



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 002 959 A1** 2007.08.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 002 959.6**

(22) Anmeldetag: **19.01.2007**

(43) Offenlegungstag: **23.08.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F16H 55/06** (2006.01)
C22C 29/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
95/2006 20.01.2006 AT

(74) Vertreter:
Maiwald Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80335 München

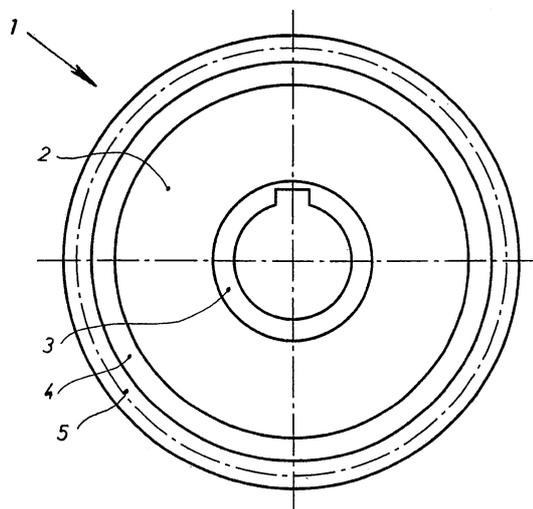
(71) Anmelder:
ARC Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen GmbH, Ranshofen, AT

(72) Erfinder:
Mundl, Alfred, Dipl.-Ing., Braunau, AT

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verbund-Zahntriebteil**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Zahntriebteil (1), insbesondere Zahnrad oder Zahnstange, gefertigt mit unterschiedlichen Werkstoffen, wobei das Nabenteil (3) und/oder das Zahnkranzteil (4) oder die Zähne (5) aus hartem, verschleißfestem Werkstoff, vorzugsweise aus gehärtetem Stahl, und das diese Teile verbindende Teil (2) oder das Nabenteil aus einem leichten Nichteisen-Werkstoff gebildet sind. Um einen nachteiligen Einfluss von erhöhten Arbeitstemperaturen sowie größeren Temperaturschwankungen im Wesentlichen auszuschalten und das Verschleißverhalten und die Haltbarkeit des Verbundes zu erhöhen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Verbindungsteil (2) aus einem Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) mit der Maßgabe besteht, dass die Metallkomponente aus einem Leichtmetall oder einer dergleichen Legierung und die Keramikkomponente aus einem Karbid und/oder Nitrid und/oder Oxid und/oder Borid von Leichtmetall und/oder einer Verbindung obiger keramikbildender Elemente mit Leichtmetall gebildet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Zahntriebteil, insbesondere ein Zahnrad oder eine Zahnstange, gefügt mit unterschiedlichen Werkstoffen, wobei das Nabenteil und/oder das Zahnkranzteil oder die Zähne aus hartem, verschleißfestem Werkstoff, vorzugsweise aus gehärtetem Stahl, und das diese Teile verbindende Teil oder das Nabenteil aus einem leichten Nicht-eisen-Werkstoff gebildet sind.

[0002] Zahntriebteile im Allgemeinen sind Maschinenelemente, die einer schlupflosen Übertragung von Bewegungen sowie von Leistungen dienen, dabei einen hohen Wirkungsgrad haben und relativ kleine Baugrößen erfordern. Bei Zahntrieben erfolgt eine starre Kraftübertragung, wobei durch den Zahneingriff, insbesondere bei Zahnradern, Schwingungen und Geräusche entstehen können. Als weitere Nachteile sind gegebenenfalls ein hohes Zahnradgewicht und/oder eine aufwändige bzw. teure Herstellung zu nennen.

[0003] Zur Überwindung dieser Nachteile wurde bereits vorgeschlagen, Zahnräder in einer Werkstoffverbund-Bauweise herzustellen. Derartige Verbundzahnrad bestehen aus Zähnen aus Schwermetall, vorzugsweise Stahl, und einem Körper aus Kunststoff oder aus geschäumtem Aluminium, wobei ein Nabenteil aus Schwermetall vorgesehen sein kann.

[0004] Ein Zahnradkörper zwischen Zahnteil und Nabe aus Kunststoff entzieht dem System vom jeweiligen Zahneingriff herrührende Körperschall-Energie, wodurch der in die Welle und Umbauteile weitergeleitete Körperschallanteil wesentlich vermindert werden kann.

[0005] Weiters besitzen auch aus beispielsweise Thermo- und Duroplasten sowie Aluminiumschaum gebildete Zahnradkörper eine im Vergleich mit Schwermetallen geringe Dichte, woraus sich ein vorteilhaft niedriges Zahnradgewicht bzw. ein geringes Getriebegegewicht ergibt.

[0006] Für Zahntriebe, welche keine hohe Präzision erfordern und bei Raumtemperatur arbeiten, kann sich ein Werkstoffverbund mit einem zentralen Kunststoff- oder Aluminiumschaum-Körper zwischen Zahn- und Naben- oder Halteteil durchaus gut eignen, welcher Verbund auch eine hohe Körperschall-dämpfung aufweist.

[0007] Derartige Verbundwerkstoff Zahntriebteile haben jedoch die Nachteile einer hohen Empfindlichkeit gegen erhöhte Arbeitstemperaturen, insbesondere über 120°C, sowie gegen Temperaturschwankungen, beispielsweise in einem Ausmaß von über 60°C, einer geringen Präzision der Teile in der Momentenübertragung und oftmals einer nicht ausrei-

chenden Haltbarkeit, verursacht durch niedrige Zeitstandsfestigkeit des Verbundes.

[0008] Werkstoffverbund-Zahnräder mit größeren Durchmessern, bei welchen der Zwischenkörper aus porenfreiem Aluminiummetall oder Magnesiummetall oder deren Legierungen gebildet war, zeigten im Betrieb, insbesondere bei kurzzeitigen, ausgeprägten Temperaturschwankungen, ein ungünstiges Verhalten mit hohem Verschleiß und gegebenenfalls mangelnder Haltbarkeit des Verbundes.

[0009] Die Erfindung setzt sich zum Ziel, bei Vermeidung obiger Nachteile verbesserte Werkstoffverbund-Zahntriebteile mit geringem Gewicht und hoher Zeitstandsfestigkeit zu schaffen.

[0010] Dieses Ziel wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass das Verbindungsteil aus einem Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (Metal Matrix Composite, MMC) mit der Maßgabe besteht, dass die Metallkomponente aus einem Leichtmetall oder einer dergleichen Legierung und die Keramikkomponente aus einem Karbid und/oder Nitrid und/oder Oxid und/oder Borid von Leichtmetall und/oder einer Verbindung obiger keramikbildenden Elemente mit Leichtmetall gebildet sind.

[0011] Die mit der Erfindung erreichten Vorteile sind im Wesentlichen darin zu sehen, dass ein Metall-Matrix-Verbundwerkstoff die Verbindung zwischen Nabe und Zahnkranzteilen oder Zähnen derart verbessert, dass höchste Präzision und Stabilität der Teile bei großen Temperaturschwankungen und beträchtlichen Leistungsübertragungen gegeben sind. Wenn nun, wie Untersuchungen gezeigt haben, auch Kunststoffe, die dem Stand der Technik gemäß, als Verbindungsteil zwischen Nabe und Zähnen eingesetzt werden, sich einer geringen Dichte von 1,5 bis 0,97 kg/dm³ wegen als günstig für ein geringes Gewicht von Zahntriebteilen erweisen, so wirken sich ein äußerst niedriger Elastizitätsmodul E von 1 bis 5 kN/mm² sowie eine geringe Zugfestigkeit R_m von 60 bis 120 N/mm² und eine schlechte Bruchzähigkeit K_c von 1 bis 3 MNm^{-3/2} dieses Werkstoffes als höchst nachteilig hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften dieser Werkstoffverbundteile aus.

[0012] Auch wenn durch einen Einsatz von Aluminium als Verbindungsteil ein E-Modul von über 70 kN/mm² (Zahn- und Nabenteil-Werkstoff ca. 200 kN/mm²) und eine Bruchzähigkeit K_c von 23 bis 45 MNm^{-3/2} (Zahn- und Nabenwerkstoff ca. 160 MNm^{-3/2}) erreicht werden kann, so wirken sich diese beträchtlichen Unterschiede zum Zahn- und Nabenwerkstoff noch höchst ungünstig auf die Triebteilgüte im Langzeitbetrieb aus.

[0013] Weiters von großer Bedeutung für eine Langzeitfunktion von Werkstoffverbund-Zahntriebteilen

sind die Einsatztemperaturen und die Temperaturschwankungen im Betrieb. Besitzen nun verwendbare Kunststoffe dem Stand der Technik gemäß einen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten α von 100 bis $300 \times 10^{-6}/K$ und Aluminium von $\alpha = 24 \times 10^{-6}/K$, so ist derjenige Wert von Stahl für Naben- und Zahnteile des Verbund-Teiles $\alpha = 10,5$ bis $13,0 \times 10^{-6}/K$.

[0014] All diese sich nachteilig auswirkenden Unterschiede der Materialeigenschaften des zentralen Körpers und der Außen- und Innenteile eines Werkstoffverbund-Zahnrades nach dem Stand der Technik können nach der Erfindung durch einen Einsatz von Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) für den Innenkörper in vorteilhafter Weise zumindest zu einem großen Teil ausgeschaltet werden.

[0015] Wenn in günstiger Weise im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt ist, dass der E-Modul desselben einen Wert E von größer $1,2$ und kleiner $2,0 \times 10^2$ kN/mm² aufweist, so kann dadurch ein gleicher oder ähnlicher Verlauf der Dehnung in Abhängigkeit von der Spannung im elastischen Bereich wie derjenige in den Stahlteilen erreicht werden, was ein so genanntes Monoblockverhalten des Werkstoffverbundes fördert.

[0016] Mit Vorteil ist im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt, dass der Werkstoff des Teiles eine Wärmeleitfähigkeit λ von mindestens 10 W/mK aufweist, wodurch thermische Spannungen und Verwertungen im bzw. des Werkstoffverbund-Teil(es) auch bei wesentlichen Schwankungen der Arbeitstemperatur weitgehend minimiert werden können.

[0017] In diesem Zusammenhang ist es besonders günstig, wenn der Werkstoff des MMC-Teiles eine Wärmeleitfähigkeit λ von 30 bis 60 W/mK aufweist.

[0018] Wenn nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt ist, dass der Werkstoff des Teiles einen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten α von 10 bis $13 \times 10^{-6}/K$ aufweist, ist ein nachteiliger Einfluss von verschiedenen hohen Arbeitstemperaturen bei Zahntriebteilen wie Zahnradgetrieben weitgehend ausgeschaltet.

[0019] Mit Vorteil kann eine weitere Senkung einer Schallemission erreicht werden, wenn die Lage der Verzahnung zur Wellenachse parallel, schräg, pfeilförmig oder doppelschräg ausgebildet ist.

[0020] Zahntriebteile nach der Erfindung sollen im Folgenden in einigen Ausführungsformen und eini-

gen Herstellverfahren beispielhaft, lediglich einen Ausführungsweg darstellend, näher erläutert werden.

[0021] MMC-Werkstoffe besitzen bezüglich des Matrixmetalles und bezüglich der darin verteilten Keramikpartikel wesentliche unterschiedliche Eigenschaften. So ist zum Beispiel der MMC-Werkstoff Hartmetall mit Stahl aufgrund von unterschiedlicher Elastizität im Wesentlichen nicht verschweißbar, erfordert also eine Lötverbindung.

[0022] Für einen Werkstoffverbund von Stahl mit einem Teil mit geringer Dichte wurde nun gefunden, dass MMC-Werkstoffe mit einer Metallmatrix aus Aluminium oder Magnesium sowie Legierungen dieser Metalle und Keramikphasen aus Karbid und/oder Oxid und/oder Nitrid und/oder Borid und/oder Verbindungen, wie beispielsweise Karbonitrid, eine hochfeste gegen Temperaturwechsel beständige Verbindung der Komponenten ergeben können.

[0023] Erfindungsgemäß werden in Zahntriebteilen besondere Leichtmetall-Matrix-Verbundwerkstoffe für das die Stahlzähne oder das Stahlzahnteil tragende Material eingesetzt, weil bei diesem durch die chemische Zusammensetzung des Matrixmetalles und insbesondere durch die Art, den Anteil und gegebenenfalls durch die Größe der Keramikpartikel ein Eigenschaftsprofil derart einstellbar ist, dass ein sicherer, hochbelastbarer und dauerhafter Betrieb des Systems sichergestellt werden kann.

[0024] Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen weisen einen E-Modul von $E = 60$ bis 80 kN/mm² bzw. 40 bis 60 kN/mm² bzw. GPa auf.

[0025] Die Wärmeleitfähigkeit λ dieser Metalle beträgt $\lambda = 121$ bis 237 W/mK bzw. 100 bis 175 W/mK.

[0026] Obige Legierungen haben einen Wärmeausdehnungskoeffizienten α von $\alpha = 18,5$ bis $24,0 \times 10^{-6}/K$ bzw. 20 bis $26 \times 10^{-6}/K$:

Beispielhaft für mögliche Keramikphasen sei festgestellt, dass Siliziumkarbid die Wert $E = 450$ kN/mm²; $\lambda = 10$ bis 25 W/mK; $\alpha = 4$ bis $5 \times 10^{-6}/K$ besitzt und Aluminiumoxid die Werte $E = 210$ bis 380 kN/mm²; $\lambda = 25$ bis 35 W/mK; $\alpha = 7$ bis $8 \times 10^{-6}/K$ aufweist.

[0027] Obwohl kein linearer Zusammenhang der Eigenschaftswerte des MMC-Werkstoffes mit dem Keramikanteil in einer Metallmatrix besteht, kann ein Fachmann die erfindungsgemäß vorzusehenden Anteile im Werkstoff einstellen.

[0028] Eine Herstellung eines gefügten Zahntriebteiles kann durch Eingießen der Stahlkomponenten mittels squeeze-castings, Schrumpfens, Klebens, Schweißens, Lötens und anderer Gießverfahren erfolgen.

[0029] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von lediglich einen Ausführungsweg darstellenden Zeichnungen näher erläutert werden.

[0030] Es zeigen

[0031] [Fig. 1](#) einen achsialen Schnitt

[0032] [Fig. 2](#) eine Draufsicht

[0033] [Fig. 3](#) einen achsialen Schnitt

[0034] [Fig. 4](#) eine Draufsicht von Zahnrädern gemäß der Erfindung.

[0035] In [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist ein Zahnrad **1** dargestellt, welches ein aus Stahl bestehendes Nabenteil **3** und ein aus gehärtetem Stahl gebildetes Zahnkranzteil **4** aufweist. Bei der Herstellung eines Zahnrades werden die vorgefertigten und wärmebehandelten Naben- und Zahnkranzteile **3**, **4** in einer Vorrichtung genau positioniert und der Zwischenbereich bzw. ein verbindender Teil eingebracht und die Teile gefügt.

[0036] [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) zeigen ein Zahnrad **1**, welches lediglich ein Zahnkranzteil **4** aus gehärtetem Stahl und ein MMC-Teil **2** aufweist. Derartige Zahnräder können in einem Getriebe vorteilhaft eingesetzt werden, wenn ein Drehmoment im Wesentlichen auf ein weiteres Zahnrad übertragen wird und eine Welle lediglich einer Führung dient.

Patentansprüche

1. Zahntriebteil (**1**), insbesondere Zahnrad oder Zahnstange, gefügt mit unterschiedlichen Werkstoffen, wobei das Nabenteil (**3**) und/oder das Zahnkranzteil (**4**) oder die Zähne (**5**) aus hartem, verschleißfestem Werkstoff, vorzugsweise aus gehärtetem Stahl und das diese Teile verbindende Teil (**2**) oder das Nabenteil aus einem leichten Nichteisen-Werkstoff gebildet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungsteil (**2**) aus einem Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) mit der Maßgabe besteht, dass die Metallkomponente aus einem Leichtmetall oder einer dergleichen Legierung und die Keramikkomponente aus einem Karbid und/oder Nitrid und/oder Oxid und/oder Borid von Leichtmetall und/oder einer Verbindung obiger keramikbildenden Elemente mit Leichtmetall gebildet ist.

2. Zahntriebteil (**1**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt ist, dass der E-Modul desselben einen Wert E von größer 1,2 und kleiner $2,0 \times 10^2$ kN/mm² aufweist.

3. Zahntriebteil (**1**) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Metall-Matrix-Ver-

bundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt ist, dass der Werkstoff des MMC-Teiles eine Wärmeleitfähigkeit λ von mindestens 10 W/mK aufweist.

4. Zahntriebteil (**1**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff des MMC-Teiles eine Wärmeleitfähigkeit λ von 30 bis 60 W/mK aufweist.

5. Zahntriebteil (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC) die Keramikkomponente mit einem derartigen Volumenanteil eingestellt ist, dass der Werkstoff des MMC-Teiles einen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten α von 10 bis $13 \times 10^{-6}/K$ aufweist.

6. Zahntriebteil (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage der Verzahnung zur Achse parallel, schräg, pfeilförmig oder doppelschräg ausgebildet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

