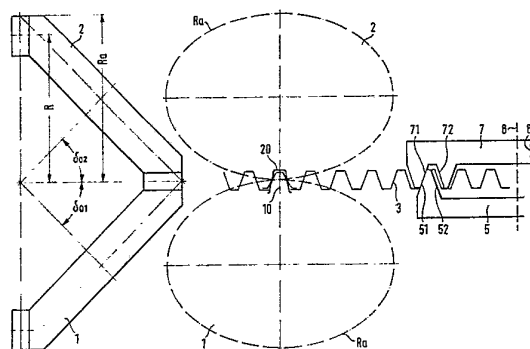




|    |                                  |                       |    |                                                                                                   |
|----|----------------------------------|-----------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ②① | Gesuchsnummer:                   | 4807/78               | ⑦③ | Inhaber:<br>Dr.-Ing. Dieter Wiener, Ettlingen-Bruchhausen<br>(DE)                                 |
| ②② | Anmeldungsdatum:                 | 03.05.1978            |    |                                                                                                   |
| ③① | Priorität(en):                   | 11.05.1977 DE 2721164 | ⑦② | Erfinder:<br>Dr.-Ing. Dieter Wiener, Ettlingen-Bruchhausen<br>(DE)                                |
| ②④ | Patent erteilt:                  | 26.02.1982            |    |                                                                                                   |
| ④⑤ | Patentschrift<br>veröffentlicht: | 26.02.1982            | ⑦④ | Vertreter:<br>Patentanwälte Dr.-Ing. Hans A. Troesch und<br>Dipl.-Ing. Jacques J. Troesch, Zürich |

**54) Verfahren und Vorrichtung zum Schleifen von Zahnradpaaren bogenverzahnter Kegelräder.**

57) Beim Schleifen von bogenverzahnten Kegelrädern (1, 2) im Teilwälzverfahren lassen sich bei einem der Kegelräder (2) jeweils zwei Zahnflanken an beiden Seiten einer Zahnücke in einem Arbeitsgang mit einer Topfschleifscheibe (5) bearbeiten, deren Schleifflanken (51, 52) einen Kegelaussenring bilden. Zur Lösung der Aufgabe, ein einwandfrei kämmendes Gegenrad (1) in einem Arbeitsgang zu schleifen, wird vorgeschlagen, zum Schleifen, des Gegenrades (1) eine Topfschleifscheibe (7) zu verwenden, deren Schleifflanken (71, 72) einander zugewandt sind und einen Kegelinnenring bilden. Zur Erzeugung von Breitenballigkeit kann den Schleifscheiben (5, 7) eine zyklische Zusatzbewegung von geringer Exzentrizität erteilt werden.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Schleifen von Zahnradpaaren bogenverzahnter Kegelräder im Teilwälzverfahren, wobei die Zähne eines der Kegelräder (2) durch Schleifen der zu beiden Seiten einer Zahnücke liegenden Flanken mittels einer Topfschleifscheibe (5) erzeugt werden, die zwei einander abgewandte, einen Kugelaussenring bildende Schleifflanken (51, 52) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Zähne des anderen Kegelrades (1) durch gleichzeitiges Schleifen der zu beiden Seiten eines Zahns (10) liegenden Flanken mittels einer Topfschleifscheibe (7) erzeugt werden, die zwei einander zugewandte, einen Kegelinnenring bildende Schleifflanken (71, 72) aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Topfschleifscheiben während des Schleifens eine zusätzliche zyklische Bewegung geringer Exzentrizität erteilt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zyklische Bewegung (55) eine Kreisbewegung ist (Fig. 5a).

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zyklische Bewegung (55) auf zwei mit Bezug auf die Krümmung der Zahnflanken (61, 62) konkaven Kreisbögen unterschiedlicher Krümmung erfolgt (Fig. 5b, 5e).

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den beiden kreisbogenförmigen Bewegungsabschnitten ein etwa senkrecht zur Zahnflanke gerichteter geradliniger Bewegungsabschnitt vorgesehen ist (Fig. 5c, 5f).

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden kreisbogenförmigen Bewegungsabschnitte unterschiedliche Drehzentren aufweisen (5d, 5g).

7. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einer um eine Schleifachse rotierend antreibbaren Topfschleifscheibe mit zwei kegelförmigen Schleifflanken, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifflanken (71, 72) einander unter Bildung eines Kegelinnenrings zugewandt sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifscheibe (5, 7) in Richtung ihrer Achse (8) verschiebbar (81) ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Schnittgeschwindigkeit zu Vorschubgeschwindigkeit der Schleifscheibe zwischen 40:1 und 60:1 liegt, wobei der Vorschub die Bewegung des Berührungspunktes in Zahnängsrichtung ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnitt- und die Vorschubbewegung der Schleifscheibe einander entgegengesetzt sind.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schleifen von Zahnradpaaren bogenverzahnter Kegelräder im Teilwälzverfahren, wobei die Zähne eines der Kegelräder durch Schleifen der zu beiden Seiten einer Zahnücke liegenden Flanken mittels einer Topfschleifscheibe erzeugt werden, die zwei einander abgewandte, einen Kugelaussenring bildende Schleifflanken aufweist. Gegenstand der Erfindung ist zugleich eine zur Durchführung eines solchen Verfahrens geeignete Vorrichtung.

Beim Schleifen von Zahnradern nach dem Teilwälzverfahren führen das zu schleifende Zahnrad einerseits und die Schleifscheibe andererseits aufeinander abgestimmte Wälzbewegungen aus, die über den Getriebezug der Zahnrad-schleifmaschine miteinander gekoppelt sind. Nach jedem Wälzvorgang, bei dem eine bzw. zwei Zahnflanken

geschliffen werden, wird das Zahnrad weiter geteilt und ein weiterer Wälzvorgang ausgeführt, bis alle Zahnflanken bearbeitet sind.

Während bei Stirnrädern das Schleifen sehr verbreitet ist, hat sich das Schleifen von Kegelrädern bisher nur wenig durchgesetzt. Das liegt vor allem an den hohen Schleifkosten und daran, dass es an geeigneten Schleifverfahren fehlt. Zwar lassen sich gerad- und schrägverzahn timer Kegelräder schleifen, dagegen ist kein Schleifverfahren bekannt, nachdem spiralverzahn timer Kegelräder hergestellt werden können, die einwandfrei laufen. Dabei sind bei zahlreichen Anwendungen spiralverzahn timer Kegelräder besonders erwünscht, weil sie eine grössere Sprungüberdeckung aufweisen und sich bei geeigneter Auslegung so herstellen lassen, dass unter Last das Tragbild nur wenig wandert, während vor allem bei einseitig fliegend gelagerten gerad- und schrägverzahn timer Kegelrädern das Tragbild unter Last bei den üblichen Verlagerungen vom inneren zum äusseren Zahnende wandert. Aufgrund der geringen Verlagerungsempfindlichkeit und der günstigen Sprungüberdeckung zeichnen spiralverzahn timer Kegelräder sich durch besonders günstiges Geräuschverhalten aus.

Bei Verfahren der beschriebenen Gattung, die in der Praxis bekannt geworden sind, werden beide Räder jeder Zahnradpaarung (Rad und Gegenrad) mit Topfscheiben bearbeitet, die zwei kegelförmige Schleifflanken aufweisen und während des Schleifens jeweils in eine Zahnücke einfassen. Die Schleifflanken sind dabei voneinander abgewandt und bilden einen Kugelaussenring, der zur Drehachse der Schleifscheibe konzentrisch von einer zur Drehachse orthogonalen Ebene nach aussen wallartig vorsteht.

Nach diesem Verfahren kann man zwar genau kämmende Zahnradpaarungen herstellen, das gelingt jedoch nur mit beträchtlichem Zeitaufwand, weil dabei aufwendige und komplizierte Kontrollverfahren notwendig sind. Nach diesen bekannten Verfahren können zwar zunächst beide Flanken jeder Zahnücke eines Rades in einem Arbeitsgang geschliffen werden. Dagegen muss beim Gegenrad jeweils eine Flanke an die entsprechende Flanke des Rades angepasst werden. Das erfordert die Durchführung zweier Arbeitsgänge unter aufwendiger Kontrolle mit entsprechend hohem Aufwand für Mess- und Steuergeräte. Werden dagegen beide Zahnräder einer Paarung jeweils in einem Arbeitsgang geschliffen, so liegt mindestens auf einer Zahnflanke der tragende Bereich (sog. Tragbild) nicht in der Mitte der Zahnflanke, sondern an der Zahnkante (sog. Kantenträger).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und einer Vorrichtung anzugeben, die es erlauben, auch die Zahnflanken des Gegenrades (zu einem bereits geschliffenen Zahnrad) in einem Arbeitsgang und ohne aufwendige Kontrollverfahren exakt zu der Verzahnung des Rades passend zu schleifen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die Zähne des anderen Kegelrades (Gegenrad) durch gleichzeitiges Schleifen der zu beiden Seiten eines Zahns liegenden Flanken mittels einer Topfschleifscheibe erzeugt werden, die zwei einander zugewandte, einen Kegelinnenring bildende Schleifflanken aufweist. Erfindungsgemäss werden somit Rad und Gegenrad mit verschiedenen Topfschleifscheiben bearbeitet. Während die eine Topfschleifscheibe wie erläutert Schleifflanken aufweist, die einander abgewandt sind und einen Kugelaussenring bilden, wird das Gegenrad mit einer Topfschleifscheibe bearbeitet, bei der die Schleifflanken einander zugewandt sind und gleichsam einen zur Drehachse der Schleifscheibe konzentrischen, in eine zur Drehachse orthogonale Ebene eingesenkten, grabenartigen Kegelinnenring bilden. Dabei liegt der Erfindung die Beobachtung zugrunde, dass aufgrund der Geometrie der Kreisbo-

genverzahnung beim Schleifen des Gegenrades in einem Arbeitsgang nur jeweils eine der beiden Zahnflanken jeder Zahnücke (also nur eine linke oder nur eine rechte Flanke) so geschliffen werden kann, dass ihre Flankenrichtung mit derjenigen der entsprechenden Flanke an dem zuvor geschliffenen Rad übereinstimmt und somit genau kennt. Die erfindungsgemässe Lösung des Problems besteht im wesentlichen darin, den Schleifvorgang bei Rad und Gegenrad genau symmetrisch auszugestalten, in dem das Gegenrad mit einer Topfschleifscheibe geschliffen wird, die gleichsam das Negativ zur Kontur der das Rad schleifenden Topfschleifscheibe darstellt. Selbstverständlich stimmen dabei die Achsen der beiden Topfschleifscheiben in ihrer Lage gegenüber der jeweils zu schleifenden Verzahnung überein.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist weiter dadurch gekennzeichnet, dass den Topfschleifscheiben während des Schleifens eine zusätzliche zyklische Bewegung geringer Exzentrizität erteilt wird. Eine solche Zusatzbewegung lässt sich beispielsweise dadurch verwirklichen, dass die Drehachsen der Schleifscheiben parallel zu sich selbst auf einer Kreisbahn bewegt werden, beispielsweise mittels einer exzentrischen Lagerbüchse. Eine Analyse der Verhältnisse zeigt, dass die exzentrische Zusatzbewegung die Krümmung der konkaven Zahnflanken in anderer Weise beeinflusst als die Krümmung der konvexen Zahnflanken. Infolgedessen entsteht eine Breitenballigkeit, die in vorteilhafter Weise zu einem begrenzten Breitentragen führt und damit zur Folge hat, dass in gewissen Grenzen Verlagerungen der Achsen der miteinander kämmenden Zahnräder zulässig sind.

Beim Umlauf der Schleifscheibe unter gleichzeitiger zyklischer Bewegung wird auf dem aussenliegenden Abschnitt dieser zyklischen Zusatzbewegung die äussere Flanke, auf dem innenliegenden Abschnitt die innere Flanke einer Zahnücke geschliffen, so dass die entsprechenden Flanken des Gegenrades gleichfalls in einem Schleifvorgang bearbeitet werden können. Durch entsprechende Wahl des Schleifscheibendurchmessers einerseits und der von der Schleifscheibe bei der zyklischen Bewegung durchlaufenden Kurve andererseits können Rad und Gegenrad in optimaler gegenseitiger Anpassung geschliffen werden. Insbesondere besteht auch die vorteilhafte Möglichkeit, eines der Zahnräder einer Paarung, im allgemeinen das mit der grösseren Zähnezahl (d.h. das sog. Tellerrad) durch Formschleifen, das Ritzel dagegen nach dem vorgenannten Verfahren zu bearbeiten.

Ein zusätzlicher, durch die Zusatzbewegung erreichter Vorteil besteht darin, dass die Gefahr von Schleifbrand wesentlich verringert wird. Beim Schleifen ohne Zusatzbewegung stehen die Schleifflanken der Topfschleifscheiben in Umfangsrichtung längs einer Linie, der sog. Erzeugenden, mit dem Werkstück in Eingriff, so dass ein Schleifkorm über die gesamte Zahnbreite in Eingriff kommen kann. Das führt zu einer beträchtlichen Schleifbrand- und Schleifrissegefahr, so dass nur mit geringer Zustellung geschliffen werden kann. Wird dagegen mit der erläuterten zyklischen Zusatzbewegung geschliffen, so wird die Berührung zwischen Zahnrad und Schleifscheibe von einer Berührlinie zu einem eng lokalisierten Berührungsbereich reduziert, so dass die Gefahr von Schleifbrand bzw. Schleifrisse verringert, d.h. mit grösserer Zustellung gearbeitet werden kann.

Für die Ausführung der Zusatzbewegung betehen verschiedene Möglichkeiten. Die Zusatzbewegung kann wie bereits erläutert eine Kreisbewegung um die Achse der Schleifscheibe sein. In vielen Fällen vorteilhaft ist eine Zusatzbewegung der Schleifscheibe auf einer un stetigen Bahn, die aus zwei mit unterschiedlichen Krümmungsradien gleichsinnig gekrümmten Bahnen besteht. Auf diese Weise lassen sich kürzere Totzeiten erreichen, in denen die Schleifscheibe mit

keiner Flanke in Berührung steht. Zugleich ergibt sich dadurch eine grössere Variation der erreichbaren Breitenballigkeit. Es kann ferner zwischen den gekrümmten Bahnabschnitten ein Bewegungsabschnitt etwa senkrecht zur Zahnflanke vorgesehen werden, wodurch auf einfache Weise ein Spieausgleich zwischen der Profilstärke der Schleifscheibe und der Zahnückenweite des Kegelrades möglich ist. Schliesslich können die Mittelpunkte der beiden gekrümmten Bahnabschnitte an unterschiedlichen Stellen liegen, wodurch die Lage des Tragbildes auf einer Zahnflanke gegenüber der anderen Zahnflanke variiert werden kann.

In jedem Fall führt die zyklische Zusatzbewegung in Verbindung mit der erläuterten, erfindungsgemässen Arbeitsweise nicht nur zu einer wesentlichen Verbesserung des Kämmeingriffs der Zahnräder, sondern zugleich zu einer günstigen Beeinflussung des Schleifbrandes durch entsprechende Variation der Anschmiegung zwischen Zahnflanken und den Schleifflanken insbesondere auch des eingesetzten Kegelinnenrings. Ferner lässt sich die Balligkeit und damit das Tragbild vorteilhaft verändern, indem die Schleifscheibe in Richtung ihrer Achse verschiebbar angeordnet ist, so dass sie auf einem wählbaren Durchmesser schleift.

Vorzugsweise liegt das Verhältnis von Schnittgeschwindigkeit zu Vorschubgeschwindigkeit der Schleifscheibe zwischen 30:1 und 60:1, wobei als Vorschub die Bewegung des Berührungspunktes von Schleifscheibe und Rad in Zahn längsrichtung definiert ist. Ferner hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Schnittbewegung und die Zusatzbewegung der Schleifscheibe einander entgegengerichtet sind, also im Gegenlauf geschliffen wird. Das Gegenlaufschleifen ist an sich bekannt, es bringt aber bei herkömmlichen Schleifverfahren keine Vorteile. Im Rahmen der Erfindung ergibt sich dagegen der Vorteil, dass höhere Zustellbeträge (Abtragsleistung) ohne Gefahr von Schleifrisse oder Schleifbrand möglich sind als beim Gleichlaufschleifen.

Hinsichtlich der Vorrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens geht die Erfindung von einer herkömmlichen Vorrichtung zum Teilwälschleifen von Kegelzahnradern aus, die eine um eine Schleifachse rotierend antreibbare Topfschleifscheibe mit zwei kegelförmigen Schleifflanken aufweist. Erfindungsgemäss ist eine solche Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifflanken einander unter Bildung eines Kegelinnenrings zugewandt sind.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung der Eingriffsverhältnisse einer Radpaarung bzw. der Eingriffsverhältnisse zwischen der Schleifscheibe und dem Rad;

Figur 2 ein Kegelrad in der idealisierten Form eines Planrades;

Figur 3 eine perspektivische Darstellung des zu schleifenden Kegelrades mit teilweise geschnittener Schleifscheibe;

Figur 4 ein Kegelrad in der idealisierten Form eines Planrades unter Andeutung der Schleifscheibengeometrie und -kinematik und

Figur 5 mehrere Ausführungsbeispiele für die Bahn der zyklischen Bewegung.

In Fig. 1 ist links ein Zahnradpaar mit zwei miteinander kämmenden Kegelrädern 1 und 2 mit Spiralverzahnung gezeigt. Jedes Rad 1, 2 weist die konstante Teilkegellänge  $R$  auf. Die Teilkegellänge der beiden Räder sind mit  $\delta_{01}$  und  $\delta_{02}$  bezeichnet. Schliesslich weisen beide Räder die äussere Teilkegellänge  $R_a$  auf. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel

ist im übrigen die Zahnhöhe unabhängig von der Teilkegellänge  $R$ .

Rechts neben der Radpaarung sind die äusseren Teilkreise  $R_a$  in die Zeichenebene projiziert, in der sie sich folglich als Ellipsen darstellen, die strichpunktiert angedeutet sind. Von Rad 1 ist ein Zahn 10 und von Rad 2 eine Zahnücke 20 dargestellt. Wenn die beiden Räder miteinander kämmen, so kann man sich eine idealisierte Planverzahnung mit geraden Flankenlinien vorstellen, die mit beiden Rädern gleichzeitig kämmt und deren Berührungspunkte in allen Wälzstellungen mit beiden Rädern 1, 2 gleichzeitig auch die Berührungspunkte der beiden Räder miteinander sind. Diese Planverzahnung – das sog. ideale Planrad – lässt sich abgewickelt als Zahnstange 3 zwischen den beiden Rädern 1, 2 darstellen. Diese ideale Planverzahnung bzw. das Planrad weist einen äusseren Halbmesser gleich der äusseren Teilkegellänge  $R$  und einen Teilkegelwinkel von  $90^\circ$  – also einen doppelten Teilkegelwinkel von  $180^\circ$  auf. In Fig. 2 ist eine Sicht von oben auf das zu beiden Rädern gehörende ideale Planrad 4 zu erkennen, wobei die eine Zahnücke 41 begrenzenden Flankenlinien, in diesem Fall 42, 43 durch Kreise dargestellt sind. Bei den bekannten Schleifverfahren für Kegelräder hat das Werkzeug stets die Form der in Fig. 1 rechts dargestellten topfförmigen Schleifscheibe 5. Mit dieser Schleifscheibe, deren Schleifflanken 51, 52 einen Kegelaussenring bilden, können die rechte und die linke Flanke der Zahnücke 20 des einen Zahnrades 2 erzeugt werden. Wird dieses Werkzeug auch zur Erzeugung der Zahnücke des anderen Zahnrades 1 eingesetzt, so müssen deren rechte und linke Flanke in getrennten Arbeitsgängen hergestellt werden, da sonst die Mittelpunkte der Flankenlinien für die rechte und linke Flanke der Zahnücken von Rad und Gegenrad nicht übereinstimmen.

Dem wird wie in Figur 1 dargestellt, dadurch begegnet, dass das Gegenrad mit einer Topfschleifscheibe 7 bearbeitet wird, deren kegelförmige Schleifflanken 71, 72 einander zugewandt sind und einen grabenförmig eingesenkten Kegelinnenring bilden. Damit ist es möglich, auch das Gegenrad in einem Arbeitsgang zu schleifen. Im übrigen ist dargestellt, wie die Schleifscheiben 5 und 7 bezüglich des zugeordneten Planrades eine gemeinsame Achse 8 aufweisen. Während die Schleifscheibe 5 mit ihren Schleifflanken 51, 52 die Zahnücke 20 des Rades 2 bearbeitet, werden mit der Schleifscheibe 7 die Flanken des mit dieser Zahnücke 20 kämmenden Zahns 10 des Gegenrades 1 geschliffen, und zwar (je) in einem einzigen Arbeitsgang. Die Schleifscheibe 7 bzw. ihre Spindel lässt sich in Richtung der Achse 8 gemäss Richtungs-  
pfeil 81 verschieben, so dass die Scheibe auf einem anderen Durchmesser schleift. Dadurch lässt sich die Breitenballigkeit variieren.

Eine praktische Ausführungsform des erläuterten Verfahrens in der Anwendung zum Schleifen des Rades 2 ist in Figur 3 dargestellt. Die Schleifscheibe 5 mit dem Flankenprofil 51, 52 in Form eines Kegelaussenrings sitzt auf der Spindel 53, die in Richtung 54 rotiert. Diese Umlaufbewegung ist die Schnittbewegung der Schleifscheibe. Auf einer hierzu geneigten Achse 23 bzw. einer Antriebswelle sitzt das zu schleifende Kegelrad 2, das eine oszillierende Drehbewegung – die Wälzbewegung – in Richtung des Doppelpfeils 24 durchführt. Die Schleifscheibe 5 führt neben der Schnittbewegung 54 noch eine Bewegung 24 des Kegelrades 2 angepasste Wälzbewegung 56 durch, wozu ein Wälzkörper dient, der die Schleifscheibe in einer zyklischen Bewegung um den Schnittpunkt 57 der Achse 23 des Rades 2 mit der Mittellinie 58 der Zahnhöhe führt. In der Momentendarstellung wird die Zahnflanke 20 des Kegelrades geschliffen, wobei die in der Zeichnung untere Flanke 21 von der äusseren Schleifflanke 51, die obere Flanke 22 von der inneren Schleifflanke 52 bearbeitet wird. Dabei erfolgt die Bearbei-

tung der einen Flanke 21 oder 22 von aussen nach innen, die der anderen Flanke von innen nach aussen, und zwar jeweils unter Abwälzen des Rades in der einen oder anderen Richtung des Doppelpfeils 24.

Der Dreh- oder Schnittbewegung 54 der Schleifscheibe 5 bzw. entsprechend der Schleifscheibe 7 ist eine zyklische Zusatzbewegung 55 geringer Exzentrizität überlagert, die entweder von der Schleifscheibe 5 gegenüber der Schleifspindel 53 oder direkt von dieser durchgeführt wird. Dies ist anhand des ideellen Planrades 6 in Fig. 4 näher erläutert, bei dem die Schnittlinien einer Zahnücke mit 61 und 62 bezeichnet sind. Die Flanken der Zahnücke werden von einer nicht gezeigten Schleifscheibe mit dem äusseren Radius  $r_a$  und dem inneren Radius  $r_i$  erzeugt, die um die Achse 63 dreht. Diese Drehbewegung ist wiederum die Schnittbewegung. Ferner führt die Schleifscheibe um ihre Achse eine zyklische Bewegung, im gezeigten Ausführungsbeispiel eine Kreisbewegung aus, deren Bewegungsbahn in der Zeichnung mit 64 bezeichnet ist. Beide Bewegungen erfolgen in Richtung des Pfeils 65.

Der Krümmungsradius der konkaven Zahnflanke entsteht als Summe aus dem Halbmesser  $r_a$ , der Schleifscheibe und dem Halbmesser der Zusatzbewegung. Die Schnittlinie dieser konkaven Form ist ebenfalls ein Kreisbogen. Die konvexe Zahnflanke hat in dieser Ebene nur noch die angenäherte Form eines Kreisbogens, da sich die beiden Bewegungen längs dem Radius  $r_i$  und dem Radius der Zusatzbewegung überlagern. Die Krümmung dieser Zahnflanke entspricht näherungsweise dem Kehrwert des Halbmessers  $r_i$  und ist geringfügig grösser als dieser Kehrwert. Werden Rad und Gegenrad mit einer Schleifscheibe hergestellt, wie sie in Fig. 1 und 3 mit 5 bzw. 7 bezeichnet sind, und wird entweder beiden oder auch nur einem Werkzeug eine solche Zusatzbewegung überlagert, so entsteht eine vorteilhafte Breitenballigkeit, die zu einem begrenzten Breitentragen und damit zu einer günstigen Verlagerungsfähigkeit des Rades führt. Im übrigen lässt sich das Rad wie das Gegenrad in einem Arbeitsgang herstellen. Die Berührung zwischen Schleifscheibe und Werkstücke erfolgt nicht mehr längs einer Berührlinie, die im wesentlichen in der Schnitttrichtung der Schleifscheibe liegt, sondern bei zusätzlicher Überlagerung einer Wälzbewegung nur noch theoretisch in einem Punkt bzw. aufgrund der Schnittzustellung beim Schleifen in einer relativ kleinen Berührfläche. Die Grösse dieser Berührfläche hängt in Richtung der Eingriffsfläche von dem Mass der Zustellung und dem Verhältnis der Krümmungen der Schleifscheibe und der Zusatzbewegung ab.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist aus Fig. 4 abzulesen. Bei der dargestellten Richtung der Zusatzbewegung wandert die Berührzone an der konkaven Flanke vom äusseren Zahnende zum inneren Zahnende und an der konvexen Flanke vom inneren Zahnende zum äusseren Zahnende. Durch die Art der Zusatzbewegung und die begrenzte Länge der Berührfläche zwischen Schleifscheibe und Werkrad ist die Wärmeeinwirkung auf das Rad unter dem Schleifen und damit die Schleifbrandgefahr geringer.

In Fig. 5 sind verschiedene Ausführungsformen der Zusatzbewegung schematisch dargestellt. 5a zeigt die bereits erläuterte Kreisbahn. 5b und 5c zeigt eine zyklische Kurve, wobei zwei Abschnitte von Kreisbögen mit unterschiedlichen Radien aneinandergesetzt sind. Während sich bei einer kreisförmigen Zusatzbewegung gemäss 5a eine grosse Nebenzeit ergibt, in der die Schleifscheibe keine der Zahnflanken berührt, wird diese Zeit durch eine Form der Zusatzbewegung gemäss 5b und 5c reduziert. Ausserdem ergibt sich eine grössere Variationsbreite bei der Wahl der gewünschten Breitenballigkeit.

Bei der Bewegungsbahn 5c und 5f wird in den Endlagen noch jeweils eine Vorstellung vorgenommen, die eine Bewe-

gungskomponente in Umfangsrichtung des Rades hat. Auf diese Weise kann ein Spielausgleich zwischen der Schleifscheibendicke und der Zahnlückenweite des Rades vorgenommen werden.

Schliesslich können die Mittelpunkte der Zusatzbewegung auch beliebig gewählt werden wie dies bei 5d und 5g verdeutlicht ist. Dadurch ist eine günstige Beeinflussung der Tragbildlage auf einer Zahnflanke unabhängig von der Tragbildlage auf der anderen Zahnflanke möglich.

Die erläuterte Arbeitsweise eignet sich besonders für das Schleifen von Präzisionsverzahnungen, z.B. im Werkzeugma-

schinenbau, Druckmaschinenbau, bei schnellaufenden Getrieben, im Flugzeugbau. Die Vorverzahnung wird man im allgemeinen durch Fräsen erzeugen, danach die Räder härten und dann schleifen. Bei Serienfertigung, z.B. für Kraftfahrzeuge, kann die Vorbearbeitung der Verzahnung durch Präzisionsschmieden und nach dem Härten die Endbearbeitung durch Schleifen erfolgen. Ferner ist es möglich, das eine Rad – in aller Regel das mit der grösseren Zähnezahl – durch Formschleifen, das Gegenrad nach dem erläuterten Verfahren zu bearbeiten.

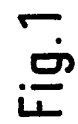


Fig. 2

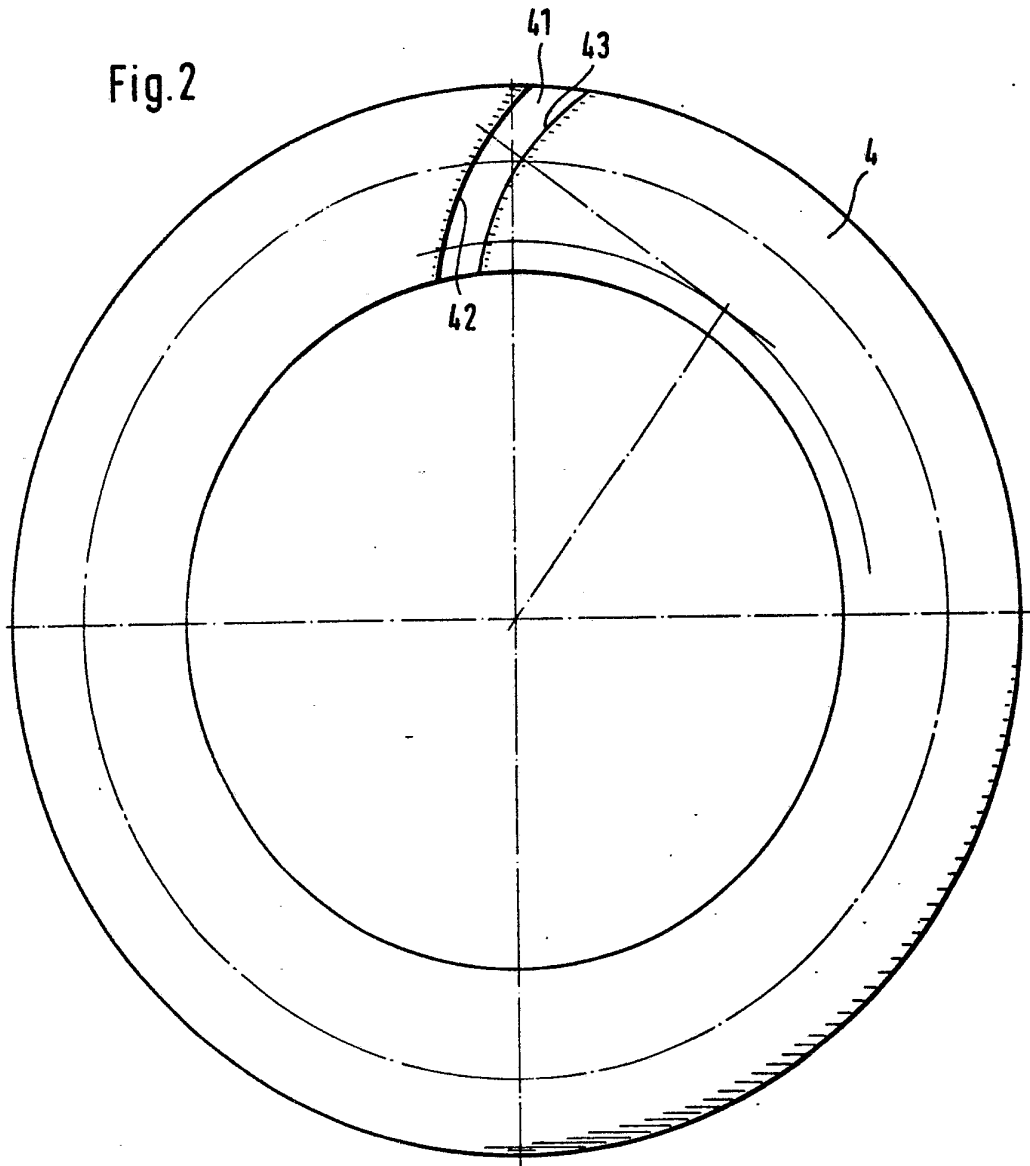
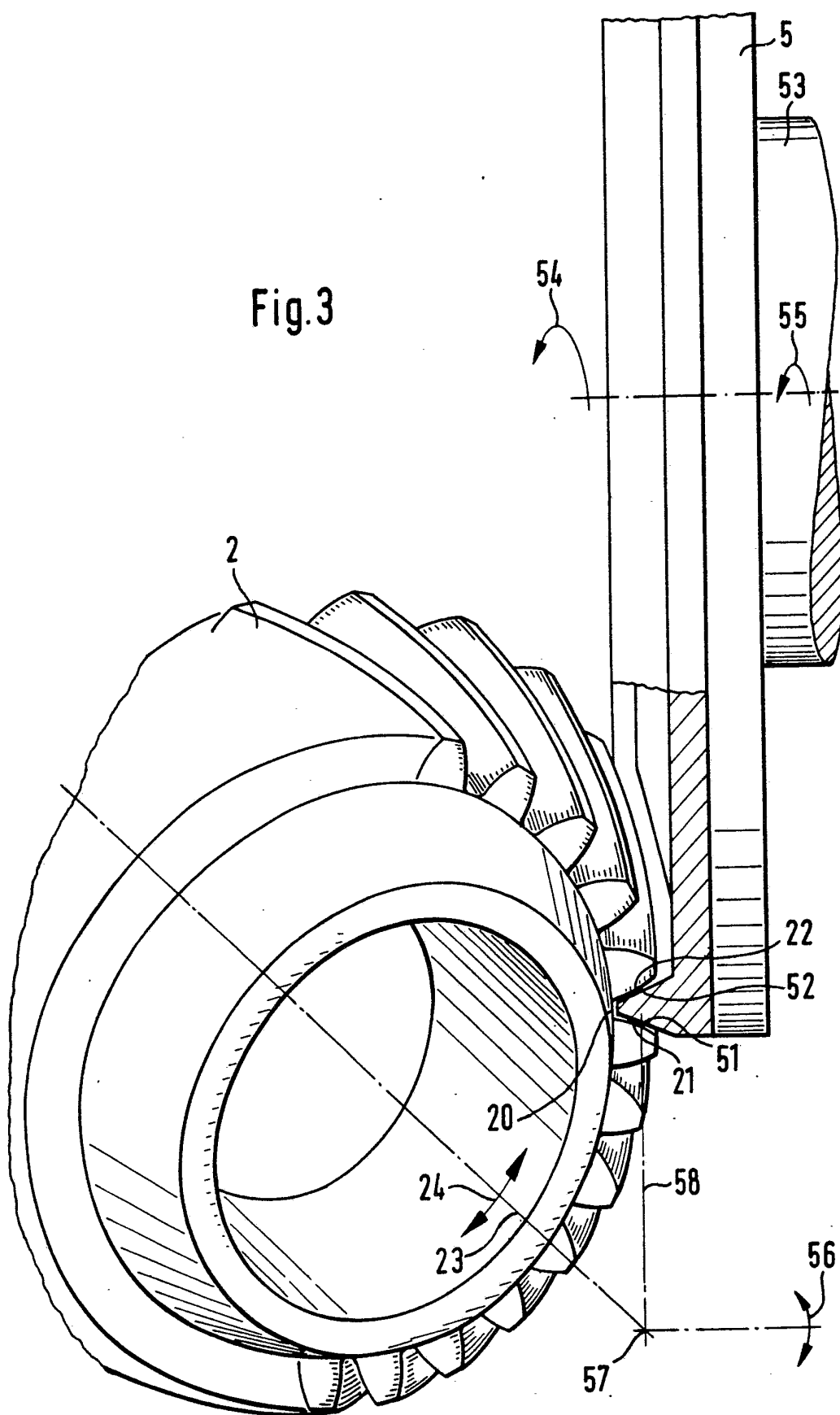


Fig.3





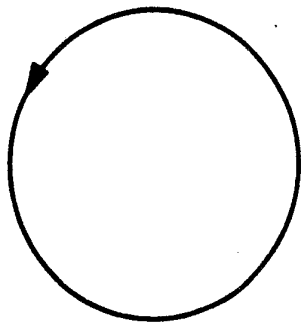


Fig. 5a



Fig. 5b



Fig. 5e



Fig. 5c



Fig. 5f



Fig. 5d

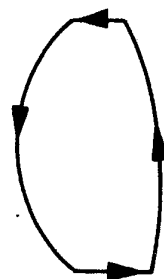


Fig. 5g