



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 238 094 A1

4(51) F 16 H 55/17

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP F 16 H / 277 091 6

(22) 06.06.85

(44) 06.08.86

(71) Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik, 1134 Berlin, Marktstraße 9, DD

(72) Fuhrmann, Erich, Dr.-Ing.; Albrecht, Heinz; Schmidt, Armin, DD

(54) Geometrische Anordnung einer Verzahnung und Herstellungsverfahren von Zahnrädern

(57) Die Anwendung ist vorteilhaft zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Zahnrädern aus Metall und Kunststoff, wenn das Zahnbreitenverhältnis größer als 0,3 ist. Sie erweitert den Anwendungsbereich von Kunststoffzahnrädern aufgrund besserer Temperaturverträglichkeit. Das Wesen der Erfindung besteht in der Auflösung der geschlossenen Zahnbreiten in eine Vielzahl von Zahnbreitenelementen durch umlaufende Nuten, die auch wendelförmig sein können. Fig. 1

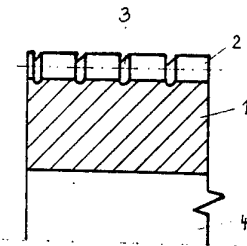


Fig. 1

- 1 Zahnradgrundkörper
- 2 Breitenelement
- 3 Nut
- 4 Wellenbohrung

Erfindungsanspruch:

1. Geometrische Anordnung einer Verzahnung und Herstellungsverfahren von Zahnrädern, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Zahn längs seiner Zahnbreite durch umlaufende Nuten unterbrochen wird, dergestalt, daß längs der Gesamtbreite jedes Zahnes Breiterelemente aus Zahnradmaterial mit leeren Zwischenräumen intermittieren, wobei die Tiefe der umlaufenden Nuten etwa der Tiefe der Zahnlücken entspricht, wodurch der Zusammenhang der tragenden Breiterelemente durch das Material des Zahnradgrundkörpers hergestellt wird und weiter durch den Hauptzweck dieser gekennzeichnet, der im Ausgleich der Schubspannungen in den Zahnbreiterelementen besteht, wodurch der Zwang zum Entstehen einer stetigen Biegelinie längs der Zahnradbreite aufgehoben wird und jedes Zahnbreiterelement sich entsprechend seiner örtlichen und zeitlichen Belastung gegenüber dem Zahnradgrundkörper verbiegt, wodurch eine gleichmäßige Belastung der Zahnbreiterelemente erfolgt.
2. Geometrische Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Tiefe der umlaufenden Nuten auch in Hinblick auf eine bessere Kühlung und Schmierung festgelegt wird, daß also der Kerndurchmesser kleiner oder gleich dem Fußkreisdurchmesser gewählt wird.
3. Geometrische Anordnung und Herstellungsverfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die umlaufenden Nuten als Wendel ausgebildet werden und sowohl ähnlich dem Gewindeschneiden mit einem Drehmeißel als auch spanlos ähnlich dem Gewinderollen hergestellt werden können.
4. Geometrische Anordnung einer Verzahnung nach Anspruch 1, 2 und 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch unterschiedliche Steigungsgrößen der wendelförmigen Nuten und wahlweise unterschiedlichen Drehsinn bei zwei miteinander kämmenden Zahnrädern eine Zufallsfolge von Belastungen der einzelnen Breiterelemente entsteht, wodurch Teilungsfehler und andere Fertigungsungenauigkeiten sich ausgleichen und damit die bisherige Forderung nach Zähnezahlen ohne gemeinsamen Teiler entfallen kann.
5. Geometrische Anordnung nach Anspruch 1, 2, und 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß bereits ein nützlicher Effekt entsteht, wenn nur eines von zwei kämmenden Rädern mit den Nuten versehen ist.
6. Geometrische Anordnung und Herstellungsverfahren nach Anspruch 1, 2 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich die Erfindung sinngemäß auch auf Kegelräder anwenden läßt.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft die geometrische Anordnung einer Verzahnung und Herstellungsverfahren von Zahnrädern. Sie ist anwendbar auf Einzelzahnäder und Zahnradpaarungen aus Metall und aus Kunststoff sowohl bei Evolventenverzahnung als auch den meisten anderen Verzahnungsarten, bei gerader und schräger Innen- und Außenverzahnung und bei Kegelrädern. Besonders vorteilhaft ist sie anzuwenden bei schnelllaufenden hochbelasteten Zahnrädern. Sie ist wenig ergiebig bei Zahnrädern, die vorwiegend kinematischen Zwecken dienen und bei einem kleinen Zahnbreitenverhältnis.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannt sind die Vorteile der Evolventenverzahnung bezüglich ihrer einfachen Werkzeuggestaltung, der Unempfindlichkeit gegenüber Achsabstandsänderung und der weltweiten Standardisierung. Deswegen werden auch Verzahnungsarten, die einen höhere Tragfähigkeit ergeben, trotzdem kaum angewendet.

Bekannt sind die Eigenschaften von Zahnradwerkstoffen mit ihren speziellen Kennwerten für die Flankentragfähigkeit und die Gestalts-Schwellfestigkeit der Zahnflußbiegespannung, die auch durch die Erfahrung bestätigt werden.

Bekannt ist ferner, daß für gehärtete Stahlräder vorzugsweise die Entwurfsberechnung aufgrund der Zahnflußfestigkeit und für ungehärtete Stahlräder aufgrund der Flankentragfähigkeit erfolgt, während man bei Kunststoffrädern wegen ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit die Temperatursicherheit als vermuteten Engpaß der Entwurfsberechnung zugrunde legt.

Nur qualitativ bekannt ist der große Einfluß des Schmiermittels und auch dessen Nebenwirkungen wie z. B. die durch das Quetschöl.

Bekannt sind sogenannte Tragbilder und ihre Ausdeutung für gut und schlecht angefertigte Verzahnungen. Sie rühren von der unterschiedlichen Veränderung der Zahnflankenoberfläche aufgrund des Betriebes her, auch der Unterschiedlichkeit längs der Zahnbreite. Bekannt ist auch der Lastverteilungsfaktor, der u. a. aussagt, daß je nach Herstellungsqualität, Lagerungsart der Welle und spezifischer Belastung der Zahnbreiterelemente eine größere Zahnbreite als die empirisch bestimmte keinen wesentlichen Beitrag zur Kraftübertragung mehr liefert.

Bekannt ist ferner sowohl die Forderung als auch ihre Begründung, daß ein ganzzahliges Zähnezahlverhältnis auch bei ganzzahligem Übersetzungsverhältnis zu vermeiden ist. Die Zähnezahlen sind so zu wählen, daß sie keinen gemeinsamen Teiler haben.

Unter Berücksichtigung aller dieser wohlbekanntes und gesicherten Erkenntnisse scheint eine höhere Belastbarkeit der Zahnräder nur unter Verzicht auf bekannte Technologien, bekannte Maschinen und Werkzeuge oder durch Verbesserung der Werkstoffe möglich. Das ist der Mangel am hohen Stand der Technik.

Ziel der Erfindung

ist es, unter Verwendung vorhandener Erkenntnisse, Technologien, Maschinen und Werkstoffe eine höhere Belastbarkeit der Zahnräder zu erreichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die technische Aufgabe, die durch die Erfindung gelöst werden soll, besteht in der deutlichen Verbesserung folgender Einflußgrößen:

Die Belastung des Zahnes längs seiner Breite soll gleichmäßiger erfolgen, was die Zahnfußbiegefestigkeit und die Flankentragfähigkeit erhöht und die Grenzen der zulässigen Breite hinausschiebt.

Das Auftreten eines Haarrisses als Dauerbruch im Zusammenhang mit Inhomogenitäten des Werkstoffs, Fertigungsungenauigkeiten und zufälligen Spannungspitzen im Betrieb soll sich weniger ungünstig auswirken, wodurch die üblichen Sicherheitsfaktoren bei der Vorausberechnung herabgesetzt werden können.

Die Schmierung soll verbessert werden, was den Verschleiß herabsetzen und den Wirkungsgrad verbessern soll.

Das Quetschöl soll besser abfließen können ohne das Kopfspiel und damit die Eingriffsverhältnisse zu verändern, was ein Schmiermittel höherer Viskosität erlaubt und den Wirkungsgrad verbessert.

Die Kühlung der Zähne soll deutlich verbessert werden, was allgemein die Freß-Tragfähigkeit heraufsetzt und für Kunststoffräder neue Einsatzmöglichkeiten erschließt.

Zähnezahlen mit gemeinsamen Teiler sollen ausführbar werden, wobei die aufgrund dieser Anordnung bekannten Mängel stark gemildert und teilweise beseitigt werden sollen.

Der Geräuschpegel soll herabgesetzt werden und die Schallfrequenzen in höhere Bereiche verlagert werden, wodurch sie teilweise unschädlich, zumindest aber unhörbar werden.

Der Einsatz fester Schmiermittel soll besser möglich werden. Die Empfindlichkeit des Getriebes gegen kleine Fremdkörper soll vermindert werden.

Die Forderungen an die Formsteifigkeit der Welle, die Qualität der Herstellung sollen geringer gehalten werden können.

Die Merkmale der Erfindung bestehen aus einem Hauptmerkmal mit verschiedenen Zusatzmerkmalen.

Das Hauptmerkmal ist die Aufhebung des geschlossenen Zusammenhanges des Zahnes längs seiner Breite etwa im Bereich der Zahnhöhe. Beibehalten wird der geschlossene Zusammenhang im Bereich des Zahnradgrundkörpers.

Die gesamte Zahnbreite besteht also erfindungsgemäß aus einer Vielzahl einzelner materieller Breiterelemente und leerer Zwischenräume.

Je größer die Anzahl der Elemente bei gegebener Breite ist, desto günstiger gestaltet sich erfindungsgemäß die Auswirkung. Die Begründung für diese geometrische Anordnung ergibt sich aus der theoretischen Mechanik und besteht im Wegfallen der aufgrund der Biegebeanspruchung gesetzmäßig paarweise auftretenden Schubspannungen, die ihrerseits im starken Maße die Formänderung beeinflussen.

Der längs der Breite homogene, nicht erfindungsgemäße Zahn folgt unter Last einer stetigen, momentproportionalen Krümmung. Das betrifft beide kämmende Zähne. Folglich kann nicht die gesamte Breite tragen. Beweis ist das „gute Tragbild“, welches in der Mitte des Zahnes einen Verschleiß aufweist. Dazu treten noch Fertigungs- und Montageungenauigkeiten, die die vorwiegend tragenden Strecken verschieben und verkürzen.

Durch Aufheben der Verbindung der Breiterelemente ist jedes Zahnbreiterelement nur noch mit dem Zahnradgrundkörper verbunden. Das höher belastete Element verbiegt sich stärker, wodurch es sich entlastet und die bisher schwächer belasteten Nachbarelemente zusätzlich belastet. Im kybernetischen Sinne liegt eine negative Rückkopplung vor, d. h. ein sich stabilisierendes System. Diese positive Auswirkung tritt auch auf, wenn Fertigungs- oder Montageungenauigkeiten eine ungleichmäßige Belastung hervorrufen wollen.

Natürlich fällt das Material der leeren Zwischenräume als tragendes Material weg, was zu der erfindungsgemäßen Richtlinie führt, die leeren Zwischenräume möglichst klein zu machen.

Dies wird im Folgenden als besonderes Merkmal dargestellt, welches für Zahnräder aus Metall, insbesondere aus Stahl, theoretisch untermauert werden kann:

Hier sind die Tragfähigkeitsgrenzen durch Flankentragfähigkeit und Zahnfußbiegefestigkeit gesetzt.

Wenn man erfindungsgemäß die Forderung stellt, daß beide Grenzen gleichzeitig bei steigendem Drehmoment erreicht werden sollen, d. h. daß bei Erreichen der Flankentragfähigkeit keine Reserven bezüglich der Biegefestigkeit bestehen sollen und umgekehrt, dann ergibt sich gesetzmäßig daraus eine optimale Ritzelzähnezahl. Dieses Optimum erweist sich als flach, d. h. Abweichungen ergeben nur kleine Nachteile.

Es ist von den verwendeten Werkstoffkennwerten beider kämmender Räder abhängig, woraus sich eine Zähnezahlnkonstante ergibt.

$$z = \left(\frac{y_w}{p_{da}} \right)^2 \cdot \delta_{Schbi}$$

y_w ist der Werkstoff-Faktor, gebildet aus den Elastizitätsmodulen

p_{da} ist die Dauerfestigkeit der Zahnflanken des großen Rades

δ_{Schbi} ist die Gestalts-Schwellfestigkeit des Ritzels.

Die optimale Ritzelzähnezahl liegt damit etwa bei

$$z_{i \text{ opt}} \approx 5 \cdot \xi \cdot \frac{u + 1}{u \cdot q_k \cdot q_\varepsilon}$$

mit dem Zähnezahlverhältnis u und den zu schützenden Zahnformfaktor q_k und Überdeckungsfaktor q_ε .

Für gehärtete Räder führt dies zwar an die Unterschnittgrenze aber für den großen Anwendungsbereich ungehärteter Baustähle und Vergütungsstähle zu erstaunlich hohen Ritzelzähnezahlen mit kleinem Modul. Die sich aus dem kleinen Modul ergebende kleine Zahnhöhe erlaubt eine geringe Tiefe der im Hauptmerkmal genannten leeren Zwischenräume.

Diese können also mit einem Drehmeißel hergestellt werden, der in seiner Grundform einem Stechdrehmeißel entspricht, eine möglichst kleine Breite, große Tiefe und einen wohlgerundeten Nutgrund ergibt.

Der im Sinne der Gestaltsfestigkeit wohlgerundete Nutgrund führt zu einem weiteren Zusatzmerkmal:

Ein tragendes Zahnbreitenelement ist nun auf je zwei gegenüberliegenden Seiten von den Zahnlücken und den Nuten begrenzt und mit einem viereckigen Querschnitt am Zahnradgrundkörper angeschlossen. In diesem Querschnitt tritt das maximale Biegemoment auf und etwa längs dieses Querschnittes wird sich ein möglicherweise entstandener Haarriß ausbreiten.

Da ein Haarriß mit Formänderungen verbunden ist, die den Zahn entlasten, wird bei einseitiger Belastung der Riß stehen bleiben. Wandert er trotzdem weiter, fällt dieses Zahnbreitenelement ab, wodurch der Haarriß-Vorgang beendet ist. Er wandert nicht in das benachbarte Zahnbreitenelement. Erfindungsgemäß soll gefordert werden, daß die verbleibenden Zahnbreitenelemente das Drehmoment noch übertragen sollen.

Damit erniedrigt sich die Forderung für die Sicherheitsfaktoren zu

$$s \geq \frac{n}{n - 1}$$

wobei n die Anzahl der Breiterelemente pro Zahnbreite ist.

Ein weiteres Zusatzmerkmal besteht darin, daß das Quetschöl nicht mehr von der Mitte des Zahnrades zu den beiden Rädern gefördert werden muß, sondern in den Nuten, die die leeren Zwischenräume bilden, verschwinden kann.

Noch ein Zusatzmerkmal ergibt sich aus der durch die leeren Zwischenräume vergrößerte Oberfläche aller Zahnbreiterelemente gegenüber der Oberfläche eines geschlossenen Zahnes. Sie wirkt als Kühlfläche des Zahnes, da sie dauernd mit Frischöl gespült wird. Durch die bessere Abspülung werden auch kleine Fremdkörper, also Abrieb oder Anhäufungen fester Schmiermittel wie Molybdänsulfid ohne Schaden entfernt.

Das nächste Zusatzmerkmal ist durch den Verlauf der Nuten gegeben, die die leeren Zwischenräume bilden:

Vorteilhaft in mehrfacher Hinsicht erweist sich ein Wendel, eine Schraubenlinie. Wenn man also eine Art Gewinde in den Zahnradrohling schneidet mit einem Kerndurchmesser, der etwa dem Fußkreisdurchmesser der Verzahnung entspricht, stützt man sich nicht nur auf flexibel anwendbare Produktionsverfahren bezüglich Gewindeschneidens, sondern man kann auch bekannte technologische Verfahren der spanlosen Formung entsprechend abwandeln. Mit dieser Nut als Schraubenlinie wird aber für die Verzahnung ein neuer Freiheitsgrad gewonnen. Erfindungsgemäß wählt man die Steigung der Schraubenlinien zweier miteinander kämmender Zahnräder ungleich. Auch die Paarung von Rechts- und Linksgewinde ist möglich und sinnvoll. Auf diese Weise erreicht man bei jeder Umdrehung für jeden Zahn eine unterschiedliche Belastungssituation durch gegenseitige Verschiebungen zwischen Lücken und materiellen Zahnbreiterelementen.

Dadurch gleichen sich Teilungsfehler und andere Fertigungsungenauigkeiten in einem Zufallsprozeß an, wie es bisher angestrebt wurde durch die Vorschrift, daß die Zähnezahlen beider kämmender Zähne keinen gemeinsamen Teiler haben sollen.

Die Gesetzmäßigkeiten bei der Geräuschbildung stellen ein weiteres Zusatzmerkmal dar. Geräuschbildende Schwingungsanregungen ergeben sich bei der ersten Berührung zweier Zähne im Kopfeingriffspunkt und im Einzeleingriffspunkt, wenn ein mittragender Zahn die Eingriffsstrecke verläßt.

Beim erfindungsgemäßen Zahnrad streuen diese Ereignisse zeitlich für die verschiedenen Breiterelemente. Akustisch bedeutet dies eine Verkleinerung der Amplitude der Grundfrequenz und die Entstehung von Obertönen, wie eine Fourieranalyse aufzeigen kann. Dies ist im Sinne der technischen Aufgabe. Es ist zu erwarten, daß die bessere Umspülung mit Öl darüber hinaus noch geräuschkämpfend wirkt.

Als letztes Zusatzmerkmal soll auf zu beachtende Auswirkungen in der Reihenfolge der Fertigung der erfindungsgemäßen Verzahnungsgeometrie eingegangen werden:

Technologisch bequemer ist es, die Wendelnut unmittelbar nach Fertigstellung des Kopfkreisdurchmessers in den Zahnradrohling einzubringen. Das erfordert aber dann kleine Spantiefen auf der Verzahnungsmaschine, weil die erfindungsgemäß größere Formänderung sonst zu formänderungsbedingten Fertigungsfehlern führt.

Das Eindrehen der Wendelnut nach der Fertigung der Zahnflanken verlangt aber kleinsten Tiefenvorschub wegen des intermittierenden Schneidvorganges.

Ausführungsbeispiel

Fig. 1: zeigt den Schnitt durch ein erfindungsgemäßes Zahnrad und

Fig. 2: stellt eine Draufsicht dar.

In Fig. 1 erkennt man schraffiert einen geschnittenen Zahnradgrundkörper 1, der eine Wellenbohrung 4 umschließt.

Die Darstellung des Zahnrades ist in ihrer axialen Ausdehnung abgebrochen. Eine wendelförmig umlaufende Nut 3 zerlegt die Zahnradbreite in leere Zwischenräume und Breiterelemente 2. Die Nut 3 durchbricht den Fußkreisdurchmesser.

Aus Fig. 2 ersieht man, daß eine Geradverzahnung vorliegt. Die Gewindesteigung ist ebenfalls zu sehen. Infolge der Wendelanordnung der umlaufenden Nut gestaltet sich der Einspannquerschnitt eines Zahnbreiterelementes zu einem Parallelogramm.

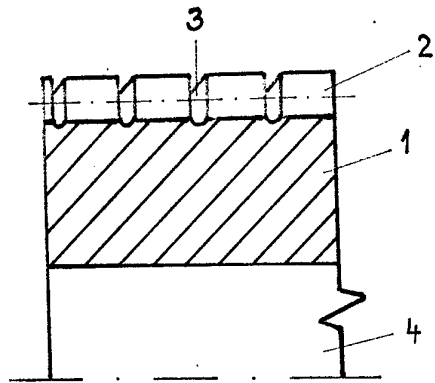


Fig. 1

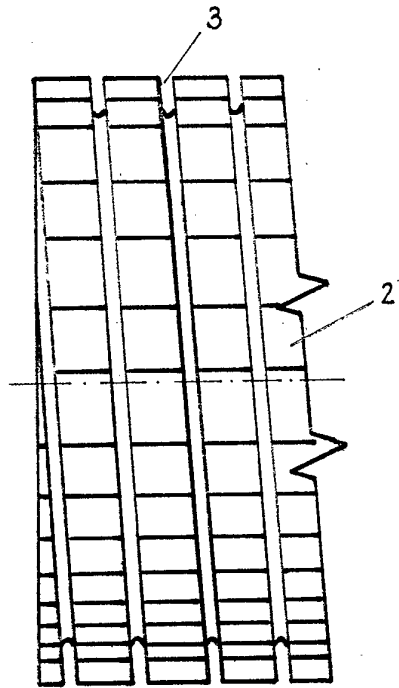


Fig. 2