



(11) **EP 2 665 574 B9**

(12) **KORRIGIERTE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(15) Korrekturinformation:
Korrigierte Fassung Nr. 1 (W1 B1)
Korrekturen, siehe
Beschreibung Abschnitt(e) 26

(51) Int Cl.:
B23F 5/16 (2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/000249

(48) Corrigendum ausgegeben am:
05.04.2017 Patentblatt 2017/14

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/098002 (26.07.2012 Gazette 2012/30)

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
28.12.2016 Patentblatt 2016/52

(21) Anmeldenummer: **12700793.8**

(22) Anmeldetag: **19.01.2012**

(54) **VERFAHREN DES WÄLZSCHÄLENS ODER HARTSCHÄLENS EINES WERKSTÜCKES UND
DAZU AUSGELEGTE WERKZEUGMASCHINE**

METHOD FOR MACHINING A WORKPIECE AND MACHINE TOOL DESIGNED THEREFOR

PROCÉDÉ D'USINAGE D'UNE PIÈCE PAR ENLÈVEMENT DE COPEAUX, ET MACHINE-OUTIL
MISE AU POINT À CETTE FIN

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(74) Vertreter: **Leinweber & Zimmermann**
Rosental 7, II. Aufgang
80331 München (DE)

(30) Priorität: **20.01.2011 DE 102011009027**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102008 037 514 DE-C- 243 514

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.11.2013 Patentblatt 2013/48

(73) Patentinhaber: **Gleason-Pfauter Maschinenfabrik
GmbH**
71636 Ludwigsburg (DE)

- **KLOCKE ET AL: "HARD GEAR FINISHING WITH
A GEOMETRICALLY DEFINED CUTTING EDGE",
GEAR TECHNOLOGY, RANDALL PUBLISHING
CO. ELK GROVE, ILLINOIS, US, Bd. 16, Nr. 6, 1.
November 1999 (1999-11-01), Seiten 24-29,
XP000873761, ISSN: 0743-6858**
- **LINDBERG ROY A ED - LINDBERG ROY A:
"Processes and Materials of Manufacture, The
Milling Process", 1. Januar 1990 (1990-01-01),
PROCESSES AND MATERIALS OF
MANUFACTURE, ALLYN AND BACON,
MASSACHUSETTS, PAGE(S) 326, XP002665752,
ISBN: 978-0-205-11817-5 das ganze Dokument**

(72) Erfinder:
• **SCHWEIKER, Helmut**
71711 Steinheim an der Murr (DE)
• **VOGEL, Andreas**
3208 Gurbrü (CH)
• **BROGNI, Johannes**
3293 Dotzigen (CH)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 665 574 B9

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Wälzschäl- oder Hartschälverfahren zum spanenden Bearbeiten eines um eine Werkstückachse drehend angetriebenen verzahnten Werkstückes, bei dem man ein um eine in radialer Achsabstandsrichtung von der Werkstückachse beabstandete Werkzeugachse drehend angetriebenes, verzahntes und mit einer an einer Stirnkante seiner Zähne gebildeten Schneide versehenes Bearbeitungswerkzeug in Form eines Schälrades unter einem Achskreuzwinkel zwischen den beiden Drehachsen in Wälzeingriff mit dem Werkstück bringt, in dem die Schneide in einer werkstückachsenparallelen Komponente aufweisenden Schneidbewegung Material vom Werkstück abträgt, und man das Bearbeitungswerkzeug zur Bearbeitung des Werkstückes über eine gewünschte axiale Erstreckung hinweg zusätzlich eine Vorschubbewegung mit einer werkstückachsenparallelen Komponente ausführen läßt, sowie eine für ein solches Bearbeitungsverfahren ausgelegte Werkzeugmaschine.

[0002] Spanende Bearbeitungsverfahren mit einer solchen Kinematik der beteiligten Maschinenachsen sind seit mehr als hundert Jahren bekannt (DE 243 514). Dazu gehört beispielsweise das Wälzschälen eines außen- oder innenverzahnten zylindrischen Werkrades mit einem Schälrad. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich konkret auf dieses Beispiel, gelten aber, soweit anwendbar, durchaus auch für das Hartschälen.

[0003] Das Wälzschälen läßt sich wie das bekanntere Wälzfräsen in die Gruppe der spanenden Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide einordnen. Im Gegensatz zum Wälzfräsen, bei dem dem Bearbeitungsprozeß als Vorbild aus der Antriebstechnik ein Schneckenradgetriebe dient, ist für das Wälzschälen als Vorbild das Schraubradgetriebe heranziehbar, das durch eine windschiefe Anordnung der Drehachsen von Werkrad und Schälrad charakterisiert ist. In diesem Zusammenhang wird für die Relativbewegung zwischen den beiden Rädern auch die Bezeichnung des Verschraubens der Räder verwendet.

[0004] Aufgrund der an den stirnseitigen Kanten der Zahnflanken des Schälrades gebildeten Schneide, die somit in einer Ebene liegt, welche zur Ebene orthogonal zur Werkstückachse um den Achskreuzwinkels zwischen den beiden Drehachsen geneigt ist, kann die Wälzbewegung zwischen Schälrad und Werkrad für eine rotierende Schneidbewegung genutzt werden, mit der die Verzahnung aus dem Werkradrohling erzeugt werden kann. Die Hauptschnitttrichtung verläuft dabei entlang der Zahnücke der hergestellten Verzahnung.

[0005] Gegenüber dem Wälzfräsen ergibt sich dabei als wesentlicher Vorteil eine bei gleichen Schrittgeschwindigkeiten höhere Schneidleistung, da in der gleichen Zeit kinematikbedingt ein größerer Schneideingriff realisiert ist. Zudem ist das Wälzschälen gerade für die vollständige Generierung oder Bearbeitung von Innenverzahnungen von Vorteil, bei der das Wälzfräsen nur

eingeschränkt eingesetzt werden kann, und bei der das Wälzschälen auch gegenüber dem Wälzstoßen Vorteile hinsichtlich der Bearbeitungszeit bietet.

[0006] Demgegenüber weist das Wälzschälen Nachteile hinsichtlich der Auslegung der Werkzeuggeometrie auf, da man beim Wälzschälen nicht immer auf die Theorie des Bezugsprofils zurückgreifen kann. Auch wirken sich geringfügige Fehler im Übersetzungsverhältnis von Schälrad zu Werkrad, das im Vergleich zum Wälzfräsen deutlich geringer ist, unmittelbar auf die Qualität des hergestellten Werkrades aus, so dass äußerst präzise Maschineneinstellungen für eine qualitativ hohe Bearbeitung erforderlich sind.

[0007] Im Falle einer herzustellenden/zu bearbeitenden Geradverzahnung ist das Schälrad bekannterweise als Schrägverzahnung (mit Schrägungswinkel β_0) ausgeführt, und der Achskreuzwinkel Σ ist gleich dem Schrägungswinkel β_0 des Schälrades gewählt. Soll das zu bearbeitende Werkrad ebenfalls eine Schrägverzahnung mit Schrägungswinkel β_2 erhalten, so wird dieser dem Achskreuzwinkel Σ aufgeschlagen, mit negativem Vorzeichen bei gleichsinniger und positivem Vorzeichen bei gegensinniger Flankenrichtung bezüglich der des Schälrades. Zudem ist beim Vorschub des Schälrades mit parallel zur Werkstückachsenrichtung Z dem Werkrad in bekannter Weise eine der für den Wälzeingriff ausgelegten Grunddrehung überlagerte Zusatzdrehung aufzuerlegen, um einen Verschnitt der Werkstückflanken beim Axialvorschub zu vermeiden. Eine ausführlichere Beschreibung der Grundlagen des Wälzschälens und auch des mit gleicher Kinematik eingesetzten Hartschälens bei bereits gehärteten Werkstücken findet sich beispielsweise in Thomas Bausch et al, Innovative Zahnradfertigung, Expertverlag.

[0008] Grundsätzlich kann ein Werkrad beim Wälzschälen in einem einzigen Arbeitsgang mit nur einer durchgeführten Vorschubbewegung hergestellt werden. Insbesondere bei größerem Materialabtrag oder auch zur Verringerung der auftretenden Belastungskräfte auf das Schälrad ist aber auch bekannt, die Bearbeitung in mehreren Arbeitsgängen auszuführen, wobei das Schälrad zwischen zwei Vorschubbewegungen mit einer Rückholbewegung wieder in die Anfangsposition gebracht wird und bei der nächsten Vorschubbewegung in radialer Achsabstandsrichtung in einer größeren Schnitttiefe arbeitet. Dies ist beispielsweise in der DE 10 2008 037 514 A1 beschrieben.

[0009] KLOCKE F ET AL: "HARD GEAR FINISHING WITH A GEOMETRICALLY DEFINED CUTTING EDGE", GEAR TECHNOLOGY, RANDALL PUBLISHING CO. ELK GROVE, ILLINOIS, US, Bd. 16, Nr. 6, 1. November 1999 (1999-11-01), Seiten 24-29, XP000873761, ISSN: 0743-6858 offenbart neben einem Schälwälzfräsverfahren (skive hobbing) auch das Hartschälverfahren (hard skiving) zur Hartfeinbearbeitung gehärteter Werkstücke.

[0010] Es hat sich allerdings herausgestellt, dass bei den oben beschriebenen bekannten Wälzschäl-Bearbei-

tungsverfahren auch bei Anwendung von mehreren Arbeitsgängen noch keine vollkommen zufriedenstellende Qualität des hergestellten/bearbeiteten Werkstücks erreicht wird.

[0011] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Wälzschäl-/Hartschälverfahren dieser Kinematik bereitzustellen, bei dem eine bessere Qualität des bearbeiteten Werkstückes erreicht wird.

[0012] Die Aufgabe wird in verfahrenstechnischer Hinsicht durch eine Weiterbildung des eingangs beschriebenen Verfahrens gelöst, die im wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, dass man die werkstückachsenparallelen Komponenten von Vorschubbewegung und Schneidbewegung einander entgegenrichtet.

[0013] Im Rahmen der Erfindung ist erkannt worden, dass man bei einem Vorschub mit werkstückachsenparalleler Vorschubbewegungskomponente, die der sich aus dem Wälzeingriff ergebenden werkstückachsenparallelen Schneidbewegungskomponente entgegengerichtet ist, eine verbesserte Qualität der auf diese Weise bearbeiteten geschnittenen Flächen erreicht werden. Während bei den bekannten Bearbeitungsverfahren, hier wieder für das Beispiel des Wälzschälens, das Werkzeug den abgeschälten Span gleichermaßen in einer Stoßbewegung vor sich hat, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Zugbewegung des Werkzeugs ausgeführt. Dadurch kann die Gefahr eines Beeinträchtigung der Qualität der geschnittenen Zahnücke verursachenden Verklemmens des Spans in der bearbeiteten Zahnücke verringert werden.

[0014] Im übrigen können auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die bekannten konstruktiven und kinematischen Gegebenheiten herangezogen werden, die auch bei der in dem bekannten Stand der Technik bestehenden Relation des Axialvorschubs und der Schneidbewegung im Hinblick auf die werkstückachsenparallele Komponente bestehen. Insbesondere kann ein Schälrad mit einem konischen Grundkörper herangezogen werden, das konstruktiv bereits die erforderlichen Freiwinkel aufweist. Es kann aber auch mit einem Schälrad zylindrischer Grundform gearbeitet werden, bei dem die Freiwinkel durch Maschinenachsbewegungen realisiert werden, insbesondere durch ein Verlagern des Schälrades (Außermittigkeit "e").

[0015] Des weiteren können mit dem Verfahren gerad- und schrägverzahnte Außen- und Innenverzahnungen hergestellt werden, innerhalb der Anforderungen an einen ausreichend großen Achskreuzwinkel Σ , die auch für das Wälzschälen im Stand der Technik bestehen. Auch kann die Schneide im Treppenschliff ausgebildet sein.

[0016] In einer bevorzugten Verfahrensgestaltung werden einer erfindungsgemäßen Vorschubbewegung "auf Zug" ein oder mehrere Arbeitsgänge mit umgekehrter Vorschubbewegung, d. h. mit stoßendem Vorschub wie im Stand der Technik, vorangestellt. Somit wird bei einer Bearbeitung in Form von einem oder mehreren Schrapp-Arbeitsgängen gemäß dem Stand der Technik,

bei denen etwaige schädliche Auswirkungen eines verklemmten Spans durch den Schlicht-Arbeitsgang als abschließenden Arbeitsgang wenigstens teilweise behoben werden können, dieser nachfolgende Schlicht-Arbeitsgang mit der erfindungsgemäßen "ziehenden" Vorschubbewegung in Kombination mit der aus der Wälzkopplung resultierenden rotierenden Schneidbewegung ausgeführt, bei dem dann kein Verklemmen des Spans mehr auftritt.

[0017] Grundsätzlich ist es denkbar, für den einen oder die mehreren Arbeitsgänge eine radiale Zustellbewegung vorzunehmen, woraufhin in der Bearbeitung die axiale Vorschubbewegung erfolgt. In einigen Fällen, insbesondere bei der Herstellung von Werkstücken in Form von zylindrischen Achsen, die eine oder mehrere Verzahnungen tragen, kann es jedoch von Vorteil sein, ebenfalls eine radiale Vorschubbewegung durchzuführen, auch in zeitlicher Überlagerung mit der axialen Vorschubbewegung. Insbesondere kann in diesem Zusammenhang eine gewünschte Form eines axialen Einlaufs und/oder Auslaufs der Zahnücke des Werkstücks geschnitten werden.

[0018] Je nach Steuerung der zeitlichen Überlagerung der Vorschubbewegungen läßt sich z.B. eine bogenförmige und tangential in die Zahnücke einlaufende Form des Einlaufs und/oder Auslaufs herstellen. Alternativ kann an einen treppenförmigen Einlauf und/oder Auslauf gedacht werden. Man erhält mehr Spielraum für die axiale Bewegung des Werkzeugs.

[0019] Das Bearbeitungsverfahren läßt sich auch an bereits gehärteten Werkstücken vornehmen (Hartschälen). Bevorzugt wird es jedoch vor dem Härtungsschritt angewandt (Wälzschälen). Darüber hinaus kann beim Wälzschälen aus dem unvorbehandelten Rohling geschnitten werden, es können jedoch auch vorbehandelte Werkstücke bearbeitet werden, bei denen die Grundform der Verzahnung bereits gebildet und nunmehr die beabsichtigte Endform der Verzahnung herzustellen ist.

[0020] Je nach Größe des herzustellenden Werkstückes, des Schälrades und des durch deren Schrägungswinkel vorgegebenen Achskreuzwinkels kann die Vorschubbewegung des Werkzeugs parallel zur Werkstückachse erfolgen, oder auch parallel zur Werkzeugachse, was bezüglich der Werkstückachse einer Kombination einer axialen und tangentialen Vorschubbewegung entspricht. Erstere ist insbesondere für Innenverzahnungen als hergestellte Verzahnungen vorteilhaft. Selbstverständlich ist unter Berücksichtigung der Schrägungswinkel und der Vorschubgeschwindigkeit in bekannter Weise die Zusatzdrehung des Werkstückes vorzunehmen, welche der zur Herstellung des Wälzeingriffs erforderlichen Grunddrehung zu überlagern ist, um für jede (Z-)Position des Werkzeuges auf der Werkstückachse die richtigen Wälzeingriffsverhältnisse zu erhalten.

[0021] Im allgemeinen kann ein Schälrad mit einer Schrägverzahnung ausgestattet sein. Sollte jedoch das herzustellende Werkstück bereits eine Verzahnung mit ausreichend großem Schrägungswinkel aufweisen,

kann das Schälrad bevorzugt auch mit einer Geradverzahnung versehen sein.

[0022] In vorrichtungstechnischer Hinsicht wird eine Werkzeugmaschine zum Wälzschälen oder Hartschälen unter Schutz gestellt, die die zur Durchführung des obigen Verfahrens genannten Maschinenachsen besitzt und CNC-gesteuerte Maschinenachsbewegungen ausführen kann, und des weiteren eine Steuereinrichtung aufweist, durch deren Ansteuerung die für eine oder mehrere der obigen Verfahrensvarianten erforderlichen Maschinenachsbewegungen durchgeführt werden.

[0023] Des weiteren werden auch Werkstücke unter Schutz gestellt, die mit dem oben beschriebenen Verfahren in seiner Grundform oder einer oder mehrerer der weiter erläuterten Verfahrensaspekte hergestellt wurde.

[0024] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der weiteren Beschreibung mit Bezug auf die beiliegenden Figuren, von denen

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Wälzeingriffs zwischen einem Schälrad und einem Werkrad zeigt,

Fig. 2a, b zwei Darstellungen von Achsenbeziehungen sind,

Fig. 3 Richtungskomponenten von bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auftretenden Schneid- und Vorschubbewegungen zeigt, und

Fig. 4a, b schematisch Enden einer Zahnücke eines Werkstückes zeigt.

[0025] Das in Fig. 1 dargestellte Werkzeug in Form eines Schälrades 0 wird zum Wälzschälen des ebenfalls in Fig. 1 dargestellten Werkrades 2 verwendet. Dabei befinden sich die beiden Räder 0 und 2 in der Darstellung von Fig. 1 im Wälzeingriff miteinander, wobei sich die Werkzeugachse Z_0 und die Werkstückachse Z in bekannter Weise unter dem Achskreuzwinkel Σ kreuzen, welcher in dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel dem Schrägungswinkel der am Werkrad 2 erzeugten Verzahnung entspricht. Die Lagebeziehung der Achsen ist in Fig. 2 nochmals in zwei selbsterklärenden Ansichten dargestellt.

[0026] Das Schälrad 0 weist einen konischen Grundkörper auf und hat somit bereits die zum Schneiden des Werkrades 2 erforderlichen Freiwinkel konstruktiv integriert. Die Verzahnung des Schälrades 0 ist als Geradverzahnung ausgeführt, und die Zähne des Schälrades 0 besitzen im Wälzeingriff die gleiche Orientierung wie die Zahnücken des Werkrades 2. Durch die an der freien Stirnseite der Zähne des Schälrades 0 gebildete Schneide werden die Zahnücken des Werkrades 2 durch eine rotierende Schneidbewegung erzeugt. Zur Bearbeitung über die volle Zahnbreite des Werkrades 2 führt das Schälrad 0 eine axiale Vorschubbewegung aus, die pa-

rallel zur Werkzeugachse Z_0 oder auch parallel zur Werkzeugachse Z gefahren werden kann. Gegebenenfalls ist dazu der für den Wälzeingriff erforderlichen Grunddrehung des Werkrades 2 eine Zusatzdrehung zu überlagern, die von dem Axialvorschub des Schälrades 0 hin abhängt, um in jeder Z -Position des Schälrades 0 die der herzustellenden Verzahnung passenden Wälzeingriffsbedingungen zu halten. In jedem Fall weist die axiale Vorschubbewegung eine Komponente f_z parallel zur Werkstückachse Z auf.

[0027] Die beim Wälzschälen entstehende Hauptschnitttrichtung (Schnittgeschwindigkeit) ist in Fig. 1 mit v_c dargestellt und ergibt sich aus den im Schneideingriff herrschenden tangentialen Geschwindigkeitsvektoren, v_0 der Schneide und v_2 des zu schneidenden Werkstückmaterials. Die zur Werkstückachse Z parallele Komponente dieser Schneidrichtung ($v_{c||}$) zeigt in Fig. 1 von links nach rechts.

[0028] Soweit bis jetzt beschrieben, entspricht die obige Darstellung dem bekannten Wälzschälverfahren, bei dem die axiale Vorschubbewegung hinsichtlich ihrer werkstückachsenparallelen Komponente in Fig. 1 ebenfalls von links nach rechts verläuft. Dabei kann das Schälrad 0 im Falle mehrerer Arbeitsgänge mit zwischen zwei Arbeitsgängen erfolgender Rückholung des Schälrades 0 und nach und nach in Achsabstandsrichtung tieferem Schnitt der Materialabtrag auf die mehreren Arbeitsgänge verteilt werden kann.

[0029] Im Gegensatz zu diesem bekannten Wälzschälverfahren, wird nun vorgeschlagen, die axiale Vorschubbewegung des Schälrades 0 derart auszuführen, daß ihre werkstückachsenparallele Komponente der werkstückachsenparallelen Komponente der Schneidbewegung entgegengesetzt ist, also in Fig. 1 von rechts nach links verläuft, die Bewegung also eine "ziehende" Bewegung mit verminderter Späneinklemmgefahr darstellt.

[0030] Diese im Vergleich zum Stand der Technik "umgekehrte" Vorschubbewegung wird in dem in Fig. 3 schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel im letzten von n Arbeitsgängen, dem Schlichten ausgeführt, während die vorangegangenen $n-1$ z. B. Schrapp-Arbeitsgänge mit dem aus dem Stand der Technik bekannten Vorschub ausgeführt werden, bei dem die werkstückachsenparallele Vorschubkomponente in die gleiche Richtung zeigt wie die werkstückachsenparallele, durch den Wälzeingriff unter gekreuzten Achsen hervorgerufenen Schneidbewegung, die in der ersten Zeile von Fig. 3 dargestellt und mit $v_{c||}$ bezeichnet ist.

[0031] In den folgenden Zeilen von Fig. 3 sind die werkstückachsenparallelen Komponenten der axialen Vorschubbewegung dargestellt, wobei die entsprechende Komponente im i -ten Arbeitsgang mit $f_z(i)$ bezeichnet ist.

[0032] Diesen axialen Vorschüben $f_z(i)$ kann eine radiale, d. h. in Achsabstandsrichtung erfolgende weitere Vorschubbewegung überlagert werden, beispielsweise um an den axialen Enden der Zahnücken eine gewünschte Geometrie zu erzeugen. Beispiele für eine sol-

che Gestaltung des Zahnlückeneinlaufs oder auch Zahn-
lückenauslaufs sind in Fig. 4 dargestellt, wobei in Fig. 4a
ein bogenförmiger Auslauf und in Fig. 4b ein treppenar-
tiger Auslauf dargestellt ist. Die gestrichelten Linien in
Fig. 4 stellen die Schnittiefen für die aufeinanderfolgen-
den Arbeitsgänge dar, welche über die Überlagerung des
radialen Vorschubs oder durch radiale Zustellung er-
reicht wird. Diese Variante der Formgebung der Zahn-
lückenenden kommt bevorzugt bei der Bearbeitung von
zylindrischen Achsen zum Einsatz, welche über eine der
Verzahnungsbreite entsprechenden axialen Länge mit
einer Verzahnung ausgestattet sind und noch eine wei-
tergehende, die erlaubte Werkzeugbewegung beein-
trächtigende Struktur aufweisen, insbesondere auf un-
terschiedlichen axialen Abschnitten unterschiedliche
Verzahnung tragen.

[0033] Für die oben erwähnten Schrupp-Schnitte und
Schlicht-Schnitte können unterschiedliche Einstellpara-
meter gewählt werden, insbesondere betreffend die Ab-
solutdrehzahlen von Schädlrad und Werkstück und/oder
die Vorschubgeschwindigkeiten.

[0034] Die Erfindung ist nicht auf die im dargestellten
Ausführungsbeispiels erläuterten Einzelheiten einge-
schränkt. Vielmehr können die in der Beschreibung und
in den Ansprüchen genannten Merkmale für die Verwirk-
lichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführ-
ungsformen einzeln und in Kombination wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren des Wälzschälens oder Hartschälens ei-
nes um eine Werkstückachse (Z) drehend angetrie-
benen verzahnten Werkstückes (2), bei dem man
ein um eine in radialer Achsabstandsrichtung (X) von
der Werkstückachse (Z) beabstandete Werk-
zeugachse (Z₀) drehend angetriebenes, verzahntes
und mit einer an einer Stirnkante seiner Zähne ge-
bildeten Schneide versehenes Schädlrad (0) unter ei-
nem Achskreuzwinkel (Σ) zwischen den beiden
Drehachsen (Z, Z₀) in Wälzeingriff mit dem Werk-
stück (2) bringt, in dem die Schneide in einer eine
werkstückachsenparallelen Komponente aufwei-
senden Schneidbewegung spanend Material vom
Werkstück (2) abträgt, und man das Schädlrad (0) zur
Bearbeitung des Werkstückes (2) über eine ge-
wünschte axiale Erstreckung hinweg zusätzlich eine
Vorschubbewegung mit einer werkstückachsenpar-
allelen Komponente ausführen läßt,
dadurch gekennzeichnet, dass
man die werkstückachsenparallelen Komponenten
von Vorschubbewegung und Schneidbewegung
einander entgegengerichtet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei der die Bearbeitung
in wenigstens zwei Arbeitsgängen mit unterschied-
licher Schnittiefe des Schädlrads (0) in Achsab-
standsrichtung (X) erfolgt, wobei man die Vorschub-

bewegung mit der der Schneidbewegungskompo-
nente entgegengerichteten Komponente bei einem
nachfolgenden Arbeitsgang ausführt, welchem ein
Arbeitsgang mit umgekehrter Vorschubbewegung
vorausgeht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Bearbei-
tung in wenigstens drei Arbeitsgängen erfolgt, der
nachfolgende Arbeitsgang der letzte ist, und alle vo-
rangingenden Arbeitsgänge mit der umgekehrten
Vorschubbewegung ausgeführt werden, wobei zwis-
chen zwei solchen Arbeitsgängen eine Rückholbe-
wegung des Schädlrads ohne schneidenden Eingriff
mit dem Werkstück erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei
dem der Vorschubbewegung mit der werkstückach-
senparallelen Komponente als axialer Vorschubbe-
wegung eine in Achsabstandsrichtung verlaufende
radiale Vorschubbewegung überlagert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem durch die Über-
lagerung der beiden Vorschubbewegungen eine ge-
wünschte Form eines axialen Einlaufs und/oder Aus-
laufs der Zahnücke des Werkstücks geschnitten
wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Form des
Einlaufs und/oder Auslaufs bogenförmig ist und tan-
gential in die Zahnücke einläuft.
7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Form des
Einlaufs und/oder Auslaufs treppenförmig ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, bei dem es sich um das Wälzschälen handelt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, bei dem eine Aussenverzahnung bearbei-
tet/hergestellt wird, und der axiale Vorschub insbe-
sondere parallel zur Werkzeugachse erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei
dem eine Innenverzahnung bearbeitet/hergestellt
wird, und der axiale Vorschub insbesondere parallel
zur Werkstückachse erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, bei dem die bearbeitete/- hergestellte Verzah-
nung eine Schrägverzahnung ist, und die Verzah-
nung des Schädlrads eine Geradverzahnung.
12. Werkzeugmaschine zum Wälzschälen oder Hart-
schälen mit
einer eine Werkstückachse (Z), um die ein Werk-
stück (2) drehend antreibbar ist, definierenden
Werkzeugspindel,
einer eine Werkzeugachse (Z₀), die gegenüber der

Werkstückachse in radialer Achsabstandsrichtung (X) mit einstellbarem Abstand beabstandet ist, sie unter einem einstellbaren Achswinkel kreuzt und um die ein Schälrad (0) drehend antreibbar ist, definierenden Werkzeugspindel, sowie einer Steuereinrichtung, die die Maschinenachsbebewegungen derart steuert, dass das verzahnte und mit einer an einer Stirnseite seiner Zähne gebildeten Schneide versehene Schälrad in Wälzeingriff mit dem Werkstück gebracht wird, in dem die Schneide in einer eine werkstückachsenparallelen Komponente aufweisenden Schneidbewegung Material vom Werkstück abträgt, wobei das Schälrad zusätzlich eine Vorschubbewegung mit einer werkstückachsenparallelen Komponente ausführt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung die Maschinenachsbebewegungen weiter derart steuert, dass die werkstückachsenparallelen Komponenten von Vorschubbewegung und Schneidbewegung einander entgegengerichtet sind.

13. Werkzeugmaschine nach Anspruch 12, deren Steuereinrichtung die Maschinenachsbebewegungen weiter derart steuert, dass ein Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 11 ausgeführt wird.

Claims

1. A method of power-skiving or hard-skiving a toothed workpiece (2) driven in rotary movement about a workpiece axis (Z),
wherein a toothed circular skiving tool (0) driven in rotary movement about a tool axis (Z_0) that is spaced apart from the workpiece axis (Z) in the radial axial spacing direction (X) and is provided with a cutting edge formed at a front edge of its teeth is brought into rolling engagement with the workpiece (2) at an axis crossing angle (Σ) between the two rotary axes (Z, Z_0), wherein the cutting edge removes material from the workpiece (2) in a cutting movement that has a component parallel to the workpiece axis, and the circular skiving tool (0) additionally performs a feed movement with a component parallel to the workpiece axis in order to machine the workpiece (2) over a desired axial range,
characterised in that
the feed movement component parallel to the workpiece axis and the cutting movement component parallel to the workpiece axis are oriented in opposite directions relative to one another.
2. The method according to Claim 1, wherein the machining takes place in at least two passes with different cutting depths of the circular skiving tool (0) in the axial spacing direction (X), the feed movement with the component oriented in the reverse direction of the cutting movement component being performed in a subsequent pass which is preceded by a pass with the reverse feed movement.
3. The method according to Claim 2, wherein the machining takes place in at least three passes, the subsequent pass is the last, and all preceding passes are performed with the reverse feed movement, between two such passes a pull-back movement of the circular skiving tool taking place without any cutting engagement with the workpiece.
4. The method according to any of Claims 1 to 3, wherein the feed movement with the component parallel to the workpiece axis as an axial feed movement is superimposed with a radial feed movement running in the axial spacing direction.
5. The method according to Claim 4, wherein by superimposing the two feed movements, a desired shape of an axial entry and/or exit of the tooth gap of the workpiece is cut.
6. The method according to Claim 5, wherein the shape of the entry and/or exit is arcuate and runs tangentially into the tooth gap.
7. The method according to Claim 5, wherein the shape of the entry and/or exit is step-like.
8. The method according to any of the preceding claims, wherein this is power-skiving.
9. The method according to any of the preceding claims, wherein external teeth are machined/produced, and the axial feed takes place in particular parallel to the tool axis.
10. The method according to any of Claims 1 to 8, wherein internal teeth are machined/produced, and the axial feed takes place in particular parallel to the workpiece axis.
11. The method according to any of the preceding claims, wherein the teeth that are machined/produced are helical teeth, and the teeth of the circular skiving tool are spur gear teeth.
12. A machine tool for power-skiving or hard-skiving, comprising a tool spindle defining a workpiece axis (Z) about which a workpiece (2) can be driven in rotary movement,
a tool spindle defining a tool axis (Z_0) that is spaced apart from the workpiece axis at an adjustable distance in the radial axial spacing direction (X), crossing the workpiece axis at an adjustable axis angle, and about which a circular skiving tool (0) can be driven in rotary movement, and

a control device that controls the movements of the machine axes in such a way that the toothed circular skiving tool provided with a cutting edge formed on a front side of its teeth is brought into rolling engagement with the workpiece in which the cutting edge removes material from the workpiece in a cutting movement that has a component parallel to the workpiece axis, the circular skiving tool additionally performing a feed movement with a component parallel to the workpiece axis,

characterised in that

the control device additionally controls the machine axis movements in such a way that the feed movement component parallel to the workpiece axis and the cutting movement component parallel to the workpiece axis are oriented in opposite directions relative to one another.

13. The machine tool according to Claim 12, the control device of which further controls the movements of the machine axis in such a way that a method according to any of Claims 2 to 11 is performed.

Revendications

1. Procédé de décolletage en développante ou de décolletage dur d'une pièce (2) dentée entraînée en rotation autour d'un axe (Z) de la pièce, dans lequel une roue de décolletage (0) dentée, munie d'un tranchant formé sur une arête frontale de ses dents et entraînée en rotation autour d'un axe d'outil (Z_0) espacé de l'axe (Z) de la pièce dans une direction d'espacement radial (X) est mise en prise avec la pièce (2) par roulement selon un angle d'intersection (Σ) entre les deux axes de rotation (Z, Z_0), le tranchant venant enlever de la matière de la pièce (2) dans un mouvement de coupe présentant une composante parallèle à l'axe de pièce, et la roue de décolletage (0) est en outre amenée à effectuer, sur une étendue axiale souhaitée, un mouvement d'avancée présentant une composante parallèle à l'axe de pièce, aux fins de l'usinage de la pièce (2),

caractérisé en ce que

les composantes du mouvement d'avancée et du mouvement de coupe qui sont parallèles à l'axe de la pièce étant orientées à l'opposé l'une de l'autre.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'usinage s'effectue en au moins deux passes de profondeurs de coupe différentes pour la roue de décolletage (0) dans la direction d'espacement (X) des axes, le mouvement d'avancée s'effectuant avec la composante opposée à la composante du mouvement de coupe lors d'une passe suivante, qui est précédée par une passe à mouvement d'avancée inverse.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'usinage s'effectue en au moins trois passes, la passe suivante étant la dernière, toutes les passes précédentes ayant été effectuées avec ledit mouvement d'avancée inverse, en sachant qu'entre deux de ces passes, on effectue un mouvement de rappel de la roue de décolletage sans effet de prise coupante avec la pièce.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel un mouvement d'avancée radial orienté dans la direction d'espacement des axes vient se superposer au mouvement d'avancée présentant la composante parallèle à l'axe de la pièce en tant que mouvement d'avancée axial.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel ladite superposition des deux mouvements d'avancée permet de couper une forme souhaitée pour les côtés axiaux d'entrée et/ou de sortie de l'entredent de la pièce.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la forme du côté d'entrée et/ou de sortie est arquée et entre tangentiellement dans l'entredent.

7. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la forme du côté d'entrée et/ou de sortie est en escalier.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il s'agit d'un principe de décolletage en développante.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il est usiné/produit une denture extérieure, et l'avancée axiale s'effectue notamment parallèlement à l'axe de l'outil.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel il est usiné/produit une denture intérieure, et l'avancée axiale s'effectue notamment parallèlement à l'axe de la pièce.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la denture usinée/produite est une denture hélicoïdale, et la denture de la roue de décolletage est une denture droite.

12. Machine-outil pour le décolletage en développante ou le décolletage dur, comportant une broche d'outil définissant un axe de pièce (Z) autour duquel une pièce (2) peut être entraînée en rotation, une broche d'outil définissant un axe d'outil (Z_0) espacé de l'axe de la pièce dans une direction d'espacement radial (X) selon un écartement réglable et croisant l'axe de la pièce en formant un angle d'axes réglable et autour duquel une roue de décolletage

(0) peut être entraînée en rotation, ainsi que
 un dispositif de commande qui commande les déplacements des axes de la machine de telle manière
 que la roue de décolletage dentée, munie d'un tranchant formé sur une arête frontale de ses dents est
 mise en prise avec la pièce par roulement, le tranchant venant enlever de la matière de la pièce dans
 un mouvement de coupe présentant une composante parallèle à l'axe de la pièce, la roue de décolletage
 effectuant en outre un mouvement d'avancée présentant une composante parallèle à l'axe de la pièce,
caractérisé en ce que

le dispositif de commande effectue en outre la commande des déplacements des axes de la machine de manière que les composantes du mouvement d'avancée et du mouvement de coupe qui sont parallèles à l'axe de la pièce sont orientées à l'opposé l'une de l'autre.

13. Machine-outil selon la revendication 12, dont le dispositif de commande effectue en outre la commande des déplacements des axes de la machine de manière à permettre l'exécution d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 11.

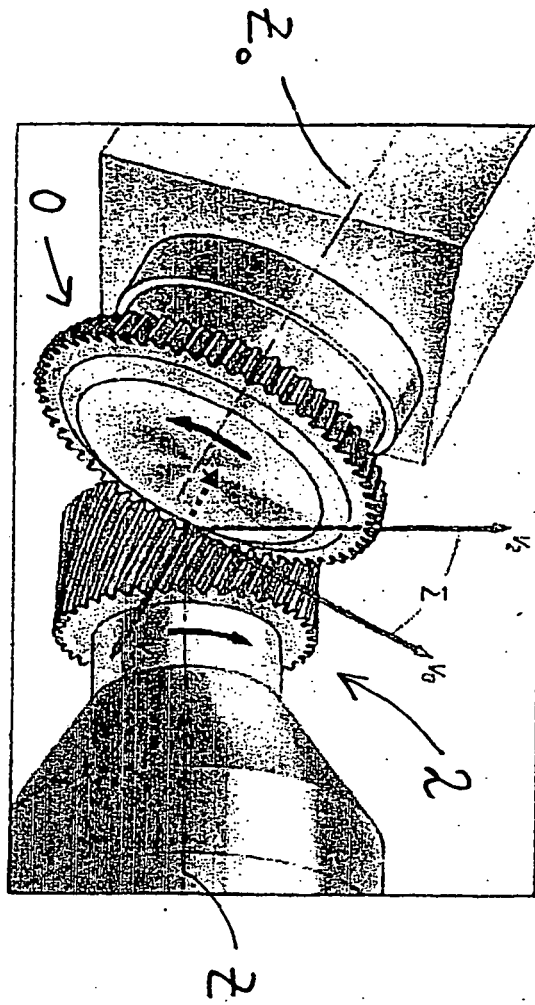


Fig. 1

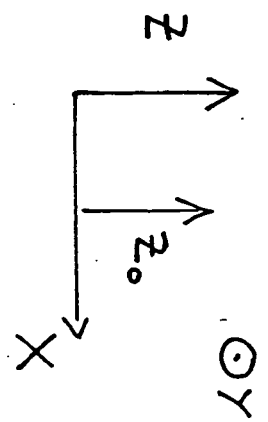


Fig. 2a

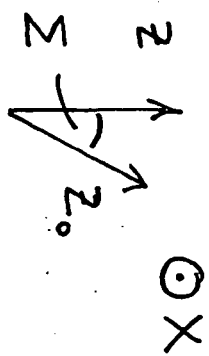


Fig. 2b

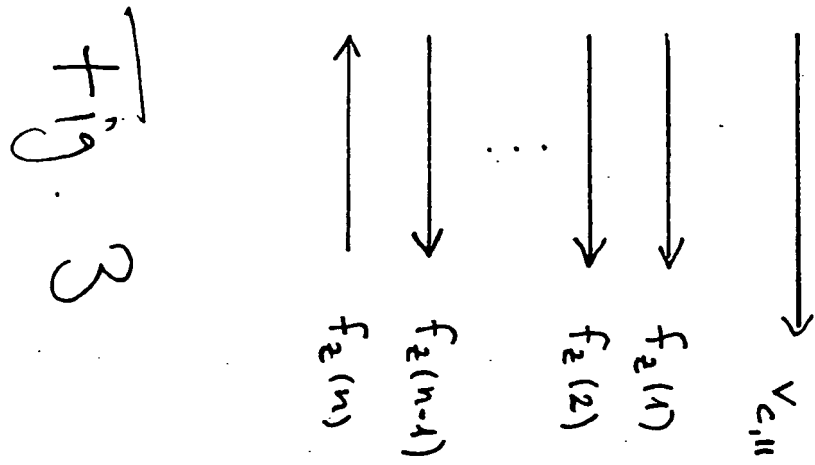


Fig. 3

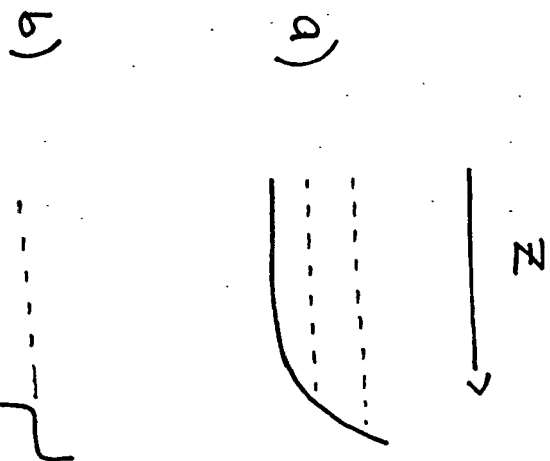


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 243514 [0002]
- DE 102008037514 A1 [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **THOMAS BAUSCH et al.** *Innovative Zahnradfertigung*, Expertverlag [0007]
- HARD GEAR FINISHING WITH A GEOMETRICALLY DEFINED CUTTING EDGE. **KLOCKE F et al.** GEAR TECHNOLOGY. RANDALL PUBLISHING CO, 01. November 1999, vol. 16, 24-29 [0009]