

(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
04. Februar 2021 (04.02.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/018562 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23F 21/00 (2006.01) B23F 23/00 (2006.01)
B23F 15/00 (2006.01) B23F 1/02 (2006.01)
B23F 19/00 (2006.01) B23F 1/06 (2006.01)
B23F 19/05 (2006.01) G05B 19/19 (2006.01)
B23F 17/00 (2006.01) B23F 5/16 (2006.01)
B23F 21/03 (2006.01) B23F 5/02 (2006.01)
B23F 23/12 (2006.01) B23F 5/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/069772

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Juli 2020 (13.07.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 005 405.9
31. Juli 2019 (31.07.2019) DE

(71) Anmelder: GLEASON SWITZERLAND AG [CH/CH];
Industriestrasse 7, 2557 Studen (CH).

(72) Erfinder: MINAS, Roman; Kempthalstrasse 135, 8308 Ill-
nau (CH). HUNZIKER, Raphaël; Froburgweg 10, 4852
Rothrist (CH). LANG, Severin; Bäckerweg 2, 3426 Aef-
ligen (CH). BÜRKI, Marc; Ringstrasse 55, 4900 Langen-

thal (CH). RIEDERER, Silvan; Wieshofstrasse 140, 8408
Winterthur (CH).

(74) Anwalt: LEINWEBER & ZIMMERMANN; Viktualien-
markt 8, 80331 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
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, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: METHOD FOR HARD FINE MACHINING OF TWO TOOTHINGS ON A WORKPIECE, AND GEAR CUTTING
MACHINE, CONTROL PROGRAM, HARD FINE MACHINING COMBINATION TOOLS AND SENSOR ASSEMBLY THERE-
FOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HARTFEINBEARBEITEN ZWEIER VERZÄHNUNGEN AN EINEM WERKSTÜCK,
SOWIE VERZÄHNUNGSMASCHINE, STEUERPROGRAMM, HARTFEINBEARBEITUNGSKOMBIWERKZEUGE UND
SENSORDANORDNUNG DAFÜR

(57) Abstract: The invention relates to a method for hard fine machining of two toothings (1, 2) which are provided on a workpiece
(4) and are different from each other, in which method, prior to the respective machining operation, in order to adjust a matching tool
engagement for the machining operation, a first relative rotational angle position of a first rotational position reference of a first of
the toothings relative to a rotational axle position of a workpiece spindle, which holds the workpiece clamped for the first machining
operation, and a second relative rotational angle position of a second rotational position reference of the second of the toothings relative
to a rotational axle position of a workpiece spindle, which holds the workpiece clamped for the second machining operation, are
determined, wherein the machining operations are carried out without intermediate clamping change on the same workpiece spindle
and on the basis of the coupled first and second rotational position reference. The invention also relates to a gear cutting machine for
hard fine machining of workpieces of this kind, a control device having control instructions for carrying out a method of this kind, hard
fine machining combination tools and a sensor assembly therefor.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Hartfeinbearbeiten zweier an einem Werkstück (4) vorgesehener,
voneinander verschiedener Verzahnungen (1, 2), bei dem man vor der jeweiligen Bearbeitung zur Einstellung eines passenden Werk-
zeugeingriffs für die Bearbeitung eine erste relative Drehwinkellage einer ersten Drehlagenreferenz einer ersten der Verzahnungen
zu einer Drehachseposition einer das Werkstück für die erste Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel sowie eine zweite
relative Drehwinkellage einer zweiten Drehlagenreferenz der zweiten der Verzahnungen zu einer Drehachseposition einer das Werk-
stück für die zweite Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel bestimmt, wobei die Bearbeitungen ohne zwischenzeitlichen
Aufspannungswechsel auf derselben Werkstückspindel und unter zugrundeliegender gekoppelter erster und zweiter Drehlagenreferenz
erfolgen. Die Erfindung betrifft auch eine Verzahnungsmaschine zum Hartfein bearbeiten derartiger Werkstücke, eine Steuereinrich-
tung mit Steueranweisungen zur Ausführung eines dergleichen Verfahrens, Hartfeinbearbeitungskombiwerkzeuge und eine Sensoran-
ordnung dafür.



WO 2021/018562 A1

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

VERFAHREN ZUM HARTFEINBEARBEITEN ZWEIER VERZÄHNUNGEN AN EINEM WERKSTÜCK, SOWIE
VERZÄHNUNGSMASCHINE, STEUERPROGRAMM, HARTFEINBEARBEITUNGSKOMBIWERKZEUGE UND
SENSORDANORDNUNG DAFÜR

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Hartfeinbearbeiten zweier an einem Werkstück vorgesehener, voneinander verschiedener Verzahnungen, bei dem man vor der jeweiligen Bearbeitung zur Einstellung eines passenden Werkzeugeingriffs für die Bearbeitung eine erste relative Drehwinkellage einer ersten Drehlagenreferenz einer ersten der Verzahnungen zu einer Drehachseposition einer das Werkstück für die erste Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel sowie eine zweite relative Drehwinkellage einer zweiten Drehlagenreferenz der zweiten der Verzahnungen zu einer Drehachseposition einer das Werkstück für die zweite Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel bestimmt.

Derartige Verfahren sind bekannt, etwa bei wellenartigen Werkstücken, die zwei oder mehr Verzahnungen tragen, es gibt jedoch auch "hantelförmige" Werkstücke, bei denen zwei Werkräder auch unterschiedlichen Durchmessers durch einen auch sehr kurzen Schaft miteinander verbunden sind. Für derartige Werkstücke stellt der Radkörper der ei-

nen Verzahnung gegenüber der anderen Verzahnung eine Schulter dar, so dass für Letztere das Verzahnungswälzschleifen als beliebtestes genaues und wirtschaftliches Verfahren nicht mehr einsetzbar ist. So werden derartige Verzahnungen hartfeinbearbeitet, indem die größere (größerer Durchmesser) Verzahnung durch Wälzschleifen hartfeinbearbeitet wird, wohingegen die kleinere Verzahnung z. B. mit einem innenverzahnten Honring gehont wird.

Für den jeweiligen Bearbeitungseingriff ist eine passende Drehlage von Werkzeug und Werkstück erforderlich, die üblicherweise einmal für ein erstes zu bearbeitendes Werkstück einer Werkstückcharge eingerichtet wird. Dazu führt man (Ersteinmitten) z. B. einen Werkzeugzahn in die Zahnücke einer Werkstückverzahnung ein, sorgt durch Tangentialverschiebung oder Relativdrehung für einen Kontakt einmal mit der linken Zahnflanke und einmal mit der rechten Zahnflanke des Werkstücks, zeichnet die Drehlagen der Kontaktsituation auf und berechnet durch Mittelwertbildung die Mitte der Zahnücke der Werkstückverzahnung als Beispiel für eine Drehlagenreferenz bzw. die relative Drehwinkel-lage dieser Drehlagenreferenz bezüglich einer vorgegebenen Drehachsisposition der Werkstückspindel, und dies auch im kontinuierlichen Verfahren. Dies wird in der bekannten Technik, beispielsweise für das Wälzschleifen der einen Verzahnung, durchgeführt. Für weitere Verzahnungen der gleichen Werkstückcharge ist diese Ersteinmittoperation zum Einrichten des passenden Eingriffs nicht mehr erforderlich, es genügt, die nachfolgenden Werkstücke in die gleiche Drehlage zu bringen wie das erstbearbeitete Werkstück. Hierzu genügt es wiederum, die Lage der Zahnückenmitten (erste Drehlagenreferenz) zu der vorgegebenen Drehachsisposition der Werkstückspindel (Werkstückspindelreferenz) zu bringen. Die Positionen der Zahnücken und Zahnückenmitten selbst können z. B. durch einen berührungslos arbeitenden, etwa induktiven Sensor ermittelt werden.

Für die zweite, z. B. zu honende Verzahnung wird das Werkstück von der Werkstückspindel der Schleifmaschine ausgespannt und auf eine Werkstückspindel einer Honmaschine aufgespannt, und auch für diese Verzahnung findet das Einrichten (Ersteinmitten) für den Werkzeugeingriff statt sowie für die nachfolgenden Werkstücke eine Einzentrier- oder Einmittoperation im Sinne der Ermittlung der Zahnückenmitten (zweite Drehlagenreferenz) zu der Werkstückspindelreferenz der Honmaschine.

All die bekannten Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mit mehreren unterschiedlichen Verzahnungen haben ihre Vor- und Nachteile.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Verfahren insbesondere im Hinblick auf hohe Genauigkeitsanforderungen weiter zu verbessern.

Diese Aufgabe wird von der Erfindung in verfahrenstechnischer Hinsicht durch eine Weiterbildung eines Verfahrens der eingangs genannten Art gelöst, das im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, dass die Bearbeitungen ohne zwischenzeitlichen Aufspannungswechsel auf derselben Werkstückspindel und unter zugrundeliegender gekoppelter erster und zweiter Drehlagenreferenz erfolgen, wobei insbesondere die Bearbeitungsart der Hartfeinbearbeitung der ersten und zweiten Verzahnung die Gleiche ist und bevorzugt vom Bearbeitungseingriff her der eines Schraubradgetriebes ist. Die Drehachsen der beiden Verzahnungen stimmen überein und fallen mit der Werkstückspindelachse zusammen.

Bei der erfindungsgemäßen Weiterbildung bleibt aufgrund der beibehaltenen Aufspannung eine einmalig festgelegte und erkannte relative Drehlage des Werkstücks gegenüber der Werkstückspindelreferenz erhalten, was normalerweise unbeachtlich ist, da die Einmittoperation jeder einzelnen Verzahnung ohnehin erforderlich ist und es für den jeweiligen Bearbeitungseingriff mit dem Hartfeinbearbeitungswerkzeug keine Rolle spielt, mit welcher Zahnücke der Werkstückverzahnung die Bearbeitung begonnen wird. Gemäß dem weiteren erfindungsgemäßen Konzept der zugrundeliegenden gekoppelten ersten und zweiten Drehlagenreferenz wird die diesbezügliche Symmetrie jedoch insoweit gebrochen, dass die Relativedrehlage der ersten Verzahnung gegenüber der zweiten Verzahnung von Bedeutung ist. Zieht man eine beliebige Zahnücke der ersten Verzahnung heran, so soll z. B. die im Uhrzeigersinn nächstgelegene Zahnücke der anderen Verzahnung einen vorgegebenen Drehwinkelabstand von dieser Zahnücke der ersten Verzahnung haben (gemessen bezüglich der jeweiligen Zahnückenmitte). Insoweit wird bevorzugt vorgesehen, dass die Kopplung in einer innerhalb einer Toleranz um einen vorgegebenen Drehwinkel liegenden Drehwinkeldifferenz zwischen erster und zweiter Drehlagenreferenz besteht.

Da die erste und zweite Verzahnung voneinander unterschiedlich sind, insbesondere in Modul, Schrägungswinkel, Zahnbreite und/oder Durchmesser der Verzahnung, ist eine solche Drehwinkeldifferenz davon abhängig, welche beiden z. B. in der Projektionsebene der Werkstückachse nebeneinanderliegenden (oder definiert voneinander beabstandeten) Zahnücken herangezogen werden. Dazu wird bevorzugt die erste und zweite Drehlagenreferenz einem vorgegebenen Bezug, insbesondere ausgewählten Referenzzahn einer Verzahnung zugeordnet. In einer konkreten Ausgestaltung würde man beispielsweise einen Referenzzahn von erster oder zweiter Verzahnung auswählen, die im Uhrzeigersinn anschließende Zahnücke dieser Verzahnung, d. h. ihre Zahnückenmitte, als eine Drehlagen-

referenz auswählen und, wieder in Projektion auf die Normalenebene der Werkstückdrehachse gesehen, nächstgelegene Zahnücke (Zahnückenmitte) der anderen Verzahnung auswählen. Es versteht sich, dass anstelle der Zahnückenmitten auch Zahnmitten herangezogen werden könnten oder Kreuzkombinationen davon. Des Weiteren versteht es sich, dass die Zuordnung zu dem Referenzzahn über einen in definierter und nachvollziehbarer Weise über den Referenzzahn ermittelbaren anderen Zahn oder Zahnücke gestaltet werden kann. Beispielsweise könnte die erste Drehlagenreferenz auch der siebte Zahn im Uhrzeigersinn nach dem Referenzzahn sein und die zweite Drehlagenreferenz die dritte Zahnücke der anderen Verzahnung im Gegenuhrzeigersinn bezüglich des Referenzzahns sein.

Die Drehachsisposition der Werkstückspindel, (üblicherweise und) beispielhaft gegeben durch einen Nulldurchgang bei einer Drehung der Werkstückspindel und erfasst durch einen Drehgeber an der Werkstückspindel, kann grundsätzlich frei gewählt sein, wichtig ist lediglich die relative Drehwinkellage zur Drehlagenreferenz an der jeweiligen Werkstückverzahnung. Zur Realisierung des Bezugs und dem Einhalten des gewünschten Drehwinkels für die Drehwinkeldifferenz zwischen erster und zweiter Drehlagenreferenz kommt es aufgrund der Differenzbildung auf die absolute Lage der Werkstückspindelreferenz nicht an, sondern nur auf deren Existenz. Das heißt, der Steuereinrichtung einer das Verfahren durchführenden Maschine ist bekannt, in welche Drehlage das Werkstück für den Bearbeitungseingriff zu verfahren ist und wo sich in dieser Drehlage der Bezug, etwa der ausgewählte Referenzzahn, befindet.

In einer besonders bevorzugten Verfahrensgestaltung wird dieser Bezug und demnach insbesondere die vorgegebene Auswahl des Referenzzahns durch eine insbesondere am Werkstück selbst angeordnete Markierung bestimmt. In einem denkbar einfachsten Fall könnte eine Markierung etwa drehwinkelmäßig in Zahnmitte eines Zahns einer Verzahnung vorgesehen sein, durch eine sensorisch erfassbare Markierung, d. h. im Falle optischer Sensoren irgendeines Zeichens, Aufdrucks etc. oder auch einer einfachen Bohrung beispielsweise im Radkörper der anderen größeren Verzahnung. Letzteres wird insbesondere als vorteilhaft angesehen, da diese durch einen berührungslos arbeitenden Sensor ähnlich wie die Einmittsensoren erfassbar ist.

Wie eingangs bereits erläutert, wird auch beim erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt, für ein erstes Werkstück die Drehlagen für den Bearbeitungseingriff mit den jeweiligen Werkzeugen zu definieren und hierzu die Drehlagenreferenzen der ersten und zweiten Verzahnung in ihrer Relativlage zur Werkstückspindelreferenz aufzuzeichnen, und zwar für

die durch die oben erläuterte Bezugsbestimmung definierten Drehlagenreferenzen. Dieses Einrichten gemäß Anspruch 5 kann erneut vorgenommen werden, wenn die Werkzeuge ausgetauscht oder nachprofiliert wurden.

Für dann nachfolgende Werkstücke der gleichen Werkstückcharge ist dieses Einrichten nicht mehr erforderlich, vielmehr kann die passende Achsdrehlage für den Werkzeug-eingriff anhand der für dieses Werkstück insbesondere mittels berührungslosen Sensoren bestimmten ersten bzw. zweiten relativen Drehwinkellage erfolgen.

In diesem Zusammenhang wird es bevorzugt, wenn dabei für das jeweilige Werkstück auch der vorgegebene Bezug, insbesondere der ausgewählte Referenzzahn, identifiziert und hierzu insbesondere die Drehlage der Markierung insbesondere berührungslos sensorisch erfasst wird. Damit weiß die Steuerung nicht nur, wo sich für die erste und zweite Verzahnung die Zahnücken befinden, sondern auch wo sich diejenigen z. B. Zahnücken der ersten und zweiten Verzahnung befinden, zu deren Bezug die Vorgabe für die einzuhaltende Drehwinkeldifferenz der beiden Drehlagenreferenzen gilt.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wird die Bestimmung der zweiten Drehlagenreferenz/zweiten relativen Drehwinkellage vorgenommen, bevor die Bearbeitung der ersten Verzahnung aufgenommen wird, und vice versa. Auch die Identifizierung des Bezugs/Referenzzahns wird bevorzugt vorgenommen, bevor mit der Bearbeitung einer der Verzahnungen begonnen wird. Dadurch verfügt die Maschinensteuerung über Informationen, die in die Einstellung der passenden Drehlagen für den Bearbeitungseingriff einfließen können. Denn für die jeweiligen Einzelbearbeitungen bestehen Toleranzfelder, innerhalb derer die Steuerung die finale Drehlage der Werkstückspindel für die Bearbeitung auswählen kann.

Üblicherweise würde ein Steuerungsalgorithmus darauf hinwirken, sich lagemäßig genau in die Mitte der Toleranz zu setzen, wodurch insbesondere der Abtrag von Links- und Rechtsflanken symmetrisiert wird und demnach eine gleichmäßige Werkzeugabnutzung erreicht wird. In einer bevorzugten Verfahrensgestaltung wird jedoch als Zwangsbedingung eingekoppelt, dass die Drehwinkeldifferenz zwischen erster und zweiter Drehlagenreferenz innerhalb der Toleranz mit der Vorgabe übereinstimmt und unter Berücksichtigung dieser Zwangsbedingung die Drehlagen für die einzelnen Bearbeitungen in deren Einzeltoleranzfeldern bestimmt, bevorzugt nach Maßgabe einer Symmetrisierung der Position im Toleranzfeld für beide Bearbeitungen.

Als vereinfachendes Beispiel haben beide Einzeltoleranzfelder erlaubte Werte (lediglich beispielhafte Zahlenwerte) zwischen $+5\text{ }\mu\text{m}$ und $-5\text{ }\mu\text{m}$ (am Teilkreis), und im Idealfall wäre jeweils bei der $0\text{ }\mu\text{m}$ auch die richtige Drehwinkeldifferenz eingestellt, aufgrund unterschiedlicher Härteverzüge wäre bei festgehaltener $0\text{ }\mu\text{m}$ bezüglich der einen Verzahnung für die andere jedoch der Wert $+2\text{ }\mu\text{m}$ auszuwählen, würde die Steuerung ausgleichend symmetrisieren, und statt der $0\text{ }\mu\text{m}$ die $-1\text{ }\mu\text{m}$ und statt der $+2\text{ }\mu\text{m}$ die $+1\text{ }\mu\text{m}$ auswählen, unter Einhaltung der Zwangsbedingung. Auf diese Weise gelingt es auch bei sensiblen Toleranzen für die Drehwinkeldifferenz von nur wenigen Winkelminuten, z. B. ± 5 Winkelminuten oder geringer, bevorzugt ± 2 Winkelminuten oder geringer, weiter bevorzugt ± 1 Winkelminute oder geringer, wobei auch ± 40 Winkelsekunden oder weniger, insbesondere ± 25 Winkelsekunden oder weniger, sogar ± 15 Winkelsekunden oder weniger, erreichbar sind, die dieses Kriterium nicht mehr erreichende Ausschussmenge zu minimieren, da über die Kopplung beide Toleranzfelder der einzelnen Bearbeitungen ausgenutzt werden können und bekannt sind, bevor durch andernfalls bereits vollzogene Bearbeitung der einen Verzahnung die Möglichkeit der gegenseitigen Abstimmung nicht mehr besteht.

In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die Hartfeinbearbeitungswerkzeuge nachschärfbar/abrichtbar gestaltet, und es sind Abrichtwerkzeuge hierfür vorgesehen, insbesondere in Form von Verzahnungen, insbesondere Diamantabrichtträgern, in relativ zueinander feststehender Drehlagenkopplung und insbesondere ebenfalls auf derselben Werkstückspindel angeordnet wie die erste und zweite Verzahnung. Durch die Drehlagenkopplung der Abrichtwerkzeuge bleibt auch nach einem Abrichten beispielsweise zweier innenverzahnter Honringe die relative Lage ihrer Zähne erhalten. Es könnten anstelle von Diamantabrichtträgern auch dünne verzahnte Abrichtträger herangezogen werden, deren Eingriff durch zusätzliche Maschinenachsbewegungen gesteuert wird.

In vorrichtungstechnischer Sicht stellt die Erfindung eine Verzahnungsmaschine zum Hartfeinbearbeiten derartiger Werkstücke unter Schutz, mit den erforderlichen Werkstück- und Werkzeugaufnahmen, Drehachsen und Positionierachsen sowie einer Steuereinrichtung mit Steueranweisungen zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der o. g. Aspekte.

Eine solche Verzahnungsmaschine weist bevorzugt zwei, insbesondere drei Sensoren auf, je einen für die Zahnückenbestimmung der jeweiligen Verzahnungen und insbesondere noch der Dritte zur Lageerfassung der Markierung. Eine derartige Sensoranordnung mit drei Sensoren wird auch eigenständig unter Schutz gestellt.

Zudem kann die Verzahnungsmaschine auch mit den Nachschärf- oder Profiliervorrichtungen für die Hartfeinbearbeitungswerkzeuge ausgestattet sein.

Auch stellt die Erfindung unter Schutz ein Hartfeinbearbeitungskombiwerkzeug, das zur Ausführung eines solchen Verfahrens geeignet ist, einmal mit geometrisch unbestimmter Schneide, bevorzugt in Form zweier innenverzahnter gekoppelter Honringe, in einer anderen Ausgestaltung aber auch in Form von Werkzeugen mit geometrisch bestimmter Schneide, insbesondere in Form außenverzahnter Schälräder.

Mit Verfahren der o. g. Aspekte können insbesondere für Planetenradanwendungen, etwa in e-Drive-Getrieben, heranziehbare Werkstücke abgestufter winkelsynchroner Verzahnungen in zufriedenstellender Präzision hartfeinbearbeitet werden.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Figuren, von denen

- Fig. 1 eine Perspektivansicht eines Werkstücks mit zwei Verzahnungen zeigt,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung von Drehlagenreferenzen in einer Projektionsebene zeigt, auf der die Werkstückachse senkrecht steht,
- Fig. 3 den Aufbau einer Honmaschine mit zwei innenverzahnten Honringen zeigt,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung zeigt, in der neben den Honringen und den Werkstückverzahnungen auch noch Sensorik und Abrichtwerkzeuge dargestellt sind,
- Fig. 5 eine Hartschälmaschine zeigt, und
- Fig. 6 ein Hartfeinbearbeitungswerkzeug mit zwei Hartschälrädern zeigt.

In Fig. 1 ist ein Werkstück 4 in einer perspektivischen Ansicht dargestellt. Das Werkstück 4 ist mit zwei Verzahnungen vorverzahnt, einer größeren (größerer Durchmesser) Verzahnung 1 und einer kleineren (mit kleinerem Durchmesser) Verzahnung 2, die über einen Schaft miteinander verbunden sind und deren Drehachsen coaxial verlaufen. Die beiden Verzahnungen bilden auch die beiden axialen Enden des Werkstücks 4. Das Werkstück 4 wird zur Hartfeinbearbeitung auf eine Werkstückspindel aufgespannt, deren Werk-

stückspindelachse coaxial zu den Verzahnungsdrehachsen verläuft. Die Verzahnung 1 könnte beispielsweise durch Wälzfräsen erzeugt sein und die Verzahnung 2 durch Wälzstoßen oder Wälzschälen, es könnten jedoch auch andere Kombinationen zum Einsatz gekommen sein, die Erfindung setzt erst mit der Hartfeinbearbeitung an.

Das heißt, die Verzahnungen 1 und 2 weisen gegenüber ihrer Zahnflankenendgeometrie noch ein Bearbeitungsaufmaß auf, das bei der Erzeugung der Verzahnung 1, 2 belassen wurde, zudem können beim Härten Härteverzüge und dadurch leicht geänderte Zahnformen entstanden sein. Mit der Hartfeinbearbeitung soll nun das verbleibende Bearbeitungsaufmaß nebst Härteverzügen abgetragen werden, um den Verzahnungen 1, 2 ihre Endgeometrie zu verleihen.

Ebenfalls in Fig. 1 sichtbar ist eine Bohrung 3 im Radkörper der Verzahnung 1 gebildet. Wie besser aus Fig. 2 zu erkennen ist, dient die Bohrung 3 als Markierung zur Identifizierung eines Zahns 21 der Verzahnung 2, nämlich z. B. eines Zahns 21, dessen Drehlage mit der der Markierung 3 im Wesentlichen übereinstimmt. Die Genauigkeit der Übereinstimmung ist nicht von Bedeutung, genauso könnte ein Winkelversatz vorgesehen sein und als durch die Markierung 3 identifizierter Zahn 21 der im Gegenuhrzeigersinn oder Uhrzeigersinn nächste Zahn der Verzahnung 2 markiert sein. Ebenfalls könnte man mit der Markierung 3 auch eine Zahnücke 22 markieren oder einen Zahn, z. B. Zahn 12 der Verzahnung 1, oder eine Zahnücke der größeren Verzahnung 1.

Bezüglich Markierung 3, hier der Verzahnungsmittle des Zahns 21 der Verzahnung 2 und der Zahnückenmittle der nächsten Zahnücke 22, liegt ein Drehwinkel φ_2 , der hier aufgrund des Moduls der Verzahnung 2 festgelegt ist, es könnte bei anderer Lage der Markierung jedoch ein nicht vorab bekannter Winkelwert sein. Zwischen der durch die Markierung 3 (bzw. deren Zentrum) festgelegten Drehlage und der im Uhrzeigersinn nächsten Zahnücke 12 der Verzahnung 1 gibt es einen Winkel φ_1 , und eine Relativedrehlage der Verzahnung 1 gegenüber der Verzahnung 2 wird durch die Drehwinkeldifferenz $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ zwischen den beiden Zahnückenmitten 22 und 12 bezogen auf die durch die Markierung 3 festgelegte Referenz definiert. Diese Winkeldifferenz $\Delta\varphi$ soll für das Werkstück 4 innerhalb einer sehr geringen Toleranz $\pm\delta\Delta\varphi$ von nur 5 Winkelminuten oder weniger, bevorzugt 1 Winkelminute oder weniger, insbesondere 25 Winkelsekunden oder weniger, einer vorgegebenen Winkeldifferenz $\Delta\varphi_0$ entsprechen.

Für das Folgende wird davon ausgegangen, dass nicht nur ein Werkstück 4 vom in Fig. 1 gezeigten Typ hartfein zu bearbeiten ist, sondern eine größere Werkstückcharge

dieser Werkstücke 4 vorliegt, die zwar den gleichen Herstellungsweg hinsichtlich der Erzeugung der Verzahnungen 1, 2 und des Härtens durchlaufen hat, jedoch herstellungsbedingt geringfügig unterschiedliche Bearbeitungsaufmaßverteilungen aufweisen kann bzw. unterschiedliche Härteverzüge aufweisen kann.

Die Werkstücke 4 einer Werkstückcharge werden zur Hartfeinbearbeitung auf eine Werkstückspindel (mit Werkstückspindeldrehachse C2 in der Ausführungsform von Fig. 3) aufgespannt, und die Hartfeinbearbeitung der Verzahnung 1 und der Verzahnung 2 erfolgt ohne zwischenzeitlichen Aufspannungswechsel, d. h. in der gleichen Aufspannung auf der gleichen Werkstückspindel. Des Weiteren erfolgt die Hartfeinbearbeitung der Verzahnung 1 und der Verzahnung 2 mit der gleichen Hartfeinbearbeitungsmethode, die im Beispiel von Fig. 3 das Verzahnungshonen (Schabschleifen) mit innenverzahnten Honringen ist oder in dem Ausführungsbeispiel 2 (Fig. 5) das Hartschälen mit außenverzahnten Hartschälrädern ist. Bevorzugt erfolgt die Hartfeinbearbeitung demnach im Bearbeitungseingriff eines Schraubradgetriebes mit unter einem Achskreuzwinkel stehenden Drehachsen der bearbeiteten Verzahnung und des bearbeitenden Werkzeugs. Werkzeugseitig sollen die relativen Drehlagen der beiden unterschiedlichen Verzahnungswerkzeuge (aufgrund der unterschiedlichen Verzahnungen 1, 2) ebenfalls drehfest miteinander gekoppelt sein, man kann hier von einem Tandemwerkzeug sprechen. Die Werkstückspindelreferenz ist dann eine vorgegebene Achsposition der C2-Achse.

Die weiteren Erläuterungen orientieren sich an der Ausführungsform gemäß Fig. 3 und 4, bei der die Verzahnungen 1 und 2 mittels zweier innenverzahnter Honringe 101, 102 gehont werden, die fest in einem Honkopf 104 eingespannt sind.

Eine ausführlichere Erläuterung der in Fig. 3 dargestellten Verzahnungshonmaschine 100 wird unterlassen, da derartige Gestaltungen dem Fachmann bereits bekannt sind. Es versteht sich, dass die Verzahnungshonmaschine ein Maschinenbett 180 und die erforderlichen Schlitten und Maschinenachsen aufweist, um ein Verzahnungshonen mit innenverzahnten Honringen durchführen zu können. Bei der in Fig. 3 gezeigten Ausgestaltung wird die Drehachse C1 der Honringe 101 und 102 durch eine Schwenkachse A1 gegenüber der hinsichtlich ihrer Axiallage raumfesten Werkstückspindelachse C2 auf einen Achskreuzwinkel einstellbar, die Maschine verfügt zudem über einen weiteren Schwenkwinkel B1 mit gegenüber der Schwenkachse A1 linear unabhängigen Schwenkachse, die bevorzugt senkrecht auf der Schwenkachse A1 und der Axialrichtung der Werkstückachse C2 liegt. Diese ist wiederum parallel zu einer linearen Verfahrachse Z2 der Werkstückspindel. Der Honkopf 104 ist an einem werkzeugseitigen Kreuzschlitten 161, 162 angebracht, der werk-

stückachsparell (Z1-Achse) und radial zur Werkstückachse Z2 (durch Linearachse X1) verschieblich ist. Die B1-Achse, üblicherweise für Flankenlinienmodifikationen bzw. deren Beeinflussung einsetzbar, kann hier als weitere Bewegungsachse eingesetzt werden, um eine bezüglich des Achskreuzpunkts außermittige Bearbeitung zu berücksichtigen. Alternativ ließe sich eine zusätzliche Linearachse Y1, z. B. orthogonal zu X1 und Z1, vorsehen.

Die Werkstückdrehachse C2 verfügt wie üblich über einen Antrieb und einen Drehgeber, mittels dessen eine Drehlage der Werkstückspindel (Drehachsenreferenz) gegenüber einer vorgegebenen Referenzlage, etwa einen internen Nulldurchgang der Werkstückspindel, bekannt ist. Auch die Werkzeugspindel C1 verfügt über einen solchen Drehgeber.

Wird ein neues Werkstück auf die Werkstückspindel aufgespannt, um die Hartfeinbearbeitung zu erfahren, ist nach dem Aufspannen in der Regel die Lage der Zahnücken, beispielsweise der Verzahnung 2 gegenüber der Werkstückspindelreferenz, unbekannt. Mittels eines bevorzugt berührungslos arbeitenden Sensors (Indexsensors), etwa eines induktiven Sensors, können durch Vorbeiführen der Verzahnung 2 über einige Zahnücken hinweg am Sensor 120 vorbei die Positionen der Zahnücken gegenüber der Referenz der Werkstückspindel bestimmt werden. Wenn, über ein erstmaliges Einrichten des Bearbeitungseingriffs des Honrings 102 mit der Verzahnung 2, die gegenseitige Winkellage von Werkstückspindelachse und Werkzeugdrehachse festgelegt ist (übliche Ersteinzentrieroperation, beispielsweise durch Eintauchen des Werkzeugs in eine Zahnücke, Verdrehung bis zur Zahnflanke links und Zahnflanke rechts der Lücke unter Festhalten der Drehlagen bei Kontakt und Berechnung durch Mittelwertbildung der Zahnückenmitte), weiß die Maschinensteuerung 99 der Verzahnungsmaschine 100, auf welche Drehposition die Werkstückspindel gegenüber der eigenen Referenz zu verfahren ist, um für den Bearbeitungseingriff in der richtigen Drehlage zu sein. Diese Verfahren sind für Einzelverzahnungen per se bereits gut bekannt und können gleichermaßen für die Verzahnung 1 (und deren Bearbeitungseingriff mit Honring 101) ausgeführt werden.

Bei derartigen Bearbeitungen einzelner Räder spielt es normalerweise jedoch keine Rolle, welche Zahnücke in die Bearbeitungsposition gefahren wird. Im vorliegenden Fall soll jedoch die Relativedrehlage der Verzahnung 1 gegenüber der Verzahnung 2, ausgedrückt durch die Drehwinkeldifferenz $\Delta\phi$, bei durch die Markierung 3 vorgegebenem Bezug in sehr strengen Toleranzen eingehalten werden. Hierzu ist in diesem Ausführungsbeispiel ein dritter Sensor, beispielsweise ebenfalls ein berührungsloser induktiver Sensor, vorgesehen, der die Drehlage der Markierung 3 erfasst, um somit die Grundlage für den Bezug

für die Drehwinkeldifferenz $\Delta\varphi$ zu legen. In diesen Ausgestaltungen sind demnach drei berührungslose Sensoren 120, 130, 110 vorgesehen, die die Drehlagen der Zahnflächen der Verzahnung 2, der Markierung 3 und der Zahnflächen der Verzahnung 1 bestimmen. Die Sensoren 110, 120, 130 können über einen gemeinsamen Tragarm 150 fest positioniert sein (wie dargestellt) oder über Schlitten/bewegliche Arme beweglich angeordnet sein, oder auch Kombinationen davon. Auch der Tragarm 150 könnte zurückziehbar sein.

Da die Honringe 101 und 102 nicht gegeneinander verdrehbar sind, wie auch die Verzahnung 1 gegenüber der Verzahnung 2 nicht gegeneinander verdrehbar ist, sind alle Informationen vorhanden, um für die Bearbeitung der Verzahnung 1 durch das Honrad 1 innerhalb der für die Einzelbearbeitung vorgegebenen Einzeltoleranz zu arbeiten, also die Drehlage der Zahnflächenmitten gegenüber der Werkstückspindelreferenz im Vergleich zu der des "Masterrads" des Einrichtens für die Bearbeitungsdrehlage innerhalb der Einzeltoleranzen zum Masterrad zu belassen und auf diese Weise sicherzustellen, dass auf jeden Fall genügend abtragbares Aufmaß gegenüber der Zahnflankenendgeometrie vorhanden ist (man sich also hinsichtlich der Fertigungstoleranzen der Verzahnung 1 selbst bewegt). Gleiches ist für das Zahnrad 2 auszuführen und beide Einstellungen bevorzugt vorab so aufeinander abzustimmen, dass die Drehlagedifferenz $\Delta\varphi$ innerhalb der vorgegebenen Toleranz $\delta\Delta\varphi$ liegt.

Die Auswirkungen werden im Folgenden anhand eines zu Erläuterungszwecken stark vereinfachten Beispiels diskutiert. Es versteht sich, dass die Einstellungen für das "Masterrad", d. h. ein erst zu bearbeitendes Werkstück der Werkstückcharge bzw. des ersten Werkstücks der wiederaufgenommenen Bearbeitung, nach einer Nachprofilierung der Honringe 101, 102 auf passende Eingriffsdrehlagen unter Einhaltung der Winkeldifferenz $\Delta\varphi$ eingerichtet sind. Nimmt man übertriebenerweise an, dass beim Härten der Verzahnung 2 ein Verzug mit Tendenz zu einer Verschiebung der Zahnflächenmitten im Uhrzeigersinn aufgetreten ist und für die Verzahnung 1 im Gegenuhrzeigersinn, so würde die Steuerung durch Vergleich der relativen Drehlagen der ersten Drehlagenreferenz von Verzahnung 1 zur Referenz der Werkstückspindel gegenüber der des Masterrads für die Bestimmung der passenden Drehlageeinstellung für die Bearbeitung gegenüber der des Masterrads nachkorrigieren, um idealerweise in der Mitte des Toleranzfeldes für die Verzahnung 1 zu liegen, und dabei z. B. um $-|\delta\varphi_1|$ zu verschieben, und bei gleichartiger Vorgehensweise für die Verzahnung 2 um $+|\delta\varphi_2|$ verschieben. Dann ergäbe sich aber für dieses Werkstück eine Drehwinkeldifferenz von Verzahnung 2 zu Verzahnung 1 von $\Delta\varphi^* = \varphi_2 + |\delta\varphi_2| - (\varphi_1 - |\delta\varphi_1|) = \Delta\varphi + (|\delta\varphi_1| + |\delta\varphi_2|)$, und für den Fall

$|\delta\varphi_2| + |\delta\varphi_1| > \delta\Delta\varphi$ würde man auf diese Weise zu einem nicht mehr den Anforderungen entsprechenden Werkstück gelangen.

Durch die Kopplung der Drehlagenreferenzen von Verzahnung 1 und Verzahnung 2 (mit Bezug auf die durch die Markierung 3 oder anderweitig identifizierte Konstellation) wird sichergestellt, dass $\Delta\varphi^*$ (sofern theoretisch noch möglich) immer innerhalb der Toleranz von $\Delta\varphi_0$ liegt und man zudem noch in der jeweiligen Einzeltoleranz, aber nicht mehr in der optimalen Mitte des Toleranzfeldes der Einzeltoleranzen der Einzelverzahnungen 1, 2 liegende Einzelbearbeitungen der Verzahnungen 1, 2 liegt.

Bei herkömmlicher Bereitstellung derartiger Werkstücke 4 mit Bearbeitung einer ersten Verzahnung durch Schleifen und, nach Aufspannungswechsel, der anderen Verzahnung durch z. B. Honen oder in der Reihenfolge vice versa ist eine Hartfeinbearbeitung bereits erfolgt und gibt, abgesehen von der nicht realisierten gleichen Werkstückaufspannung, auch hinsichtlich des Toleranzfeldes keinen Spielraum mehr, der zur Sicherstellung der innerhalb der Toleranz liegenden Drehlagedifferenz $\Delta\varphi$ ausgenutzt werden könnte.

In der schematischen Darstellung von Fig. 4 sind nochmals die drehlagengekoppelten Honräder 101 und 102 im Honkopf 104 dargestellt sowie die Sensoren 110, 120 und 130. Auch sind eine Reitstockspitze 109 sowie Diamantabrichträder 401, 402 auf der Werkstückspindel 108 zum Abrichten der Honringe 101, 102 vorgesehen.

Es versteht sich, dass die Art der Markierung 3 als Bohrung im Scheibenkörper der Verzahnung 1 sowie die sensorische Erfassung von deren Drehlage nur eine von mehreren Möglichkeiten ist, den Bezug für die Applikation der vorgegebenen Drehwinkeldifferenz $\Delta\varphi$ zu bestimmen (betrachtet man die Drehwinkeldifferenz zwischen zwei in Projektionsebene benachbarten Zahnücken der Verzahnung 1 und 2 an irgendeiner beliebigen anderen Stelle, wird diese ja aufgrund der unterschiedlichen Verzahnungen von $\Delta\varphi_0$ im Regelfall deutlich abweichen, daher ist die Bezugsbestimmung an sich günstig).

Beispielsweise könnte auch daran gedacht werden, durch die oben beschriebene Erfassung der Drehlagen der Zahnücken von Verzahnung 1 zur Referenz der Werkstückspindel und der Zahnücken der Verzahnung 2 zur Referenz der Werkstückspindel eine charakteristische Paarung zweier Zähne oder Zahnücken von Verzahnung 1 und Verzahnung 2 zu identifizieren, die nur einmalig auftritt, und für diese charakteristische Paarung

zung die Winkellagendifferenz $\Delta\varphi'$ zu bestimmen und als Zwangsbedingung für die Einstellung der Drehlagen für den jeweiligen Bearbeitungseingriff einzuführen.

In den Fig. 5 und 6 ist noch eine zweite Ausführungsform dargestellt. Die in Fig. 5 gezeigte Hartschälmaschine 200 weist ein Maschinenbett 280 auf, an dessen einer Seite ein Werkstücktisch mit Werkstückspindel 270 angeordnet ist. Letzterer kann über eine Adapteraufspannung (nicht dargestellt) zur Aufnahme des in Fig. 1 dargestellten Werkstücks 4 ausgerüstet sein. Nicht dargestellt ist eine Reitstockanordnung zur Gegenlagerung (ähnlich wie Reitstockspitze 109 aus Fig. 4).

Werkzeugseitig ist ein entlang einer Radialrichtung X verschieblicher Hauptständer 261 vorgesehen, an dem ein Vertikalschlitten 262 in werkstückachsparalleler Z-Richtung verfahrbar ist, der drehbar mit Drehachse A zur Einstellung eines Achskreuzwinkels einen Tangentialschlitten 263 (Y-Richtung in der gezeigten Drehstellung A) trägt. Der Hartschälkopf ist am Tangentialschlitten 263 befestigt. In Fig. 5 ist die Maschine mit nur einem Einfachwerkzeug mit Hartschälrad dargestellt, bevorzugt kommt jedoch das in Fig. 6 gezeigte Tandemwerkzeug zum Einsatz. Gesteuert wird die Maschine 200 sowie deren Maschinenachsbewegungen von einer Steuerung 299.

Hier wird die Hartfeinbearbeitung auf einer Hartschälmaschine ausgeführt, mit der Struktur des in Fig. 6 nur grob schematisch gezeigten Kombiwerkzeugs bestehend aus zwei Hartschälrädern 201 und 202 zum Hartschälen der Verzahnungen 1 und 2. Die Funktionsweise der Drehlagenbestimmung ist wie anhand des ersten Ausführungsbeispiels beschrieben, die Art der Hartfeinbearbeitung ändert sich jedoch durch Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide. Auch hier sind die beiden Hartschälräder 201, 202 drehlagengekoppelt, und es herrschen somit für alle Werkstücke 4 der Charge die werkzeugseitig gleichen relativen Drehlageneinstellungen der beiden Hartschälräder. Auch hier sind, wenn auch nicht dargestellt, bevorzugt drei Sensoren, etwa über eine Tragekonstruktion am Werkzeugkopf angebracht, zur Erfassung der Drehlagen von erster und zweiter Drehlagenreferenz sowie des Bezugs (der Markierung 3) vorgesehen.

Man könnte jedoch auch mit innenverzahnten Schälringen arbeiten, d. h. Werkzeugen von der Gestalt ähnlich der Honringe 101, 102, jedoch mit geometrisch bestimmter Schneide. Ebenfalls ist ein Verzahnungshonen mit außenverzahnten Rädern denkbar, ähnlich der Gestalt der Hartschälräder 201, 202, jedoch mit geometrisch unbestimmter Schneide.

Wie zu erkennen ist, ist die Erfindung nicht auf die in den obigen Ausführungsbeispielen dargestellten Einzelheiten eingeschränkt. Vielmehr können die einzelnen Merkmale der nachfolgenden Ansprüche wie auch der vorstehenden Beschreibung einzeln oder in Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Hartfeinbearbeiten zweier an einem Werkstück (4) vorgesehener, voneinander verschiedener Verzahnungen (1, 2), bei dem man vor der jeweiligen Bearbeitung zur Einstellung eines passenden Werkzeugeingriffs für die Bearbeitung eine erste relative Drehwinkellage einer ersten Drehlagenreferenz (φ_1) einer ersten (1) der Verzahnungen zu einer Drehachseposition einer das Werkstück für die erste Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel sowie eine zweite relative Drehwinkellage einer zweiten Drehlagenreferenz (φ_2) der zweiten der Verzahnungen zu einer Drehachseposition einer das Werkstück für die zweite Bearbeitung aufgespannt haltenden Werkstückspindel bestimmt,

dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungen ohne zwischenzeitlichen Aufspannungswechsel auf derselben Werkstückspindel (108; 208) und unter zugrundeliegender gekoppelter erster und zweiter Drehlagenreferenz erfolgen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kopplung in einer innerhalb einer Toleranz ($\pm \delta \Delta \varphi$) um einen vorgegebenen Drehwinkel ($\Delta \varphi_0$) liegenden Drehwinkeldifferenz ($\Delta \varphi$) zwischen erster und zweiter Drehlagenreferenz besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die erste und zweite Drehlagenreferenz einem vorgegebenen Bezug, insbesondere ausgewählten Referenzzahn (21) einer Verzahnung (2) zugeordnet sind.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die vorgegebene Auswahl des Referenzzahns durch eine insbesondere am Werkstück selbst angeordnete Markierung (3) bestimmt ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für das erstbearbeitete Werkstück einer Charge gleichartiger Werkstücke und/oder für das erstbearbeitete Werkstück nach Austausch oder vollzogenem Nachschärfen/Profilieren wenigstens eines der Werkzeuge die Bestimmung der relativen ersten und/oder zweiten Drehwinkellage über sensorisch erfassten Kontakt zwischen Werkstückverzahnung und Werkzeug erfolgt und hieraus die passenden Achsdrehlagen für den Werkzeugeingriff bestimmt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem für die den erstbearbeiteten Werkstücken folgenden Werkstücke eine Einstellung auf die passende Achsdrehlage für den Werkzeugeingriff anhand der für dieses Werkstück insbesondere mittels berührungslosen Sensors bestimmten ersten bzw. zweiten relativen Drehwinkellage erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei der für das jeweilige Werkstück auch der vorgegebene Bezug, insbesondere ausgewählte Referenzzahn identifiziert und hierzu insbesondere die Drehlage der Markierung insbesondere berührungslos sensorisch erfasst wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Bestimmung der zweiten relativen Drehwinkellage vorgenommen wird, bevor die Bearbeitung der ersten Verzahnung aufgenommen wird, und vice versa.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Abrichtwerkzeuge (401, 402) für die Werkzeuge (101, 102) insbesondere in Form von Verzahnungen, insbesondere Diamantabrichträder, in relativ zueinander feststehender Drehlagenkopplung stehen und insbesondere ebenfalls auf derselben Werkstückspindel (108) angeordnet sind wie die erste und zweite Verzahnung (1, 2).
10. Verzahnungsmaschine (100; 200) zum Hartfeinbearbeiten zweier an einem Werkstück (4) vorgesehener, voneinander verschiedener Verzahnungen (1, 2), mit wenigstens einer Werkstückspindel (108; 208) zum drehenden Antreiben der Werkstücke, einem Werkzeugkopf (104; 204) zur Lagerung eines über den gleichen Antrieb angetriebenen ersten Hartfeinbearbeitungswerkzeugs (101; 201) zum Hartfeinbearbeiten der ersten Verzahnung (1) und eines zweiten Hartfeinbearbeitungswerkzeugs (102; 202) zum Hartfeinbearbeiten der zweiten Verzahnung, wenigstens zwei insbesondere berührungslosen Sensoren (110, 120) sowie einer Steuereinrichtung (99) mit Steueranweisungen zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
11. Verzahnungsmaschine nach Anspruch 10, mit einem dritten Sensor (130) zur Erfassung einer am Werkstück angeordneten und einen Bezug für eine der Drehlagenreferenzen, insbesondere vorgegebenen Zahn des Werkstücks identifizierenden Markierung (3).
12. Verzahnungsmaschine nach Anspruch 10 oder 11, mit einer Nachschärf- oder Profilvorrichtung (401, 402) für die Hartfeinbearbeitungswerkzeuge, insbesondere in zueinander fester Drehlage gekoppelt und insbesondere auf der Werkstückspindel (108) angeordnet.

13. Steuerprogramm mit Steueranweisungen, die, wenn auf einer Steuereinrichtung einer Verzahnungsmaschine ausgeführt, diese zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 steuern.

14. Hartfeinbearbeitungskombiwerkzeug mit zwei verzahnten Hartfeinbearbeitungswerkzeugen geometrisch unbestimmter Schneide, insbesondere in Form innenverzahnter Honringe (101, 102) mit gemeinsamer Drehachse (C1) und gemeinsamer Kopplung über drehlagenfeste gemeinsame Einspannung in einen Werkzeugkopf (104), wobei das erste Hartfeinbearbeitungswerkzeug zur Hartfeinbearbeitung einer ersten Verzahnung eines Werkstücks und das zweite Hartfeinbearbeitungswerkzeug zur Hartfeinbearbeitung einer davon unterschiedlichen zweiten Verzahnung des Werkstücks ausgelegt ist.

15. Hartfeinbearbeitungskombiwerkzeug mit zwei Hartfeinbearbeitungswerkzeugen geometrisch bestimmter Schneide in Form von insbesondere außenverzahnten Schälrrädern (201, 202) für das Hartschälen in relativ zueinander fester Drehlage und gleicher Drehachse gekoppelt, wobei das erste Hartfeinbearbeitungswerkzeug zur Hartfeinbearbeitung einer ersten Verzahnung eines Werkstücks und das zweite Hartfeinbearbeitungswerkzeug zur Hartfeinbearbeitung einer davon unterschiedlichen zweiten Verzahnung des Werkstücks ausgelegt ist.

16. Sensoranordnung für eine Einzentrieroperation bei einer Hartfeinbearbeitung von zwei unterschiedliche Verzahnungen aufweisenden Werkstücken (4), mit einem ersten insbesondere berührungslos arbeitenden Sensor (110) zur Zahnlückenerfassung einer ersten der Verzahnungen, einem zweiten insbesondere berührungslos arbeitenden Sensor (120) zur Zahnlückenerfassung der zweiten Verzahnung und einem dritten Sensor (130) zur Erfassung einer dem Bezug für eine Differenz von Drehlagenreferenzen der ersten und zweiten Verzahnung dienenden Markierung (3) am Werkstück (4).

17. Sensoranordnung nach Anspruch 16, bei der zwei, insbesondere drei der Sensoren in einer definierten festen Lagebeziehung zueinander angeordnet sind, insbesondere über ihre Anbringung an einem gemeinsamen Träger, der insbesondere über einen Bewegungsmechanismus in eine Arbeitsstellung des Sensors verbringbar ist.

18. Sensoranordnung nach Anspruch 16, bei der zwei oder drei der Sensoren relativ zueinander über wenigstens eine Positionierbewegungsachse lageverstellbar sind, insbesondere einer oder mehrere Sensoren über beispielsweise je eine Schlittenanordnung oder einen Schwenkarm beweglich angeordnet sind.

1/6

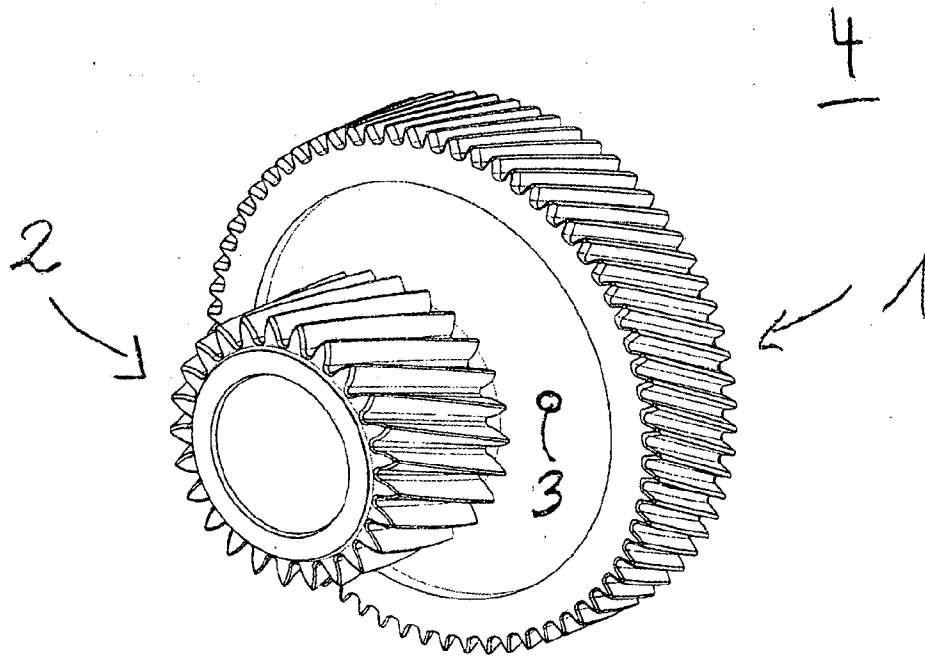
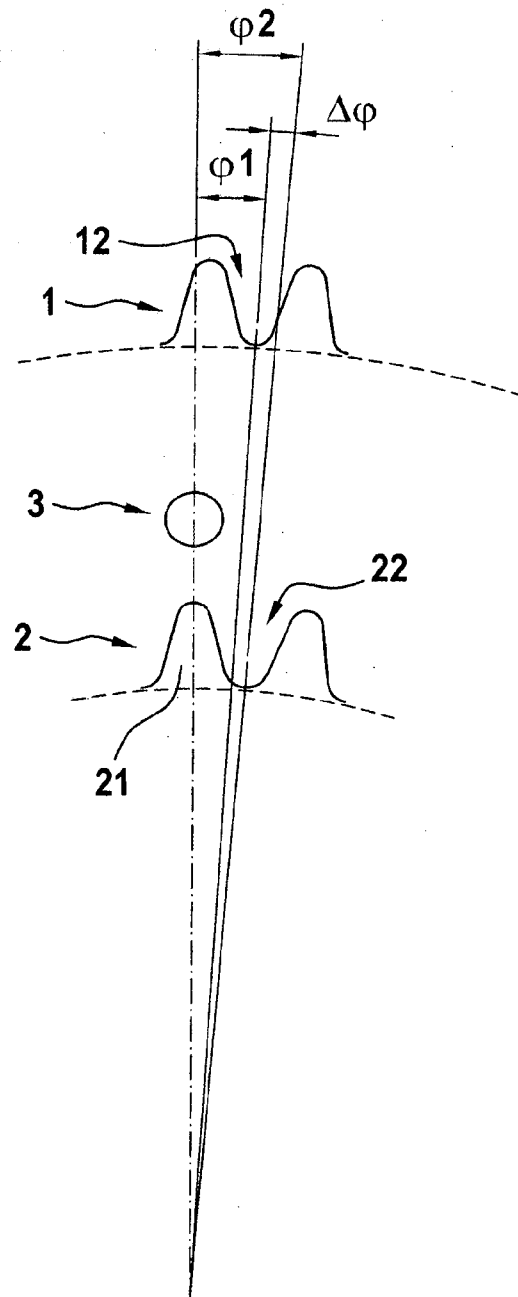


Fig. 1

Fig. 2

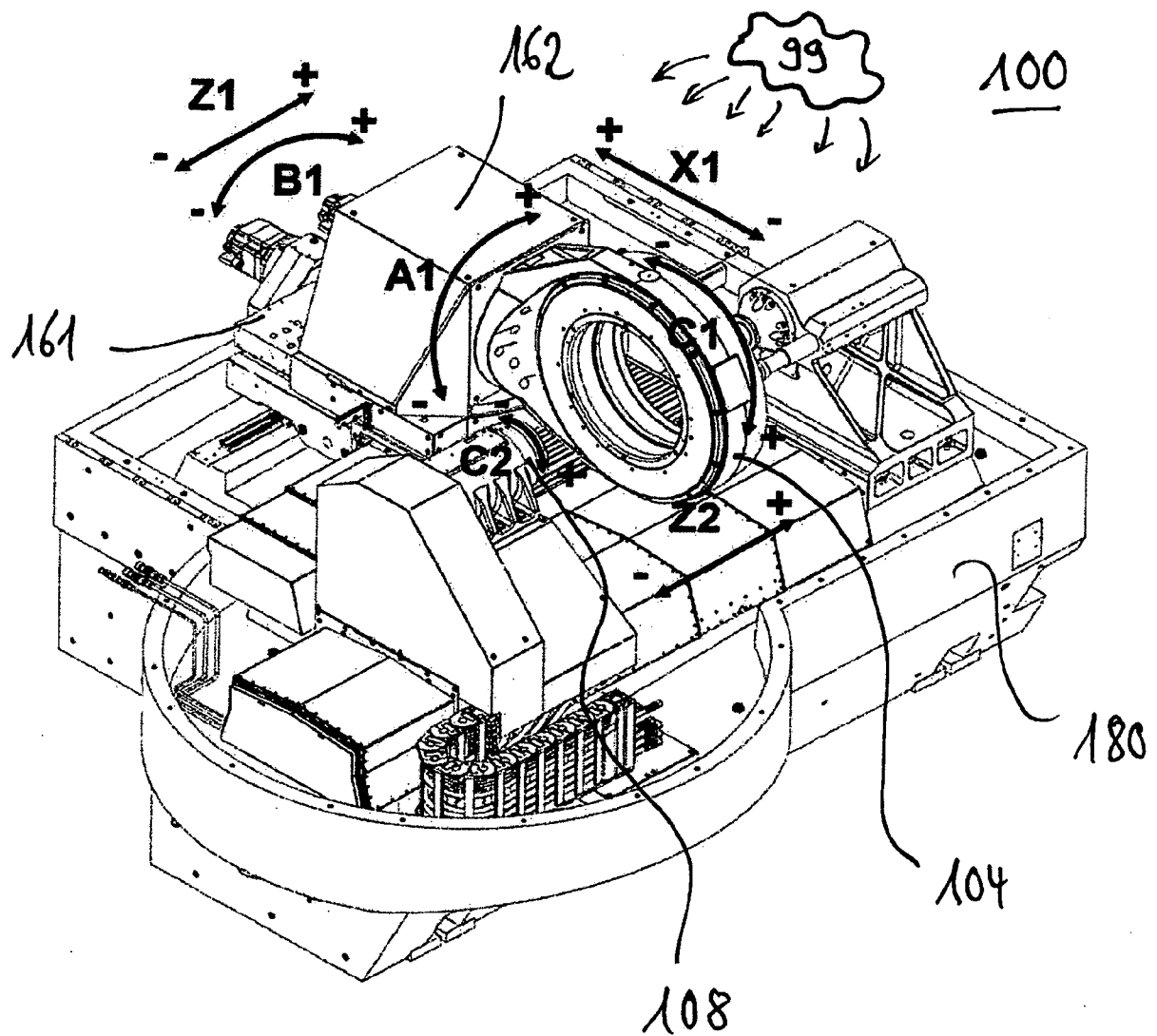
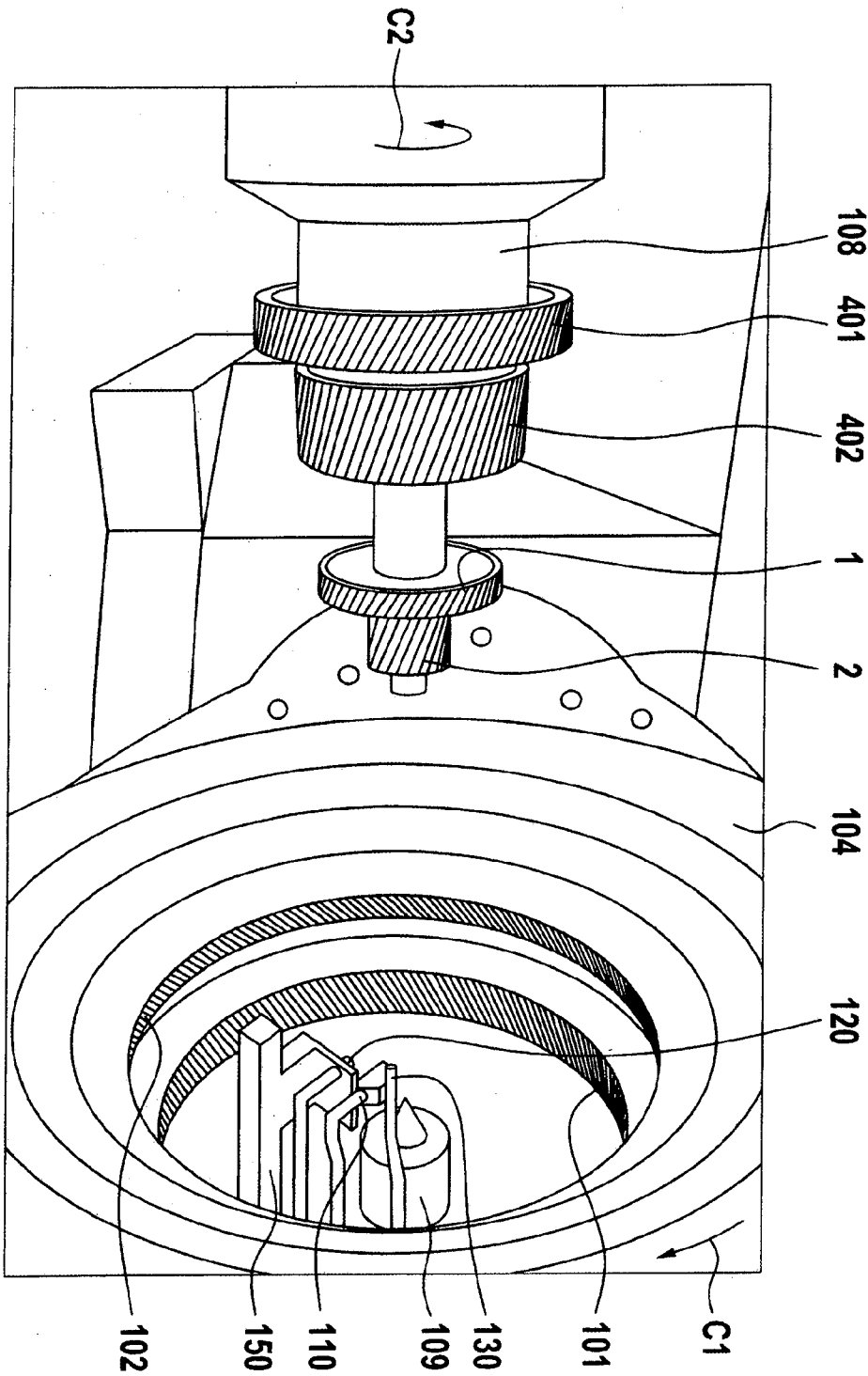
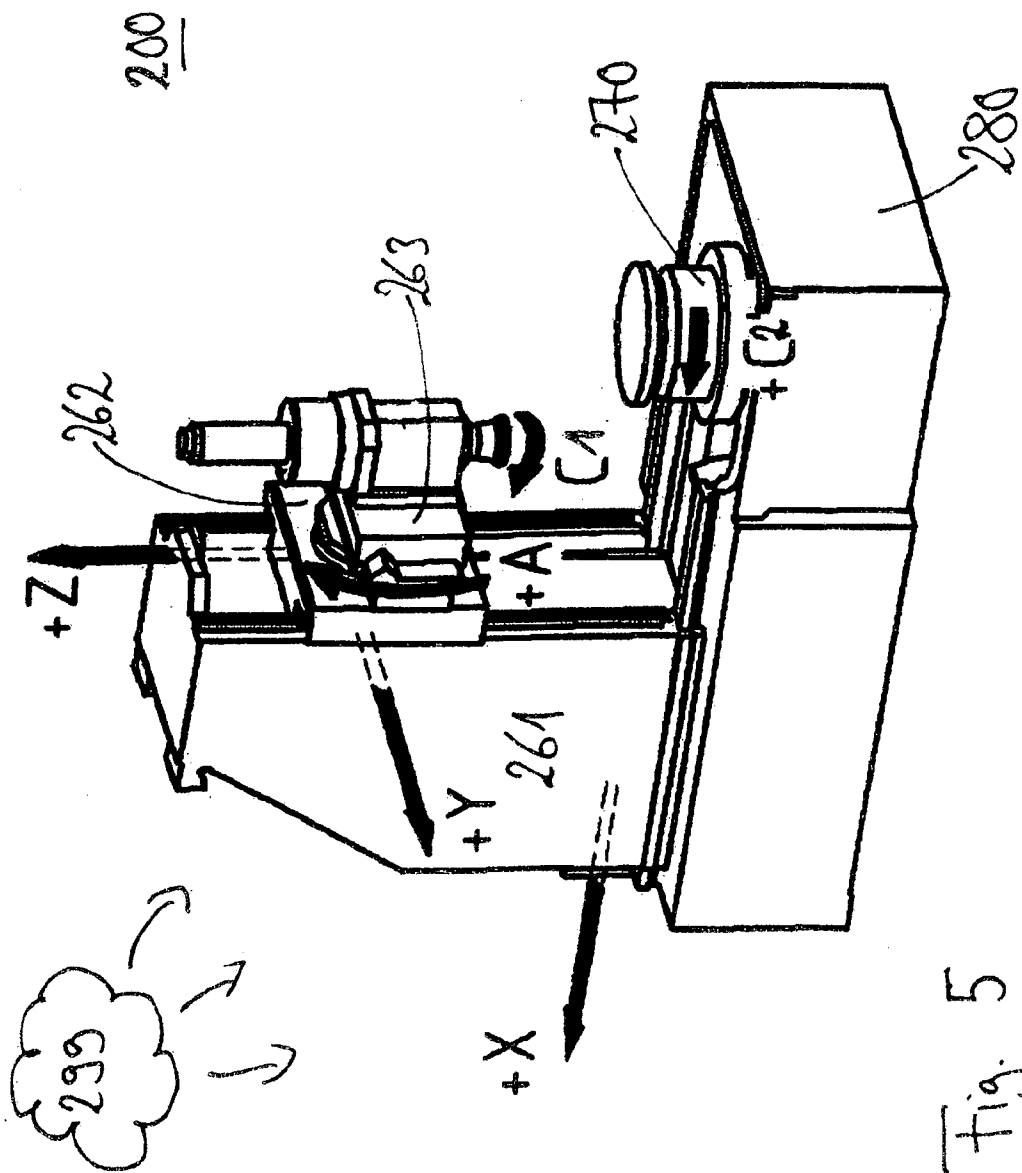


Fig. 3

Fig. 4





6/6

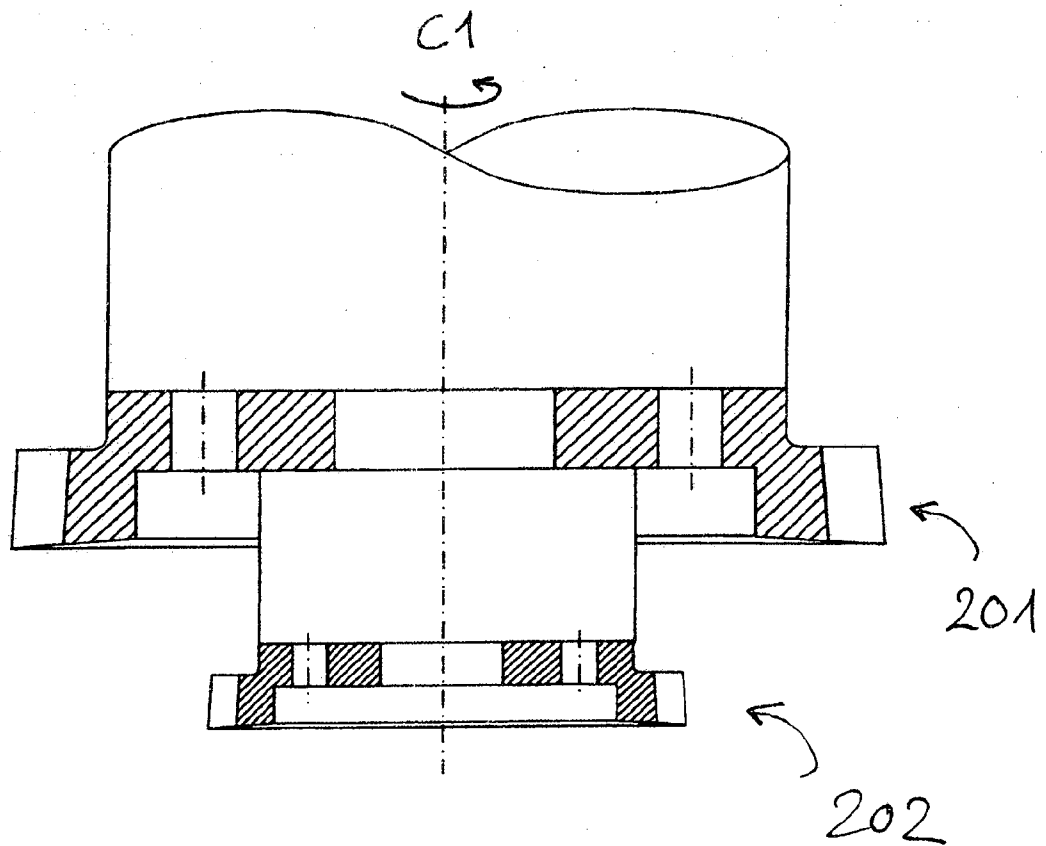


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069772

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23F 21/00(2006.01)i; **B23F 15/00**(2006.01)i; **B23F 19/00**(2006.01)i; **B23F 19/05**(2006.01)i; **B23F 17/00**(2006.01)i;
B23F 21/03(2006.01)i; **B23F 23/12**(2006.01)i; **B23F 23/00**(2006.01)i; **B23F 1/02**(2006.01)i; **B23F 1/06**(2006.01)i;
G05B 19/19(2006.01)i; **B23F 5/16**(2006.01)n; **B23F 5/02**(2006.01)n; **B23F 5/20**(2006.01)n

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; G05B

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 A	EP 2823924 A2 (LIEBHERR VERZAHNTECH GMBH [DE]) 14 January 2015 (2015-01-14) paragraphs [0001], [0002], [0042], [0043]; figures 1,4,5	14 1,10,13
X	EP 3241640 A1 (KAPP WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]; NILES WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]) 08 November 2017 (2017-11-08) abstract; figure 1	14
X	GB 2018178 A (HURTH VERWALTUNGS GMBH) 17 October 1979 (1979-10-17) figure 11	14
X	WO 2019011871 A1 (GLEASON PFAUTER MASCHF GMBH [DE]) 17 January 2019 (2019-01-17) page 12, paragraph 4; figure 4	15
A	DE 102009059331 A1 (FAESSLER AG [CH]) 19 August 2010 (2010-08-19) paragraphs [0044], [0047]	1,6,10,13,16
A	US 2018236576 A1 (TACHIKAWA TOMOKAZU [JP] ET AL) 23 August 2018 (2018-08-23) paragraphs [0017], [0018], [0020], [0021], [0027], [0033], [0039], [0070], [0075]; figures 1,2,5	1,10,13,16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “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)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“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
 “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
 “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
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 September 2020

Date of mailing of the international search report

30 September 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Carmichael, Guy

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069772**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 3314793 A1 (REISHAUER AG [CH]) 10 November 1983 (1983-11-10) page 10, paragraph 3; figures 2-4	1,10,13,16
A	US 5857896 A (STOLLBERG HORST [DE]) 12 January 1999 (1999-01-12) abstract; figure 2	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/069772

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2823924	A2	14 January 2015	CN	104275532	A	14 January 2015
				DE	102013011048	A1	08 January 2015
				EP	2823924	A2	14 January 2015
				KR	20150004296	A	12 January 2015
				US	2015011142	A1	08 January 2015
EP	3241640	A1	08 November 2017	BR	102017008996	A2	07 November 2017
				CN	107335867	A	10 November 2017
				DE	102016005305	A1	02 November 2017
				EP	3241640	A1	08 November 2017
				JP	2017200721	A	09 November 2017
				US	2017312838	A1	02 November 2017
GB	2018178	A	17 October 1979	DE	2814676	A1	18 October 1979
				FR	2421707	A1	02 November 1979
				GB	2018178	A	17 October 1979
				IT	1203233	B	15 February 1989
				JP	S54134895	A	19 October 1979
WO	2019011871	A1	17 January 2019	CN	110678285	A	10 January 2020
				DE	102017006651	A1	17 January 2019
				EP	3651925	A1	20 May 2020
				JP	2020526399	A	31 August 2020
				US	2020171591	A1	04 June 2020
				WO	2019011871	A1	17 January 2019
DE	102009059331	A1	19 August 2010	CH	700206	A1	15 July 2010
				DE	102009059331	A1	19 August 2010
US	2018236576	A1	23 August 2018	DE	102018103600	A1	23 August 2018
				JP	2018134690	A	30 August 2018
				US	2018236576	A1	23 August 2018
DE	3314793	A1	10 November 1983	CH	655881	A5	30 May 1986
				DE	3314793	A1	10 November 1983
US	5857896	A	12 January 1999	DE	19625520	C1	12 June 1997
				IT	TO970474	A1	30 November 1998
				JP	H1058230	A	03 March 1998
				US	5857896	A	12 January 1999

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B23F21/00 B23F21/03 G05B19/19	B23F15/00 B23F23/12
	B23F19/00 B23F23/00	B23F19/05 B23F1/02
		B23F17/00 B23F1/06
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B23F G05B		
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	EP 2 823 924 A2 (LIEBHERR VERZAHNTECH GMBH [DE]) 14. Januar 2015 (2015-01-14)	14
A	Absätze [0001], [0002], [0042], [0043]; Abbildungen 1,4,5	1,10,13

X	EP 3 241 640 A1 (KAPP WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]; NILES WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]) 8. November 2017 (2017-11-08) Zusammenfassung; Abbildung 1	14

X	GB 2 018 178 A (HURTH VERWALTUNGS GMBH) 17. Oktober 1979 (1979-10-17) Abbildung 11	14

X	WO 2019/011871 A1 (GLEASON PFAUTER MASCHF GMBH [DE]) 17. Januar 2019 (2019-01-17) Seite 12, Absatz 4; Abbildung 4	15

	-/-	
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. September 2020		30/09/2020
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 Carmichael, Guy

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2009 059331 A1 (FAESSLER AG [CH]) 19. August 2010 (2010-08-19) Absätze [0044], [0047] -----	1,6,10, 13,16
A	US 2018/236576 A1 (TACHIKAWA TOMOKAZU [JP] ET AL) 23. August 2018 (2018-08-23) Absätze [0017], [0018], [0020], [0021], [0027], [0033], [0039], [0070], [0075]; Abbildungen 1,2,5 -----	1,10,13, 16
A	DE 33 14 793 A1 (REISHAUER AG [CH]) 10. November 1983 (1983-11-10) Seite 10, Absatz 3; Abbildungen 2-4 -----	1,10,13, 16
A	US 5 857 896 A (STOLLBERG HORST [DE]) 12. Januar 1999 (1999-01-12) Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/069772

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2823924	A2	14-01-2015	CN 104275532 A 14-01-2015
		DE 102013011048 A1	08-01-2015
		EP 2823924 A2	14-01-2015
		KR 20150004296 A	12-01-2015
		US 2015011142 A1	08-01-2015
EP 3241640	A1	08-11-2017	BR 102017008996 A2 07-11-2017
		CN 107335867 A	10-11-2017
		DE 102016005305 A1	02-11-2017
		EP 3241640 A1	08-11-2017
		JP 2017200721 A	09-11-2017
		US 2017312838 A1	02-11-2017
GB 2018178	A	17-10-1979	DE 2814676 A1 18-10-1979
		FR 2421707 A1	02-11-1979
		GB 2018178 A	17-10-1979
		IT 1203233 B	15-02-1989
		JP S54134895 A	19-10-1979
WO 2019011871	A1	17-01-2019	CN 110678285 A 10-01-2020
		DE 102017006651 A1	17-01-2019
		EP 3651925 A1	20-05-2020
		JP 2020526399 A	31-08-2020
		US 2020171591 A1	04-06-2020
		WO 2019011871 A1	17-01-2019
DE 102009059331	A1	19-08-2010	CH 700206 A1 15-07-2010
		DE 102009059331 A1	19-08-2010
US 2018236576	A1	23-08-2018	DE 102018103600 A1 23-08-2018
		JP 2018134690 A	30-08-2018
		US 2018236576 A1	23-08-2018
DE 3314793	A1	10-11-1983	CH 655881 A5 30-05-1986
		DE 3314793 A1	10-11-1983
US 5857896	A	12-01-1999	DE 19625520 C1 12-06-1997
		IT T0970474 A1	30-11-1998
		JP H1058230 A	03-03-1998
		US 5857896 A	12-01-1999