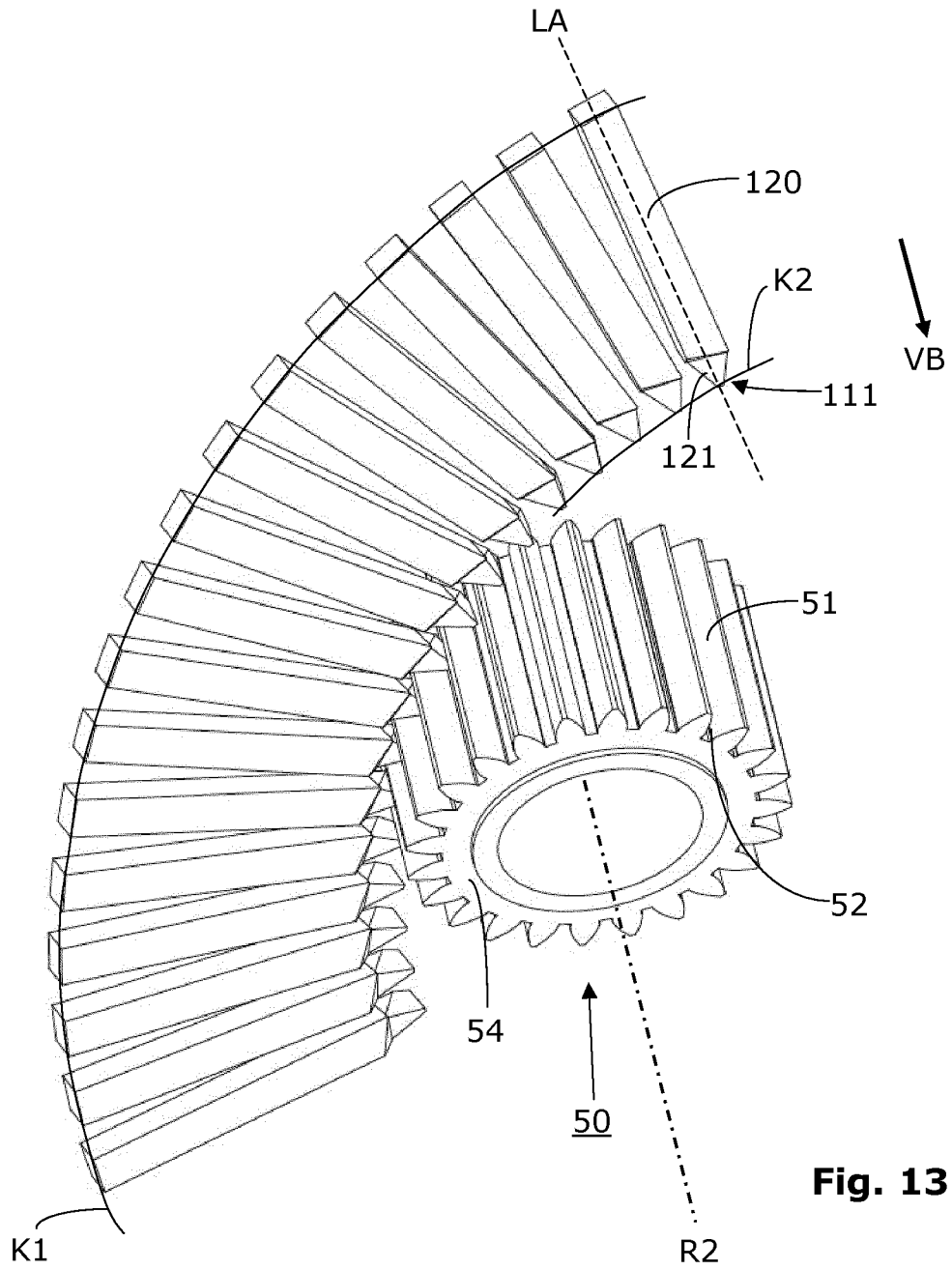


Fig. 13

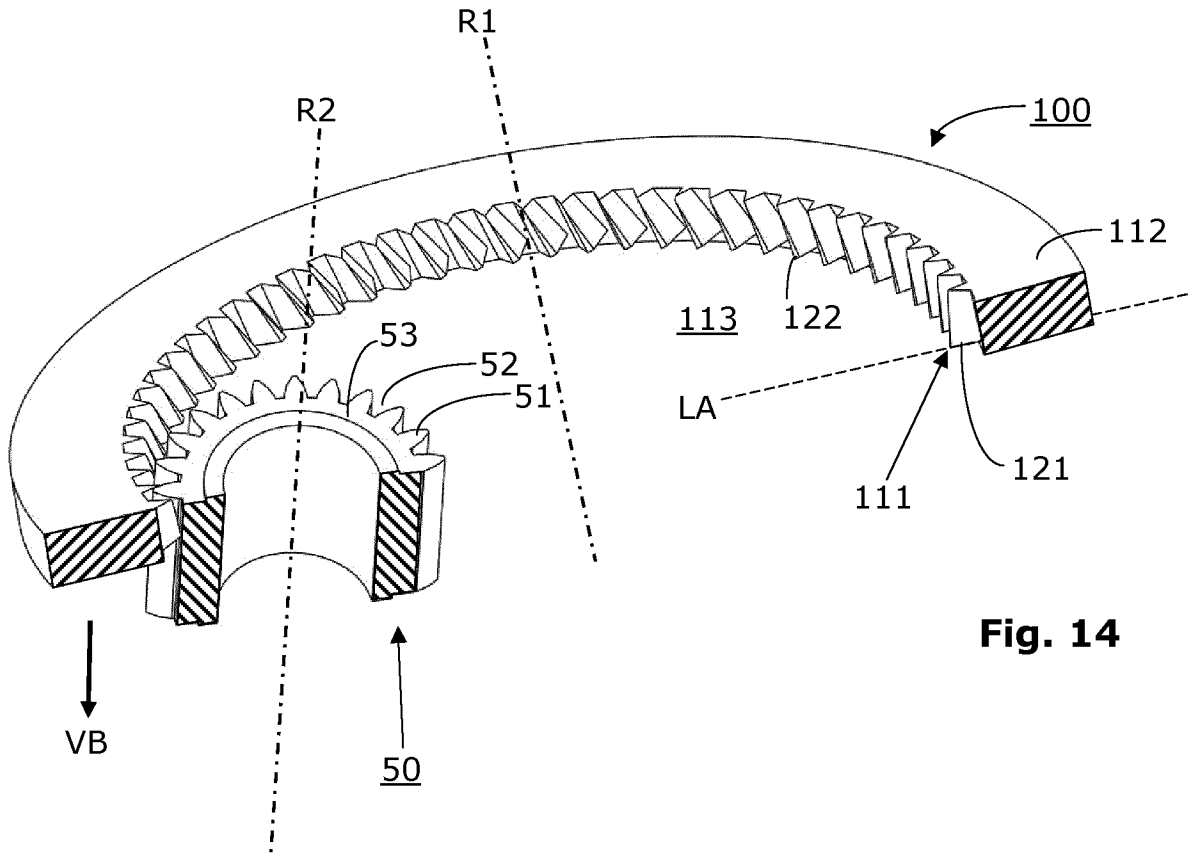


Fig. 14

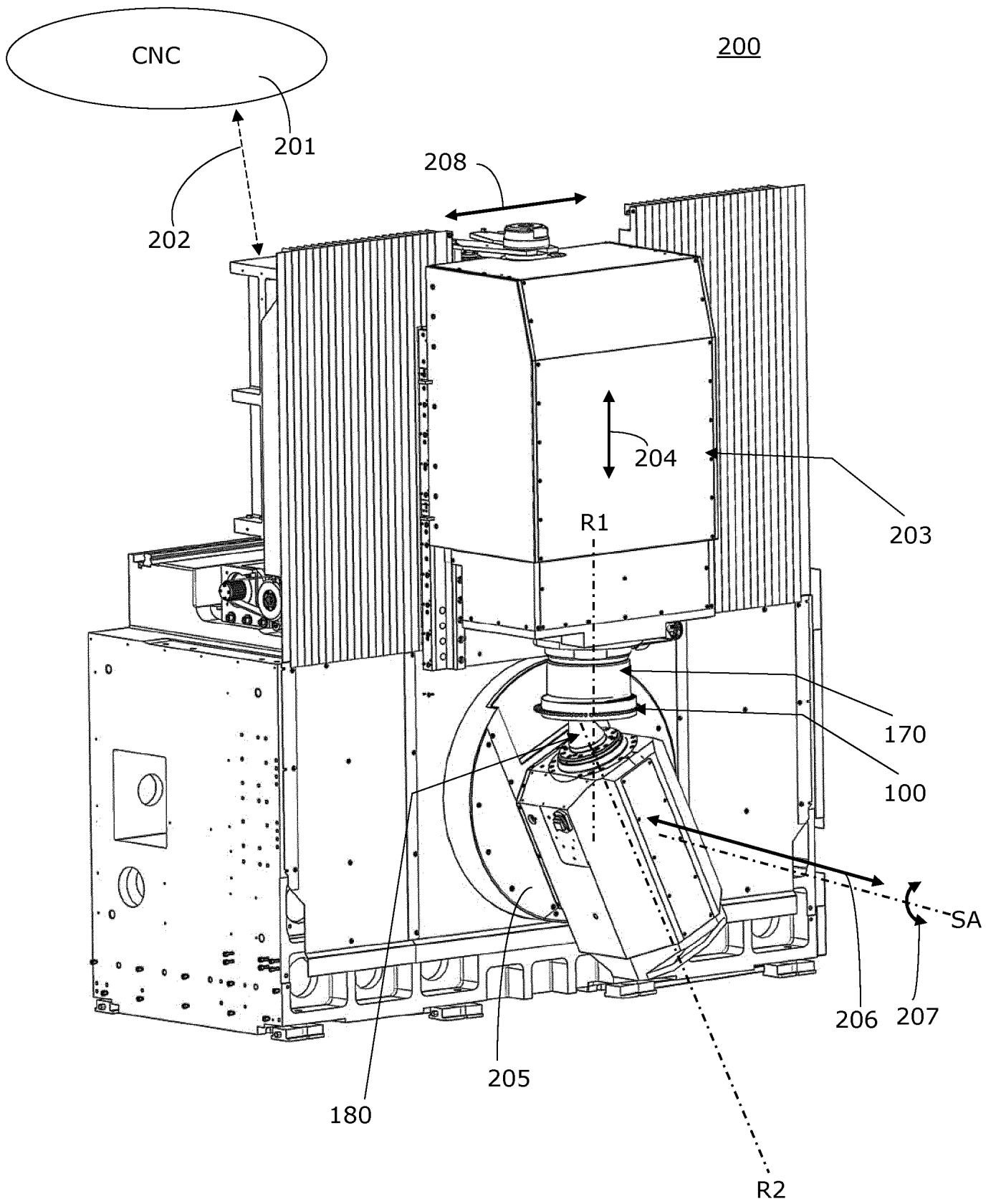


Fig. 15A

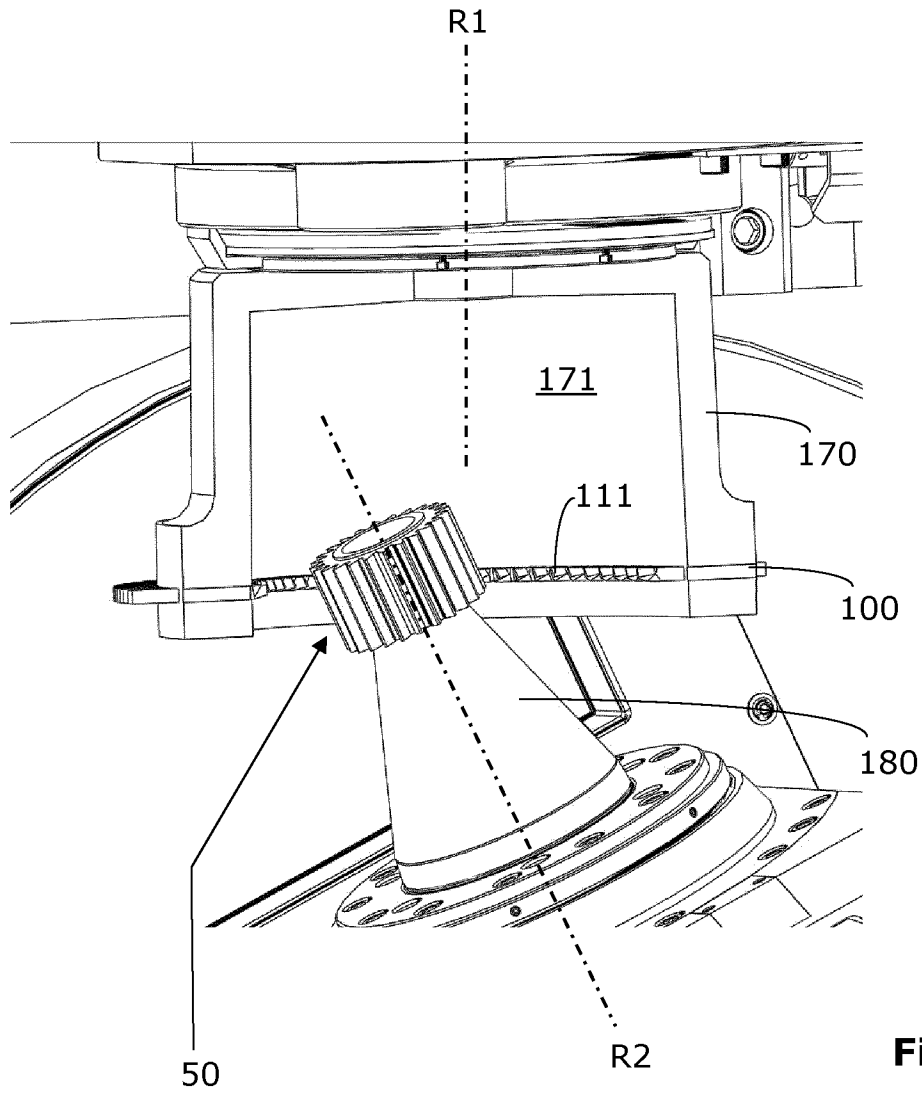


Fig.15B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/059062

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B23F5/16 B23F21/04
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B23F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 443 338 A (HUBER MANFRED [DE] ET AL) 22 August 1995 (1995-08-22) the whole document	10,11
Y	DE 243 514 C (GEORGE ADAMS) 16 February 1912 (1912-02-16) cited in the application	1,3,4
A	the whole document	2,5-18
Y	DE 27 19 524 A1 (DIAMANTSCHLEIBEN APPARATE AG) 1 December 1977 (1977-12-01) page 3, line 5 - page 4, line 19	1,3,4
A	WO 2010/060733 A1 (PROFILATOR GMBH & CO KG [DE]; HEINEMANN WOLFGANG [DE]; SCHULZ MARIO [D]) 3 June 2010 (2010-06-03) cited in the application the whole document	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 2 October 2012	Date of mailing of the international search report 12/10/2012
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Watson, Stephanie
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2012/059062

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5443338	A	22-08-1995	CN 1102367 A 10-05-1995
			DE 4323935 C1 06-10-1994
			EP 0654318 A1 24-05-1995
			GB 2280394 A 01-02-1995
			JP 2880407 B2 12-04-1999
			JP 7060542 A 07-03-1995
			US 5443338 A 22-08-1995

DE 243514	C	16-02-1912	NONE

DE 2719524	A1	01-12-1977	CH 595172 A5 31-01-1978
			DE 2719524 A1 01-12-1977
			JP 52140097 A 22-11-1977

WO 2010060733	A1	03-06-2010	DE 102008037514 A1 06-05-2010
			EP 2364231 A1 14-09-2011
			US 2011268523 A1 03-11-2011
			WO 2010060733 A1 03-06-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23F5/16 B23F21/04
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 443 338 A (HUBER MANFRED [DE] ET AL) 22. August 1995 (1995-08-22) das ganze Dokument	10,11
Y	DE 243 514 C (GEORGE ADAMS) 16. Februar 1912 (1912-02-16) in der Anmeldung erwähnt	1,3,4
A	das ganze Dokument	2,5-18
Y	DE 27 19 524 A1 (DIAMANTSCHLEIBEN APPARATE AG) 1. Dezember 1977 (1977-12-01) Seite 3, Zeile 5 - Seite 4, Zeile 19	1,3,4
A	WO 2010/060733 A1 (PROFILATOR GMBH & CO KG [DE]; HEINEMANN WOLFGANG [DE]; SCHULZ MARIO [D] 3. Juni 2010 (2010-06-03) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Oktober 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/10/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Watson, Stephanie

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/059062

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5443338	A	22-08-1995	CN 1102367 A 10-05-1995
			DE 4323935 C1 06-10-1994
			EP 0654318 A1 24-05-1995
			GB 2280394 A 01-02-1995
			JP 2880407 B2 12-04-1999
			JP 7060542 A 07-03-1995
			US 5443338 A 22-08-1995

DE 243514	C	16-02-1912	KEINE

DE 2719524	A1	01-12-1977	CH 595172 A5 31-01-1978
			DE 2719524 A1 01-12-1977
			JP 52140097 A 22-11-1977

WO 2010060733	A1	03-06-2010	DE 102008037514 A1 06-05-2010
			EP 2364231 A1 14-09-2011
			US 2011268523 A1 03-11-2011
			WO 2010060733 A1 03-06-2010
