



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 009 154.9**  
(22) Anmeldetag: **14.07.2015**  
(43) Offenlegungstag: **19.01.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **02.03.2023**

(51) Int Cl.: **B23F 19/00** (2006.01)  
**B23F 21/28** (2006.01)  
**B23P 15/44** (2006.01)  
**B24B 3/00** (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:  
**GLEASON-PFAUTER Maschinenfabrik GmbH,  
71636 Ludwigsburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Schnell, Josef, 85375 Neufahrn, DE**

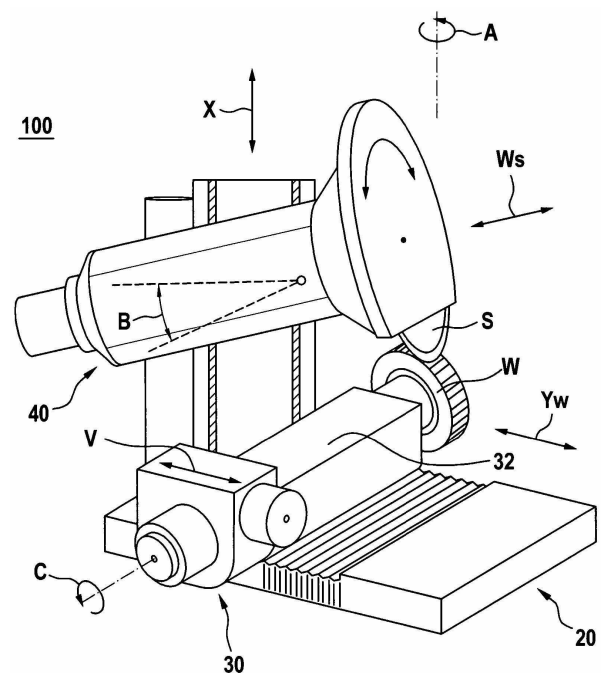
(74) Vertreter:  
**Leinweber & Zimmermann Patentanwalts-PartG  
mbB, 80331 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	103 44 945	A1
US	2014 / 0 213 156	A1
JP	H09- 94 742	A
JP	2006- 62 025	A

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM FEINBEARBEITEN EINER VERZÄHNUNG UND  
FEINBEARBEITUNGSMASCHINE**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Feinbearbeiten einer Verzahnung (W) im Einzelteilverfahren, bei dem man ein scheibenartiges, um seine Drehachse rotierendes Feinbearbeitungswerkzeug (S) in wälzenden Bearbeitungseingriff mit einer Zahnflanke der Verzahnung bringt, um Material von der Zahnflanke abzutragen, wobei im Bearbeitungseingriff ein Linienkontakt hergestellt wird und sich die Kontaktlinie gemäß einer eine zur Verzahnungsachse radiale Richtungskomponente aufweisenden Verschiebung über die Zahnflanke verschiebt, dadurch gekennzeichnet, dass man den Bearbeitungseingriff in noch derselben Teilung unter verringertem tangentialen Abstand zwischen der Zahnflanke und der Scheibenebene des Feinbearbeitungswerkzeugs und unter Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente der Kontaktlinienverschiebung fortsetzt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Feinbearbeiten einer Verzahnung im Einzelteilverfahren, bei dem man ein scheibenartiges, um seine Drehachse rotierendes Feinbearbeitungswerkzeug in wälzenden Bearbeitungseingriff mit einer Zahnflanke der Verzahnung bringt, um Material von der Zahnflanke abzutragen, wobei im Bearbeitungseingriff ein Linienkontakt hergestellt wird und sich die Kontaktlinie gemäß einer eine zur Verzahnungsachse radiale Richtungskomponente aufweisenden Verschiebung über die Zahnflanke verschiebt, sowie eine zur Ausführung des Verfahrens geeignete und gesteuerte Feinbearbeitungsmaschine.

**[0002]** Derartige, im Einzelteilverfahren ausgeführte Feinbearbeitungsverfahren finden beispielsweise beim Schleifen von Schabradern Anwendung. Im Einzelteilverfahren findet dabei eine Bearbeitung an einer Zahnflanke der bearbeiteten Verzahnung statt, anschließend wird durch Drehung der bearbeiteten Verzahnung um ihre Verzahnungsachse (Weiterteilen) die Zahnflanke des nächsten Zahns in die Bearbeitung verbracht, und so weiter, bis in einem Umlauf die Zahnflanken aller Zähne der Verzahnung an einer Flankenseite bearbeitet sind.

**[0003]** Üblicherweise wird der Abtrag auf das gewünschte Endmaß dabei nicht in einem Umlauf abgeschliffen, sondern der Abschiff erfolgt in mehreren Stufen (Umläufen). In den ersten (Schrupp-)Umläufen erfolgt dabei der größte Materialabtrag, in anschließenden (Schlicht-)Umläufen wird unter Erhöhung der Schleifgenauigkeit weniger Material abgetragen. Nach jedem Umlauf, in dem also ein vorab definierter Betrag abgeschliffen wird, erfolgt eine neuerliche Zustellung, die den Abstand zwischen der zu bearbeitenden Zahnflanke und der Schleifscheibe entsprechend dem für den nächsten Umlauf vorgesehenen Abschiffbetrag verringert. Zudem können nach Erreichen der gewünschten Endgeometrie noch sogenannte „Ausfunkumläufe“ durchgeführt werden, die ohne weitergehende Zustellung kraftfrei ausgeführt werden.

**[0004]** Sobald alle Zahnflanken einer Flankenseite, z.B. die linken Flanken nach der vorgesehenen Zahl von Umläufen fertig geschliffen sind, kann die Aufspannung der Verzahnung gelöst werden, die Verzahnung, beispielsweise das Schabrad, umgedreht und erneut aufgespannt werden, woraufhin die Bearbeitung der anderen Flankenseite, dann der rechten, erfolgen kann.

**[0005]** Zur Erzeugung des wälzenden Bearbeitungseingriffes findet dabei nach dem Prinzip der klassischen Abwicklung über einen Rollbogen bei gleichzeitiger translatorischer Verschiebung der Verzahnungsachse statt. Dieses Prinzip ist auf Seite 63

der Firmenschrift „Das SRS-Buch“ von Dr. Schriefer, München, Juli 1988, erläutert, wobei die dortige Darstellung dieser Anmeldung als **Fig. 2** beigelegt ist und diesbezüglich auf beispielsweise diese Schrift verwiesen wird, allerdings ist dem Fachmann dieses Prinzip ohnehin bestens vertraut. Das Weiterteilen findet dabei in der in **Fig. 2** mit 3 bezeichneten Stellung statt, und durch die nachfolgende aufeinander abgestimmte Drehung der Verzahnung nebst Axialbewegung wälzt die Schleifscheibe unter Bildung eines Linienkontakts in die Verzahnung ein. Die Kontaktlinie bewegt sich dabei über die Zahnflanke hinweg, bis die volle Zahnflanke geschliffen ist und (in Stellung 1 in **Fig. 2**) der Umkehrpunkt für die Linearbewegung zwischen Verzahnung und Schleifscheibe erreicht ist. Im sogenannten Rückhub wird dann die Schleifscheibe wieder aus der Verzahnung hinausbewegt, bis in der wieder erreichten Stellung 3 kein Eingriff mehr besteht. Dort wird die Verzahnung weitergeteilt, woraufhin die Zahnflanke des nächsten Zahns bearbeitet wird. Nach einem Bearbeitungsumlauf erfolgt der nächste Bearbeitungsumlauf dann unter weiterer Zustellung.

**[0006]** Desweiteren ist ein Schleifverfahren (sogenanntes MAAG-Schleifverfahren) bekannt, bei dem anstelle des Linienkontakts ein Punktkontakt zwischen der Verzahnungsevolventenfläche und der Schleifscheibenfläche erzeugt wird, hier wird durch eine zusätzliche Pendelbewegung der Schleifscheibe durch die Zahnücke entlang der Verzahnungsbreitenrichtung die Zahnflanke auf ihrer gesamten Oberfläche geschliffen.

**[0007]** Demgegenüber sind bei dem Verfahren der eingangs genannten Art nach den erforderlichen grundlegenden Positionier- und Einstellbewegungen außer der für den Wälzeingriff erforderlichen Überlagerung der Drehung der Verzahnung und der translatorischen Hubbewegung über einen ganzen Umlauf hinweg keine Achsbewegungen mehr erforderlich, und es werden dadurch ausgezeichnete Bearbeitungsergebnisse hinsichtlich Bearbeitungsgenauigkeit und Bearbeitungszeit erreicht.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art nochmals zu verbessern.

**[0009]** Diese Aufgabe wird von der Erfindung durch eine Weiterbildung eines Verfahrens der eingangs genannten Art gelöst, das im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, dass man den Bearbeitungseingriff in noch derselben Teilung unter verringertem tangentialen Abstand zwischen der Zahnflanke und der Scheibenebene des Feinbearbeitungswerkzeugs und unter Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente der Kontaktlinienverschiebung fortsetzt.

**[0010]** Dabei beruht die Erfindung auf der Erkenntnis, dass entgegen der Vorstellung, die erforderlichen Achsbewegungen wie oben beschrieben zu minimieren und aufgrund der minimierten einfachen wiederholten Achsbewegungen eine einfache und zeitsparende Maschinensteuerung umsetzen zu können, durch zusätzliche Achsbewegungen, nämlich einer noch in derselben Teilung den tangentialen Abstand zwischen der Zahnflanke und der Scheibenebene des Feinbearbeitungswerkzeugs reduzierende Extrazustellbewegung eine Verringerung der Bearbeitungszeit erreichen kann. Denn durch Durchführung dieser Bewegung vor der Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente der Kontaktlinienverschiebung gelingt ein durch den verringerten tangentialen Abstand bedingter weiterer Bearbeitungseingriff mit einer Kontaktlinienverschiebung unter umgekehrter radialer Richtungskomponente. Der Rückhub erfolgt somit gezielt materialabtragend unter tieferer Zustellung. Dies ermöglicht eine Verringerung der Anzahl der Bearbeitungsumläufe ohne erhöhte Schleifbrandgefahr durch zu hohen Materialabtrag in einem Bearbeitungseingriff.

**[0011]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird der tangentialer Abstand für den Bearbeitungseingriff (jeweils) an der nach dem Weiterteilen nächsten Zahnflanke wieder erhöht, insbesondere um den gleichen Betrag wie der der vorherigen Verringerung. Auf diese Weise wird über die einzelnen Zahnluken der Verzahnung gesehen ein gleichmäßiger Materialabtrag über den Umlauf hinweg erreicht.

**[0012]** Zweckmäßig wird auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren grundsätzlich der Gesamtmaterialabtrag auf ein gewünschtes Endmaß über eine Mehrzahl von Bearbeitungsumläufen der Verzahnung verteilt. Dabei ist bevorzugt vorgesehen, dass die Bearbeitungsfortsetzung unter Verringerung des Tangentialabstands und der Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente in der jeweiligen Teilung bei einem oder mehreren, insbesondere den ersten Bearbeitungsumläufen vorgenommen wird. Es ist somit durchaus vorgesehen, dass einzelne Bearbeitungsumläufe auch nach dem oben erläuterten Stand der Technik ausgeführt werden können, insbesondere ist vorgesehen, dass in dem letzten gezielt materialabtragenden Umlauf keine Verringerung des Tangentialabstands vorgenommen wird. Dies ist üblicherweise der letzte Schlichtumlauf und nicht der letzte Umlauf insgesamt, insoweit Ausfunckumläufe vorgesehen werden.

**[0013]** Die Erfindung ist somit nicht so zu verstehen, dass in jedem Bearbeitungsumlauf eine Bearbeitungseingriffsfortsetzung im Rückhub unter weitergehender Zustellung erfolgen muss, vielmehr zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch

aus, dass diese Maßnahme in wenigstens einem Bearbeitungsumlauf vorgenommen wird.

**[0014]** In einer bevorzugten Variante ist eine Relativbewegung zwischen dem Feinbearbeitungswerkzeug und der Bearbeitung der Verzahnung zur Herstellung des Bearbeitungseingriffes ihrer Art nach die des mechanischen Rollbogens, die aber über synchronisierte CNC-gesteuerte Bewegungsachsen ausgeführt wird. Dies ist die oben bereits erläuterte Überlagerung der tangentialen Hubbewegung mit der Verzahnungsrotation.

**[0015]** Mit den heute verfügbaren CNC-gesteuerten Maschinenachsen ist es grundsätzlich möglich, eine Relativbewegung zwischen Werkzeug und Verzahnung durch Bewegung der Verzahnung, Bewegung des Werkzeugs oder durch beidseitige Bewegung zu erreichen, und die Erfindung ist diesbezüglich nicht weitergehend eingeschränkt. Besonders bevorzugt wird die Relativbewegung jedoch durch Überlagerung einer Drehbewegung der Verzahnung ihrer Drehachse und einer Linearbewegung der Verzahnung quer zu ihrer Drehachse erzeugt, es bewegt sich somit aktiv die Verzahnung.

**[0016]** In diesem Zusammenhang wird bevorzugt vorgesehen, dass das Feinbearbeitungswerkzeug während eines Bearbeitungsumlaufs der Verzahnung keine anderen Bewegungen als seine Rotationsbewegung ausführt. Bei dieser Variante wird somit die zur Verringerung des tangentialen Abstands vor der Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente der Kontaktlinienverschiebung ebenfalls verzahnungsseitig ausgeführt.

**[0017]** In einer zweckmäßigen Ausführungsform ist die bearbeitete Verzahnung die Verzahnung eines zylindrischen Verzahnungswerkzeuges. Hier kommt die mit dem Verfahren erreichbare Genauigkeit geeignet zur Geltung. Das zylindrische Werkzeug könnte z. B. ein Schneidrad (Stoßmesser) sein. Insbesondere ist auch vorgesehen, dass mit dem Verfahren ein Schabrad geschliffen wird.

**[0018]** Zudem wird von der Erfindung unter Schutz gestellt ein Computerprogramm, welches, wenn auf einer zur Durchführung eines Verfahrens der oben genannten Art geeigneten Feinbearbeitungsmaschine ausgeführt, die Feinbearbeitungsmaschine zur Ausführung eines Verfahrens der oben genannten Art steuert.

**[0019]** Ebenfalls geschützt wird eine Feinbearbeitungsmaschine, insbesondere Schabrad-Schleifmaschine mit einer Steuereinrichtung, die die Maschine zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorgenannten Verfahrensaspekte steuert. Diese Maschine muss sich hinsichtlich ihrer verfügbaren Bewegungsachsen nicht von bekannten Schabrad-

Schleifmaschinen unterscheiden. Allerdings verfügt die Steuerung der Maschine über die zur Ausführung des Verfahrens führenden Steuerbefehle verfügt, die maschinentechnisch implementiert sind.

**[0020]** Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels mit Bezug auf die beigefügten Figuren, von denen

**Fig. 1** eine Schabrad-Schleifmaschine zeigt,

**Fig. 2** eine erläuternde Wiedergabe der Wälz- und Teilkinematik einer Schabrad-Schleifmaschine zeigt, und

**Fig. 3** eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Materialabtrags im Einzelteilverfahren ist.

**[0021]** In **Fig. 1** ist eine Schabrad-Schleifmaschine 100 dargestellt, deren Hauptkomponenten ein Maschinenbett 20, eine Einheit 30 zur angetriebenen und positionierbaren Lagerung eines Schabrads W und einer Einheit 40 zur angetriebenen und positionierbaren Lagerung einer Schleifscheibe S aufweist. Weitere Nebekomponenten wie beispielsweise auch eine Abrichteinrichtung sind in **Fig. 1** nicht dargestellt.

**[0022]** Das Schabrad W wird drehend angetrieben von einem Werkstückschlitten 32 gehalten, der über die Maschinenachse V entlang des Betts 20 zur tangentialen Hub- und Rückhubbewegung bewegbar ist, während die Rotationsachse des Schabrads mit C bezeichnet ist.

**[0023]** Die Schleifscheibeneinheit 40 hat die um ihre Achse drehbare Schleifscheibe S an einer Schlittenanordnung, wobei eine Höhe der Schleifscheibe über die Positionierachse X und eine Orientierung der Schleifscheibenachse über die rotatorischen Achsen A, B einstellbar ist, wobei die Achse A der Einstellung bezüglich des Schrägungswinkels und die Achse B der Einstellung bezüglich des Eingriffswinkels dient. Zudem kann über Bewegungsachse  $W_s$  die Zustelltiefe verändert werden.

**[0024]** In **Fig. 1** sind Schleifscheibe S und Schabrad W im Bearbeitungseingriff gezeigt, dieser erfolgt nach dem bereits einleitend unter Bezugnahme auf **Fig. 2** erläuterten Prinzips der durch Überlagerung der tangentialen Hubbewegung in Richtung  $Y_w$  mit der Schabrad-Drehung erzeugten Wälzbewegung.

**[0025]** Im folgenden, anhand **Fig. 3** beschriebenen Beispielsfall sollen  $40\ \mu\text{m}$  Material in einem Umlauf von den Zahnflanken eines z.B. 100 Zähne aufweisenden Schabrads abgenommen werden.

**[0026]** Dies geschieht, indem die Hälfte des gewünschten Abtrags,  $20\ \mu\text{m}$  als Zustellbetrag eingestellt werden und dieses Material in der Hubbewegung ( $+Y_w$ ) durch den wälzenden Bearbeitungseingriff abgetragen wird. Noch bevor die Schleifscheibe wieder aus der Eingriffsposition herausgewälzt ( $-Y_w$ ) wird, um Weiterteilen zu können, wird durch Änderung der Zustellung, nämlich eine um weitere  $20\ \mu\text{m}$  tiefere Zustellung, beim Herauswälzen ebenfalls gezielt ein Materialabtrag vorgenommen.

**[0027]** Bevor die Einwälzbewegung nach der nächsten Weiterteilung beginnt, wird die Zustellung wieder auf die Zustelltiefe beim Hub der vorherigen Teilung eingestellt, wonach der zweite Zahn bearbeitet wird wie der erste, und so weiter. Bei diesem Verfahren werden somit 200 Schleifhübe bei Null Leerhüben ausgeführt, und der Gesamtabtrag von  $40\ \mu\text{m}$  in einem Bearbeitungsumlauf erreicht.

**[0028]** Dies ist nur ein veranschaulichendes Beispiel, lässt jedoch erkennen, dass pro Bearbeitungsumlauf mehr Abtrag und damit weniger Umläufe insgesamt möglich (oder bei einer gleichen Anzahl von Bearbeitungsumläufen weniger Abtrag pro Schleifhub nötig ist), um zu den gleichen Bearbeitungsergebnissen wie im Stand der Technik zu gelangen.

**[0029]** Denkt man beispielsweise an die üblicherweise im Stand der Technik vorgenommenen Maßnahmen zum Schleifen eines neu hergestellten Schabrads, bei dem z.B. vier Schrappumläufe, drei Schlichtumläufe und zwei Ausfunkumläufe stattfinden, so genügen bei erfindungsgemäßer Verfahrensteuerung bereits zwei Schrappumläufe, ein Schlichtumlauf mit Schleifhub im Rückhub und ggf. ein weiterer Schlichtumlauf mit Leerhub im Rückhub, sowie die Ausfunkumläufe. Insgesamt können sich dadurch um durchaus ca. bis zu 25% niedrigere Bearbeitungszeiten ergeben.

**[0030]** Im Ausführungsbeispiel arbeitet eine Schleifscheibe. Die Erfindung lässt sich jedoch auch für Doppelscheibenanordnungen implementieren, bei denen beide Scheiben gleichzeitig zwei um meist einige Zahnflanken beabstandete Zahnflanken bearbeiten.

**[0031]** Die Erfindung ist auch im Übrigen nicht auf die in den vorstehenden Beispielen gezeigten Einzelheiten eingeschränkt. Vielmehr können die einzelnen Merkmale der nachstehenden Ansprüche und der Beschreibung einzeln und in Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Feinbearbeiten einer Verzahnung (W) im Einzelteilverfahren, bei dem man ein

scheibenartiges, um seine Drehachse rotierendes Feinbearbeitungswerkzeug (S) in wälzenden Bearbeitungseingriff mit einer Zahnflanke der Verzahnung bringt, um Material von der Zahnflanke abzutragen, wobei im Bearbeitungseingriff ein Linienkontakt hergestellt wird und sich die Kontaktlinie gemäß einer zur Verzahnungsachse radiale Richtungskomponente aufweisenden Verschiebung über die Zahnflanke verschiebt, **dadurch gekennzeichnet**, dass man den Bearbeitungseingriff in noch derselben Teilung unter verringertem tangentialen Abstand zwischen der Zahnflanke und der Scheibenebene des Feinbearbeitungswerkzeugs und unter Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente der Kontaktlinienverschiebung fortsetzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem man für den Bearbeitungseingriff an der nach dem Weiterteilen nächsten Zahnflanke den tangentialen Abstand wieder erhöht, insbesondere um den gleichen Betrag wie der der vorherigen Verringerung.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Gesamtmaterialabtrag auf ein gewünschtes Endmaß über eine Mehrzahl von Bearbeitungsumläufen der Verzahnung verteilt ist und die Bearbeitungsfortsetzung unter Verringerung des Tangentialabstands und der Vorzeichenumkehr der radialen Richtungskomponente in der jeweiligen Teilung bei einem oder mehreren, insbesondere den ersten Bearbeitungsumläufen vorgenommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem in einem späteren, insbesondere dem letzten gezielt Material abtragenden Umlauf keine Verringerung des Tangentialabstands vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Relativbewegung zwischen dem Feinbearbeitungswerkzeug und der bearbeiteten Verzahnung zur Herstellung des Bearbeitungseingriffes ihrer Art nach die des mechanischen Rollbogens ist, die aber über synchronisierte CNC-gesteuerte Bewegungsachsen ausgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Relativbewegung durch Überlagerung einer Drehbewegung der Verzahnung um ihre Drehachse und einer Linearbewegung der Verzahnung quer zu ihrer Drehachse erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Feinbearbeitungswerkzeug während eines Bearbeitungsumlaufs der Verzahnung keine anderen Bewegungen als seine Rotationsbewegung ausführt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die bearbeitete Verzahnung die Verzahnung eines zylindrischen Verzahnungswerkzeuges ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem mit dem Verfahren ein Schabrad geschliffen wird.

10. Computerprogramm, welches, wenn auf einer zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche geeigneten Feinbearbeitungsmaschine ausgeführt, die Feinbearbeitungsmaschine zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche steuert.

11. Feinbearbeitungsmaschine (100) mit einer Steuereinrichtung, die die Maschine zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 steuert.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

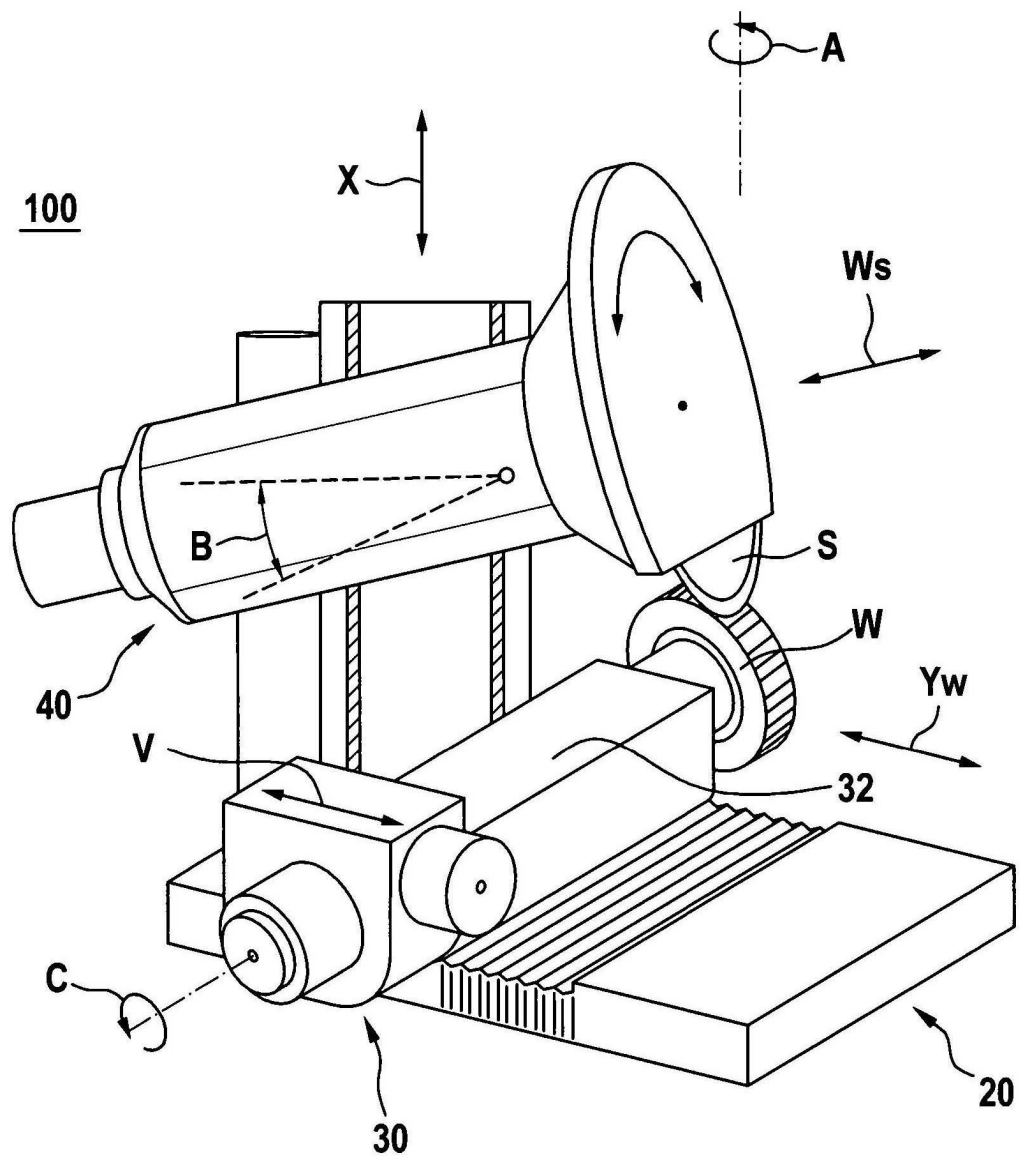
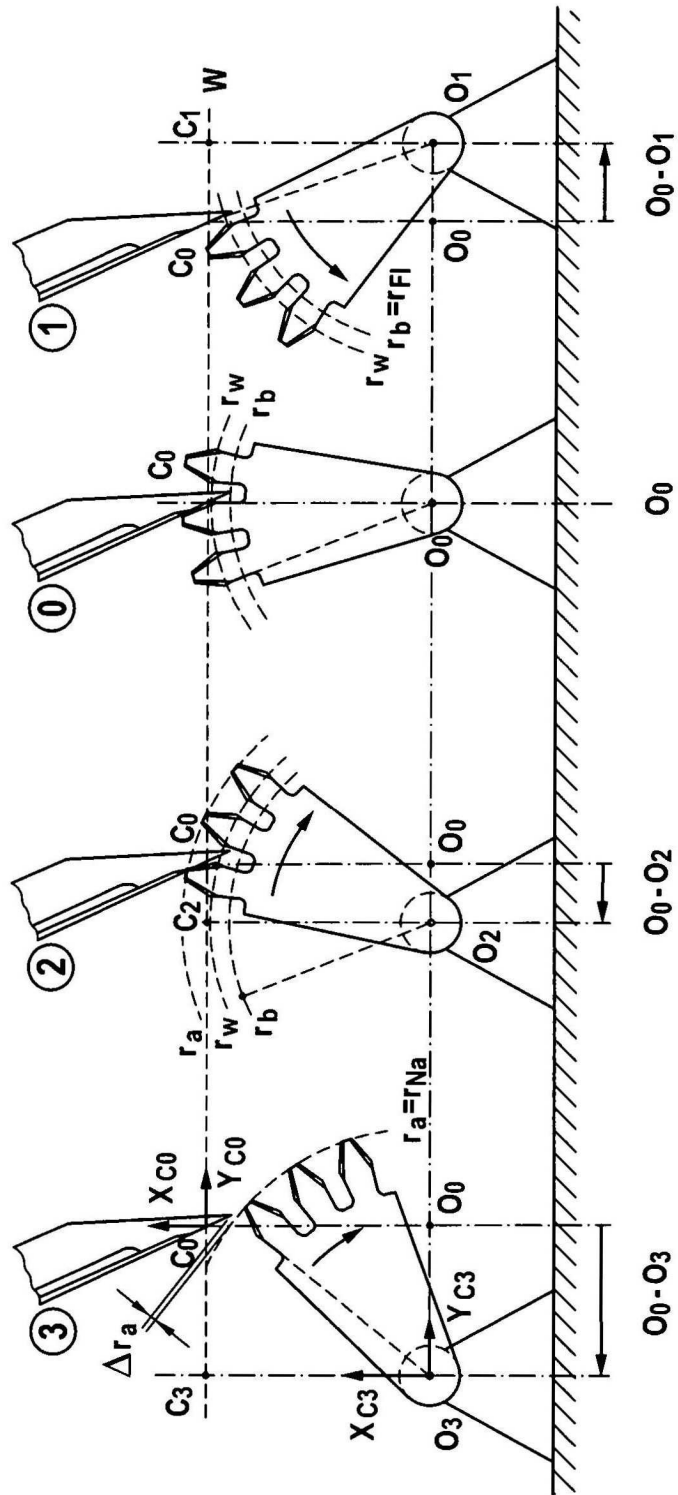


Fig. 2



**Fig. 3**

