



(10) **DE 20 2013 012 505 U1** 2017.03.09

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2013 012 505.5**
(22) Anmeldetag: **31.07.2013**
(67) aus Patentanmeldung: **10 2013 012 797.1**
(47) Eintragungstag: **30.01.2017**
(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **09.03.2017**

(51) Int Cl.: **B23Q 15/007 (2006.01)**
B23F 19/00 (2006.01)
B23F 5/16 (2006.01)

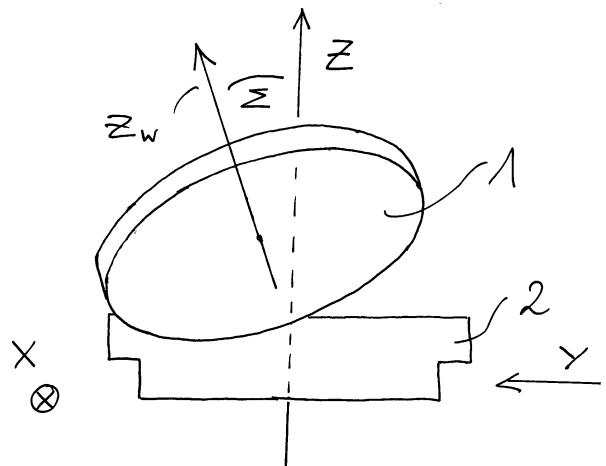
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
**Gleason-Pfauter Maschinenfabrik GmbH, 71636
Ludwigsburg, DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**LEINWEBER & ZIMMERMANN, 80331 München,
DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Steuerprogramm für ein Bearbeiten von Zahnkanten und damit ausgestattete
Bearbeitungsstation**

(57) Hauptanspruch: Steuerprogramm, das, wenn auf einer Steuereinrichtung einer ein mit einer Schneide versehenes, verzahntes Bearbeitungswerkzeug aufweisenden Bearbeitungsstation und/oder Verzahnungsmaschine ausgeführt, diese zur Durchführung eines Verfahrens zum Bearbeiten der zwischen einer Stirnseite (3) und den Zahnflanken einer Verzahnung (2) ausgebildeten Zahnkanten steuert, bei dem das Bearbeitungswerkzeug schneidend Material von den Zahnkanten der Verzahnung (2) abnimmt, die um ihre Verzahnungsachse (Z) rotiert und das Bearbeitungswerkzeug für die Materialabnahme um seine Verzahnungsachse (Z_W) rotierend unter einem von Null verschiedenen Achskreuzwinkel (Σ) zwischen den Rotationsachsen (Z, Z_W) des Bearbeitungswerkzeugs und der zu bearbeitenden Verzahnung (2) in Wälzeingriff mit der zu bearbeitenden Verzahnung gebracht wird, wobei die Schnittrichtung (s) der Schneidbewegung eine durch einen von Null verschiedenen Neigungswinkel (η) der Rotationsachse des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber einer orthogonal zur Verbindungsrichtung zwischen den Zentren von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug stehenden Ebene bewirkte, orthogonal zur Zahnflanke verlaufende Richtungskomponente aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Steuerprogramm mit Steueranweisungen für ein zum Bearbeiten der zwischen einer Stirnseite und den Zahnflanken einer Verzahnung ausgebildeten Zahnkanten sowie eine damit ausgestattete Bearbeitungsstation und eine eine solche Bearbeitungsstation aufweisende Verzahnungsmaschine. Der Einfachheit halber wird im Folgenden vereinfachend von einem Verfahren gesprochen, welches über das Steuerprogramm gesteuert wird, als von dem Steuerprogramm selbst.

[0002] Derartige Verfahren sind in der Technik bekannt, beispielsweise durch die DE 10 2009 019 433 A1. Hintergrund der Zahnkantenbearbeitung ist, daß bei der spanenden Herstellung von Verzahnungen an den endseitigen Zahnkanten ein Grat entsteht, der aus verschiedenen Gründen zu beseitigen ist. Beispielsweise soll die Stirnfläche des Zahnrads in nachfolgenden Arbeitsgängen als planare Spann- oder Bestimmungsfläche dienen, deren Planarität durch den Grat gestört wäre. Des Weiteren zieht der Grat nach erfolgter Härtung die Gefahr nach sich, daß er beim späteren Lauf des Zahnrads in einem Getriebe abspringt und eine Beschädigung der Zahnflanken oder von Getriebebauteilen herbeiführt. Abgesehen davon stellt ein solcher Grat auch eine Verletzungsgefahr bei der Handhabung der Verzahnungen bzw. verzahnten Werkstücke dar. Würde man nur den Grat beseitigen und nicht die Zahnkante selbst bearbeiten, besteht die Gefahr, daß letztere beim Härten durch Überkohlung glashart wird und dann unter Belastung ausbricht.

[0003] Um diesen Nachteilen entgegenzutreten, sind in der Technik mehrere Verfahren entwickelt worden. Ein solches Verfahren, das beispielsweise in der EP 1 279 127 A1 offenbart ist, betrifft die plastische Umformung der Zahnkante in eine Fase, bei der Material des Werkstücks im Bereich der Zahnkante durch ein damit in Zahnengriff abwälzendes Anfasrad verdrängt wird. Die dabei entstehenden Sekundärgrate müssen allerdings darauf folgend ebenfalls entfernt werden, da sie für eine nachfolgende Hartbearbeitung wie beispielsweise Honen oder Schleifen ein Problem hinsichtlich einer vorzeitigen Abnutzung der jeweiligen Hartfeinbearbeitungswerkzeuge darstellen. In der DE 10 2009 018 405 A1 wird gelehrt, wie sich derartige Sekundärgrate geeignet beseitigen lassen.

[0004] Alternativ zu diesem Anfasen durch plastisches Drücken besteht die Möglichkeit, eine Fase an der Zahnkante durch Schneiden zu erzeugen. Gemäß der DE 10 2009 019 433 wird dazu ein im Wesentlichen zylinderförmiges Bearbeitungswerkzeug, das mindestens eine Schneide aufweist, auf einer Werkzeugspindel aufgespannt. Nach radialer Zustellung wird durch Bearbeitungseingriff dieses Anfas-

werkzeugs mit einer Stirnseite des verzahnten Werkstücks eine Fase an den Zahnkanten der Verzahnung erzeugt. Bei der in DE 10 2009 019 433 offenbarten Gestaltung läßt sich die Schneidrichtung des Anfaswerkzeugs bei beiden Stirnseiten des verzahnten Werkstücks immer zum Zentrum der Verzahnung hin richten. Die Erfindung betrifft eine Zahnkantenbearbeitung mit einer schneidenden Erzeugung einer Fase an der Zahnkante.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt dabei die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art insbesondere im Hinblick auf eine höhere Flexibilität auch betreffend der Form der die Verzahnung tragenden, zu bearbeitenden Werkstücke zu verbessern.

[0006] Diese Aufgabe wird von der Erfindung in verfahrenstechnischer Hinsicht durch eine Weiterbildung des eingangs genannten Verfahrens gebildet, das im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, daß das Bearbeitungswerkzeug verzahnt ist und für die Materialabnahme um seine Verzahnungsachse rotierend unter einem von Null verschiedenen Achskreuzwinkel zwischen den Rotationsachsen des Bearbeitungswerkzeugs und der zu bearbeitenden Verzahnung in Wälzeingriff mit der zu bearbeitenden Verzahnung gebracht wird.

[0007] Der Erfindung liegt somit eine gegenüber dem oben erläuterten Stand der Technik völlig unterschiedliche Kinematik der beteiligten Maschinenachsen zugrunde. So ist das Bearbeitungswerkzeug verzahnt, und die Verzahnungsachse steht unter einem Achskreuzwinkel zu der Verzahnungsachse der Verzahnung, deren Kanten bearbeitet werden. Die Bewegungskinematik ist daher die eines Schraubradgetriebes, das durch eine windschiefe Anordnung der jeweiligen Drehachsen charakterisiert ist. Den üblicherweise mit Σ bezeichneten Achskreuzwinkel erhält man dadurch, daß ausgehend von parallelen Drehachsen eine der Drehachsen um eine Verbindungsrichtung der Zentren der zu bearbeitenden Verzahnung und des Bearbeitungswerkzeugs (gemeinsames Lot auf die Rotationsachsen) verschwenkt wird. Im Übrigen ist die Bedeutung des Achskreuzwinkels dem Verzahnungsfachmann ohnehin beispielsweise durch das Wälzschälens (Power-Skiving) bekannt, eine anschauliche Darstellung der beim Wälzschälens auftretenden Maschinenachsen, Kinematik und Schneidverhältnisse sowie Begriffsbestimmungen wird z. B. in der EP 2 537 615 A1 gegeben.

[0008] Durch den Achskreuzwinkel wird somit ein Schneidmechanismus erzeugt, bei dem die Schnittgeschwindigkeit von dem Achskreuzwinkel und auch der Drehzahl des Bearbeitungswerkzeugs abhängt. Die Schneidkanten des Werkzeugs sind durch die Kanten der Werkzeugverzahnung gebildet.

[0009] So kann die Schnittrichtung der Schneidbewegung eine durch den von Null verschiedenen Achskreuzwinkel bewirkte Richtungskomponente aufweisen, die entlang der an der bearbeiteten Zahnkante anschließenden Zahnflanke in Zahnbreitenrichtung verläuft.

[0010] Um der Schnittrichtung der Schneidbewegung eine orthogonal zur Zahnflanke verlaufende Richtungskomponente zu verleihen, wird besonders bevorzugt ein von Null verschiedener Neigungswinkel der Rotationsachse des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber einer orthogonal zur Verbindungsrichtung zwischen den Zentren von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug stehenden Ebene eingestellt. Das Werkzeug wird somit in Richtung auf die Werkstückachse Z hin gekippt (**Fig. 2**). Dadurch läßt sich besonders einfach eine profilbildende Kontaktlinie erzeugen, die über die Zahnkante führt. Dem Neigungswinkel entspricht auch eine Neigung der Werkzeugbezugsfläche bezüglich der Berührebene.

[0011] Die dadurch bestimmte gegenseitige Achslage im Bearbeitungseingriff läßt sich daher (ausgehend von parallelen Achsen) durch Drehung um zwei linear unabhängige Drehachsen einstellen. Es kann aber auch ein Achskreuzwinkel durch Drehung um nur eine Achse eingestellt werden und dazu eine Verschiebung mit Verschiebungskomponente senkrecht zur Verbindungsachse der Zentren (bisheriges Gemeinlot) und senkrecht zu einer von den Rotationsachsen von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug durchgeführt werden. Eine solche Verschiebung erkennt man an einem von Null verschiedenen Offset zwischen dem in Projektion gesehenen Achskreuzpunkt und dem Eingriffsbereich (Berührungspunkt) der Bearbeitung. Der ursprünglich eingestellte Achskreuzwinkel läßt sich nach dieser Verschiebung als Zerlegung in einen effektiven Achskreuzwinkel und den Neigungswinkel ansehen.

[0012] Bei der Verbindungsrichtung zwischen den Zentren handelt es sich zudem um eine Radialrichtung, die in dem Verfahren auch als Zustellachsrichtung nutzbar ist, für eine reine Zustellung oder für einen Tauchvorschub.

[0013] Bevorzugt beträgt der Achskreuzwinkel wenigstens 4° , weiter bevorzugt wenigstens 8° , insbesondere wenigstens 12° . Im Übrigen sollte der Achskreuzwinkel zweckmäßig nicht mehr als 45° betragen, bevorzugt nicht mehr als 35° , insbesondere nicht mehr als 25° . Dies führt zu ausreichend hohen Schnittgeschwindigkeiten bei gleichzeitig nicht zu hohen Anforderungen an die Auslegung des Bearbeitungswerkzeugs.

[0014] Hinsichtlich des Neigungswinkels wird es bevorzugt, daß dieser wenigstens 8 Prozent, bevorzugt wenigstens 16 Prozent, insbesondere wenig-

tens 24 Prozent beträgt. Andererseits sollte er 80° nicht übersteigen, bevorzugt höchstens 60° , insbesondere höchstens 40° betragen. Diese Neigungswinkeleinstellung sorgt, insbesondere in Kombination mit der obigen Achskreuzwinkeleinstellung, für einen geeigneten Verlauf der profilbildenden Kontaktlinien.

[0015] Wie oben bereits erläutert ist ein die Schnittgeschwindigkeit mitbestimmender Faktor die Drehzahl für die Drehung des Bearbeitungswerkzeugs um seine Rotationsachse. Diese wird bei festgelegter Einstellung der übrigen Bewegungsachsen bevorzugt so eingestellt, daß die Schnittgeschwindigkeit wenigstens 10 m/min, bevorzugt wenigstens 30 m/min, insbesondere wenigstens 50 m/min beträgt. Als Obergrenze für die Schnittgeschwindigkeit ist 450 m/min, bevorzugt höchstens 300 m/min, insbesondere höchstens 200 m/min, auch 150 m/min vorgesehen. Damit wird ein geeigneter Kompromiß zwischen nicht zu hohen Bearbeitungszeiten einerseits und einer ausreichenden Werkzeugstandzeit andererseits erreicht.

[0016] Damit die Zahnflanken jedenfalls zwischen Fuß- und Kopfflanken einer vollständigen Bearbeitung unterliegen, sind insoweit die profilbildenden Kontaktlinien über diesen gesamten Zahnkantenbereich einer Zahnücke zu schieben. Dazu sieht die Erfindung grundsätzlich mehrere Möglichkeiten vor.

[0017] Zum einen kann man das Bearbeitungswerkzeug und die zu bearbeitende Verzahnung eine Relativbewegung mit einer zur Verzahnungsachse der zu bearbeitenden Verzahnung parallelen Richtungskomponente ausführen lassen. Diese kann, ähnlich wie beim Walzschalen, z. B. eine Bewegung längs der Verzahnungsachse oder längs der Werkzeugachse sein. Diese Variante ist insbesondere bei großen Neigungswinkeln vorteilhaft. Es ist dabei denkbar, daß einige Zahnkanten der zu bearbeitenden Verzahnung, jedenfalls einige Bereiche dieser Zahnkanten mit einigen Bereichen der an den beispielsweise Zahnkanten der Verzahnung des Bearbeitungswerkzeugs vorgesehenen Schneidkantenbereichen überhaupt nicht in Berührung kommen.

[0018] Andererseits muß das Bearbeitungswerkzeug, auch wenn dies eine bevorzugte Variante darstellt, nicht voll verzahnt sein. Grundsätzlich würde ein einzelner mit Schneidkante versehener Zahn ausreichen. In diesem Fall wäre die axiale Vorschubbewegungsgeschwindigkeit entsprechend gering zu wählen.

[0019] Alternativ läßt sich auch eine diese Wirkung entfaltende Struktur in das Bearbeitungswerkzeug selbst einarbeiten. Genaueres hierzu wird weiter unten anhand der Vorrichtungsansprüche erläutert.

[0020] Bei dieser Variante kann unter Umständen vollständig auf eine z. B. parallel zur Verzahnungsachse oder Werkzeugachse geführte Vorschubbewegung verzichtet werden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das die zu bearbeitende Verzahnung aufweisende Werkstück noch eine nahegelegene Schulter aufweist, die durch die Zahnkantenbearbeitung nicht beeinträchtigt werden darf. Mehrere unterschiedliche Zähne des Werkzeugs kommen dann in Eingriff mit einer jeweiligen Lücke und bearbeiten dabei (segmentweise) die beiden Zahnkanten einer jeden Lücke (Überrollung).

[0021] In vorrichtungstechnischer Hinsicht stellt die Erfindung eine Bearbeitungsstation zur Bearbeitung der zwischen jeder Stirnseite und den Zahnflanken einer Verzahnung ausgebildeten Zahnkanten bereit, die im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, daß ein von Null verschiedener Achskreuzwinkel zwischen der Werkzeugspindelachse und der Werkstückspindelachse einstellbar ist, und eine Steuervorrichtung vorgesehen ist, die die Spindeldrehungen bei einem von Null verschieden eingestellten Achskreuzwinkel zu einem Wälzeingriff zwischen der zu bearbeitenden Verzahnung und einer Verzahnung des Bearbeitungswerkzeugs steuert.

[0022] Die Vorteile der erfindungsgemäßen Bearbeitungsstation ergeben sich aus den Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens. So kann die Bearbeitungsstation bevorzugt eine der Zustellung dienende Linearachse, insbesondere erste Maschinenachse mit einer Richtungskomponente, insbesondere radial zur Werkstückspindelachse, aufweisen. Zweckmäßig ist auch eine Maschinenachse vorgesehen, mit der eine Relativbewegung zwischen Werkstückspindel und Werkzeugspindel mit Bewegungskomponente parallel zur Werkstückspindelachse wirken kann. Damit läßt sich zum einen eine axiale Vorschubbewegung realisieren. Zum anderen läßt sich die axiale Position des Bearbeitungswerkzeugs verändern, was insbesondere bei der Bearbeitung von Werkstücken unterschiedlicher Verzahnungsbreite zweckmäßig ist, im Übrigen auch zur axialen gegenseitigen Positionierung zwischen der Bearbeitung der Zahnkanten an einer Stirnseite und der der anderen Stirnseite einsetzbar ist. Des Weiteren ist besonders bevorzugt ein von Null verschiedener Neigungswinkel der Werkzeugspindelachse gegenüber einer orthogonal zur Verbindungsrichtung zwischen den Zentren von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug stehenden Ebene einstellbar.

[0023] In einer denkbaren Ausführungsform ist eine weitere Maschinendrehachse vorgesehen, die eine zur der Einstellung des Achskreuzwinkels dienende Achse und zur Werkstückspindelachse orthogonale Achskomponente aufweist. Dadurch werden Achskreuzwinkel und Neigungswinkel über zwei Maschinendrehachsen eingestellt.

[0024] In einer anderen, nochmals bevorzugteren Ausführungsform ist allerdings eine zweite Maschinenachse vorgesehen, die eine Komponente in einer orthogonal zur Werkstückspindelachse laufenden Ebene aufweist, welche von einer Projektion der ersten Maschinenachse auf diese Ebene linear unabhängig ist. In einer zweckmäßigen Gestaltung kann dies ein Kreuzschlitten mit radialer Zustellrichtung X einerseits und dazu der auch zur Werkstückspindelachse orthogonalen Bewegungsrichtung (Y) andererseits sein. Ein ursprünglich durch Drehung um die Radialachse (X) eingestellter Achskreuzwinkel erhält durch die Verschiebung des Shift-Schlittens in Y-Richtung letztlich eine Neigungskomponente η , da sich die Werkzeugspindelachsenorientierung während der Verschiebung nicht ändert, wohl aber die Verbindungsachse zwischen den Zentren von Werkstück und Werkzeug.

[0025] Hinsichtlich der Werkzeugform kann das Bearbeitungswerkzeug bevorzugt scheibenförmig sein, insbesondere mit einer axialen Abmessung von nicht größer als 10 cm, bevorzugt nicht größer als 7 cm, insbesondere nicht größer als 4 cm. Die Verzahnung des Bearbeitungswerkzeugs ist zweckmäßig im Treppenschliff geschliffen, weist somit eine Grundform auf, die gerne auch beim Power-Skiving herangezogen wird.

[0026] Des Weiteren kann das Bearbeitungswerkzeug eine die Wirkung einer Vorschubbewegung parallel zur Werkzeugachse entfaltende Struktur eingearbeitet haben. Dies wird bevorzugt dadurch erreicht, daß das Bearbeitungswerkzeug Bereiche mit gemessen an seiner Rotationsachse unterschiedlichen Höhen seiner (Spanflächen-)Verzahnung aufweist. Da die Verzahnung die Spanflächen mit den Schneidkanten trägt, offenbart die Erfindung somit ebenfalls als eigenständig schutzfähig ein Bearbeitungswerkzeug zur Bearbeitung der zwischen jeder Stirnseite und den Zahnflanken einer Verzahnung ausgebildeten Zahnkanten durch schneidende Materialabtragung von den Zahnkanten, bei der die dazu vorgesehenen, an die Schneiden des Bearbeitungswerkzeugs angrenzenden Spanflächen der jeweiligen Zähne des Bearbeitungswerkzeugs gemessen an der Rotationsachse des Bearbeitungswerkzeugs unterschiedlichen Höhen aufweisen.

[0027] In einer diesbezüglich speziellen Ausführungsform des Bearbeitungswerkzeugs steigen die Spanflächen desselben wenigstens teilweise wendelförmig an. Die Grundform der Spanflächen kann zudem durch Treppenschliff ausgebildet sein.

[0028] Die durch das Ansteigen in einem Umlauf gewonnene Ganghöhe ist dann neben der Relativlage zwischen den Rotationsachsen von Bearbeitungswerkzeug und Verzahnung mitbestimmend für die ohne zusätzlichen Vorschub gebildete Ausdehnung des

Kantenbereichs, über den die profilbildenden Kontaktlinien verlaufen. Sie entspricht bevorzugt dem sich beim Durchlaufen einer Zahnücke ergebenden Zahnbreitenversatz einer Profillinie.

[0029] Des Weiteren wird von der Erfindung bereitgestellt eine Verzahnungsmaschine zur Bearbeitung von Verzahnungen mit einer solchen Bearbeitungsstation. Diese kann insbesondere mit einer weiteren Arbeitsstation versehen sein, welche zur Erzeugung der zu bearbeitenden Verzahnung im Weichbearbeitungsverfahren dient, beispielsweise zum Wälzfräsen, Wälzstoßen oder Power-Skiving (Walzschalen). Des Weiteren ist das erfindungsgemäße Verfahren auch in Form eines Steuerprogramms unter Schutz gestellt.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich sowohl für die Zahnkantenbearbeitung von Innenverzahnungen wie auch die von Außenverzahnungen anwenden.

[0031] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beiliegenden Figuren, von denen

[0032] Fig. 1 eine schematische Darstellung der Eingriffsverhältnisse zwischen Bearbeitungswerkzeug und bearbeiteter Verzahnung aus einer ersten Blickrichtung zeigt,

[0033] Fig. 2 den in Fig. 1 dargestellten Eingriff schematisch aus einer zweiten Blickrichtung zeigt,

[0034] Fig. 3a eine bei der Zahnkantenbearbeitung eingesetzte Achslage in Vergleich zu einer in

[0035] Fig. 3b gezeigten, beim Power-Skiving eingesetzten Achslage zeigt,

[0036] Fig. 4 das Profil eines Zahnkantenbearbeitungswerkzeugs in Vergleich mit einem Profil eines die zugrunde liegende Verzahnung mittels Power-Skiving herstellenden Werkzeugs zeigt, und

[0037] Fig. 5 eine spezielle Form eines Bearbeitungswerkzeugs zeigt.

[0038] In Fig. 1 ist die dem Verfahren zugrunde liegende Maschinenachskinetik dargestellt. Ein Werkstück mit einer Verzahnung **2** ist in Fig. 1 derart orientiert, daß seine Verzahnungsachse Z vertikal verläuft. Die einzelnen Zähne der Verzahnung **2** sind allerdings in der schematischen Darstellung von Fig. 1 nicht eingezeichnet. In Projektion auf die Papierebene von Fig. 1, das heißt orthogonal zu der radialen Zustellrichtung X, schließt die Verzahnungsachse Z der Verzahnung **2** einen Achskreuzwinkel Σ mit der Rotationsachse Z_W eines Bearbeitungswerk-

zeugs **1** ein. Dieser beträgt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel 20° . Die eingezeichneten Achsen X, Z und Y bilden für dieses Ausführungsbeispiel ein rechtwinkliges Koordinatensystem.

[0039] In Fig. 2 sind die Eingriffsverhältnisse noch aus Blickrichtung Y dargestellt, also einer um 90° gegenüber der Blickrichtung in Fig. 1 gedrehten Blickrichtung. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß das Bearbeitungswerkzeug **1** auch gegenüber einer orthogonal zur Richtung X stehenden Ebene geneigt ist, und zwar um den Winkel η , der hier 30° beträgt. In der Darstellung von Fig. 2 werden die Zahnkanten der Verzahnung **2** bearbeitet, die zwischen den Zahnflanken der Verzahnung **2** und der oberen Stirnseite **3** ausgebildet sind. Zur Bearbeitung der an der unteren Stirnseite ausgebildeten Kanten kann das Werkstück umgedreht werden, so daß die in Fig. 2 untere Stirnfläche zur oberen Stirnfläche wird, während die Werkzeuglage die gleiche bleibt wie beim Bearbeiten der in Fig. 2 dargestellten Situation. Alternativ läßt sich diese gegenseitige Lage zwischen Werkstück und Werkzeug auch durch eine werkzeugseitige Lageänderung bewirken. Dazu kann es besonders vorgesehen werden, daß die Verschwenkbarkeit des Werkzeugs um die in Fig. 2 mit X bezeichnete Achse um 180° oder mehr realisierbar ist.

[0040] Grundsätzlich besteht sowohl die Möglichkeit, von innen nach außen (aus der Lücke) zu schneiden oder umgekehrt (in die Lücke). Für einen Wechsel zwischen diesen beiden Schneidarten ist die Drehrichtung entsprechend umzudrehen.

[0041] Wie oben bereits erläutert, ist zur Einstellung der jeweiligen Achslage eine zweite Maschinendrehachse nicht erforderlich. Vielmehr kann, ausgehend von der in Fig. 3b gezeigten Achslage, die beim Power-Skiving auftritt und bei der in der Projektion gesehen der Eingriffsbereich zwischen Werkstück und Werkzeug im Bereich des Achskreuzpunkts liegt, auch eine Shift-Bewegung des Werkzeugs (in Fig. 3 nach links) vorgenommen werden. Bei dieser Shift-Bewegung ändert sich die Achsorientierung der Werkzeugachse nicht, aber das Zentrum des Bearbeitungswerkzeugs wird verschoben. Die orthogonal zur Verbindungslinie zwischen den Zentren stehende Ebene, in Fig. 3b die Papierebene, wird somit bildlich gesprochen aus der Papierebene herausgekippt, um in Fig. 3a wieder senkrecht auf der neuen Verbindungslinie zu stehen. In Fig. 3a liegt dann die Werkzeugdrehachse nicht mehr in dieser Ebene, sondern ist gegenüber wiederum unter einem Neigungswinkel in Richtung auf die Werkstückdrehachse geneigt.

[0042] In Fig. 3a ist die Verzahnung gegenüber der Darstellung von Fig. 3b weggelassen. Damit soll angedeutet werden, daß das Profil des Bearbeitungswerkzeugs für die Zahnkantenbearbeitung

nicht mit dem Verzahnungsprofil des in **Fig. 3b** dargestellten Power-Skivingwerkzeugs übereinstimmt. Vielmehr ist das Werkzeugprofil des Zahnkantenbearbeitungswerkzeugs entsprechend modifiziert, da ja zur Erzeugung der Fase die Kante in der Stirnebene zu brechen ist und der Geschwindigkeitsvektor dann parallel zur Fase der Oberfläche liegen muß. Diese Modifizierung ist in **Fig. 4** beispielhaft dargestellt, in der die durchgezogene Linie das Zahnprofil des für das Power-Skiving eingesetzte Werkzeug darstellt, während die gestrichelt dargestellte Linie das entsprechende Profil des Anfaswerkzeugs zeigt.

[0043] Auf eine axiale Werkzeugbewegung während der Zahnkantenbearbeitung an einer Stirnseite kann verzichtet werden, wenn das in **Fig. 5** dargestellte Bearbeitungswerkzeug **10** zum Einsatz kommt. Dessen Verzahnung **12** steigt gegenüber der Rotationsachse Z_W in Form einer kontinuierlich steigenden Wendel an und weist daher an einer Stelle **14** einen Höhengsprung **16** auf. Eine einmalige vollständige Drehung des Bearbeitungswerkzeugs **10** um seine Rotationsachse führt dazu, daß die profilbildenden Kontaktlinien voll über beide Zahnkanten einer Zahnflanke der zu bearbeitenden Verzahnung geschoben werden, wodurch eine besonders zeitsparende Zahnkantenbearbeitung erfolgt. Die kontinuierliche Wendelform ist bevorzugt jedoch optional, es könnten beispielsweise auch mehrere abgestufte Bereiche gebildet werden.

[0044] Grundsätzlich ist nach dieser Bearbeitung durch schneidendes Erzeugen der Fase an den Zahnkanten ein zweiter Schnitt anders als bei durch Drücken erzeugten Fasen nicht erforderlich. Die Bearbeitungszeit der Werkstücke wird dadurch verringert.

[0045] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird im Folgenden noch ein primär der Anschauung dienendes Verständnis der Schneidverhältnisse gegeben, die dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrunde liegen.

[0046] Dazu wird zunächst vereinfachend ein Linienelement dl einer Schneidkante des Werkzeugs betrachtet, das auf einer Zahnkante der Verzahnung des Bearbeitungswerkzeugs liegt, also in einer Ebene orthogonal zur Rotationsachse Z_W des Bearbeitungswerkzeugs. In einer Momentaufnahme läßt sich der Richtungsvektor des Schneidkantenelements dl beispielhaft beschreiben durch $(\cos\theta, \sin\theta, 0)$ wobei θ den Winkel darstellt, den die Orientierung des Schneidkantenelements dl mit einer radialen Achse, in der Momentaufnahme beispielsweise der Achse X_W des Ruhesystems des Bearbeitungswerkzeugs (X_W, Y_W, Z_W) einnimmt.

[0047] Eine Bewegung entlang der Orientierung der Schneidkante selbst bewirkt gegenüber einem unbewegten Werkstück kein Schneiden, und das Schneid-

kantenelement dl bewegt sich immer in der orthogonal zur Rotationsachse Z_W stehenden Ebene. Zu Erläuterungszwecken wird daher im Folgenden von einer (absoluten) Schnittrichtung ausgegangen, die in dieser Ebene liegt und orthogonal zum Schneidkantenelement dl verläuft, mithin einer Schnittrichtung im Ruhesystem des Bearbeitungswerkzeugs von $s_W = (-\sin\theta, \cos\theta, 0)$.

[0048] Betrachtet man zunächst nur den zwischen den Rotationsachsen eingestellten Achskreuzwinkel Σ , so entspricht dies einer Verkippung des Werkzeugs um die Zustellachse X , so daß sich die Schnittrichtung noch ohne Neigung η aber mit Achskreuzwinkel Σ im raumfesten Koordinatensystem (X, Y, Z) darstellen läßt als $s_\Sigma = (-\sin\theta, \cos\theta\cos\Sigma, \cos\theta\sin\Sigma)$.

[0049] Aus der dritten Komponente dieser Schnittrichtung ist im Übrigen erkennbar die Abhängigkeit der Schnittrichtungskomponente parallel zur Verzahnungsachse vom Achskreuzwinkel.

[0050] Bleibt man bei dem Bild des Achskreuzwinkels Σ ohne zusätzlichen Neigungswinkel η , ist dies die grundlegende Maschinenachskonstellation des Power-Skivings, bei der ausgehend vom Bild der bereits durch Power-Skiving in maximaler Radialzustellung fertiggestellten Zahnflankenflächen die Schnittrichtung in der Relativbewegung gegenüber der ebenfalls rotierenden zu bearbeitenden Verzahnung keine Komponente orthogonal zur Zahnflanke aufweisen darf. Simuliert man dies bezüglich einer Momentaufnahme dahin gehend, daß in einem um die Verzahnungsachse Z gedrehten Koordinatensystem die erste Komponente der Schnittrichtung die (verschwindende) Komponente orthogonal zur (dann raumfesten) Zahnflanke und die zweite Komponente entlang der Zahnflanke in Zahnhöhenrichtung darstellt, ist eine Drehung um den Winkel χ erforderlich, so daß für s_Σ die erste Komponente verschwindet, also eine Drehung, die die Beziehung $\tan\chi = \tan\theta/\cos\Sigma$ erfüllt.

[0051] Bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist jedoch die Rotationsachse Z_W im raumfesten System zusätzlich noch um die Achse Y verschwenkt, und zwar um Neigungswinkel η . Im raumfesten System (X, Y, Z) nimmt der Vektor der (absoluten) Schnittrichtung somit die Form an

$$s_{\Sigma,\eta} = (\cos\theta\sin\Sigma\sin\eta - \sin\theta\cos\eta, \cos\theta\cos\Sigma, \cos\theta\sin\Sigma\cos\eta + \sin\theta\sin\eta).$$

[0052] Wechselt man in das um χ gedrehte System, in dem die Schnittrichtung die anschaulichere Form $s_{\Sigma,\eta,X} = (s_\perp, s_{||}, s_Z)$ annimmt, erhält man für die Komponente senkrecht zur Zahnflanke dann

$$s_{\perp} = (\sin\Sigma\sin\eta\cos\theta - \cos\eta\sin\theta) \cdot \cos\chi + \cos\Sigma\cos\theta\sin\chi$$

[0053] Man erhält somit eine von Null verschiedene Schnittrichtungskomponente für s_{\perp} , die dafür sorgt, daß die Profillinien über die Zahnkante geschoben werden. Setzt man zur einfacheren Deutung $\theta = 0$ ein, so vereinfacht sich das Ergebnis für s_{\perp} zu

$$s_{\perp}|_{\theta=0} = \sin\Sigma\sin\eta.$$

[0054] Anschaulich gesehen sorgt somit der von Null verschiedene Achskreuzwinkel Σ für die Realisierbarkeit einer senkrecht zur Zahnflanke verlaufenden Schneidrichtungskomponente, in die in der bevorzugten Ausführungsform ebenfalls der Sinus des zusätzlichen Neigungswinkels eingeht. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist somit der überwiegende Bestandteil der Komponente der Schnittrichtung senkrecht zur Zahnflanke der zu bearbeitenden Verzahnung abhängig von dem Faktor $\sin\Sigma \cdot \sin\eta$.

[0055] Im Übrigen ist die Erfindung nicht auf die in der Figurenbeschreibung beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr können die einzelnen Merkmale der nachstehenden Ansprüche und der vorangegangenen Beschreibung einzeln und in Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102009019433 A1 [0002]
- EP 1279127 A1 [0003]
- DE 102009018405 A1 [0003]
- DE 102009019433 [0004, 0004]
- EP 2537615 A1 [0007]

Schutzansprüche

1. Steuerprogramm, das, wenn auf einer Steuereinrichtung einer ein mit einer Schneide versehenes, verzahntes Bearbeitungswerkzeug aufweisenden Bearbeitungsstation und/oder Verzahnungsmaschine ausgeführt, diese zur Durchführung eines Verfahrens zum Bearbeiten der zwischen einer Stirnseite (3) und den Zahnflanken einer Verzahnung (2) ausgebildeten Zahnkanten steuert, bei dem das Bearbeitungswerkzeug schneidend Material von den Zahnkanten der Verzahnung (2) abnimmt, die um ihre Verzahnungsachse (Z) rotiert und das Bearbeitungswerkzeug für die Materialabnahme um seine Verzahnungsachse (Z_w) rotierend unter einem von Null verschiedenen Achskreuzwinkel (Σ) zwischen den Rotationsachsen (Z, Z_w) des Bearbeitungswerkzeugs und der zu bearbeitenden Verzahnung (2) in Wälzeingriff mit der zu bearbeitenden Verzahnung gebracht wird, wobei die Schnittrichtung (s) der Schneidbewegung eine durch einen von Null verschiedenen Neigungswinkel (η) der Rotationsachse des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber einer orthogonal zur Verbindungsrichtung zwischen den Zentren von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug stehenden Ebene bewirkte, orthogonal zur Zahnflanke verlaufende Richtungskomponente aufweist.

2. Steuerprogramm nach Anspruch 1, wobei bei dem Verfahren die Schnittrichtung (s) der Schneidbewegung eine durch den von Null verschiedenen Achskreuzwinkel bewirkte Richtungskomponente aufweist, die entlang der an die bearbeitete Zahnkante anschließenden Zahnflanke in Zahnbreitenrichtung verläuft.

3. Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei dem Verfahren der Achskreuzwinkel (Σ) wenigstens 4° , bevorzugt wenigstens 8° , insbesondere wenigstens 12° beträgt und/oder der Achskreuzwinkel höchstens 45° , bevorzugt höchstens 35° , insbesondere höchstens 25° beträgt.

4. Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei dem Verfahren der Neigungswinkel (η) wenigstens 8° , bevorzugt wenigstens 16° , insbesondere wenigstens 24° beträgt und/oder der Neigungswinkel höchstens 80° , bevorzugt höchstens 60° , insbesondere höchstens 40° beträgt.

5. Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei dem Verfahren die Schnittgeschwindigkeit wenigstens 10 m/min, bevorzugt wenigstens 20 m/min, insbesondere wenigstens 50 m/min beträgt und/oder höchstens 450 m/min, bevorzugt höchstens 300 m/min, weiter bevorzugt höchstens 200 m/min, insbesondere höchstens 150 m/min beträgt.

6. Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei dem Verfahren das Bearbeitungswerkzeug (1) und die zu bearbeitende Verzahnung (2) eine der vollständigen Bearbeitung der Zahnkanten dienende Relativbewegung mit einer zur Verzahnungsachse (Z) der zu bearbeitenden Verzahnung parallelen Richtungskomponente ausführt.

7. Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine eine Bearbeitung mit vergrößertem Bearbeitungsbereich, insbesondere vollständige Bearbeitung der Zahnkanten bewirkende Struktur in das Bearbeitungswerkzeug eingearbeitet ist.

8. Steuerprogramm nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 7, wobei bei dem Verfahren das Bearbeitungswerkzeug und die zu bearbeitende Verzahnung während der Zahnkantenbearbeitung an einer Stirnseite keine Relativbewegung mit einer zur Verzahnungsachse der zu bearbeitenden Verzahnung parallelen Richtungskomponente ausführt.

9. Bearbeitungsstation zur Bearbeitung der zwischen jeder Stirnseite (3) und den Zahnflanken einer Verzahnung (2) ausgebildeten Zahnkanten mit einer drehend antreibbaren Werkstückspindel zur Aufnahme eines die zu bearbeitende Verzahnung aufweisenden Werkstücks, einer drehend antreibbaren Werkzeugspindel zur Aufnahme eines Bearbeitungswerkzeugs, wobei ein von Null verschiedener Achskreuzwinkel (Σ) zwischen der Werkzeugspindelachse und der Werkstückspindelachse (Z) und ein von Null verschiedener Neigungswinkel (η) der Werkzeugspindelachse gegenüber einer orthogonal zur Verbindungsrichtung zwischen den Zentren von Verzahnung und Bearbeitungswerkzeug stehenden Ebene einstellbar ist, und eine Steuervorrichtung vorgesehen ist, die die Spindeldrehungen bei einem von Null verschiedenen eingestellten Achskreuzwinkel zu einem Wälzeingriff zwischen der zu bearbeitenden Verzahnung (2) und einer Verzahnung des Bearbeitungswerkzeugs (1) steuert, und dazu mit einem Steuerprogramm nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgestattet ist.

10. Bearbeitungsstation nach Anspruch 9, mit einer der Zustellung dienenden Linearachse, insbesondere ersten Maschinenachse (X) mit einer Richtungskomponente radial zur Werkstückspindelachse, insbesondere radial zur Werkstückspindelachse verlaufend.

11. Bearbeitungsstation nach Anspruch 9 oder 10, bei der eine eine Relativbewegung zwischen Werkstückspindel und Werkzeugspindel mit Bewegungskomponente parallel zur Werkstückspindelachse bewirkende Maschinenachse vorgesehen ist. einstellbar ist.

12. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei der eine weitere Maschinendrehachse vorgesehen ist, die eine sowohl zu der der Einstellung des Achskreuzwinkels (Σ) dienenden Drehachse als auch eine zur Werkstückspindelachse orthogonale Achskomponente aufweist.

13. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei der eine zweite lineare Maschinenachse vorgesehen ist, die eine Komponente in einer orthogonal zur Werkstückspindelachse verlaufenden Ebene aufweist, wobei diese Komponente von einer Projektion der ersten Maschinenachse auf diese Ebene linear unabhängig ist.

14. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei der das Bearbeitungswerkzeug scheibenförmig ist.

15. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 14, bei dem das Bearbeitungswerkzeug einen Treppenschliff aufweist.

16. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 15, bei dem eine eine Bearbeitung mit vergrößerten Bearbeitungsbereich, insbesondere vollständige Bearbeitung der Zahnkanten einer Stirnseite bewirkende Struktur in das Bearbeitungswerkzeug **(10)** eingearbeitet ist.

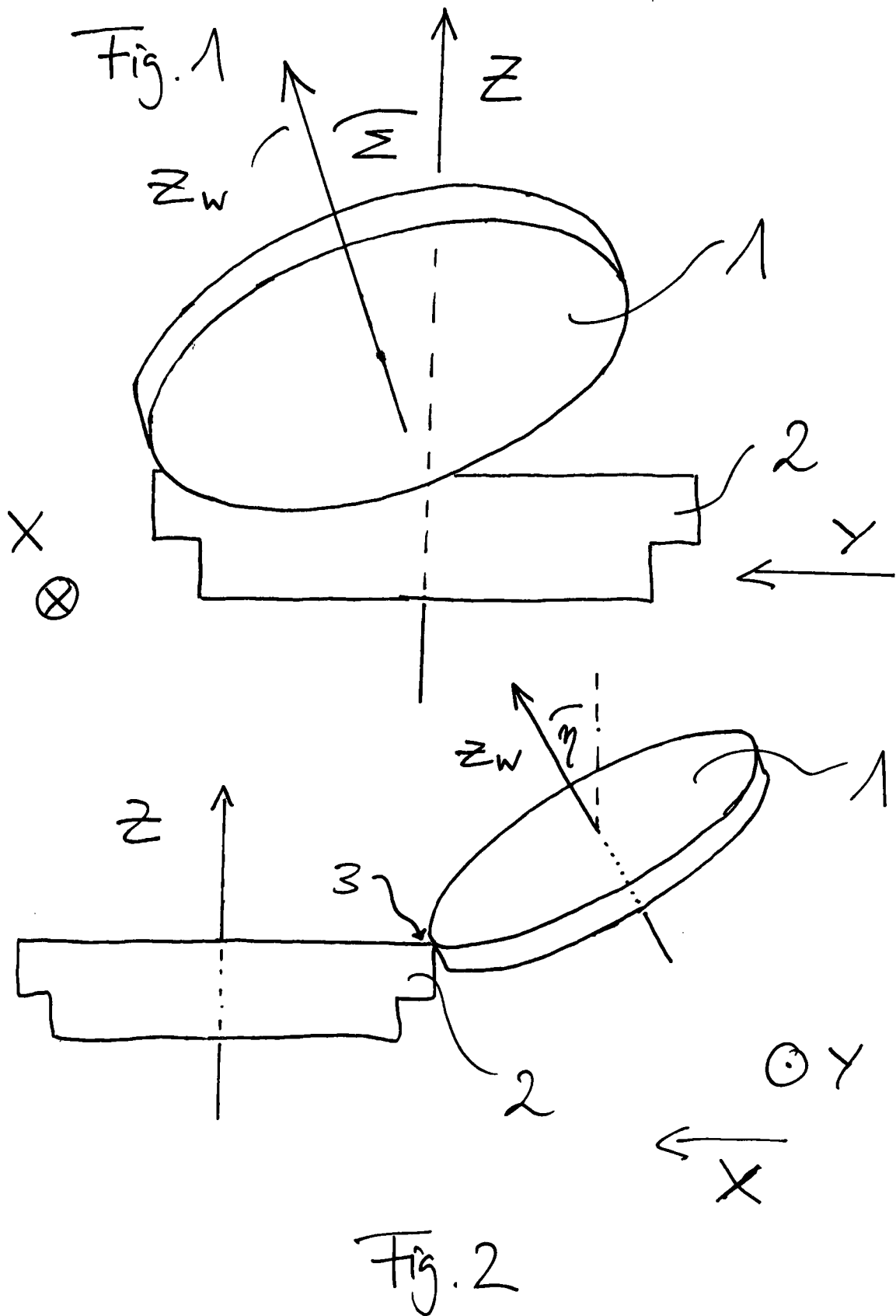
17. Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei der das Bearbeitungswerkzeug **(10)** Bereiche mit gemessen an seiner Rotationsachse (Z_W) unterschiedlichen Höhen seiner Spanflächen aufweist.

18. Bearbeitungsstation nach Anspruch 13, bei der die Spanflächen des Bearbeitungswerkzeugs **(10)** wenigstens teilweise wendelförmig ansteigen.

19. Verzahnungsmaschine zur Bearbeitung von Verzahnungen mit einer Bearbeitungsstation nach einem der Ansprüche 9 bis 18 und/oder einer die Verzahnungsmaschine über ein Steuerprogramm gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 steuernden Steuereinrichtung, insbesondere mit einer weiteren Arbeitsstation zur Erzeugung der zu bearbeitenden Verzahnung im Weichbearbeitungsverfahren, beispielsweise durch Wälzfräsen, Wälzstoßen oder Power-Skiwing.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



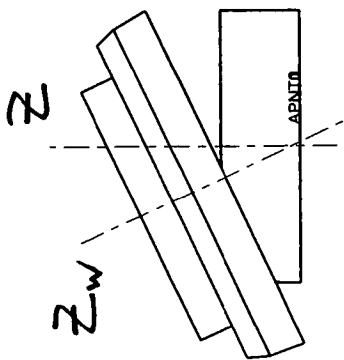


Fig. 3a

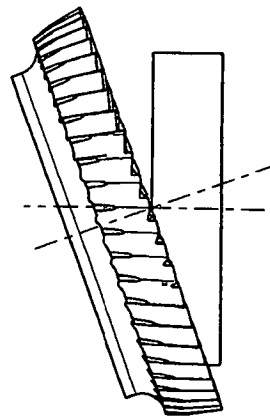


Fig. 3b

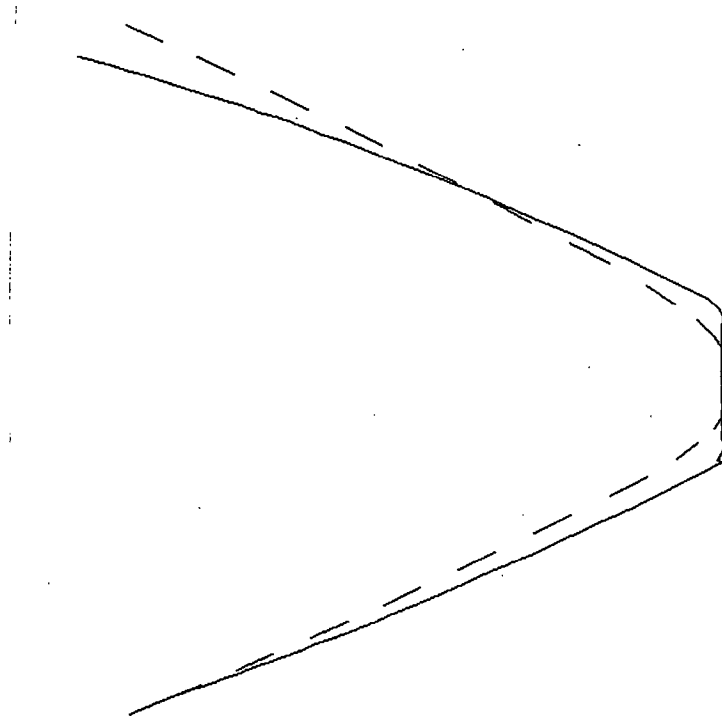


Fig. 4

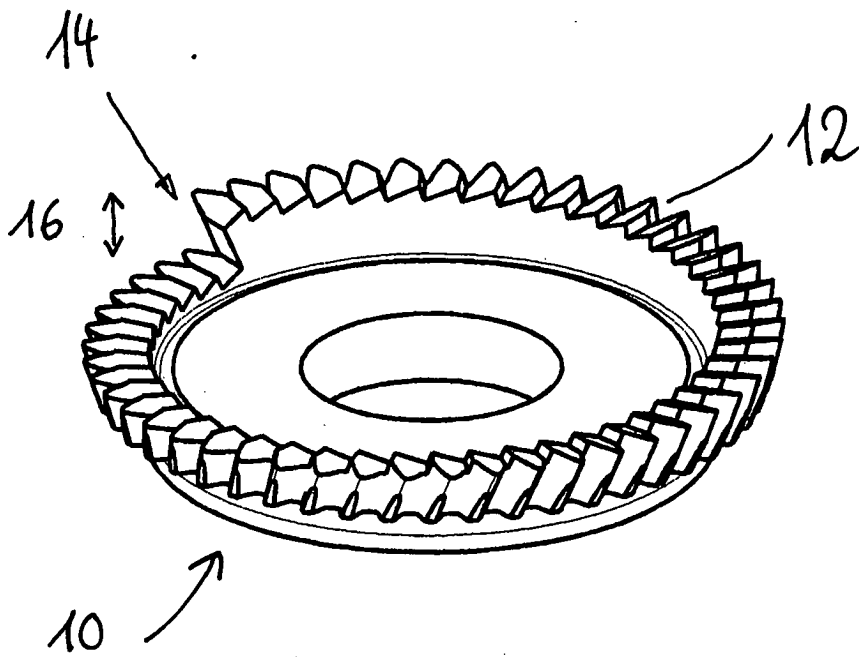


Fig. 5