



(10) **DE 10 2013 110 130 B4** 2015.10.01

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 110 130.5**  
 (22) Anmeldetag: **13.09.2013**  
 (43) Offenlegungstag: **19.03.2015**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **01.10.2015**

(51) Int Cl.: **B23F 5/20 (2006.01)**  
**B23F 21/12 (2006.01)**  
**B23F 5/16 (2006.01)**  
**B23F 5/18 (2006.01)**

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

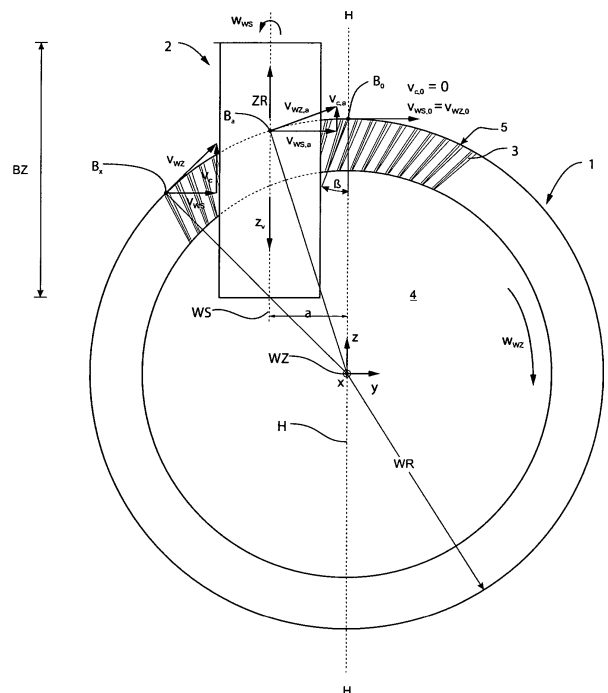
(73) Patentinhaber:  
**Prävema Antriebstechnik GmbH, 37269  
 Eschwege, DE**

(72) Erfinder:  
**Schieke, Jörg, Dipl.-Ing., 99092 Erfurt, DE;  
 Holderbein, Walter, 37269 Eschwege, DE**

(74) Vertreter:  
**COHAUSZ & FLORACK Patent- und  
 Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB,  
 40211 Düsseldorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**EP 2 520 390 A1**  
**EP 2 537 616 A1**

(54) Bezeichnung: **Werkzeug, Verfahren und Maschine zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Wälzschälen**



(57) Hauptanspruch: Werkzeug zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils (VP) an einem Werkstück (2) durch Wälzschälen, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (1) als Kronenrad ausgebildet ist, an dessen Stirnseite eine Verzahnung (SP) mit einem Schneidenprofil (5) vorgesehen ist, das im Gebrauch das Verzahnungsprofil (VP) an dem Werkstück (2) abbildet.

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Werkzeug zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Wälzschälen, ein Verfahren zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Ausführen einer gekoppelten Wälzschälbewegung zwischen einem Wälzschälwerkzeug und dem Werkstück, wobei das Werkzeug um eine Werkzeugachse und das Werkstück um eine Werkstückachse rotiert, sowie eine Maschine zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück mittels Wälzschälen, umfassend ein Wälzschälwerkzeug, einen ersten Drehantrieb zum rotierenden Antreiben des Wälzschälwerkzeugs um eine Werkzeugachse, eine Einspannung zum Halten des Werkstücks und einen zweiten Drehantrieb zum rotierenden Antreiben des jeweiligen in der Einspannung gehaltenen Werkstücks, wobei die Drehantriebe miteinander gekoppelt sind.

**[0002]** Wälzschälen ist ein kontinuierliches spanabhebendes Verfahren zur Herstellung von Verzahnungen. Dieser Fertigungsprozess vereint Wälzfräsen und Stoßen durch kontinuierliches Abwälzen mit axialem Vorschub. Die Wirtschaftlichkeit der Wälzschältechnologie ergibt sich somit daraus, dass sich in kurzer Zeit Verzahnungen neben einer Störkontur herstellen lassen. Störkonturen sind dabei Wangen, Bünde, Absätze und desgleichen, die beim konventionellen Fräsen der dazu erforderlichen Vorschubbewegung im Wege stehen würden. Durch Wälzschälen lassen sich dabei Innen- und Außenverzahnungen fertigen.

**[0003]** Charakteristisch für das Wälzschälen ist die schräge Anordnung der Achsen von Werkzeug und Werkstück. Durch die gekreuzte Achsanordnung entsteht eine Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück. Diese Relativbewegung wird als Schnittbewegung ausgenutzt und hat seine Hauptschnittrichtung entlang der Zahnücke des Werkstücks ("Zahnückenrichtung"). Die Größe der Schnittgeschwindigkeit ist von der jeweiligen Größe des Achskreuzwinkels und von der Drehzahl der Bearbeitungsspindeln abhängig.

**[0004]** Eine detaillierte Darstellung von derzeit üblichen Verfahren zum Herstellen von Verzahnungen durch Wälzschälen findet sich in der EP 2 520 390 A1 und EP 2 537 616 A1, auf die hier zum Nachweis des fachmännischen Verständnisses ausdrücklich Bezug genommen wird.

**[0005]** Um während der Fertigung eines Werkstücks den für die Schnittbewegung erforderlichen Schwenkwinkel zwischen der Werkstück- und der Werkzeugachse in einer Werkzeugmaschine abzubilden, wird bei konventionellen Wälzschälmaschinen zumindest eine Schwenkachse zum relativen

Verschwenken der Werkzeugspindel entgegen der Werkstückdrehachse benötigt.

**[0006]** Die effiziente Planung und Durchführung komplexer Zerspanprozesse, insbesondere bei der Herstellung von Verzahnungen, die eine Vielzahl von simultan zu steuernden Achsen innerhalb einer Werkzeugmaschine erfordern, werden in der fertigungstechnischen Praxis dank leistungsstarker CAM-Systeme (Computer-Aided-Manufacturing) ermöglicht. Mit der Anzahl der für einen Fertigungsprozess innerhalb einer Werkzeugmaschine vorzusehenden Maschinenachsen steigt jedoch auch die Komplexität der bereitzustellenden Werkzeugmaschine. Erhöhte Anforderungen beispielsweise an die Maschinensteifigkeiten, die Mess- und Antriebssysteme oder auch die Maschinensteuerung führen insgesamt zu einer Erhöhung der Maschinen- und der Fertigungsstückkosten. Es wird daher angestrebt, die für einen Fertigungsprozess erforderliche Maschinenkinematik zum Erzeugen der geforderten Werkstückgeometrie auf eine möglichst geringe Anzahl von Maschinenachsen zu beschränken.

**[0007]** Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein Werkzeug, ein Verfahren und eine Maschine anzugeben, die bei vermindertem Fertigungsaufwand die Herstellung eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Wälzschälen ermöglichen.

**[0008]** Die Erfindung hat diese Aufgabe in Bezug auf das Werkzeug dadurch gelöst, dass ein erfindungsgemäßes Werkzeug mindestens die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale besitzt.

**[0009]** In Bezug auf das Verfahren hat die Erfindung die oben genannte Aufgabe dadurch gelöst, dass bei der Herstellung eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück die in Anspruch 8 angegebenen Arbeitsschritte durchlaufen werden.

**[0010]** Schließlich besteht die erfindungsgemäße Lösung der oben genannten Aufgabe in Bezug auf die Maschine darin, dass eine solche Maschine zum Wälzfräsen die in Anspruch 12 angegebenen Merkmale aufweist.

**[0011]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend wie der allgemeine Erfindungsgedanke im Einzelnen erläutert.

**[0012]** Ein erfindungsgemäßes Werkzeug zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Wälzschälen ist demnach als Kronenrad ausgebildet, an dessen Stirnseite ein Schneidenprofil vorgesehen ist, das im Gebrauch das Verzahnungsprofil an dem Werkstück abbildet.

**[0013]** Bei einem erfindungsgemäßen Werkzeug erhebt sich folglich an einer Stirnseite eines Werkzeuggrundkörpers in axialer Richtung eine Verzahnung mit einem Schneidenprofil, das im Wälzschälbetrieb mit einer Schneidfläche in das jeweilige Werkstück eintaucht und dort unter Abschälen von Spänen das jeweilige Verzahnungsprofil freilegt. Bei dem Werkzeuggrundkörper kann es sich beispielsweise um einen Ring oder eine Scheibe handeln, die mit einem geeignet geformten Halterabschnitt verkoppelt oder mit einem anderen geeigneten Koppelglied versehen ist, über den oder das im Gebrauch die Ankopplung des Werkzeugs an eine Werkzeugspindel einer Werkzeugmaschine erfolgt. Typischerweise sind bei dem erfindungsgemäßen Werkzeug der Grundkörper und der Halteabschnitt aus einem Stück geformt, wobei am freien Ende des Halteabschnitts ein Koppelabschnitt ausgebildet ist, über den eine formschlüssige und drehmomentfeste Ankopplung an die Werkzeugspindel der jeweiligen Wälzschälmaschine erfolgen kann.

**[0014]** Die an einem erfindungsgemäßen Werkzeug vorgesehene, das jeweilige Schneidenprofil stützende Verzahnung kann eine Planverzahnung, insbesondere eine planseitige Verzahnung sein, bei der die einzelnen Zähne ausgehend von einem gedachten gemeinsames Zentrum in radialer Richtung ausgerichtet sind. In praxisgerechter Ausführung ist die Verzahnung nach Art eines Rings kreisrund umlaufend in einem Randbereich der Stirnseite des Werkzeugs ausgebildet.

**[0015]** Die Spanflächen des Schneidenprofils eines erfindungsgemäßen Werkzeugs sind dabei optimaler Weise an den außenumfangsseitigen Stirnseiten der Zähne der Verzahnung vorhanden. Die nach außen orientierten Spanflächen begünstigen hier eine sichere Spanabfuhr, da der Spanraum in Spanrichtung nicht durch die umliegenden Werkzeugschneiden begrenzt ist. Das Werkzeug neigt somit nicht dazu, mit Spänen zugesetzt zu werden, wodurch die Schneiden des Schneidenprofils beschädigt werden könnten.

**[0016]** Die Verzahnung eines erfindungsgemäßen Werkzeugs kann in radialer Richtung einen Schrägungswinkel nach Art einer Schrägverzahnung aufweisen. Die Verzahnung wird in diesem Fall optimalerweise so ausgebildet, dass es über seine Profildicke während des Wälzschälens zu wenigstens einem Zeitpunkt entlang der Zahnlückenrichtung, bei einer zu erzeugenden Gradverzahnung also bei einem Eingriff in das Werkstück zu mindestens einem Zeitpunkt parallel zur Werkstückdrehachse ausgerichtet ist. Auch kann die Verzahnung ausgehend von den Spanflächen des Schneidenprofils über die Profildicke verjüngt sein. Auf diese Weise können sogenannte konstruktive Freiwinkel erzeugt werden, die einen kollisionsfreien Schneideneingriff im Bereich

der Freiflächen sicherstellen. Um diese Wirkung zu unterstützen, können alternativ oder ergänzend sowohl die Profilhöhe als auch die Profildicke der Zähne der Verzahnung des erfindungsgemäßen Werkzeugs ausgehend von den jeweiligen Spanflächen des Schneidenprofils in Richtung der Drehachse abnehmen.

**[0017]** Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem um eine Werkstückachse rotierenden Werkstück durch Ausführen einer gekoppelten Wälzschälbewegung zwischen einem um eine Werkzeugachse rotierenden Wälzschälwerkzeug und dem Werkstück wird erfindungsgemäß ein erfindungsgemäßes Werkzeug eingesetzt, wobei die Werkzeugachse und die Werkstückachse nach Art der Drehachsen eines Winkelgetriebes einander unter einem Achskreuzwinkel kreuzend zueinander ausgerichtet werden und gleichzeitig ein Achsversatz zwischen der Werkstückachse und der Werkzeugachse vorgesehen wird, um eine Schnittgeschwindigkeitskomponente in Zahnlückenrichtung des zu erzeugenden Verzahnungsprofils zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug zu bewirken.

**[0018]** Wenn hier von einem Achsversatz zwischen einem Werkzeug und einem Werkstück gesprochen wird, so ist dieser Achsversatz mit dem Achsversatz vergleichbar, der bei einem Kegelradgetriebe oder Kronenradgetriebe üblicherweise verwirklicht wird. Liegt kein Achsversatz vor, so schneiden sich die Drehachsen von Werkzeug und Werkstück in einem Punkt. Im Fall eines Achsversatzes, wie er von der Erfindung vorgeschrieben wird, schneiden sich die Drehachsen von Werkzeug und Werkstück jedoch nicht. Der zwischen ihnen bestehende Achskreuzwinkel kann dann nur dadurch ermittelt werden, dass die Drehachse des Werkstücks in eine Ebene projiziert wird, in der die Drehachse des Werkzeugs liegt, oder umgekehrt. Die kürzeste Strecke zwischen der jeweiligen Ebene und der davon entfernt angeordneten Drehachse wird als "Achsversatz" bezeichnet. Der Achskreuzwinkel zwischen der Werkstück- und der Werkzeugachse in einer Projektion der Achsen auf die ursprünglich von den Achsen aufgespannte Ebene, die einer Betrachtung der Achsen entlang des durch den Achsversatz ausgebildeten Gemeinlots entspricht, bleibt dabei durch den Achsversatz unbeeinflusst.

**[0019]** Durch den Achsversatz entsteht zwischen den abwälzenden Zahnflanken von Schneidenprofil und zu erzeugendem Verzahnungsprofil eine zusätzliche Gleitbewegung in Zahnlückenrichtung. Diese Gleitbewegung wird beim erfindungsgemäßen Wälzschälverfahren zum Erzeugen der Schnittgeschwindigkeit ausgenutzt. Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren wird der für die Spanbildung erforderliche Schubanteil der Relativbewegung von Schneidenpro-

fil und zu erzeugendem Verzahnungsprofil in Zahn-  
lückenrichtung nicht aus einem gegenseitigen Ver-  
schwenken von Werkzeug- und Werkstückachse er-  
zielt, sondern ist dem Prozess durch die Vorgabe ei-  
nes Achsversatzes aufgeprägt. Je größer der Achs-  
versatz zwischen der Werkzeug- und der Werkstück-  
achse ist, umso größer ist die Schnittgeschwindigkeit  
bzw. der translatorische Gleitanteil entlang der Zahn-  
flanke, der an der Schneidkante aus der Werkzeug-  
rotation in eine Schnittbewegung in Zahnlückenrich-  
tung umgesetzt wird.

**[0020]** Bei dem erfindungsgemäßen Wälzschälver-  
fahren zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils an  
einem Werkstück kann folglich auf ein Verschwen-  
ken der Spindelachse relativ zur Rotationsachse des  
Werkstücks verzichtet werden. Demgemäß kann das  
Verfahren auf einer Werkzeugmaschine durchgeführt  
werden, die keine Schwenkachse zum Verschwen-  
ken der Spindelachse entgegen der Werkstückach-  
se umfasst, sondern lediglich eine translatorische  
Positionierung der Spindelachse relativ zur Werk-  
stückdrehachse vorsieht. Mit den reduzierten Anfor-  
derungen an die bereitzustellende Werkzeugmaschi-  
ne können durch das erfindungsgemäße Verfahren  
die Maschinenkosten und dementsprechend auch  
die Fertigungsstückkosten im Vergleich zu den vor-  
bekannten Wälzschälverfahren gesenkt werden. Mit  
der Erfindung steht somit ein Verfahren zur Verfü-  
gung, das auf besonders einfache und kostengüns-  
tige Weise das Fertigen einer Verzahnung im Wälz-  
schälverfahren ermöglicht.

**[0021]** Die voranstehend zum erfindungsgemäßen  
Verfahren erläuterten Wirkungsweisen und Vorteile  
gelten in gleichem Maße für eine erfindungsgemäße  
Vorrichtung, die derart ausgerüstet und beschaffen  
ist, dass mit ihr das erfindungsgemäße Wälzschälen  
durchgeführt werden kann. Dementsprechend um-  
fasst eine erfindungsgemäße Maschine zum Erzeu-  
gen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück  
mittels Wälzschälen ein Wälzschälwerkzeug, einen  
ersten Drehantrieb zum rotierenden Antreiben des  
Wälzschälwerkzeugs um eine Werkzeugachse, eine  
Einspannung zum Halten des Werkstücks und  
einen zweiten Drehantrieb zum rotierenden Antrei-  
ben des jeweiligen in der Einspannung gehaltenen  
Werkstücks, wobei die Drehantriebe miteinander ge-  
koppelt sind. Erfindungsgemäß ist bei einer solchen  
Maschine das Werkzeug in erfindungsgemäßer Wei-  
se ausgebildet, wobei die Werkzeugachse und die  
Werkstückachse nach Art der Drehachsen eines Win-  
kelgetriebes einander unter einem Achskreuzwin-  
kel kreuzend zueinander ausgerichtet sind und ein  
Achsversatz zwischen der Werkstückachse und der  
Werkzeugachse vorgesehen ist, um eine Schnitt-  
geschwindigkeitskomponente in Zahnlückenrichtung  
des zu erzeugenden Verzahnungsprofils zwischen  
dem Werkstück und dem Werkzeug zu bewirken.

**[0022]** Bei Nutzung der voranstehend erläuterten  
oder anderen Möglichkeiten zur Schaffung eines  
"konstruktiven Freiwinkels" kann bei einer erfin-  
dungsgemäßen Maschine oder bei der Durchführung  
des erfindungsgemäßen Verfahrens der zwischen  
Werkzeug- und Werkstückachse vorgesehene Achs-  
kreuzwinkel  $90^\circ$  betragen. Bei einer Ausrichtung der  
Achsen unter einem rechten Winkel, ist die Vorschub-  
bewegung entlang der Zahnflanke besonders einfach  
abbildbar und kann über eine einzige lineare Maschi-  
nenachse ausgeführt werden.

**[0023]** Jedoch ist es auch möglich, durch Vorgabe  
eines von  $90^\circ$  abweichenden, beispielsweise im Be-  
reich von  $85-95^\circ$ , insbesondere  $85^\circ$  bis  $< 90^\circ$  liegen-  
den Achskreuzwinkels zwischen dem Werkzeug und  
dem Werkstück einen Neigungswinkel zum Erzeugen  
von kinematischen Freiwinkeln während des Wälz-  
schälens einzustellen.

**[0024]** Der mit der Herstellung und dem Betrieb einer  
erfindungsgemäßen Maschine verbundene steue-  
rungs- und herstellungstechnische Aufwand kann da-  
durch minimiert werden, dass der Achskreuzwin-  
kel entsprechend einem zuvor ermittelten optimalen  
Winkel fest eingestellt wird.

**[0025]** In einer Variante des erfindungsgemäßen  
Verfahrens weist das Werkzeug austauschbare  
Schneideneinsätze auf. Insbesondere bei der Ver-  
wendung von Hartmetall als Schneidstoff kann der  
erforderliche Hartmetalleinsatz im Gegensatz zu ei-  
nem einstückigen Werkzeug reduziert und damit die  
Werkzeugkosten gesenkt werden.

**[0026]** Das erfindungsgemäße Wälzschälverfahren  
eignet sich insbesondere für die Fertigung von ger-  
ad- oder schrägverzahnten Bauteilen, wie Zylinder-  
rädern oder dergleichen. So können beispielsweise  
auch Ritzelwellen, Keilwellenverbindungen, Riemen-  
scheiben oder Schiebemuffen und dergleichen mit  
dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt werden.

**[0027]** Selbstverständlich können mit dem erfin-  
dungsgemäßen Wälzschälverfahren auch die be-  
kannten Zahnflankenmodifikationen, wie z. B. Hö-  
hen- oder Breitenballigkeiten und Kopf- oder Fuß-  
rücknahmen etc., durch eine Anpassung der Pro-  
zesskinematik oder des Schneidprofils erzielt wer-  
den.

**[0028]** Weiterhin ist es vorteilhaft, Schwenkbewe-  
gungen zu vermeiden und die Vorschub- und Rela-  
tivbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück  
vorzugsweise durch lineare Maschinenachsen abzu-  
bilden, da diese in einfacher Weise eine hohe Posi-  
tioniergenauigkeit gewährleisten.

**[0029]** Zur Bearbeitung des Werkstücks über die vol-  
le Zahnbreite des jeweils zu erzeugenden Verzah-

nungsprofils kann das erfindungsgemäße Werkzeug entlang einer Bewegungsachse bewegt werden, die achsparallel zur Werkstückdrehachse ausgerichtet ist. Zu diesem Zweck kann eine erfindungsgemäße Maschine mit einem entsprechenden Vorschubantrieb ausgestattet sein.

**[0030]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

**[0031]** Fig. 1 ein Werkzeug und ein zylindrisches Werkstück im Wälzschälbetrieb in einer Draufsicht;

**[0032]** Fig. 2 das Werkzeug und das Werkstück gemäß Fig. 1 in einer seitlichen Ansicht;

**[0033]** Fig. 3a–Fig. 3j Momentaufnahmen des Eingriffs einer Werkzeugschneide beim Erzeugen eines Verzahnungsprofils an einem Werkstück durch Wälzschälen in seitlicher Ansicht.

**[0034]** Die Fig. 1 und Fig. 2 zeigen eine vereinfachte Darstellung eines nach Art eines Kronenrads ausgebildeten Werkzeugs **1** und eines zylinderförmigen Werkstücks **2** in einer Momentaufnahme des erfindungsgemäßen Wälzschälverfahrens.

**[0035]** Zur Veranschaulichung der Eingriffbeziehungen und der relativen Achslagen wird ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem  $(x, y, z)$  eingeführt, wobei die Werkzeugdrehachse WZ koaxial zur x-Koordinate ausgerichtet ist. Die Werkstückdrehachse WS verläuft dagegen parallel zu einer von der x- und z-Achse aufgespannten Hilfsebene H und ist mit einem Achsversatz  $a$  zu dieser Hilfsebene H positioniert. Der Achsversatz  $a$  entspricht in dem hier beschriebenen Beispiel etwa einem Viertel des Werkzeugradius WR.

**[0036]** In dem hier dargestellten Beispiel wird an dem Werkstück **1** durch Wälzschälen eine Geradzahnung erzeugt. Die Zahnflächenrichtung ZR verläuft dabei parallel zur Werkstückdrehachse WS.

**[0037]** Das Werkzeug **1** und das Werkstück **2** führen zueinander eine kontinuierliche Teilungsbewegung aus. Die Werkzeugrotation  $\omega_{WZ}$  um die x-Achse und die Werkstückrotation  $\omega_{WS}$  um die Werkzeugdrehachse WS sind dabei entsprechend dem Zähnezahlnverhältnis von Werkzeug **1** und Werkstück **2** gekoppelt.

**[0038]** Die in Fig. 1 dargestellten Geschwindigkeitsvektoren  $v_c, v_{WZ}, v_{WS}$  veranschaulichen schematisch, wie durch den Achsversatz  $a$  zwischen dem Werkstück **2** und dem Werkzeug **1**, bzw. ihren jeweiligen Rotationsachsen WS, WZ, eine Schnittgeschwindigkeitskomponente  $v_c$  entlang der Zahnflächenrichtung ZR des zu erzeugenden Verzahnungsprofils VP ent-

steht. Dabei bilden die Geschwindigkeitsvektoren  $v_c, v_{WZ}, v_{WS}$  beispielhaft die jeweiligen Umfangsgeschwindigkeiten von Werkzeug  $v_{WZ}$  und Werkstück  $v_{WS}$  in einem Berührungspunkt B zwischen einer Werkzeugschneide **3** und einer Zahnfläche ab.

**[0039]** Würde kein Achsversatz  $a$  ( $a = 0$ ) zwischen dem Werkzeug **1** und dem Werkstück **2** bestehen, so wären im Berührungspunkt  $B_0$  die Umfangsgeschwindigkeit  $v_{WZ,0}$  des Werkzeugs **1** und die Umfangsgeschwindigkeit  $v_{WS,0}$  des Werkstücks **2** gleich. Es würde sich dann keine Relativbewegung  $v_c$  in Zahnflächenrichtung ZR zwischen Werkzeug **1** und Werkstück **2** ergeben.

**[0040]** Die beim Wälzschälen mit erfindungsgemäß um einen Achsversatz  $a$  achsversetztem Werkzeug **1** und Werkstück **2** sich ergebenden Schneidbedingungen lassen sich anhand des Berührungspunkts  $B_a$  erläutern. Die Umfangsgeschwindigkeiten  $v_{WS,a}, v_{WZ,a}$  von Werkstück **2** und Werkzeug **1** sind in diesem Fall nicht deckungsgleich, so dass sich hier eine Schnittgeschwindigkeitskomponente  $v_{c,a}$  entlang der Zahnflächenrichtung ZR ergibt.

**[0041]** Anhand des in Drehrichtung des Werkzeugs **1** vor dem Berührungspunkt  $B_a$  liegenden Berührungspunkts  $B_x$  wird deutlich, dass der Anteil, der aus der Umfangsgeschwindigkeit  $v_{WZ}$  an einem Schneidpunkt in eine Schubbewegung bzw. eine Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  in Zahnflächenrichtung ZR umgesetzt wird, mit steigendem Achsversatz  $a$  zunimmt. Der maximal zulässige Achsversatz  $a$  ist hier insbesondere durch die notwendigen Frei- und Spanwinkel im Bereich der Werkzeugschneide **3** beschränkt.

**[0042]** Zur Bearbeitung des Werkstücks **2** über dessen volle Zahnbreite BZ bzw. der Werkstücklänge ist ein Axialvorschub  $z_v$  achsparallel zur Werkstückachse WS und parallel zur Hilfsebene H vorgesehen. Die Richtung des Axialvorschubs  $z_v$  ist beliebig, kann also auch gegenüber dem in der Figur dargestellten Axialvorschub  $z_v$  umgekehrt werden.

**[0043]** Wie in Fig. 1 angedeutet ist das Werkzeug **1** nach Art eines Kronenrads mit einer Verzahnung SP mit Zähnen **3** ausgebildet, die in einem an den Außenumfang der Planseite **4** des Werkzeugs **1** angrenzenden Randbereich ringförmig um die Planseite **4** umläuft. Mit ihren außenumfangsseitigen Stirnseiten ihrer Zähne **3** bildet die Verzahnung SP ein Schneidprofil, zu dem jeder Zahn an seiner Stirnfläche eine Spanfläche beiträgt.

**[0044]** Wie in Fig. 1 ebenfalls vereinfacht dargestellt, weisen die Zähne **3** der Verzahnung SP die für ein Kronenrad typische Flankenform mit einem von außen nach innen abnehmenden „Eingriffswinkel“ auf, wobei die Flanken in diesem Fall die Freiflächen des Werkzeugs **2** darstellen. Die Zähne **3** sind hier nur

angedeutet und an dem Werkzeug **1** selbstverständlich über den gesamten Werkzeugumfang verteilt angeordnet.

**[0045]** Um die notwendigen Freiwinkel für den Wälzschälprozess vorzusehen weist die Verzahnung SP in radialer Richtung einen Schrägungswinkel  $\beta$  nach Art einer Schrägverzahnung auf. Der Schrägungswinkel  $\beta$  ist unter Berücksichtigung des vorgegebenen Achsversatzes  $a$  so zu gestalten, dass es während des Spanabtrags nicht zu einer Kollision zwischen Werkzeug **1** und Werkstück **2** im Bereich der Freiflächen kommt. Der Schrägungswinkel  $\beta$  kann so gestaltet sein, dass die Verzahnung SP der Zähne **3** über seiner Profildicke während des Wälzschälens zu wenigstens einem Zeitpunkt entlang der Zahnlückenrichtung ZR ausgerichtet ist. So kann der Schrägungswinkel  $\beta$  beispielsweise dem von den Geschwindigkeitsvektoren von Werkstück  $v_{WZ,a}$  und Werkzeug  $v_{WS,a}$  eingeschlossenen Winkel entsprechen.

**[0046]** Zudem sind die Zähne **3** der Verzahnung SP ausgehend von ihrer dem Außenumfang zugeordneten stirnseitigen Spanfläche über der Profildicke in radialer Richtung auf die Werkzeughrehachse WZ zulaufend verjüngt. Gleichzeitig nehmen sowohl die Profilhöhe als auch die Profildicke der Zähne **3** vom äußeren Werkzeugumfang in Richtung der Werkzeughrehachse WZ ab.

**[0047]** Der Achskreuzwinkel  $\Sigma$  zwischen der Werkstückdrehachse WS und der Werkzeughrehachse WZ beträgt beim hier beschriebenen Ausführungsbeispiel fest eingestellt  $90^\circ$ . Um während des Wälzschälens kinematische Freiwinkel relativ zu den Freiflächen des Werkzeugs **1** zu erzeugen, kann der Achskreuzwinkel  $\Sigma$  von  $90^\circ$  verschieden sein, so dass sich eine Neigung zwischen dem Werkzeug **1** und dem Werkstück **2** ergibt. Vorzugsweise wird jedoch auf eine solche Neigung verzichtet. Sofern ein von  $90^\circ$  abweichender Achskreuzwinkel  $\Sigma$  vorgesehen wird, sollte dieser gering sein. Eine solche geringe Neigung des Werkzeugs **1** oder des Werkstücks **2** entgegen ihrer  $90^\circ$ -Orientierung hat jedoch keinen maßgeblichen Einfluss auf die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  des Werkzeugs **1** in Zahnlückenrichtung ZR. Die Neigung betrifft lediglich die Änderung des Achskreuzwinkels  $\Sigma$ , so dass die Werkstückdrehachse WS weiterhin parallel zur Hilfsebene H erstreckt ist.

**[0048]** In den Fig. 3a–Fig. 3j kann anhand des Zahns Z1 des an dem Werkstück **2** zu erzeugenden Verzahnungsprofils VP nachvollzogen werden, wie dieser Zahn Z1 durch das am Werkzeug **1** vorhandene, durch die Zähne **3** der Verzahnung SP gebildete Schneidenprofil **5** erzeugt wird.

**[0049]** Die Erzeugung des Verzahnungsprofils VP erfolgt dabei in mehreren Durchläufen, wobei das

Werkzeug **1** nach jedem Durchlauf in Richtung der Werkstückachse WS entlang einer Zustellachse, die koaxial zur Werkzeugachse WZ ausgerichtet ist, zugestellt wird, bis das Verzahnungsprofil VP vollständig fertig gestellt ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Werkzeug
<b>2</b>	Werkstück
<b>3</b>	Zahn der Verzahnung SP
<b>4</b>	Planseite
<b>5</b>	Schneidenprofil an der Verzahnung SP
$\beta$	Schrägungswinkel
$\omega_{WS}$	Werkstückrotation
$\omega_{WZ}$	Werkzeugrotation
$a$	Achsversatz
$B, B_a, B_o, B_x$	Berührungspunkte
<b>BZ</b>	Zahnbreite
<b>H</b>	Hilfsebene
<b>SP</b>	Verzahnung
$v_c$	Schnittgeschwindigkeitskomponente entlang der Zahnlückenrichtung ZR
$v_{c,a}$	Schnittgeschwindigkeit entlang der Zahnlückenrichtung ZR im Berührungspunkt $B_a$
$v_{c,x}$	Schnittgeschwindigkeit entlang der Zahnlückenrichtung ZR im Berührungspunkt $B_x$
<b>VP</b>	Verzahnungsprofil
$v_{WS}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks <b>2</b>
$v_{WZ}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs <b>1</b>
$v_{WZ,0}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs <b>1</b> im Berührungspunkt $B_o$
$v_{WS,0}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks <b>2</b> im Berührungspunkt $B_o$
$v_{WZ,a}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs <b>1</b> im Berührungspunkt $B_a$
$v_{WS,a}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks <b>2</b> im Berührungspunkt $B_a$
$v_{WZ,x}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs <b>1</b> im Berührungspunkt $B_x$
$v_{WS,x}$	Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks <b>2</b> im Berührungspunkt $B_x$
<b>WR</b>	Werkzeugradius
<b>WS</b>	Werkstückdrehachse

<b>WZ</b>	Werkzeughrehachse
<b>Z1</b>	Zahn
<b>ZR</b>	Zahnlückenrichtung
<b>z<sub>v</sub></b>	Axialvorschub

### Patentansprüche

1. Werkzeug zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils (VP) an einem Werkstück (2) durch Wälzschälen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug (1) als Kronenrad ausgebildet ist, an dessen Stirnseite eine Verzahnung (SP) mit einem Schneidenprofil (5) vorgesehen ist, das im Gebrauch das Verzahnungsprofil (VP) an dem Werkstück (2) abbildet.

2. Werkzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schneidenprofil (5) am Außenumfang der Verzahnung (SP) ausgebildet ist.

3. Werkzeug nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verzahnung (SP) ringförmig in einem dem Außenumfang der Stirnseite zugeordneten Randbereich des Werkzeugs (1) ausgebildet ist.

4. Werkzeug nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verzahnung (SP) nach Art einer Schrägverzahnung ausgebildet ist.

5. Werkzeug nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verzahnung (SP) bei einem Eingriff in das Werkstück (1) zu mindestens einem Zeitpunkt parallel zur Werkstückdrehachse (WS) ausgerichtet ist.

6. Werkzeug nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verzahnung (SP) ausgehend von der Spanfläche (5) über der Profildicke verjüngt ist.

7. Werkzeug nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Profilhöhe und die Profildicke der Verzahnung (SP) ausgehend von der Spanfläche (5) in Richtung der Werkzeugachse (WZ) abnehmen.

8. Verfahren zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils (VP) an einem Werkstück (2) durch Ausführen einer gekoppelten Wälzschälbewegung zwischen einem Wälzschälwerkzeug (1) und dem Werkstück (2), wobei das Werkzeug (1) um eine Werkzeughrehachse (WZ) und das Werkstück (2) um eine Werkstückdrehachse (WS) rotiert, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist, dass die Werkzeughrehachse (WZ) und die Werkstückdrehachse (WS) nach Art der Drehachsen eines Winkelgetriebes einander unter einem Achskreuzwinkel ( $\Sigma$ ) kreuzend zueinander ausgerichtet werden und dass ein Achs-

versatz (a) zwischen der Werkstückdrehachse (WS) und der Werkzeughrehachse (WZ) vorgesehen wird, um eine Schnittgeschwindigkeitskomponente ( $v_c$ ) in Zahnlückenrichtung (ZR) des zu erzeugenden Verzahnungsprofils (VP) zwischen dem Werkstück (2) und dem Werkzeug (1) zu bewirken.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Achskreuzwinkel ( $\Sigma$ ) zwischen der Werkzeughrehachse (WZ) und der Werkstückdrehachse (WS) 85–95° beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Achskreuzwinkel ( $\Sigma$ ) zwischen der Werkzeughrehachse (WZ) und der Werkstückdrehachse (WS) 90° beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (2) und das Werkzeug (1) in einer achsparallel zur Werkstückdrehachse (WS) gerichteten Bewegungsrichtung relativ zueinander bewegt werden.

12. Maschine zum Erzeugen eines Verzahnungsprofils (VP) an einem Werkstück (2) mittels Wälzschälen, umfassend ein Wälzschälwerkzeug (1), einen ersten Drehantrieb zum rotierenden Antreiben des Wälzschälwerkzeugs (1) um eine Werkzeughrehachse (WZ), eine Einspannung zum Halten des Werkstücks (2) und einen zweiten Drehantrieb zum rotierenden Antreiben des jeweiligen in der Einspannung gehaltenen Werkstücks (2), wobei die Drehantriebe miteinander gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist, dass die Werkzeughrehachse (WZ) und die Werkstückdrehachse (WS) nach Art der Drehachsen eines Winkelgetriebes einander unter einem Achskreuzwinkel ( $\Sigma$ ) kreuzend zueinander ausgerichtet sind und dass ein Achsversatz (a) zwischen der Werkstückdrehachse (WS) und der Werkzeughrehachse (WZ) vorgesehen ist, um eine Schnittgeschwindigkeitskomponente ( $v_c$ ) in Zahnlückenrichtung (ZR) des zu erzeugenden Verzahnungsprofils (VP) zwischen dem Werkstück (2) und dem Werkzeug (1) zu bewirken.

13. Maschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Vorschubeinrichtung ( $z_v$ ) umfasst, die während des Wälzschälbetriebs eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück (2) und dem Werkzeug (2) entlang einer achsparallel zur Werkstückdrehachse (WS) ausgerichteten Bewegungsachse bewirkt.

14. Maschine nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Achskreuzwinkel ( $\Sigma$ ) fest eingestellt ist.

15. Maschine nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Einrich-

tung zum Zustellen des Werkzeugs (1) entlang einer achsparallel zur Werkzeugachse (WZ) ausgerichteten Zustellachse umfasst.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

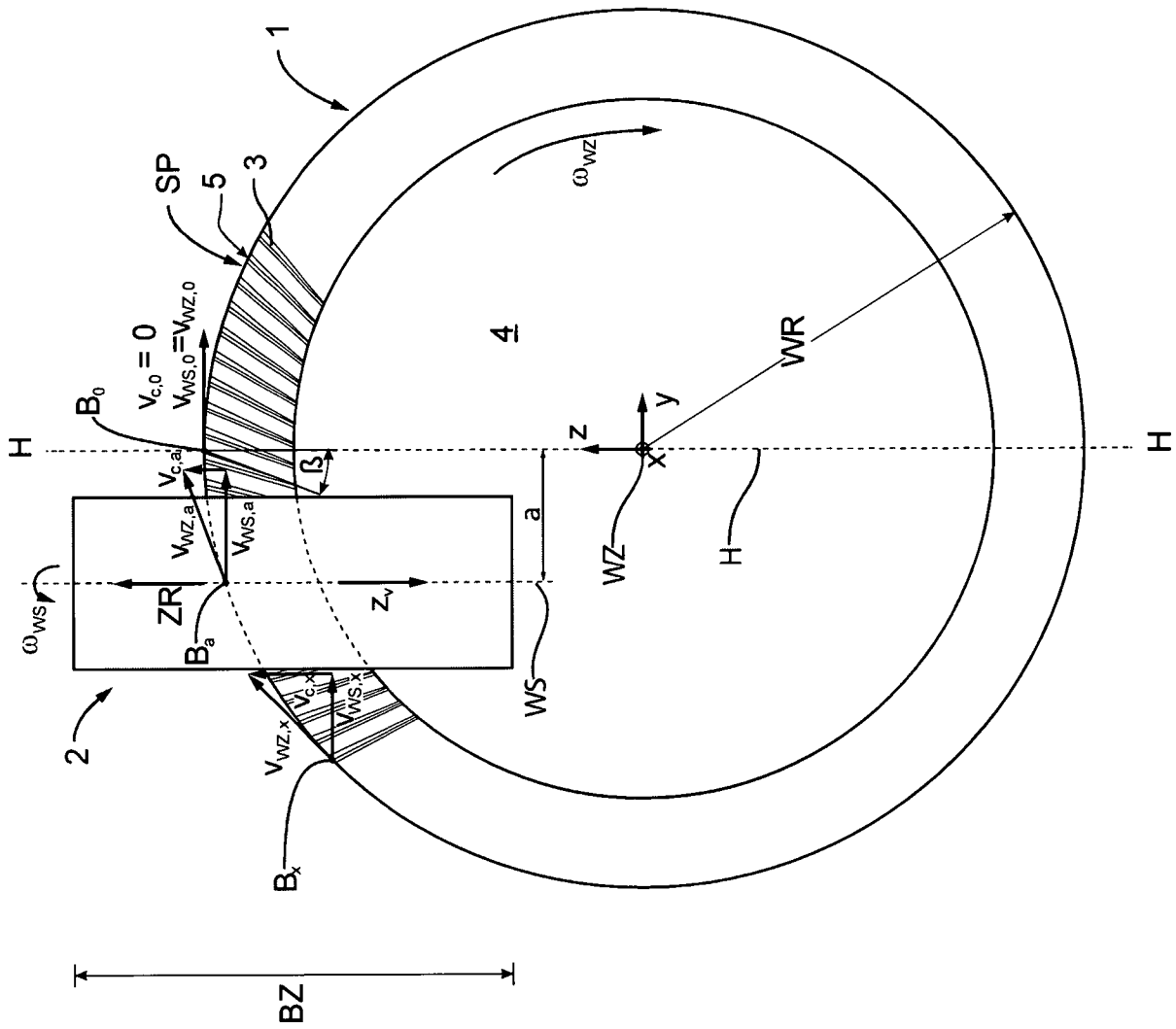


Fig. 1

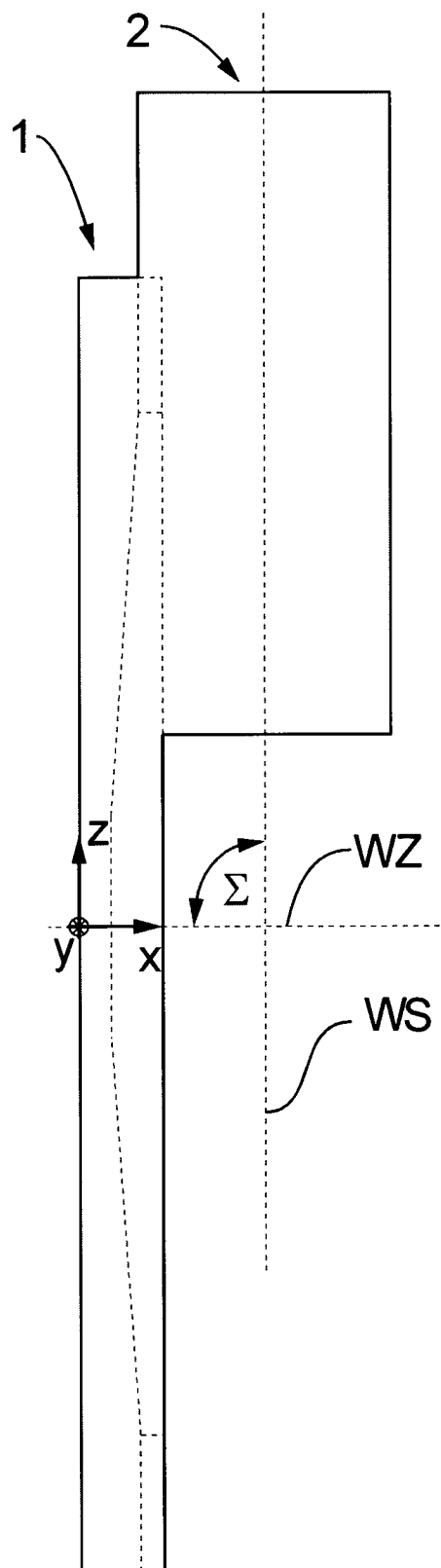


Fig. 2

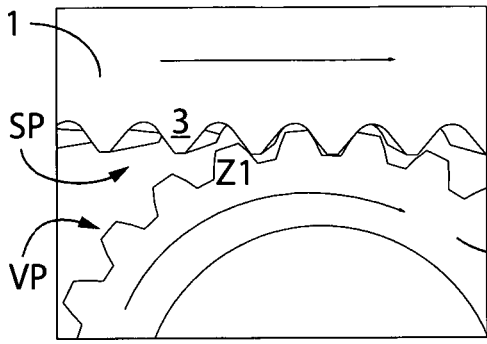


Fig. 3a

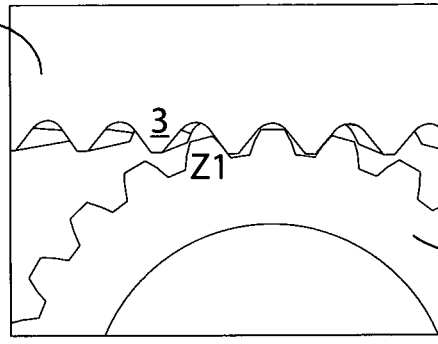


Fig. 3b

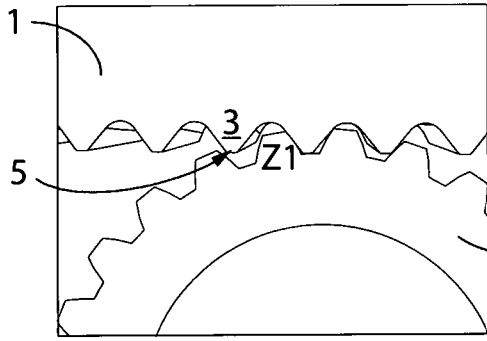


Fig. 3c

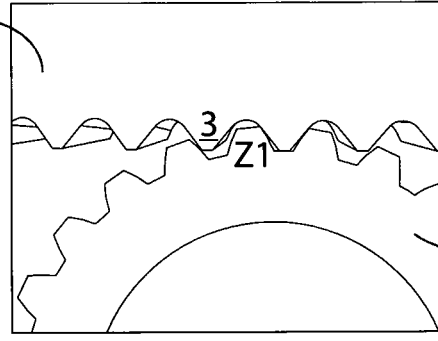


Fig. 3d

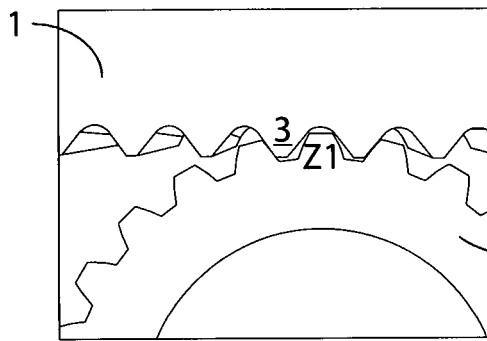


Fig. 3e

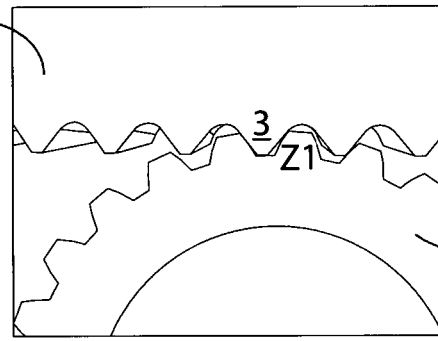


Fig. 3f

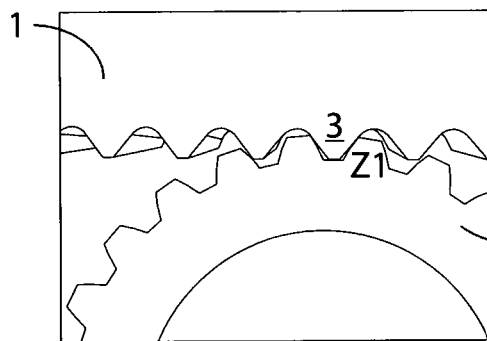


Fig. 3g

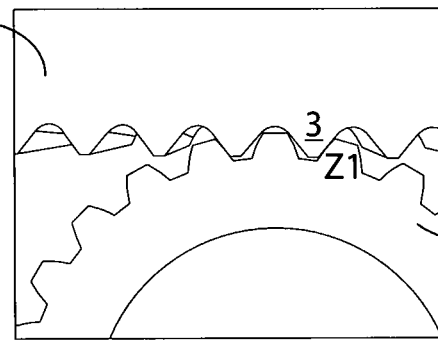


Fig. 3h

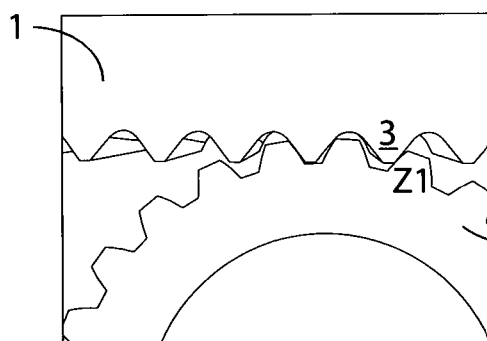


Fig. 3i

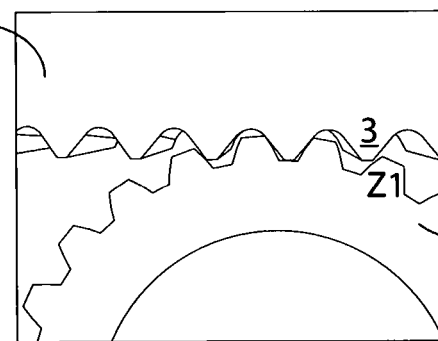


Fig. 3j