



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 43 854 A1 2005.05.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 43 854.8

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B23F 9/08

(22) Anmeldetag: 23.09.2003

(43) Offenlegungstag: 12.05.2005

(71) Anmelder:

Klingelnberg GmbH, 42499 Hückeswagen, DE

(72) Erfinder:

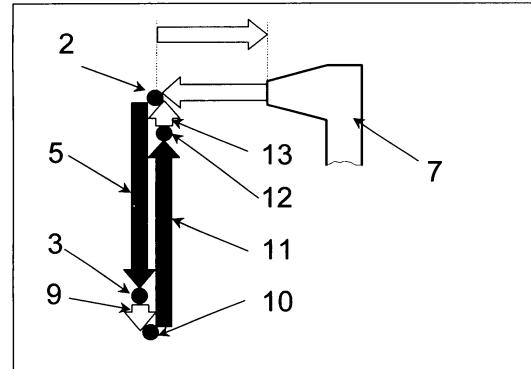
Blasberg, Herbert, 42897 Remscheid, DE; König, Torsten, 42477 Radevormwald, DE; Ribbeck, Karl-Martin, 42897 Remscheid, DE; Radermacher, Matthias, 42499 Hückeswagen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Wälz-Verfahren und -Maschine für Spiralkegelräder

(57) Zusammenfassung: Um die Bearbeitungszeiten von Spiralkegelrädern, die im Einzelteilverfahren durch Wälzen hergestellt werden, weiter zu verkürzen, wird ein neues Wälzverfahren und eine entsprechende CNC-Maschine vorgeschlagen. Die Erfindung besteht darin, daß die einzelnen Zahnlücken eines Werkstücks abwechselnd in der einen und der umgekehrten Wälzrichtung bearbeitet werden. Bisher ließen sich aus Genauigkeitsgründen alle Zahnlücken eines gewälzten Kegelrades nur mit derselben Wälzrichtung herstellen. Mit der erfindungsgemäßen Maschine können die negativen Einflüsse aus wechselnden Wälzrichtungen durch korrigierte Maschinenparameter getrennt für jede Wälzrichtung kompensiert werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

### Stand der Technik

**[0002]** Bei diesem Verfahren handelt es sich generell um das sogenannte Einzelteilverfahren, wie es beispielsweise in dem 1962 in den USA erschienenen Buch von Darle W. Dudley "Gear Handbook" im Kapitel 20-2 beschrieben ist. Im Gegensatz zum kontinuierlichen Teilverfahren wird hier mit einem Werkzeug immer erst eine Zahnlücke vollständig hergestellt, das Werkstück um eine Zahnteilung weiter geteilt, dann in gleicher Weise die nächste Zahnlücke bearbeitet usw., bis aus dem Werkstück ein komplettes Kegelrad geworden ist. Als Werkzeug kann z.B. ein Messerkopf oder eine topfförmige Schleifscheibe zum Einsatz kommen. Bei Spiralkegelrädern, die nach diesem Verfahren hergestellt werden, haben die Zahnflanken eine kreisbogenförmige Längskrümmung.

**[0003]** In diesem Fall soll die Bezeichnung "Spiralkegelräder" sowohl nicht achsversetzte als auch achsversetzte Kegelräder umfassen. Will man beide Arten unterscheiden, werden die achsversetzten Kegelräder kurz Hypoidräder genannt.

**[0004]** Aus dem Gear Handbook geht weiter hervor, daß es für Spiralkegelräder zwei Erzeugungsprozesse gibt. In einem Fall werden die Zahnlücken vom Ritzel und Tellerrad eines Kegelradpaars jeweils in Wälzprozessen erzeugt, in dem anderen Fall werden die Zahnlücken des Tellerrades nur durch Eintauchen des rotierenden Messerkopfs in das stillstehende Werkstück hergestellt, wogegen die Ritzellücken in einem speziellen Wälzprozeß mit einem geneigten Messerkopf erzeugt werden. In beiden Fällen liegt dem Wälzprozeß ein imaginäres Erzeugerrad zugrunde, das bei der Bearbeitung in der Verzahnmaschine mit dem Werkstück eine Wälzbewegung ausführt. Im ersten Fall ist das Erzeugerrad eine ebene verzahnte Scheibe, im zweiten Fall entspricht es dem Gegenrad, dem im Tauchprozeß hergestellten Tellerrad.

**[0005]** Dieser zweite Erzeugungsprozeß wurde hauptsächlich für die Autoindustrie entwickelt, um Bearbeitungszeit zu sparen. Im Vergleich zu einem Tauchprozeß dauert ein Wälzprozeß wesentlich länger, was sich über die vielen Zähne eines Tellerrades aufsummert. Ein Grund für die längere Wälzzeit ist das geringere Spanvolumen pro Werkzeugumdrehung, ein anderer Grund liegt in der längeren Nebenzeitz, die das Werkzeug trotz Eilgang benötigt, um von einer Wälzendposition wieder in die Wälzanfangsposition für die nächste Zahnlücke zu kommen. Denn

nach dem Stand der Technik erfolgt bei allen durch Wälzen hergestellten Spiralkegelrädern der Wälzprozeß für jede Zahnlücke eines Rades immer in der gleichen Richtung. Hintergrund hierfür ist der Einfluß unterschiedlicher Abdrängungen, denen die Verzahnmaschine in Abhängigkeit vom Bearbeitungsprozeß und somit bei wechselnder Wälzrichtung unterworfen wäre. Am Werkstück führen sich ändernde Abdrängungen je nach Wälzrichtung zu Teilungsfehlern und zu unterschiedlichen Formabweichungen der Flankentopographie.

**[0006]** Aus der DE 195 17 360 C1 ist zwar ein Verfahren zum Schleifen von bogenverzahnten Kegelrädern im Einzelteil-Wälzverfahren bekannt, bei dem in Abwärtswälzung bis zu einem ersten Umkehrpunkt eine Flanke und in Aufwärtswälzung bis zu einem zweiten Umkehrpunkt eine andere Flanke derselben Zahnlücke bearbeitet wird. Dabei bedeutet Abwärtswälzen die Wälzrichtung, bei der sich das Werkzeug beim Wälzprozeß auf einer kreisbogenförmigen Bahn von oben nach unten bewegt, und Aufwärtswälzen die entsprechende umgekehrte Wälzrichtung. Jedoch werden mit diesem Wälzverfahren keine Nebenzeiten verkürzt, vielmehr kommt es in diesem Fall darauf an, daß bei dem Wälzprozeß trotz der unterschiedlichen Kegelwinkel an der Schleifscheibe ein richtiger Eingriffswinkel und eine richtige Topographie an den beiden Zahnflanken entstehen.

**[0007]** Außerdem ist es bekannt, beim Wälzfräsen von Spiralkegelrädern das sogenannte Double Roll-Verfahren anzuwenden. Dabei wird der Messerkopf in einer mittleren Wälzposition in das Werkstück eingestochen, um in kurzer Zeit viel Material aus der Zahnlücke zu entfernen, jedoch ohne die endgültige Wälztiefe zu erreichen. Dann folgt ein Aufwärtswälzen mit Spanabtrag an einer Zahnflanke und danach eine weitere Zustellung, um auf die endgültige Wälztiefe und in die Wälzanfangsposition zu gelangen. Von hier aus werden nun beide Zahnflanken durch Abwärtswälzen hergestellt. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jeder Zahnlücke, so daß letztendlich doch alle Lücken in der gleichen Wälzrichtung fertiggestellt werden.

**[0008]** Für den Wälzprozeß bei Spiralkegelrädern werden im Gear Handbook, **Fig. 20-2** und **Fig. 20-3**, rein mechanisch arbeitende Maschinen erläutert, wobei eine Wälzfräsmaschine (generator) unter anderem eine Wälztrommel oder -wiege (cradle) und einen besonderen Mechanismus zum Neigen (tilt) des Messerkopfs besitzt. Dagegen können moderne CNC-Maschinen zum Fräsen oder Schleifen von Spiralkegelrädern, wie sie z.B. in der DE 196 46 189 C2 oder in der DE 37 52 009 T2 beschrieben sind, dies ohne Wälztrommel und ohne Neigungsmechanismus nur durch räumliche Bewegungen von Werkzeugträger und Werkstückträger erreichen. Beim Einzelteilverfahren werden dazu lediglich fünf gesteuerte Ach-

sen benötigt, drei translatorische und zwei rotatorische. Der fehlende sechste Freiheitsgrad für die allgemeine Lage eines starren Körpers im Raum, hier des Werkzeugs relativ zum Werkstück, ist die Drehung des Werkzeugs um seine Rotationsachse. Sie wird beim Einzelteilverfahren nicht als gesteuerte Achse benötigt, weil das Werkzeug rotationssymmetrisch ist und sein Antrieb -unabhängig von den anderen fünf Achsen- nur für das Erreichen einer gewünschten Schnittgeschwindigkeit erforderlich ist.

**[0009]** Solche CNC-Maschinen erreichen gegenüber rein mechanisch arbeitenden Kegelradverzahnmassen wesentlich größere Arbeitsgeschwindigkeiten bei gleichzeitig genaueren Einstell- und Fahrbewegungen und damit eine höhere Wirtschaftlichkeit. Trotzdem fordert die Autoindustrie, die Bearbeitungszeiten pro Werkstück weiter zu verkürzen, um Kosten senken zu können.

**[0010]** Daher ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Maschine der eingangs genannten Art so auszubilden, daß sich Spiralkegelräder, die im Einzelteilverfahren hergestellt werden, in kürzerer Zeit durch einen Wälzprozeß bearbeiten lassen als bisher, ohne dabei merkliche Einbußen in der Genauigkeit der Zahnlängen hinnehmen zu müssen.

**[0011]** Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den im Patentanspruch 1 angegebenen geänderten Verfahrensschritten bzw. durch eine Maschine mit dem im Patentanspruch 7 angegebenen geänderten Steuerungsmittel.

**[0012]** Der Vorteil der auf diesen beiden Änderungen beruhenden Erfindung besteht in einer effizienteren Bearbeitung von gewälzten Spiralkegelräden. Bisher wurde jede Zahnlücke eines Werkstücks in nur einer Wälzrichtung fertiggestellt und für die nächste Zahnlücke mußte das Werkstück ohne Spanabtrag, also im Leerlauf, wieder in die Ausgangsposition zurückgeführt werden. Erfindungsgemäß wird nun auf dem Rückweg bereits die zweite Zahnlücke in umgekehrter Wälzrichtung bearbeitet, und ist auf diese Weise die Ausgangsposition wieder erreicht, wird in der ursprünglichen Wälzrichtung bereits die dritte Zahnlücke fertiggestellt.

**[0013]** Dieser Vorteil ist unabhängig von der Art der Bearbeitung, ob es sich dabei um das Wälzfräsen mit einem Messerkopf oder das Wälzschleifen mit einer topfförmigen Schleifscheibe oder um noch ein anderes Wälzverfahren handelt. Beim Wälzfräsen zeigt sich jedoch noch ein zusätzlicher Vorteil der Erfindung, daß nämlich die Messerschneiden durch die wechselnde Wälzrichtung gleichmäßiger beansprucht werden und entsprechend gleichmäßiger verschleißen.

**[0014]** Die Wälzprozesse können sich auch danach

unterscheiden, wie das Werkzeug von der jeweiligen Startposition in die Wälzanfangsposition gelangt. Unter Startposition soll hier die Position verstanden werden, in der auch der Teilvorgang durchgeführt wird, ohne daß das Werkzeug mit dem Werkstück kollidiert.

**[0015]** In einer Ausführungsform der Erfindung ist die jeweilige Startposition gleichzeitig eine Wälzanfangsposition, in der das Werkzeug relativ zum Werkstück die vorgesehene Wälztiefe erreicht hat und ein Wälzprozeß begonnen werden kann. In diesem Fall befindet sich z.B. beim Wälzfräsen der Messerkopf knapp neben dem Werkstück und fräst von da aus in einem einzigen Wälzprozeß eine vollständige Zahnlücke in das Werkstück. In der dabei erreichten Wälzendposition, d.h. dort, wo der letzte Span in einem Wälzprozeß abgenommen wird, befindet sich das Werkzeug noch in der erzeugten Zahnlücke und das Werkstück kann nicht um eine Zahnteilung gedreht werden. Um die nächste Startposition zu erreichen, muß die Wälzbewegung fortgesetzt werden, bis das Werkzeug die Zahnlücke ganz verlassen hat. Dies kann jedoch im Eilgang erfolgen, so daß diese Ausführungsform neben der Zeitsparnis noch den Vorteil hat, daß außer dem Wälzen und Teilen keine anderen Maschinenbewegungen erforderlich sind und auch die Wälztiefe für das ganze Werkstück nicht geändert wird.

**[0016]** Bei einer anderen Ausführungsform erfolgt von der jeweiligen Startposition aus erst ein Tauchprozeß oder ein kombinierter Tauch-Wälzprozeß in die zu erzeugende oder (z.B. beim Schleifen) in eine bereits vorgearbeitete Zahnlücke, wodurch das Werkzeug und das Werkstück in jeweils eine Wälzanfangsposition in der vorgesehenen Wälztiefe gelangen. Diese Ausführungsform der Erfindung wird vorteilhaft bei Werkstücken mit einer größeren Zähnezahl eingesetzt, bei denen die Wälzteinlauf- und Wälzauslaufwege größer sind als bei Ritzeln mit einer kleinen Zähnezahl, worauf später noch im Einzelnen eingegangen wird.

**[0017]** In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß vor und/oder während jedes Wälzprozesses ein gegebenenfalls unterschiedlicher Einfluß der zugehörigen Wälzrichtung auf die Genauigkeit des Werkstücks durch korrigierte Maschinenparameter kompensiert wird. Wenn z.B. das Verfahren nach der Erfindung nur zur Vorbearbeitung der Zahnlücken angewendet wird, um das Kegelrad anschließend zu härteten und zu schleifen, wird im allgemeinen die Teilgenauigkeit ohne Korrektur nicht ausreichend sein. Dann können zwei unterschiedliche Drehwinkel beim Teilvorgang für die eine bzw. die andere Wälzrichtung die regelmäßigen Abweichungen bei der Zahnteilung ausgleichen. Voraussetzung dafür ist lediglich eine Teilungsmessung an einem Proberad, aus der sich die unter-

schiedlichen Drehwinkel ermitteln lassen. Dabei muß man nur beachten, daß bei Kegelrädern mit ungerader Zähnezahl die erste bearbeitete Zahnlücke und die letzte Lücke die gleiche Wälzrichtung haben, weshalb man sich diese Stelle am Proberad rechtzeitig markieren muß, um bei der Auswertung keinen Fehler zu machen.

**[0018]** In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird insbesondere der Einfluß der Wälzrichtung auf die Flankenform des Kegelrades durch Topographiemessungen an repräsentativen Zahnlücken der einen bzw. anderen Wälzrichtung erfaßt. Das heißt, an drei oder vier in etwa gleichmäßig am Kegelradumfang verteilten Zahnlücken, die in der einen Wälzrichtung bearbeitet wurden, und an entsprechend verteilten Lücken der umgekehrten Wälzrichtung werden Flankenformmessungen durchgeführt. Dazu erfolgt die Messung vorzugsweise an Gitterpunkten, die für alle Flanken gleich sind. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich die Meßdaten der drei oder vier repräsentativen Zahnlücken einer Wälzrichtung mitteln und außerdem können dann auch die Teilungsabweichungen aus der Topographiemessung bestimmt werden.

**[0019]** Es ist besonders vorteilhaft, die Auswertung der Messungen mit einem Rechenprogramm automatisch durchzuführen und mit einer zusätzlichen Software aus den gemittelten Daten korrigierte Maschinenparameter für beide Wälzrichtungen berechnen zu lassen, die dann direkt an die Verzahnmaschine übertragbar sind.

**[0020]** Die Maschine nach Anspruch 7 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann sowohl eine CNC-Maschine mit Wälztrommel und mit Neigungsmechanismus für das Werkzeug, als auch eine moderne 5-Achsen-Maschine sein, wie sie weiter oben bereits beschrieben wurde. Im ersten Fall lassen sich die drei Einrichtungen aus dem Oberbegriff, mit denen die herkömmlichen Verfahrensschritte durchgeführt werden, noch anhand der sich bewegenden Achsen unterscheiden. Im zweiten Fall, einer 5-Achsen-Maschine, ist dies nicht ohne weiteres möglich. Hier bewegen sich bei den drei Verfahrensschritten eines Bearbeitungszyklus alle fünf Achsen gleichzeitig, jedoch nach unterschiedlichen Steuerungsprogrammen, die sich noch den drei Einrichtungen zuordnen lassen. In beiden Fällen ist die Maschine nach der Erfindung gekennzeichnet durch das geänderte Steuerungsmittel der dritten Einrichtung.

**[0021]** Der entscheidende Vorteil dieser Maschine für das Einzelteilverfahren besteht darin, daß abwechselnd eine Zahnlücke in der einen Wälzrichtung und die nächste Lücke in der umgekehrten Wälzrichtung bearbeitbar ist. Dadurch gibt es kein bloßes Zurückführen von Werkzeug und Werkstück in ihre Startpositionen ohne Spanabtrag. Statt dessen ver-

kürzen sich die Nebenzeiten, und die Gesamtzeit für die Bearbeitung eines Kegelrads wird deutlich geringer. Ein weiterer, bemerkenswerter Vorteil liegt in der besseren Nutzung des Werkzeugs, da durch die wechselnden Wälzrichtungen ein Ausgleich der Belastung von innen- und außenschneidenden Bereichen des Werkzeugs entsteht. Dieser bewirkt einen wesentlich gleichmäßigeren Verschleiß des Werkzeugs, das daraufhin länger im Einsatz bleiben kann.

**[0022]** Eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Maschine besteht aus einem zusätzlichen Steuerungsmittel, mit dem vor und/oder während jedes Wälzprozesses ein unterschiedlicher Einfluß der zugehörigen Wälzrichtung auf die Genauigkeit des Werkstücks durch korrigierte Maschinenparameter kompensierbar ist. Damit wird der Hauptgrund beseitigt, der wechselnde Wälzrichtungen an einem Werkstück bisher verhindert hat. Bei rein mechanischen Verzahnmaschinen konnten solche Korrekturen der Einstellparameter in Abhängigkeit von der wechselnden Wälzrichtung praktisch nicht realisiert werden, dies ist erst bei CNC-Maschinen mit einer erfindungsgemäß programmierten Steuerung möglich und führt so zu den oben genannten Vorteilen der Erfindung. Ein weiterer Aspekt ist, daß die Auswirkungen wechselnder Wälzrichtungen auf ein Kegelrad nichtlineare Korrekturen über den ganzen Wälzprozeß erfordern, was mit der erfindungsgemäßen Maschine ebenfalls möglich ist.

**[0023]** In weiterer Ausgestaltung der Maschine sind dem zusätzlichen Steuerungsmittel getrennt für beide Wälzrichtungen korrigierte Maschinenparameter übertragbar, nach denen die Zahnlücken je nach Wälzrichtung bearbeitbar sind. Diese Ausgestaltung der Maschine bringt den sehr wichtigen Vorteil, daß das erfindungsgemäße Verfahren auch wirtschaftlich einsetzbar ist. Denn die Korrekturen, die für die gleichbleibende Genauigkeit der so hergestellten Kegelräder erforderlich sind, ändern sich mindestens von Serie zu Serie, manchmal schon von Scharfschliff zu Scharfschliff des Werkzeugs, und müssen sich deshalb mit möglichst geringem Aufwand ermitteln und in der Maschine berücksichtigen lassen. Dafür gibt es bereits Rechenprogramme, welche die korrigierten Einstellparameter automatisch ermitteln. Die Maschine muß aber auch in der Lage sein, die übertragenen Daten je nach Wälzrichtung der gerade zu bearbeitenden Zahnlücke korrekt zu berücksichtigen.

**[0024]** Weitere Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt

**[0025]** Fig. 1 schematisch den bisherigen Wälzprozeß zur Herstellung von Spiralkegelrädern,

**[0026]** Fig. 2 schematisch den bisherigen

Tauch-Wälzprozeß zur Herstellung von Spiralkegelrädern,

**[0027]** **Fig. 3** schematisch den erfindungsgemäßen veränderten Wälzprozeß zur Herstellung von Spiralkegelrädern,

**[0028]** **Fig. 4** schematisch den erfindungsgemäßen veränderten Tauch-Wälzprozeß zur Herstellung von Spiralkegelrädern.

#### Ausführungsbeispiel

**[0029]** In **Fig. 1** bis **Fig. 4** werden die Bewegungen des Messerkopfs **7** schematisch dargestellt. Die Pfeile stehen für Relativbewegungen des Messerkopfs zum Werkstück. Die horizontalen Pfeile kennzeichnen Tauchbewegungen bzw. Bewegungen in Richtung dieser Achse, während die vertikalen Pfeile für Wälzbewegungen stehen. Weiß steht hierbei für Bewegungen im Eilgang ohne Spanabnahme und schwarz für Vorschubbewegungen mit Spanabnahme.

**[0030]** In **Fig. 1** wird nach dem Stand der Technik der Messerkopf **7** aus einer Ruheposition zu Beginn der Herstellung in eine Startposition **1** geführt, in der auch der Teiltorgang möglich ist. Dann erfolgt eine Bewegung in die Wälzanfangsposition **2**, von wo aus das Wälzen **5**, in diesem Fall das Abwärtswälzen, zur Erzeugung einer Zahnlücke erfolgt. Mit Erreichen der Endposition **3** ist der Wälzprozeß beendet, und der Messerkopf wird in die Position **4** zurückgezogen. Anschließend erfolgt eine Rückwälzbewegung **6** bis zur Startposition **1**, das Drehen des Werkstücks um eine Zahnteilung und der erneute Ablauf der beschriebenen Erzeugung einer Zahnlücke. Nach Herstellung aller Zahnlücken des Werkstücks wird der Messerkopf **7** wieder in die Ruheposition gefahren.

**[0031]** Beim in **Fig. 2** dargestellten Tauch-Wälzprozeß nach dem Stand der Technik ist die erforderliche Strecke für das Wälzen **5** kürzer, was durch die geringere Pfeillänge veranschaulicht wird. In diesem Prozeß erfolgt wieder eine Bewegung des Messerkopfs **7** aus der Ruhestellung zur Startposition **1**, daran schließt sich der Tauchprozeß **8** in das Werkstück an. Nach Erreichen der vollen Tauchtiefe und damit der Wälzanfangsposition **2** wird das Tauchen beendet und das Wälzen **5** gestartet. Mit Erreichen der Endposition **3** ist wiederum der Wälzprozeß beendet und der Messerkopf wird in die Startposition **4** zurückgezogen. Anschließend erfolgt die Rückwälzbewegung **6** bis zur Startposition **1**, das Drehen des Werkstücks um eine Zahnteilung und die Erzeugung anschließender Zahnlücken nach dem beschriebenen Ablauf. Nach Herstellung aller Zahnlücken des Werkstücks wird der Messerkopf **7** wieder in die Ruheposition gefahren.

**[0032]** **Fig. 3** zeigt einen erfindungsgemäßen, gegenüber **Fig. 1** verbesserten Wälzprozeß. Ausgehend von der Ruheposition wird der Messerkopf **7** sofort in die Startposition **2** geführt, von wo aus das Wälzen **5** beginnt. Nach Erreichen der Wälzendposition **3**, in welcher der letzte Span abgenommen wird, folgt eine erste Eilwälzbewegung **9** zum vollständigen Verlassen der Zahnlücke, womit die zweite Startposition **10** erreicht wird. Das Werkstück wird hier um eine Zahnteilung gedreht und dann, durch Wälzen in umgekehrter Richtung **11** bis zur zweiten Wälzendposition **12**, eine weitere Zahnlücke erzeugt. An dieser Stelle schließt sich eine zweite Eilwälzbewegung **13** an, um das Werkzeug wieder vollständig aus der Zahnlücke zu führen. Mit dieser zweiten Eilwälzbewegung **13** wird die Wälzanfangsposition **2** wieder erreicht, an der die nächste Drehung des Werkstücks um eine Zahnteilung und die weitere Erzeugung der Zahnlücken nach dem beschriebenen Ablauf erfolgt. Nach Herstellung aller Zahnlücken des Werkstücks wird der Messerkopf **7** wieder in die Ruheposition gefahren.

**[0033]** Beim in **Fig. 4** dargestellten erfindungsgemäßen Tauch-Wälzprozeß ist die erforderliche Strecke für das Wälzen **5** und das Wälzen **11** in umgekehrter Richtung wiederum geringer als bei dem in **Fig. 3** beschriebenen Prozeß. Ausgehend von der Ruheposition wird der Messerkopf **7** in die Startposition **1** geführt, von wo aus das Tauchen **8** in Vorschubgeschwindigkeit in das Werkstück erfolgt. Nach Erreichen der Wälzanfangsposition **2** startet das Wälzen **5** zur Erzeugung der Zahnlücke. Mit dem Erreichen der Wälzendposition **3**, die gleichzeitig der zweiten Wälzanfangsposition **10** entspricht, ist der Wälzprozeß beendet, und der Messerkopf **7** wird bis in die Position **4** geführt. Bereits hier schließt sich die Drehung des Werkstücks um eine Zahnteilung an. Danach wird eine Tauchbewegung **8** in das Werkstück bis zum Wiedererreichen der zweiten Wälzanfangsposition **10** ausgeführt, von welcher durch Wälzen in umgekehrter Richtung **11** die nächste Zahnlücke erzeugt wird. Mit Erreichen der zweiten Wälzendposition **12**, die in diesem Fall mit der Wälzanfangsposition **2** übereinstimmt, wird der Messerkopf **7** aus der Zahnlücke zur Startposition **1** geführt. Dann erfolgt wiederum die Drehung des Werkstücks um eine Zahnteilung und die Herstellung der folgenden Zahnlücken im beschriebenen Prozeß. Nach Herstellung aller Zahnlücken des Werkstücks wird der Messerkopf **7** wieder in die Ruheposition gefahren.

**[0034]** Die in den **Fig. 1** bis **Fig. 4** dargestellten Prozesse können auch mit umgekehrten Wälzrichtungen durchgeführt werden, das heißt das Wälzen **5** ist kein Abwärtswälzen sondern ein Aufwärtswälzen und die Rückwälzbewegung **6** bzw. Wälzen in umgekehrter Richtung **11** ist dann ein Abwärtswälzen. In diesem Fall würden sich ebenso die Start-, Wälzanfangs- und Wälzendpositionen verändern.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur spanenden Bearbeitung, insb. Wälzfräsen oder Wälzschleifen, von Spiralkegelrädern mit einem rotationssymmetrischen Werkzeug, im wesentlichen bestehend aus folgenden Schritten:  
 a) Antreiben des Werkzeugs um seine Rotationsachse,  
 b) Führen des Werkzeugs und eines Werkstücks in jeweils eine Startposition,  
 c) Drehen des Werkstücks um eine Zahnteilung,  
 d) Bearbeiten einer vollständigen Zahnlücke durch einen Wälzprozeß in einer vorgesehenen Wälztiefe, wobei das Werkzeug und das Werkstück jeweils eine Wälzendposition erreichen,  
 e) Zurückführen des Werkzeugs und des Werkstücks in ihre Startpositionen,  
 f) Wiederholen der Schritte c) bis e) bis alle Zahnlücken des Werkstücks fertiggestellt sind,  
**dadurch gekennzeichnet**, daß statt der Schritte e) und f) folgende Verfahrensschritte vorgesehen sind:  
 b') Führen des Werkzeugs und des Werkstücks in jeweils eine zweite Startposition in der Nähe der zuvor erreichten Wälzendpositionen,  
 c') Drehen des Werkstücks um eine Zahnteilung,  
 d') Bearbeiten einer vollständigen Zahnlücke durch einen Wälzprozeß mit umgekehrter Wälzrichtung gegenüber der des Verfahrensschritts d), wobei das Werkzeug und das Werkstück jeweils eine zweite Wälzendposition in der Nähe der ersten Startpositionen erreichen,  
 f') Wiederholen der Schritte b), c) und d) im Wechsel mit b'), c') und d') bis alle Zahnlücken des Werkstücks fertiggestellt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Bearbeitung der ersten Zahnlücke eines Werkstücks der Schritt c) entfällt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweiligen Startpositionen gleichzeitig Wälzanfangspositionen sind, in der das Werkzeug relativ zum Werkstück die vorgesehene Wälztiefe erreicht hat.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß von den jeweiligen Startpositionen aus erst ein Tauchprozeß oder ein kombinierter Tauch/Wälzprozeß in eine zu erzeugende oder in eine bereits vorgearbeitete Zahnlücke erfolgt und daß dadurch das Werkzeug und das Werkstück in jeweils eine Wälzanfangsposition gelangen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß vor und/oder während jedes Wälzprozesses ein gegebenenfalls unterschiedlicher Einfluß der zugehörigen Wälzrichtung auf die Genauigkeit des Werkstücks durch korrigierte Maschinenparameter kompensiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein unterschiedlicher Einfluß der Wälzrichtung auf das Werkstück durch Topographiemessungen von repräsentativen Zahnlücken der einen bzw. der anderen Wälzrichtung erfaßt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß getrennt für beide Wälzrichtungen aus gemittelten Daten der Topographiemessungen korrigierte Maschinenparameter berechnet werden.

8. Maschine zur spanenden Bearbeitung von Spiralkegelrädern in einem Einzelteilverfahren mindestens bestehend aus:

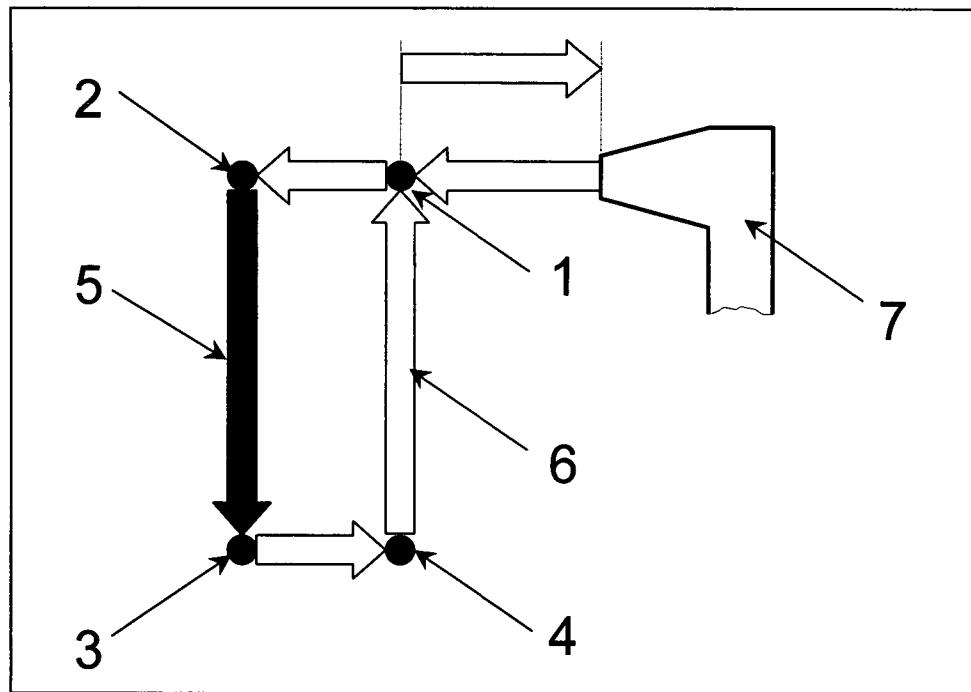
a) einem Antriebsmotor zum Drehen eines Werkzeugs um seine Rotationsachse,  
 b) einer ersten Einrichtung zum Führen des Werkzeugs und eines Werkstücks in jeweils eine Startposition,  
 e) einer zweiten Einrichtung zum Drehen des Werkstücks um eine Zahnteilung,  
 d) einer dritten Einrichtung zum Bearbeiten einer vollständigen Zahnlücke durch einen Wälzprozeß, wobei das rotierende Werkzeug und das Werkstück jeweils eine Wälzendposition erreichen, sowie zum Zurückführen des Werkzeugs und des Werkstücks in ihre Startpositionen,  
 e) einer CNC-Steuerung,  
 gekennzeichnet durch ein geändertes Steuerungsmittel für die dritte Einrichtung, mit dem anstelle des Zurückführrens  
 das Werkzeug und das Werkstück in jeweils eine zweite Startposition in der Nähe der zuvor erreichten Wälzendpositionen führbar sind, und nach einem Teiltvorgang eine vollständige Zahnlücke in einem Wälzprozeß mit umgekehrter Wälzrichtung bearbeitbar ist, wobei das Werkzeug und das Werkstück jeweils eine zweite Wälzendposition in der Nähe der ersten Startpositionen erreichen.

9. Maschine nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch ein weiteres Steuerungsmittel, mit dem vor und/oder während jedes Wälzprozesses ein gegebenenfalls unterschiedlicher Einfluß der zugehörigen Wälzrichtung auf die Genauigkeit des Werkstücks durch korrigierte Maschinenparameter kompensierbar ist.

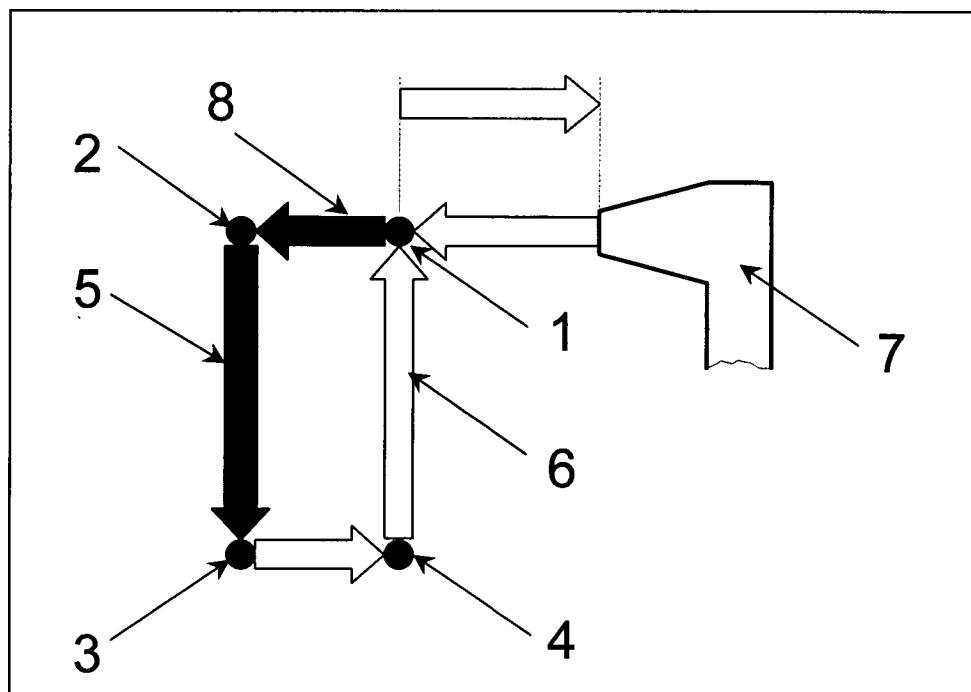
10. Maschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß dem weiteren Steuerungsmittel getrennt für beide Wälzrichtungen korrigierte Maschinenparameter übertragbar sind, nach denen die Zahnlücken je nach Wälzrichtung bearbeitbar sind.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

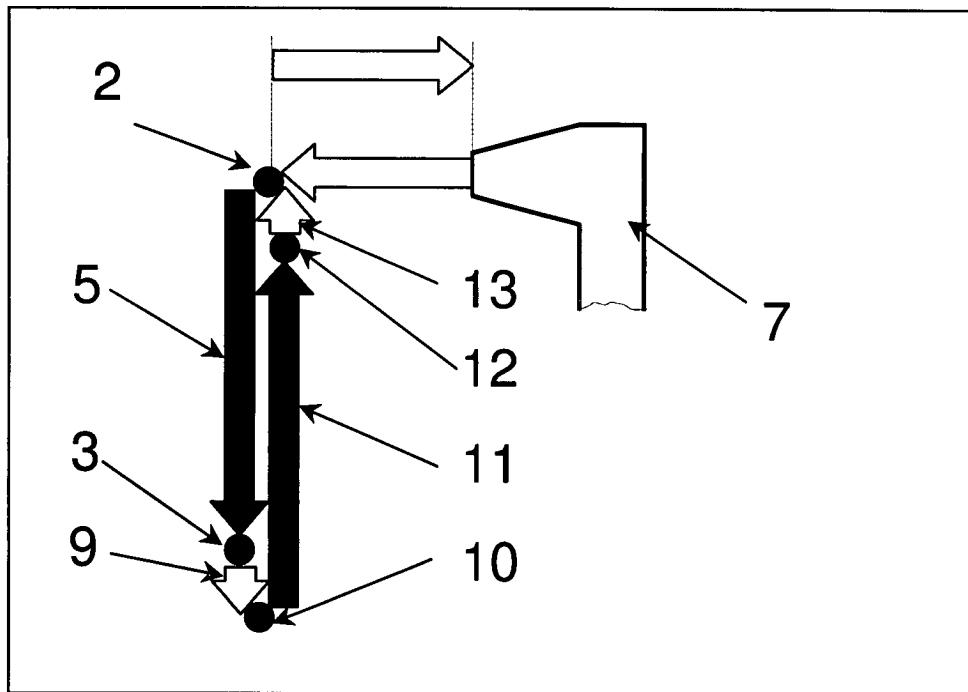
Anhängende Zeichnungen



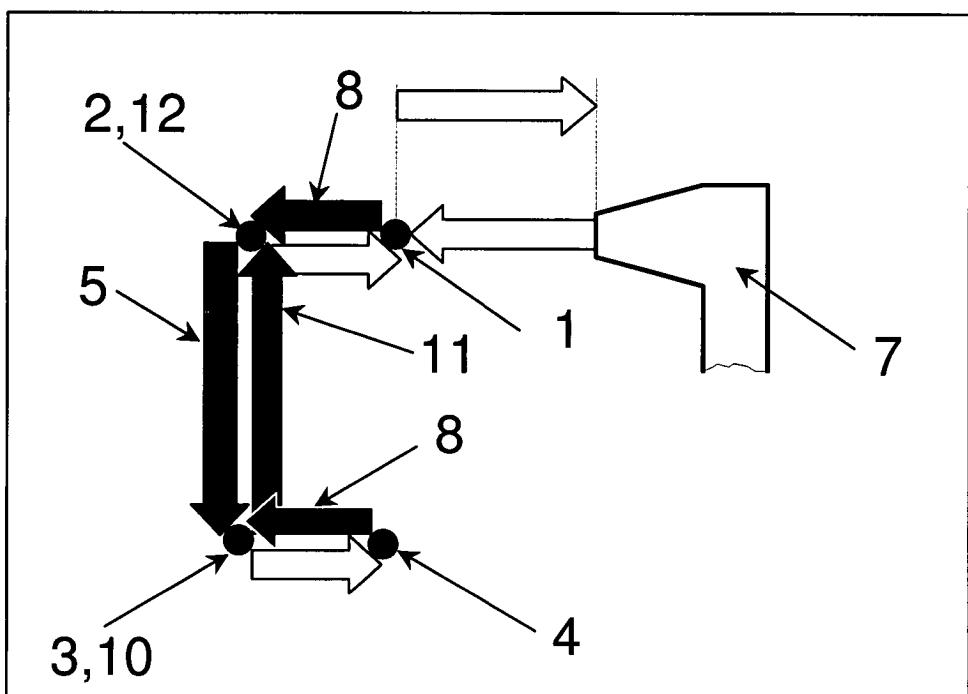
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4