

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
15. November 2012 (15.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/151603 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16H 55/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2012/050066

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Mai 2012 (10.05.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 663/2011 11. Mai 2011 (11.05.2011) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **HIGH TECH COATINGS GMBH** [AT/AT];
Dr. -Mitterbauer-Straße 3, A-4663 Laakirchen (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EITZINGER, Günter**
[AT/AT]; Brucknerstrasse 13, A-4850 Timelkam (AT).
GASPERLMAIR, Thomas [AT/AT]; Bernaschekstraße
28, A-4664 Oberweis (AT). **PREINFALK, Klaus**
[AT/AT]; Radgasseberg 20, A-4491 Niederneukirchen
(AT). **ZORN, Katrin** [AT/AT]; Kelchweg 3-1, A-4643
Pettenbach (AT).

(74) Anwalt: **ANWÄLTE BURGER UND PARTNER
RECHTSANWALT GMBH**; Rosenauerweg 16, A-4580
Windischgarsten (AT).

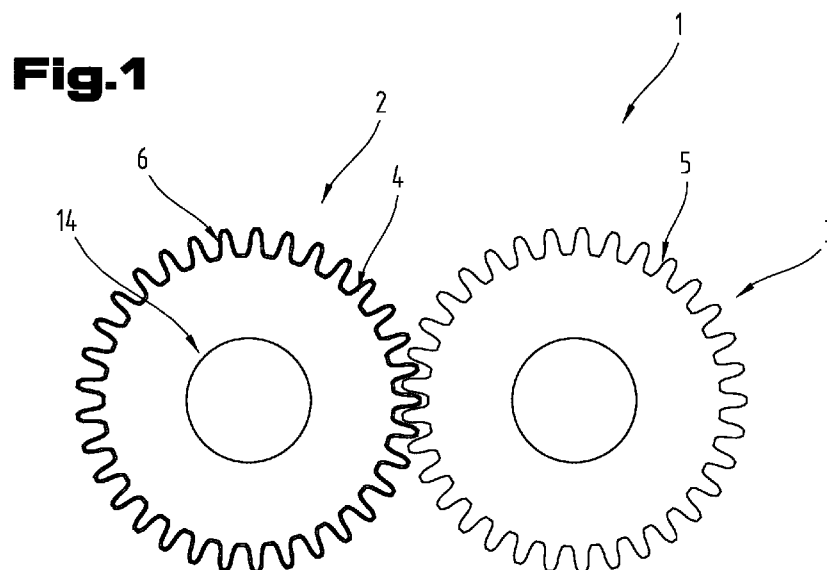
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMPONENT WITH AN ADAPTIVE COATING

(54) Bezeichnung : BAUTEIL MIT EINER ADAPTIVEN BESCHICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a component (2) comprising a component body (14) which has a toothed section (4). An adaptive coating (6) is applied, at least in parts, to the toothed section (4), said coating having a thickness of at least 5 µm.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Bauteil (2) mit einem Bauteilkörper (14) der eine Verzahnung (4) aufweist, wobei auf der Verzahnung (4) zumindest teilweise eine adaptive Beschichtung (6) aufgebracht ist, die eine Schichtdicke von zumindest 5 µm aufweist.

WO 2012/151603 A1



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Bauteil mit einer adaptiven Beschichtung

Die Erfindung betrifft ein Bauteil mit einem Bauteilkörper der eine Verzahnung aufweist,
5 sowie eine Baugruppe umfassend zumindest zwei Bauteile, die jeweils eine Verzahnung aufweisen, wobei die zumindest zwei Verzahnungen in kämmenden Eingriff miteinander steht.

Die Qualität der Verzahnung von Zahnrädern wird üblicherweise nach DIN 3963 in 12 Qualitätsstufen eingeteilt, wobei 1 die feinste und 12 die größte Verzahnungsqualität bezeichnet.
10 Die Einteilung erfolgt nach dem Fertigungsverfahren, wobei die Verzahnung von Qualität 1-6 Zahnrädern gehohnt, jene von Qualität 2-7 geschliffen, jene von Qualität 5-7 geschabt, jene von Qualität 5-9 wälzgefräst, wälzgehobelt oder wälzgestoßen, jene von Qualität 7-12 formgefräst oder formgestoßen und jene von Qualität 8-12 gestanzt, gepresst, gesintert oder gespritzt wird, wobei auch Kombinationen der Bearbeitungsverfahren durchgeführt werden. Mit
15 anderen Worten ausgedrückt kann eine hohe Verzahnungsqualität eines Zahnrades nur durch intensive Bearbeitung erreicht werden, woraus höhere Herstellungskosten resultieren.

Im Stand der Technik sind bereits Beschichtungen beschrieben, um das Zahnflankenspiel einer kämmenden Verzahnung einzustellen. Diese sind üblicherweise polymerbasiert aufgebaut
20 und sind nach der Einlaufphase abgerieben, da ansonsten das gewünschte Zahnflankenspiel in der Dicke der Beschichtung – bzw. doppelten Beschichtung, wenn beide kämmenden Verzahnungen beschichtet sind – nicht hergestellt wird. Derartige Beschichtungen sind also nicht geeignet, um die Verzahnungsqualität zu verbessern.

25 Es ist die Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Zahnrad geringer Verzahnungsqualität einsetzbar für höhere Anforderungen zu gestalten.

Diese Aufgabe wird einerseits durch das eingangs genannte Bauteil und andererseits durch die Baugruppe gelöst, wobei auf der Verzahnung des Bauteils zumindest teilweise eine adaptive Beschichtung aufgebracht ist, die eine Schichtdicke von zumindest 5 µm aufweist, und wobei
30 zumindest eines der Bauteile der Baugruppe erfindungsgemäß ausgebildet ist.

Durch die Anordnung der adaptiven Beschichtung in der angegebenen Mindestschichtstärke wird erreicht, dass durch hauptsächlich plastische Verformung der Beschichtung der Tragan-

- 2 -

teil der Verzahnung, d.h. der Anteil der tragenden Fläche während des kämmenden Eingriffs in eine Verzahnung eines weiteren Bauteils, vergrößert wird, wodurch die Flächenbelastung reduziert wird. Während der Verformung der Beschichtung, wodurch von den Rauigkeitsspitzen Material in die Täler zwischen diesen Spitzen verbracht wird (beim Abscheiden der Beschichtung wird normalerweise die Unebenheit des Untergrundes nachgeformt) kann zudem eine Verfestigung der Beschichtung eintreten, wodurch ebenfalls eine Steigerung der mechanischen Belastbarkeit des Bauteils, d.h. der Verzahnung des Bauteils, erreicht werden kann. Zudem wird durch diese Verformung eine teilweise Einebnung der Oberflächenrauigkeit erreicht. Es ist also mit der Erfindung möglich, dass beispielsweise eine Verzahnung mit einer Qualität von 10 durch diese Beschichtung eine Qualität von 8 bis 6 erreicht, insbesondere hinsichtlich des Rundlauffehlers bzw. des Normmodulbereiches. Mit anderen Worten wird also die Makrogeometrie der Oberfläche der Verzahnung durch die Anordnung der adaptiven Beschichtung in der angegebenen Mindestschichtstärke deutlich verbessert. Die Bauteile selbst können daher mit einem kostengünstigeren Verfahren hergestellt werden, und sind durch Abscheidung der adaptiven Beschichtung auf der Verzahnung keine weiteren teuren Hartfeinbearbeitungen erforderlich, um die höhere Verzahnungsqualität zu erreichen. Die adaptive Beschichtung hat zudem den Vorteil, dass diese nur an extrem beanspruchten Bereichen der Verzahnung im Betrieb abrasiv verschleißt, also der „Einebnungseffekt“ über eine lange Betriebszeit des Bauteils erhalten bleibt. Durch die mit der adaptiven Beschichtung erreichte höhere Qualität der Verzahnung wird zudem ein verbessertes akustisches Verhalten der dieses Bauteil aufweisenden Baugruppe erreicht. Die Mindestschichtdicke der adaptiven Beschichtung wird bei unterschiedlichen Qualitäten von Verzahnungen an die jeweilige Qualität, d.h. an die jeweils vorandenen Oberflächenrauigkeiten, angepasst. Nachdem während der Beschichtung die Oberflächenrauigkeit der Verzahnung auch auf die Beschichtung übertragen wird – es wird bevorzugt zumindest annähernd an jeder beschichteten Stelle die gleiche Schichtdicke erzeugt – sollte die spätere, durch Verformung der adaptiven Beschichtung erzeugte Tragschicht oberhalb der höchsten Rauigkeitsspitze der Verzahnung verlaufen.

Gegebenenfalls kann die Verzahnung des Bauteils vorkalibriert werden, beispielsweise durch walzen.

Bevorzugt wird die Schichtdicke der adaptiven Beschichtung ausgewählt aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 5 μm und einer oberen Grenze von 100 μm , insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 12 μm und einer oberen Grenze von 30 μm .

5 In der Baugruppe wird bevorzugt als zweites Bauteil mit einer Verzahnung, die mit der Verzahnung des erfindungsgemäßen Bauteils in kämmenden Eingriff steht, ein Bauteil mit einer höheren Qualität der Verzahnung verwendet, da diese Verzahnung als „Prägeverzahnung“ für die adaptive Beschichtung wirken kann, und somit die Qualität der Verzahnungen der Baugruppe insgesamt verbessert werden kann.

10 Gemäß einer Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die adaptive Beschichtung einen Härtegradienten mit zunehmender Härte von einer äußeren Beschichtungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper aufweist. Es wird damit erreicht, dass die adaptive Beschichtung an der äußeren Beschichtungsoberfläche, die im eingebauten Zustand des Bauteils einer weiteren
15 Verzahnung eines weiteren Bauteils in kämmenden Eingriff steht, relativ weich ausgeführt werden kann, sodass die Umformung, d.h. Abflachung der Profilspitzen des Rauheitsprofils rasch erfolgen kann, und zudem durch die größere Härte an der Grenzfläche zum Bauteilkörper eine bessere Haftung der Beschichtung an diesem erreicht wird. Darüber hinaus kann damit eine höhere Festigkeit der Beschichtung in unter der Beschichtungsoberfläche liegenden
20 Schichten zur Verfügung gestellt werden, sodass deren mechanische Belastbarkeit im Betrieb verbessert werden kann. Durch die größere Härte an der Grenzfläche zum Bauteilkörper wird eine höhere Dauerfestigkeit erreicht.

Bevorzugt weist hierbei zur Verbesserung dieser Eigenschaften die adaptive Beschichtung an
25 der äußeren Beschichtungsoberfläche eine Härte auf, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 40 und einer oberen Grenze von HV 500, insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 200 und einer oberen Grenze von HV 300, bzw. gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante an der zweiten, der äußeren Beschichtungsoberfläche gegenüberliegenden, in Richtung auf den Bauteilkörper weisenden
30 Oberfläche eine Härte auf, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 500 und einer oberen Grenze von HV 2000, insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 800 und einer oberen Grenze von HV 1200. (Mikrohärte nach Martens, Prüfkraft 10 mN, s.u.)

- 4 -

Es ist möglich, dass die adaptive Beschichtung aus mehreren unterschiedlichen Teilschichten aufgebaut ist. Wenngleich dies nicht die bevorzugte Ausführung der Erfindung ist, da bevorzugt ein kontinuierlicher Übergang der Eigenschaften von der äußeren Beschichtungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper vorhanden ist, kann mit dieser Ausführung die Herstellung der adaptiven Beschichtung vereinfacht werden, da nacheinander Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung auf dem Bauteilkörper abgeschieden werden können, wodurch sich der Regel- bzw. Steueraufwand während der Beschichtung verringern läßt.

In der bevorzugten Ausführung ist die adaptive Beschichtung zumindest teilweise metallisch ausgeführt. Im Vergleich zu polymeren Schichten wird damit eine höhere Standzeit der adaptiven Beschichtung erreicht. Zudem ist damit eine größere Variabilität in der Beschichtungszusammensetzung erreichbar, da für die vorgesehene Anwendung des Bauteils nur wenige Polymere in Frage kommen. Es kann also durch die zumindest teilweise metallische Ausführung der adaptiven Beschichtung auf unterschiedliche Belastungsfälle des Bauteils besser Rücksicht genommen werden, sodass die Erfindung in einem breiteren Feld angewandt werden kann. Vorteilhaft ist dabei weiters, dass die adaptive Beschichtung damit eine bessere Wärmeleitfähigkeit aufweist, sodass ungewünschte Phasenumwandlungen in der Beschichtung besser vermieden werden können, und damit die Beschichtung über einen längeren Zeitraum zumindest annähernd die ursprüngliche Phasenzusammensetzung aufweist, sodass deren Verhalten im Betrieb über einen längeren Zeitraum zumindest annähernd gleich bleibend ist.

Im Zuge von durchgeführten Test für die Erfindung hat sich herausgestellt, dass adaptive Beschichtungen besonders geeignet sind, wenn diese durch ein Mehrkomponentensystem gebildet sind, wobei zumindest eine Komponente ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Übergangsmetalle, Übergangsmetallnitride, Übergangsmetallcarbide, Übergangsmetalloxide sowie Mischungen daraus, wobei gemäß einer Ausführungsvariante dazu eine weitere Komponente des Mehrkomponentensystems ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend oder bestehend aus Sn, Mg, Al, In, Bi, Si, Ni, Ag, Cr und Fe. Insbesondere enthält die adaptive Beschichtung die Komponenten Ag und Cr oder CrN, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper abnimmt, oder die Komponenten Cu, CuSn und Cr, wobei der Gehalt an CuSn von der äußeren Beschichtungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper abnimmt, oder die Komponenten Ag und Ti, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper ab-

- 5 -

nimmt. Weiters haben sich adaptive Beschichtungen als vorteilhaft herausgestellt, die aus einer Kupferbronze oder einer Aluminiumbronze gebildet sind, die gegebenenfalls zumindest eine der Komponenten Chromnitrid, Fe, Cr, Ni, Ag enthalten. In Bezug auf die Nitride sei erwähnt, dass gemäß einer Ausführungsvariante diese nur in Übergangszonen vorliegen, an-
5 sonst die Beschichtung allerdings nur metallische Komponenten aufweist. Vorteilhaft werden Systeme mit einer Mischungslücke im festen Zustand oder nicht mischbare Systeme eingesetzt. Insbesondere vorteilhaft ist dabei, wenn Komponenten bzw. Metalle mit kubisch flächenzentriertem Gitter eingesetzt werden, da sich diese hinsichtlich der plastischen Verformbarkeit besonders gut eignen.

10

Gemäß einer anderen Ausführungsvariante des Bauteils ist vorgesehen, dass die adaptive Beschichtung zumindest annähernd bzw. vollständig frei ist von abrasiven Partikeln, also von Partikeln, die einen Abrieb an der mit der Verzahnung des Bauteils im kämmenden Eingriff stehenden Verzahnung eines weiteren Bauteils der Baugruppe hervorrufen würden. Es wird
15 also damit die Erhöhung der Qualität hauptsächlich durch Umformarbeit an der adaptiven Beschichtung selbst und nicht durch gezielten Materialabtrag im Bereich von kämmenden Verzahnungen erreicht, sodass das weitere Bauteil, also beispielsweise das voran stehend beschriebene Bauteil mit der „Prägeverzahnung“ zumindest weitgehend unbeschädigt bleibt. Durch die Verhinderung des Materialabtrags wird der Schmutzeintrag in ein zur Schmierung
20 der Verzahnung vorgesehenes Schmieröl verringert, sodass dieses länger verwendet werden kann. Nachdem das Schmieröl keine aus einem derartigen Abrieb stammenden Verunreinigungen mit sich führt, kann in der Folge die adaptive Beschichtung an der äußeren Beschichtungs-
25 oberfläche härter ausgeführt sein, da keine Vorkehrung für die Einbettung dieser Schmutzpartikel in weiche Matrixbestandteile der Beschichtung vorgesehen werden müssen, wodurch wiederum die Belastbarkeit der adaptiven Beschichtung verbessert werden kann.

20

25

Zur Verbesserung der Haftung der adaptiven Beschichtung am Bauteilkörper kann zwischen der adaptiven Beschichtung und dem Bauteilkörper eine Haftvermittlerschicht angeordnet sein.

30

Eine bessere Ölaufnahme bzw. ein besseres Ölhaltevermögen der adaptiven Beschichtung, und damit einer Reduzierung des Abriebs wird erreicht, wenn die adaptive Beschichtung mit einer Porosität versehen wird, wobei die Porosität insbesondere zwischen 0,1 % und 15 %,

- 6 -

vorzugsweise zwischen 5 % und 10 %, beträgt. Die Poren in der adaptiven Schicht weisen dabei bevorzugt einen Durchmesser von maximal 3 μm , insbesondere maximal 0,3 μm , auf.

5 Es sei dazu angemerkt, dass die Beschichtung keine Poren im klassischen Sinn aufweist, sondern an den Korngrenzen der Beschichtung offene „Kanäle“ oder Bereiche existieren. Es wird damit auch das Einsaugen von Flüssigkeiten, wie z.B. Schmierölen ermöglicht.

10 In einer Ausführungsvariante dazu nimmt die Porosität von der äußeren Beschichtungsfläche in Richtung auf den Bauteilkörper ab. Mit anderen Worten wird ein Gradient der Porosität in der adaptiven Beschichtung ausgebildet. Es können damit einerseits das voranstehend beschriebene verbesserte Ölhaltevermögen und andererseits eine verbesserte Haftung der adaptiven Beschichtung am Bauteilkörper erreicht werden.

15 Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in schematisch vereinfachter Darstellung:

20 Fig. 1 eine aus zwei Zahnrädern bestehende Baugruppe mit miteinander kämmenden Verzahnungen in Seitenansicht;

Fig. 2 ein Ausschnitt aus Oberflächenprofil eines mit einer adaptiven Beschichtung versehenen Bauteils;

25 Fig. 3 zwei Härteverläufe der adaptiven Beschichtung;

Fig. 4 eine Ausführungsvariante der Baugruppe in Seitenansicht;

30 Fig. 5 einen Vergleich des Geräuschverhaltens einer beschichteten Verzahnung mit einer unbeschichteten Verzahnung;

Fig. 6 einen Schnitt durch eine mehrschichtige adaptive Beschichtung;

Fig. 7 ein weiteres Beispiel eines Härteverlaufs einer adaptiven Beschichtung;

Fig. 8 ein anderes Beispiel eines Härteverlaufs einer adaptiven Beschichtung.

- 5 Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.
- 10

Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mit umfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereich beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1 oder 5,5 bis 10.

15

- 20 Fig. 1 zeigt eine Baugruppe 1 die einen Bauteil 2 sowie einen weiteren Bauteil 3 umfasst. Der Bauteil 2 weist eine Verzahnung 4 in Form einer Stirnverzahnung auf. Ebenso weist der Bauteil 3 eine Verzahnung 5 in Form einer Stirnverzahnung auf. Die beiden Verzahnungen 4, 5 stehen im Betrieb der Bauteile 2, 3 in kämmenden Eingriff miteinander, sodass also beispielsweise der Bauteil 2 vom Bauteil 3 angetrieben wird, wenn der Bauteil 3 mit einer nicht dargestellten Antriebsvorrichtung verbunden ist. Die Verzahnung 4 des Bauteils 2 ist stirnseitig mit einer adaptiven Beschichtung 6 versehen.
- 25

Die beiden Bauteile 2, 3 sind als geradverzahnte Stirnzahnräder ausgeführt. Die Erfindung ist jedoch nicht auf Stirnverzahnungen beschränkt. Generell kann die adaptive Beschichtung 6 auf alle bekannten Arten von, gegebenenfalls mit einer Höhen- und/oder Breitenballigkeit versehenen, Verzahnungen aufgebracht werden, also beispielsweise auch auf Schrägverzahnungen, etc.. Des Weiteren kann die adaptive Beschichtung 6 sowohl auf Außenverzahnungen als auch auf Innenverzahnungen aufgebracht werden.

30

- 8 -

Obwohl die Ausführung des Bauteils 2 als Zahnrad die bevorzugte Ausführungsvariante der Erfindung ist, können generell auch andere, eine Verzahnung aufweisende Bauteile mit der adaptiven Beschichtung 6 versehen werden, beispielsweise Zahnstangen.

- 5 Die Verzahnung 4 ist stirnseitig vorzugsweise über den gesamten Umfang mit der adaptiven Beschichtung 6 versehen. Es besteht im Rahmen der Erfindung aber auch die Möglichkeit, dass nur Teile der stirnseitigen Oberfläche der Verzahnung 4 beschichtet werden, also beispielsweise nur die Zahnflanken bzw. nur eine der Zahnflanken, beispielsweise wenn ein Betrieb des Zahnrades in beiden Drehrichtungen nicht vorgesehen ist, oder nur die Zahnköpfe
10 oder nur die Zahngründe, wobei auch Mischvarianten daraus, also beispielsweise eine Beschichtung der Zahnflanken und der Zahnköpfe, möglich sind.

- Die Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3 weist bei der dargestellten Ausführungsvariante der Erfindung keine adaptive Beschichtung 6 auf, insbesondere wenn dieser Bauteil 3 der ange-
15 triebene Bauteil 3 und der Bauteil 2 der vom Bauteil 3 getriebene Bauteil 2 ist, wie dies voranstehend beschrieben wurde. In diesem Fall weist die Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3 eine höhere Verzahnungsqualität auf als die Verzahnung 4 des Bauteils 2, sodass das Bauteil 3 im Betrieb der Baugruppe 1 als „Prägerad“ für die Verzahnung 4 des Bauteils 2 wirkt.

- 20 Es ist jedoch möglich, auch dessen Verzahnung 5 zumindest teilweise mit der adaptiven Beschichtung 6 zu versehen, wobei sich gegebenenfalls die Zusammensetzung bzw. das Eigenschaftsprofil dieser Beschichtung 6 von jener der Verzahnung 4 des Bauteils 3 unterscheiden kann, wenngleich beide Verzahnungen 4, 5 auch dieselbe adaptive Beschichtung 6 mit demselben Eigenschaftsprofil aufweisen können. Auch bei dieser Ausführungsvariante ist es von
25 Vorteil, wenn das weitere Bauteil 3 als „Prägerad“ wirkt, wozu wiederum dessen Verzahnung 5 die höhere Verzahnungsqualität der beiden Verzahnungen 4, 5 und/oder die adaptive Beschichtung 6 der Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3 zumindest im Außenbereich, also jenem Bereich der zur Anlage mit der Verzahnung 4 des Bauteils 2 gelangt, eine höhere Härte aufweisen kann, als die adaptive Beschichtung der Verzahnung des Bauteils 2.

- 30 Wie bereits voranstehend ausgeführt, ist es mit der adaptiven Beschichtung 6 möglich die Verzahnungsqualität der Verzahnung 4 des Bauteils 2 zu verbessern, indem sich diese adaptive Beschichtung bereits während der Einlaufphase der kämmenden Verzahnungen 4, 5 zu-

- 9 -

mindest teilweise umformt. Dabei werden Oberflächenunregelmäßigkeiten der Verzahnung 4 des Bauteils 2 durch die Anpressung der Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3 zumindest teilweise ausgeglichen, also eingeebnet. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die beiden Bauteile 2, 3, also die beiden Zahnräder, einen fixen Achsabstand haben, sodass sich also keines der beiden Bauteile 2, 3 auf den jeweils anderen Bauteil 2, 3 zu bewegt.

Zur Verdeutlichung dieses Effektes zeigt Fig. 2 einen schematischen Ausschnitt aus der Oberflächengeometrie der Verzahnung 4 mit einer darauf aufgetragenen adaptiven Beschichtung 6. Wie deutlich zu erkennen ist, weist die Makrogeometrie der Verzahnung 4 ein Rauheitsprofil mit Erhebungen 7 und Vertiefungen 8 auf. Herstellungsbedingt, die gesamte Oberfläche der Verzahnung 4 wird zumindest annähernd mit einer gleichen Schichtdicke 9 beschichtet, überträgt sich diese Kontur der Makrogeometrie zumindest annähernd auf eine äußere Beschichtungsoberfläche 10 der adaptiven Beschichtung 6, die im Betrieb mit der Oberfläche der Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3, also des Gegenzahnrades, gelangt. Im Betrieb, also mit der Verzahnung 4 kämmenden Verzahnung 5 des weiteren Bauteils, wird durch die dabei übertragenen Kräfte das Material von Profilsitzen 11 der adaptiven Beschichtung 6 in, insbesondere benachbarte, Profiltäler 12 verbracht, sodass sich die Kontur an der äußeren Beschichtungsoberfläche 10 der adaptiven Beschichtung 6 zumindest annähernd ebnen und damit eine zumindest annähernd ebene äußere Tragschicht 13 entsteht, wie dies in Fig. 2 strichliert dargestellt ist. Aus diesem Grund ist es auch von Vorteil, wenn die Verzahnung 5 des weiteren Bauteils 3, also das, insbesondere angetriebene Gegenrad, eine höhere Verzahnungsqualität aufweist, als die Verzahnung 4, da dieses weitere Bauteil 3 als „Prägearad“ wirkt. Es sei jedoch erwähnt, dass die Ebenheit der äußeren Tragschicht 13 von der Verzahnungsqualität der Verzahnung 4 abhängig ist, es also durchaus möglich ist, dass diese Tragschicht 13 nach wie vor eine Profilierung aufweist, die jedoch geringer ist, als die ursprünglich Profilierung, wobei aber jedenfalls eine Verbesserung der Verzahnungsqualität erreicht wird. Beispielsweise kann aus einer Qualität 10 Verzahnung 2 mit Hilfe der adaptiven Beschichtung 6 im Einlauf eine Qualität 6 Verzahnung 2 mit deutlich günstigeren Herstellungskosten erreicht werden. Nach erfolgter Verformung der adaptiven Beschichtung 6, wirkt der harte Untergrund des Bauteils 2, oder der in diesem Bereich liegenden härteren Schichten der adaptiven Beschichtung 6, sowie die gegebenenfalls erfolgte Verfestigung der Beschichtung durch die plastische Verformung, wie dies im nachfolgenden noch näher erläutert wird, einer weiteren Verformung entgegen.

- 10 -

Neben der Verbringung von Material aus den Profilsitzen 11 in die Profiltäler 12 besteht auch die Möglichkeit, dass die Profilsitzen 11 zumindest teilweise komprimiert werden, wenn die adaptive Beschichtung 6 mit einer Porosität hergestellt ist, wobei durch diese Porosität gleichzeitig ein besseres Ölhaltevermögen der adaptiven Beschichtung 6 erreicht wird.

5 Vorzugsweise beträgt die Porosität dabei zwischen 0,1 % und 25 %, insbesondere zwischen 5 % und 15 %, was bedeutet, dass zwischen 0,1 % und 25 %, insbesondere zwischen 5 % und 15 %, freies Porenvolumen in der adaptiven Beschichtung 6 vorhanden ist, wobei insbesondere zumindest großteils, d.h. bis zu einem Anteil von mindestens 20 % offene Poren vorhanden sind, bezogen auf das gesamte Porenvolumen der adaptiven Beschichtung 6. Es ist dabei we-

10 ters von Vorteil, wenn die Poren in der adaptiven Beschichtung 6 einen Durchmesser von maximal 1 μm , insbesondere maximal 0,3 μm , aufweisen. Um die Haftung der adaptiven Beschichtung 6 bzw. die Festigkeit der adaptiven Beschichtung 6 insgesamt trotz Porosität zu verbessern, ist es von Vorteil, wenn die Porosität von der äußeren Beschichtungsoberfläche

15 10 in Richtung auf einen Bauteilkörper 14 des Bauteils 2 abnimmt. Beispielsweise kann dabei die Porosität auch von einem Wert von 30 % an der äußeren Beschichtungsoberfläche 10 auf einen Wert von 0 % an der Grenzfläche zu dem darunter liegenden Bauteilkörper 14 – bzw. einer Zwischenschicht zwischen der adaptiven Beschichtung 6 und dem Bauteilkörper 14 – stetig, beispielsweise linear oder exponentiell, oder schrittweise, beispielsweise in Schritten von 20 %, d.h. 20 % von z.B. 30 % Porosität, abnehmen. Hergestellt werden kann die Porosi-

20 tät in der adaptiven Beschichtung 6 durch Abscheidung der Beschichtung 6 bei tiefen Temperaturen, beispielsweise einer Temperatur zwischen 40 °C und 200 °C, und/oder einem hohen Druck, beispielsweise einem Druck ausgewählt aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 0,001 mbar und einer oberen Grenze von 0,1mbar, wobei auch Temperaturgradienten und/oder Druckgradienten verwendbar sind. Ein Porositätsgradient wird beispielsweise erhal-

25 ten, wenn die Temperatur während der Abscheidung sinkt und/oder der Druck steigt oder wenn die Bias-Spannung während der Abscheidung erhöht wird. Zudem ist es von Vorteil, wenn bei der Schichtherstellung ein kleines Verhältnis zwischen Abscheidetemperatur T und Schmelztemperatur TS eingestellt wird, insbesondere im Bereich von 0,03 bis 0,3 (Temperaturen in K) um speziell die Beweglichkeit der Teilchen an der Oberfläche (Oberflächendiffusion) und auch die Volumsdiffusionsfähigkeit der Teilchen zu reduzieren.

30

Für die Ausbildung der beschriebenen Tragschicht 13 wird die adaptive Beschichtung 6 in einer Schichtdicke 9 von zumindest 5 μm abgeschieden. Die Schichtdicke 9 richtet sich aber

5 letztendlich nach der zu beschichtenden Verzahnungsqualität der Verzahnung 4. Beispielsweise wird bei einer Qualität 7 Verzahnung 2, die einen Rundlauffehler zwischen 20 µm und 25 µm bei einem Durchmesser von 70 mm aufweist, eine Schichtdicke 9 von zumindest 7 µm, insbesondere eine Schichtdicke 9 ausgewählt aus einem Bereich zwischen 7 µm und 15 µm, verwendet. Bevorzugt bildet sich die Tragschicht 13 jedoch um zumindest 0,5 µm, insbesondere zumindest 2 µm, oberhalb der höchsten Spitze 7 des Oberflächenprofils der Verzahnung 4 aus. Aus diesem Grund werden Schichtdicken 9 bevorzugt, die ausgewählt sind aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 12 µm und einer oberen Grenze von 20 µm, insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 15 µm und einer oberen Grenze von 50 µm.

15 Bevorzugt ist die adaptive Beschichtung 6 zumindest teilweise metallisch, d.h. das zumindest einzelne Komponenten des vorzugsweise eingesetzten Mehrkomponentensystems durch Metalle oder Metalllegierungen gebildet sind. Prinzipiell sind aber auch polymere Werkstoffe als adaptive Beschichtung 6 einsetzbar, wie z.B. PAI oder PEEK.

20 Zumindest eine Komponente des Mehrkomponentensystem ist ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Übergangsmetalle, Übergangsmetallnitride, Übergangsmetallcarbide, Übergangsmetalloxide sowie Mischungen daraus. Der Anteil dieser Komponente an der adaptiven Beschichtung 6 beträgt zwischen 5 Gew.-% und 60 Gew.-%, insbesondere zwischen 10 Gew.-% und 40 Gew.-%. Bevorzugt liegt diese Komponente partikulär vor mit einer Partikelgröße von maximal 3 µm, insbesondere mit einer Partikelgröße zwischen 0,5 µm und 1,5 µm. Von Vorteil ist dabei, wenn die Nitride, Carbide bzw. Oxide nur oder hauptsächlich, d.h. im Ausmaß von mindestens 95 %, bezogen auf den Gesamtanteil an diesen Komponenten, im Übergangsbereich zwischen der Beschichtung 6 auf das Zahnrad bzw. das Bauteil 2 angeordnet sind.

30 Eine weitere Komponente des Mehrkomponentensystems ist bevorzugt ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Sn, Mg, Al, In, Bi, Si, Ni, Ag, Cr und Fe wobei deren Anteil an der adaptiven Beschichtung 6 zwischen 20 Gew.-% und 80 Gew.-%, insbesondere zwischen 35 Gew.-% und 55 Gew.-%, beträgt. Die Partikelgröße dieser weiteren Komponente beträgt maximal 4 µm, insbesondere weist diese Komponente eine Partikelgröße zwischen 1 µm und 2 µm auf.

Die adaptive Beschichtung 6 enthält gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsvariante die Komponenten Ag und Cr oder CrN, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungs-
oberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper abnimmt. Dabei kann der Anteil an Ag zwi-
schen 100 Gew.-% und 0 Gew.-% betragen. Den Rest bildet Cr oder CrN.

5

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante die adaptive Beschichtung 6 weist diese die Komponenten Sn und Cr auf, wobei der Gehalt an Sn von der äußeren Beschich-
tungsoberfläche in Richtung auf den Bauteilkörper abnimmt. Dabei kann der Anteil an Sn
zwischen 100 Gew.-% und 0 Gew.-% betragen. Den Rest bildet Cr.

10

Es hat sich auch eine adaptive Beschichtung 6 als vorteilhaft herausgestellt, die die Kompo-
nenten Ag, Sn und Ti enthält, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungsoberflä-
che in Richtung auf den Bauteilkörper abnimmt. Dabei kann der Anteil an Ag zwischen 100
Gew.-% und 0 Gew.-% betragen. Den Rest bildet Ti und Al.

15

Bevorzugt werden auch adaptive Beschichtungen 6, die aus einer Kupferbronze oder einer
Aluminiumbronze gebildet sind, gegebenenfalls mit einem Anteil an Cr. Der Anteil an Cu an
der Kupferbronze kann dabei zwischen 98 Gew.-% und 60 Gew.-%, jener des Sn zwischen 0
Gew.-% und 12 Gew.-% betragen, bzw. kann der Anteil an Al an der Aluminiumbronze zwi-
schen 0,01 Gew.-% und 20 Gew.-%, jener des Sn zwischen 0 Gew.-% und 12 Gew.-% betra-
gen. Sofern Cr enthalten ist, beträgt dessen Anteil zwischen 0,1 Gew.-% und 80 Gew.-%.

20

Bevorzugte Zusammensetzungen der adaptiven Beschichtung 6 sind aus folgender Tabelle 1
zu entnehmen. Sämtliche Angaben zur Zusammensetzung sind in Gew.-% zu verstehen. Die
Werte sind als Mittelwerte über die gesamte Schichtdicke zu verstehen, wenn in der Be-
schichtung 6 Konzentrationsgradienten von einzelnen Bestandteilen ausgebildet werden. Die
Nummern 6 und 7 geben jeweils ein Beispiel wieder mit derartigen Konzentrationsgradienten,
wobei in der letzten Spalte der Tabelle 1 dazu die jeweilige Schichttiefe, bezogen auf die Ge-
samtschichtdicke, in der die jeweiligen Konzentrationen gemessen wurden, angegeben ist.

25

30 Tabelle 1: Zusammensetzung der adaptiven Beschichtung 6

Bsp. Nr.	Ag	Cr	CrN	Sn	Ti	Al	Cu	Schichttiefe [%]
1	58	40	2					

- 13 -

2	62	30	2	6				
3		40	2				58	
4		20	2				78	
5		10	2		4	8	76	
6			100					5
6	47,5	50					2,5	20
6	85,5	10					4,5	30
7	10	80	9,5	1			0,5	5
7	66,5	30					3,5	20
7	90	5					5	30

In der bevorzugten Ausführung der adaptiven Beschichtung 6 weist diese einen Härtegradienten mit zunehmender Härte von der äußeren Beschichtungsoberfläche 10 in Richtung auf den Bauteilkörper 14 auf. Dabei kann die adaptive Beschichtung 6 an der äußeren Beschichtungsoberfläche 10 eine Härte aufweisen, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 40 und einer oberen Grenze von HV 500, insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 200 und einer oberen Grenze von HV 300. An der zweiten, der äußeren Beschichtungsoberfläche 10 gegenüberliegenden, in Richtung auf den Bauteilkörper 14 weisenden Oberfläche weist die adaptive Beschichtung vorzugsweise eine Härte auf, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 500 und einer oberen Grenze von HV 2000, insbesondere aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 800 und einer oberen Grenze von HV 1200.

In Fig. 3 sind dazu zwei Verläufe 15, 16 schematisch dargestellt. Aufgetragen ist dabei auf der Abszisse die Schichtdicke 9, ausgehend von der Oberfläche der Verzahnung 2 in Richtung auf die äußere Beschichtungsoberfläche, und auf der Ordinate die Martenshärte umgerechnet in HV, gemessen mit einem Fischerscope[®] H100 (Härtemessung nach DIN EN ISO 14577, Vickersdiamant pyramidenförmig, Prüfkraft 10 mN, sechs Einzelmessungen pro Härtewert). Eine horizontale Linie 16 bezeichnet die Härte von Stahl.

Als plastische Härte wird die Universalhärte ohne Berücksichtigung des elastischen Verformungsanteils bezeichnet.

- 14 -

Der Verlauf 15 zeigt die bevorzugte Variante der Erfindung. Die Härte nimmt dabei nicht stufenweise ab, wie beim Verlauf 16, sondern stetig, wobei der Verlauf 15 linear oder bevorzugt einer Exponentialfunktion folgt.

- 5 Beispiele für Härteverläufe, gemessen an unterschiedlichen Schichttiefen der adaptiven Beschichtung 6, ausgehend von der Oberfläche der Verzahnung 4, bzw. gegebenenfalls einer Zwischenschicht zwischen dieser Oberfläche und der adaptiven Beschichtung 6, sind in Tabelle 2 angegeben, wobei sich die Beispielnummern auf die Tabelle 1 beziehen. Der erste Wert je Zelle bezieht sich auf die Härte nach HV entsprechend den voranstehenden
- 10 Ausführungen, der zweite Wert nach dem Schrägstrich gibt jeweils die Schichtdicke der Einzelschicht wieder, in der gemessen wurde. Die gesamte Schichtdicke der adaptiven Beschichtung 6 ergibt sich dabei jeweils aus der Summe der Werte nach dem Schrägstrich innerhalb einer Zeile. Beispielsweise weist die Beschichtung 6 nach Beispiel 1 eine Gesamtschichtdicke von 20 µm auf. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wurden die
- 15 Härtewerte auf ganze 50-er Werte auf- oder abgerundet.

Tabelle 2: Härteverläufe

Bsp. Nr.	Schichtdicke in µm							
	S1	S2	S3	S4	S5			
1	1200/1	800/8	550/5	400/3	300/3			
2	1500/2	800/7	300/7					
3	2000/1	1000/2	700/8	400/4	200/3			
4	1500/1	600/10	300/4					
5	1500/2	800/4	500/4	200/2	100/2			
6	1000/3	600/4	300/3	100/2	60/2			

- 20 In der bevorzugten Ausführung besteht die äußere Beschichtungsoberfläche 10 ausschließlich aus der jeweiligen weicheren Komponente des Mehrkomponentensystems, also beispielsweise aus Ag oder Sn. Gegebenenfalls kann jedoch ein Anteil von maximal 30 Gew.-% an der jeweiligen härteren Komponente, also beispielsweise von Cr, CrN, oder Ti, vorhanden sein, um damit eine Härteanpassung zu erreichen.

- 15 -

Die Abscheidung der adaptiven Beschichtung 6 auf der Verzahnung 4 des Bauteils 2 kann mit unterschiedlichsten Verfahren erfolgen, beispielsweise galvanisch durch verschiedene Bäder mit unterschiedlichen Materialien wie Ni und Sn, Cu oder auch Ag und Sn, Ag und Cu, etc., NiP Schichten mit verschiedenen Phosphorgehalten oder und Dispersionseinlagerungen (Teflon, hexagonales Bornitrid, Siliziumcarbid, etc.), durch PVD-Verfahren wie Sputtern, durch Spritzen, etc. mit verschiedenen Targets in kreisförmiger Anordnung von zwei, vier, sechs, acht, zehn, etc. Targets mit den gewünschten Materialien, zum Beispiel Target 1 Cr, Target 2 Ag, Target 3 Cr, Target 4 Sn, Sputtern in Inline Systemen als Durchlaufanlage mit genau aufeinander abgestimmten Targets in den einzelnen Stationen. Ebenso sind auch Kombinationen verschiedener PVD Verfahren, wie Elektronenstrahlverdampfen aus verschiedenen Quellen wie Chrom und Silber möglich. Auch bei den Spritzverfahren sind unterschiedliche Materialien gleichzeitig oder nacheinander abscheidbar.

Ein Härtegradient kann beispielsweise durch Variation der Zusammensetzung, der Struktur, der Korngröße und/oder Porositäten, oder durch Zugabe von Nitriden, ausgebildet werden.

In einer einfachen Ausführungsvariante kann der Härtegradient durch eine mehrschichtige Ausbildung der adaptiven Beschichtung 6 mit mehreren unterschiedlichen Teilschichten erzeugt werden, wobei sich die Teilschichten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung unterscheiden.

Zur Erzielung des Härtegradienten kann die Zusammensetzung der adaptiven Beschichtung 6 über die Schichtdicke 9 auch derart variieren, dass eine Minoritätskomponente an der äußeren Beschichtungs Oberfläche 10 zur Majoritätskomponente an der anderen, auf den Bauteilkörper 14 weisenden Oberfläche wird, und dass eine weitere Komponente des Mehrkomponentensystems genau den umgekehrten Verlauf einnimmt, also von der Majoritätskomponente zur Minoritätskomponente wird. Mit anderen Worten besteht also die Möglichkeit, dass die die Matrix bildende Komponente an einer Oberfläche durch die weitere Komponente an der anderen Oberfläche der adaptiven Beschichtung 6 ersetzt wird, sodass also die Matrix über die Schichtdicke 9 auf eine andere Matrix wechselt, beispielsweise von CrAg₃₀ auf AgCr₂₀. Durch die Rotationsgeschwindigkeit und/oder die Temperatur am Substrat kann dabei eine durchgängige Multilayerstruktur weitestgehend vermieden werden.

- 16 -

Bevorzugt ist die adaptive Beschichtung 6 aus voranstehend genannten Gründen frei von abrasiven Partikeln.

Zur Erhöhung der Haftfestigkeit der adaptiven Beschichtung 6 an der Verzahnung 4 des Bauteils 2, kann zwischen diesem und der adaptiven Beschichtung 6 eine Haftvermittlerschicht angeordnet sein, beispielsweise aus Cr, Ti, CrN, TiN,. Eine Verbesserung der Haftfestigkeit kann aber auch durch die Ausbildung von Diffusionsverbindung an der Grenzfläche zwischen dem Bauteilkörper 14 und der adaptiven Beschichtung erreicht werden, indem das Bauteil beispielsweise nach dem Beschichten einer Wärmebehandlung unterzogen wird, beispielsweise bei 200 °C für 24 h. Vorzugsweise enthalten dazu das Bauteil 2 und/oder die adaptive Beschichtung Chrom und/oder Titan.

Der Vollständigkeit halber ist in Fig. 4 eine Ausführungsvariante der Baugruppe 1 dargestellt. Diese weist neben dem Bauteil 2 und dem weiteren Bauteil 3 einen dritten Bauteil 18 auf, wobei der weitere Bauteil 3 wiederum die höchste Verzahnungsqualität von den drei Bauteilen 2, 3, 18 aufweist. Beispielsweise kann die Erfindung im Bereich von Nockenwellenzahnrädern oder Ausgleichswellenzahnrädern angewandt werden.

In Fig. 5 ist das Geräuschverhalten als Verlauf des Summenpegels (Abszisse, in db) eines Zahnrades mit einer beschichteten Verzahnung (Verlauf 19) im Vergleich zu einem unbeschichteten Zahnrad (Verlauf 20) im Drehzahlbereich zwischen 0 und 3000 Umdrehungen pro Minute (Abszisse) dargestellt. Die Fig. 6 und 7 (Schichtdicke in µm) zeigen dazu ein Schliffbild der adaptiven Beschichtung 6 bzw. den dazu korrespondierenden Härteverlauf. Die Härtewerte sind in folgender Tabelle 3 zusammengefasst.

Als Gegenrad wurde für die Messung des Geräuschverhaltens wurde ein Zahnrad aus Stahl verwendet. Es ist aus Fig. 5 deutliche erkennbar, dass das mit der erfindungsgemäßen Beschichtung 6 versehene Zahnrad eine geringere Geräuschentwicklung aufweist, als das unbeschichtete Zahnrad, insbesondere im unteren Drehzahlbereich.

Tabelle 3: Beispielhaftes Schichtsystem

Schicht	Bezugszeichen in Fig. 6	Dicke	Härte	Material	Material (Gew.-%)

- 17 -

		μm	HV	1	2	1	2
1	21	0,5	700	Cr		100	
2	22	3	1700	CrN		100	
3	23	7	620	Cr	Ag	60	40
4	24	12	370	Cr	Ag	30	70
5	25	16	140	Cr	Ag	5	95

Die adaptive Beschichtung 6 wurde auf einen Stahlzahnrad als Träger aufgebracht. Aus Fig. 6 sind die Einzelschichten deutlich erkennbar. Hergestellt wurde diese Beschichtung mit folgenden Verfahrensparametern (vier Targets jeweils um 90° versetzt, Target 1 Cr, Target 2 Ag, Target 3 Cr, Target 4 Ag):

Schicht	Druck	Chrom Leistung	Silber Leistung	Gaseinlass Ar N2		Rotationsgeschwindigkeit SH Teile	
	mbar	KW	KW	sccm	sccm	U/min	U/min
1	0,001	5	0	70	0	3	0,5
2	0,001	5	0	70	20	3	0,5
3	0,001	5	2	70	0	3	0,5
4	0,001	5	8	70	0	3	0,5
5	0,001	3	10	70	0	3	0,5

Substrathalter mit Zweifach- oder Dreifachrotation abhängig von der Größe der Teile, Rotation von 3 U/min bis 20 U/min. Anordnung der Targets in Unbalanced Mode.

Beschichtungsablauf:

- Beschichtung von beiden Chrom Targets um eine Cr Verbindungsschicht von $0,5\mu\text{m}$ zu erzeugen
- Kontinuierlicher Übergang zu CrN innerhalb von 50 nm durch Stickstoffeinlass mit OEM Kontrolle dann konstante Abscheidung $2,5\mu\text{m}$ CrN.

- 18 -

- Kontinuierlich Reduktion von Stickstoff auf 0 sccm und Start der Abscheidung an den Silbertargets , 100 nm.
- Abscheidung einer CrAg40 Schicht von ca. 4 μm durch kontinuierliche konstante Abscheidung an allen 4 Targets (2 Chrom, 2 Silber) bei gleichzeitiger Rotation des Substrathalters.
- Abscheidung einer AgCr30 Schicht von ca. 5 μm durch kontinuierliche konstante Abscheidung an allen 4 Targets bei erhöhter Ag Abscheiderate durch größere Leistungsdichte bei gleichzeitiger Rotation des Substrathalters.
- Abscheidung einer AgCr5 Schicht von 4 μm durch kontinuierliche konstante Abscheidung an allen 4 Targets bei erhöhter Ag Abscheiderate und reduzierter Leistungsdichte an den Chrom Targets bei gleichzeitiger Rotation des Substrathalters.

Gegebenenfalls kann danach noch eine AgCr1 Schicht von 2 - 5 μm durch kontinuierliche konstante Abscheidung an allen 4 Targets bei erhöhter Ag Abscheiderate und reduzierter Leistungsdichte an den Chrom Targets bei gleichzeitiger Rotation des Substrathalters abgeschieden werden.

Fig. 8 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel eines Härteverlaufs innerhalb des Schichtsystems der adaptiven Beschichtung 6 (Schichtdicke in μm). Die Härtewerte sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Hergestellt wurde diese Beschichtung mit folgenden Verfahrensparametern:

Schicht	Druck	1.4301	Silber	Gaseinlass Ar		Rotationsgeschwindigkeit	
		Leistung	Leistung	N2		SH	Teile
	mbar	KW	KW	sccm	sccm	U/min	U/min
1	0,001	10	0	70	0	3	0,5
2	0,001	10	0,9	70	15	3	0,5
3	0,001	10	5	70	8	3	0,5
4	0,008	9	9	70	0	3	0,5
5	0,008	3	12	70	0	3	0,5

Tabelle 4: Beispielhaftes Schichtsystem

Schicht	Dicke	Härte	Material				Material (Gew.-%)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,5	550	Fe	Cr	Ni	Ag	74	18	9	
2	3	900	Fe	CrN	Ni	Ag	67	18	8	7
3	9	400	Fe	CrN	Ni	Ag	37	12	4	47
4	12	300	Fe	Cr	Ni	Ag	25	6	3	66
5	16	200	Fe	Cr	Ni	Ag	7	2	1	90

Wie bereits erwähnt können beide Verzahnungen 4, 5 der Bauteile 2, 3 oder sämtlicher Bauteile 2, 3, 18 einer Baugruppe 1 beschichtet sein, wobei auch unterschiedliche Beschichtungszusammensetzungen der adaptiven Beschichtung 6 für die Bauteile 2, 3, 18 verwendet werden können. Beispielsweise kann die Verzahnung 4 des Bauteils 2 mit Cr/Ag und die Verzahnung 5 des Bauteils 3 mit Cr/Cu beschichtet sein. Generell gilt dabei, dass eine harte Beschichtung 6 des Bauteils 2 und eine im Vergleich dazu weichere Beschichtung 6 des Bauteils 3 kombiniert werden, wobei zumindest die beiden äußeren Schichten, die miteinander in Kontakt stehen, diese relativen Härte aufweisen, der darunter liegende Schichtaufbau, sofern die adaptive Beschichtung 6 mehrschichtig ausgebildet ist, allerdings zumindest ähnlich sein kann.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten des Bauteils 2 und der Baugruppe 1, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Vor allem können die einzelnen in den Fig. 1 bis 8 gezeigten Ausführungen den Gegenstand von eigenständigen, erfindungsgemäßen Lösungen bilden.

- 20 -

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus des Bauteils 2 und der Baugruppe 1 diese bzw. deren Bestandteile teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

5

10

15

20

25

30

Bezugszeichenaufstellung

5	1 Baugruppe
	2 Bauteil
	3 Bauteil
	4 Verzahnung
	5 Verzahnung
10	6 Beschichtung
	7 Erhebung
	8 Vertiefung
	9 Schichtdicke
	10 Beschichtungsoberfläche
15	11 Profilspitze
	12 Profiltal
	13 Tragschicht
	14 Bauteilkörper
20	15 Verlauf
	16 Verlauf
	17 Linie
	18 Bauteil
25	19 Verlauf
	20 Verlauf
	21 Schicht
	22 Schicht
30	23 Schicht
	24 Schicht
	25 Schicht
35	
40	
45	
50	

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Bauteil (2) mit einem Bauteilkörper (14) der eine Verzahnung (4) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Verzahnung (4) zumindest teilweise eine adaptive Beschichtung (6) aufgebracht ist, die eine Schichtdicke von zumindest 5 µm aufweist.

2. Bauteil (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) einen Härtegradienten mit zunehmender Härte von einer äußeren Beschichtungsoberfläche (10) in Richtung auf den Bauteilkörper (14) aufweist.

3. Bauteil (2) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) an der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) eine Härte aufweist, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 40 und einer oberen Grenze von HV 500.

4. Bauteil (2) nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) an einer zweiten, der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) gegenüberliegenden, in Richtung auf den Bauteilkörper (14) weisenden Oberfläche eine Härte aufweist, die ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von HV 500 und einer oberen Grenze von HV 2000.

5. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) aus mehreren unterschiedlichen Teilschichten aufgebaut ist.

6. Bauteil (2) nach der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) zumindest teilweise metallisch ist.

7. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) durch ein Mehrkomponentensystem gebildet ist, wobei zumindest eine Komponente ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Übergangsmetalle, Übergangsmetallnitride, Übergangsmetallcarbide, Übergangsmetalloxide sowie Mischungen daraus.

- 23 -

8. Bauteil (2) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine weitere Komponente des Mehrkomponentensystems ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Sn, Mg, Al, Bi, In, Si, Ni, Ag, Cr, Fe.
- 5 9. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) die Hauptkomponenten Ag und Cr oder CrN enthält, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) in Richtung auf den Bauteilkörper (14) abnimmt.
- 10 10. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) die Komponenten Sn und Cr enthält, wobei der Gehalt an Sn von der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) in Richtung auf den Bauteilkörper (14) abnimmt.
- 15 11. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) die Komponenten Ag und Ti enthält, wobei der Gehalt an Ag von der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) in Richtung auf den Bauteilkörper (14) abnimmt.
- 20 12. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) aus einer Kupferbronze oder einer Aluminiumbronze gebildet ist.
13. Bauteil (2) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kupferbronze oder die Aluminiumbronze zumindest eine der Komponenten Chromnitrid, Fe, Cr, Ni, Ag enthält.
- 25 14. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) zumindest annähernd bzw. vollständig frei ist von abrasiven Partikeln.
- 30 15. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der adaptiven Beschichtung (6) und dem Bauteilkörper (14) eine Haftvermittlerschicht angeordnet ist.

- 24 -

16. Bauteil (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptive Beschichtung (6) eine Porosität zwischen 01 % und 15 % aufweist.

5 17. Bauteil (2) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Poren in der adaptiven Schicht einen Durchmesser von maximal 3 µm aufweisen.

10 18. Bauteil (2) nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Porosität von der äußeren Beschichtungsoberfläche (10) in Richtung auf den Bauteilkörper (14) abnimmt.

15 19. Baugruppe (1) umfassend zumindest zwei Bauteile (2, 3), die jeweils eine Verzahnung (4, 5) aufweisen, wobei die zumindest zwei Verzahnungen (4, 5) in kämmenden Eingriff miteinander stehen, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eines der Bauteile (2, 3) entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 18 gebildet ist.

20

25

30

1/4

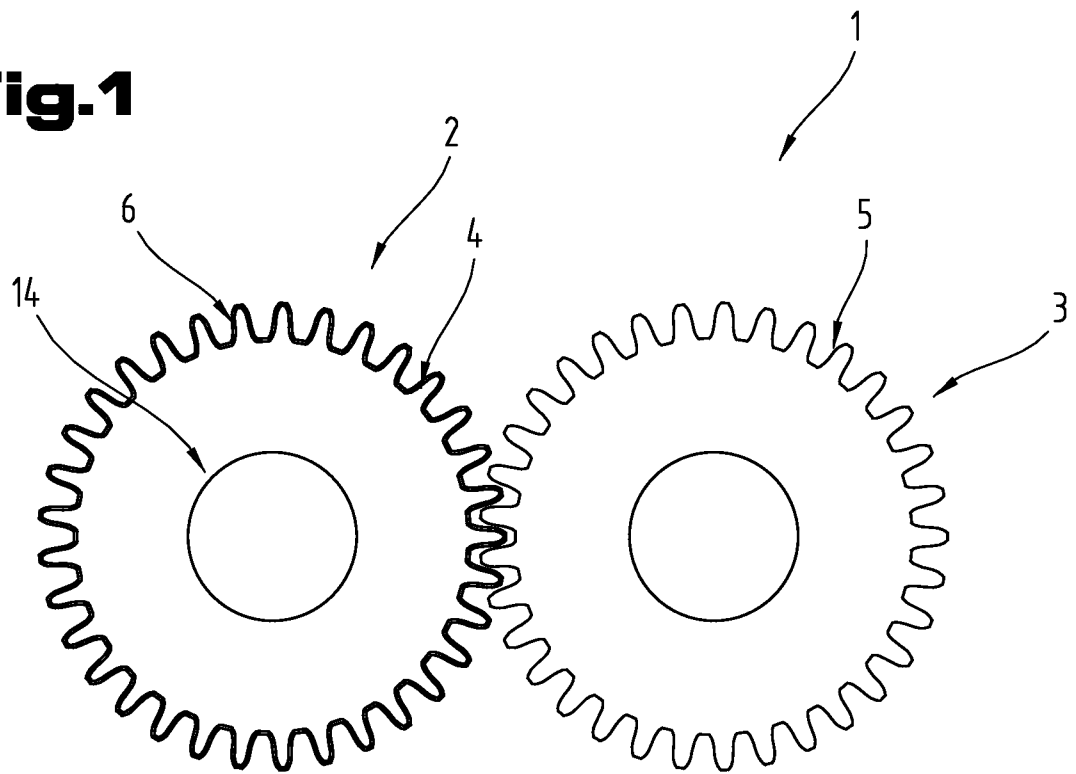
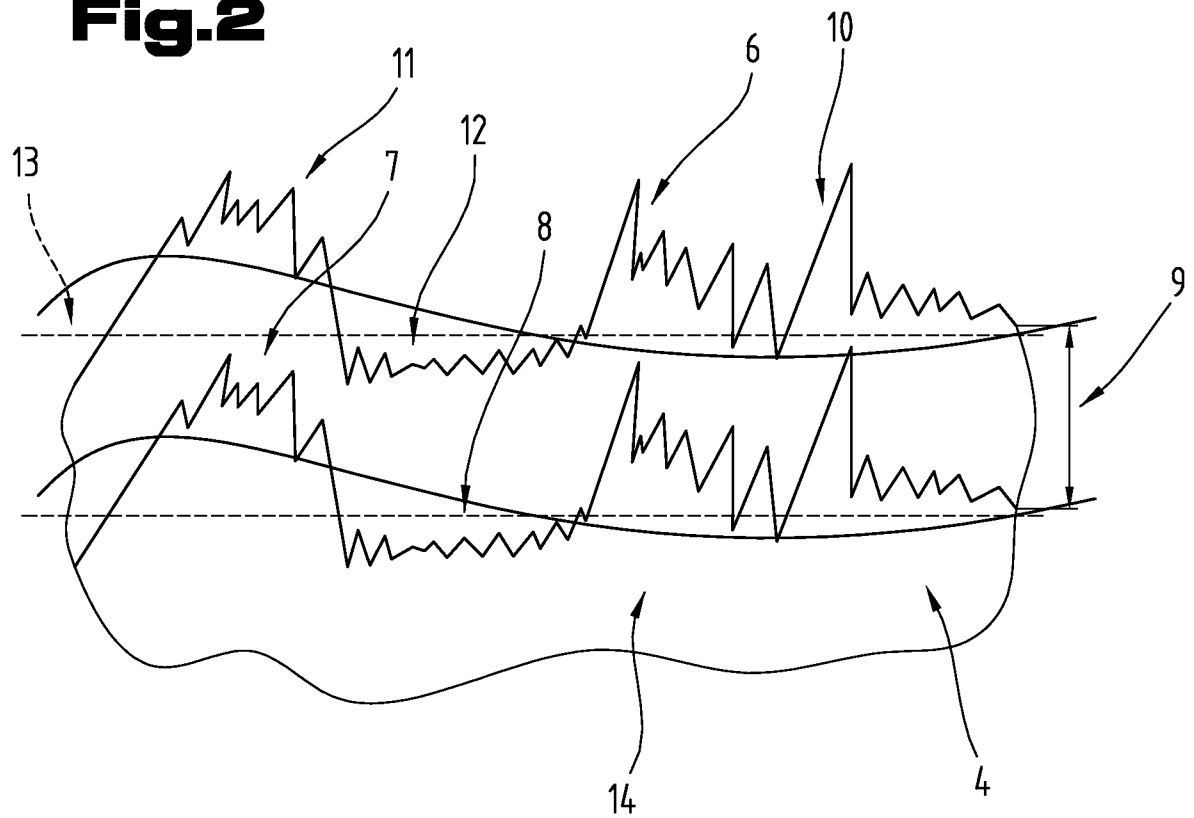
Fig.1**Fig.2**

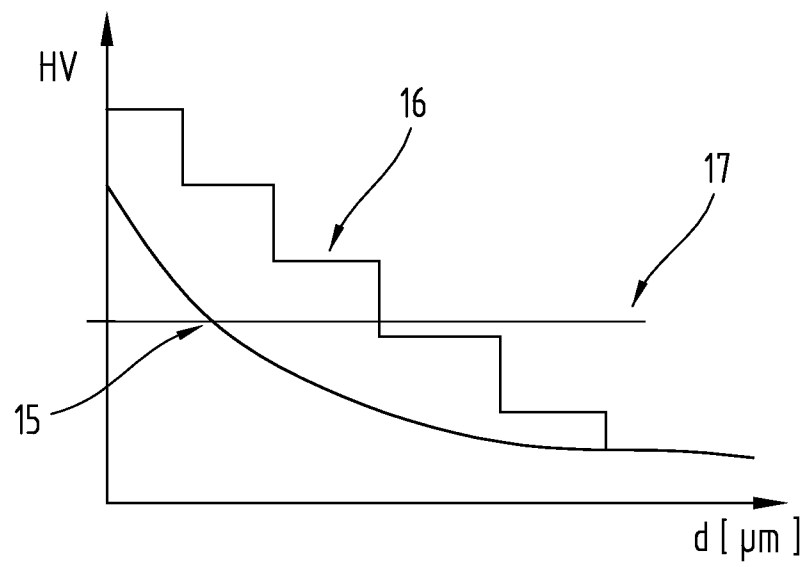
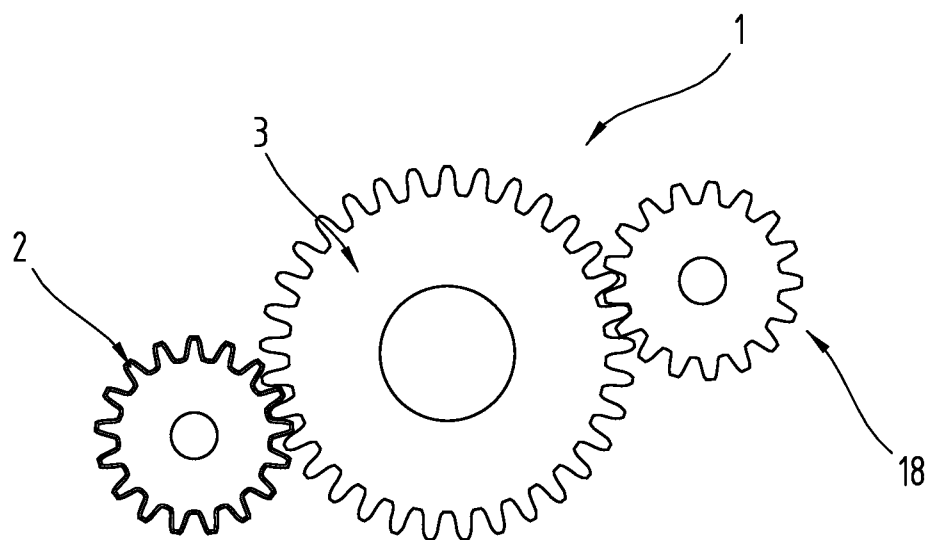
Fig.3**Fig.4**

Fig.5

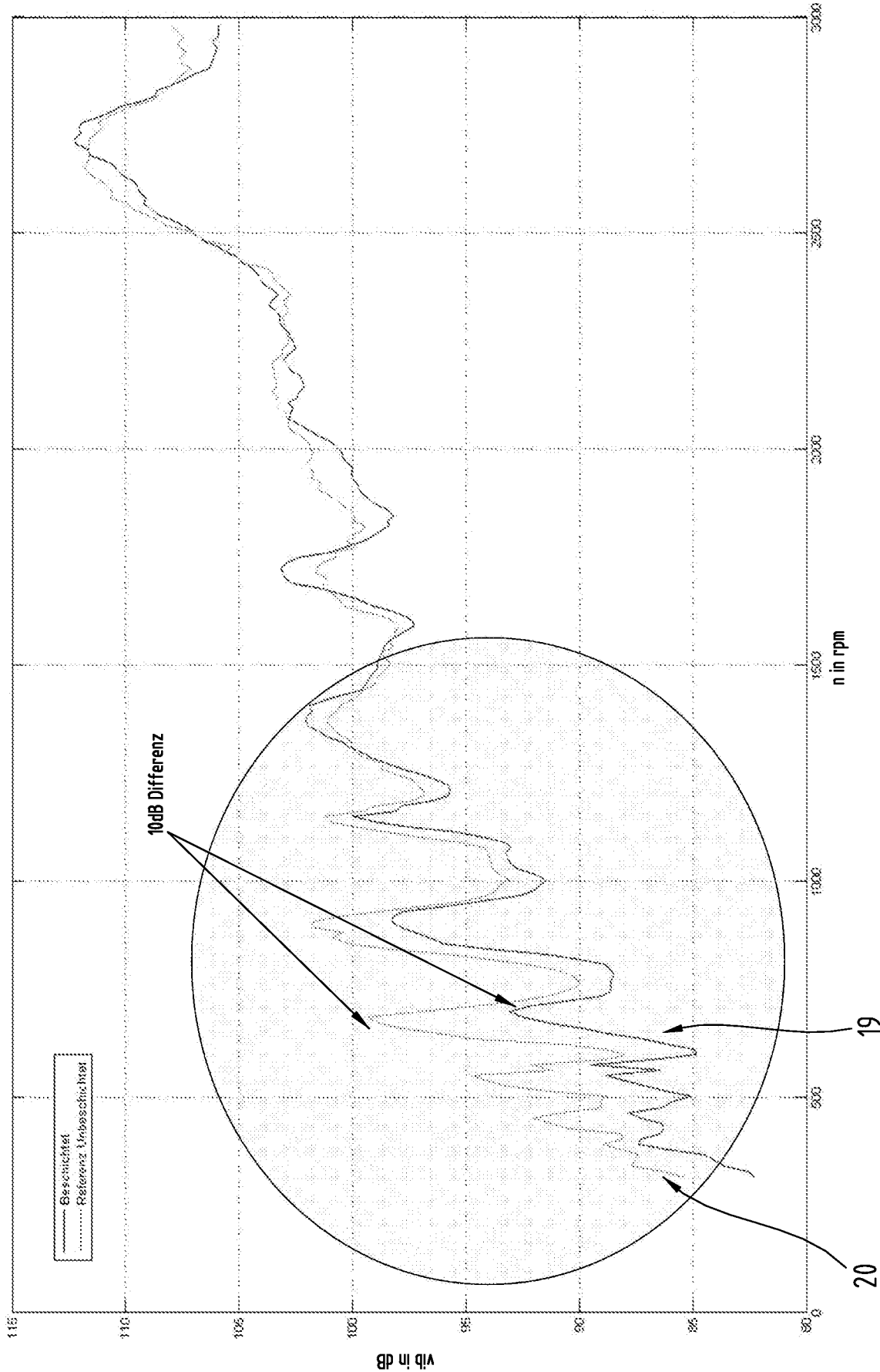
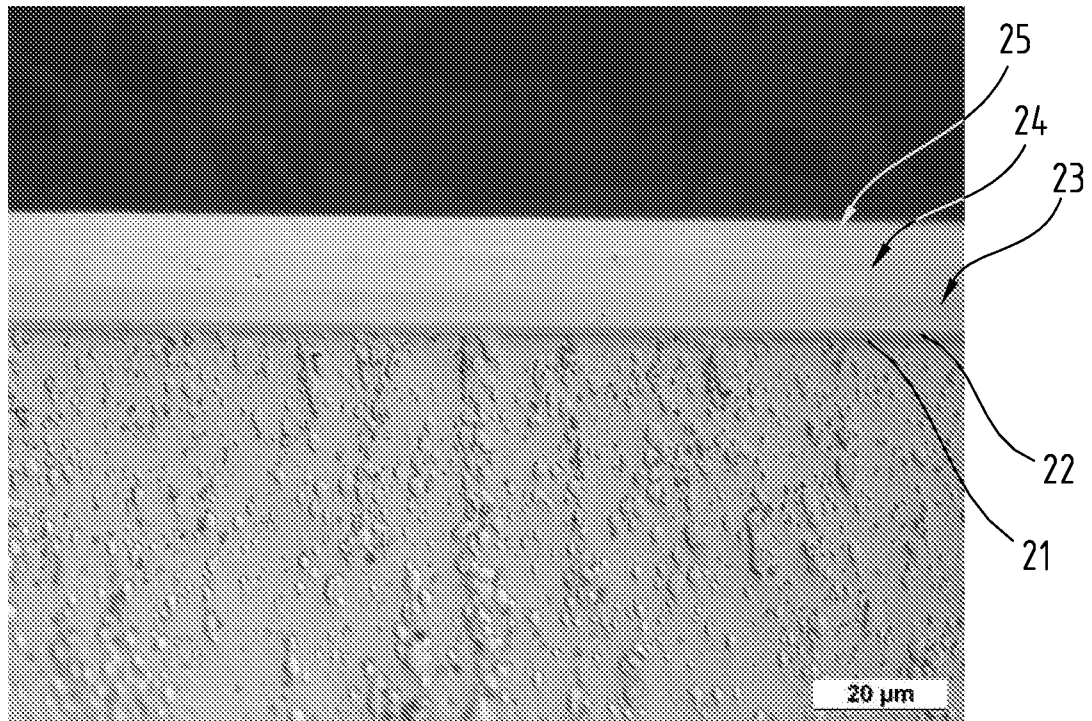
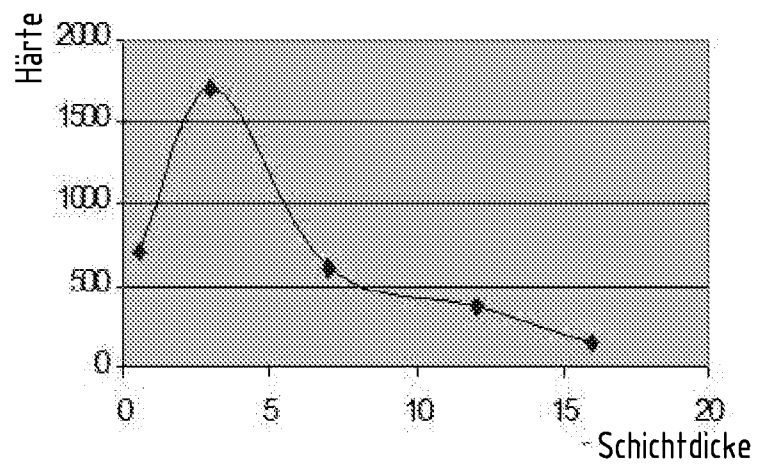
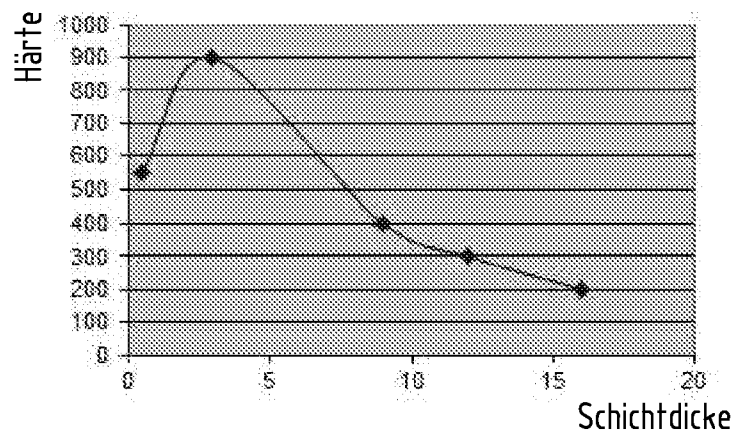


Fig.6

4/4

**Fig.7****Fig.8**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/AT2012/050066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F16H55/06
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F16H B22F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/194377 A1 (MORDUKHOVICH GREGORY [US] ET AL) 14 August 2008 (2008-08-14) paragraphs [0006], [0007] paragraph [0031]; figures -----	1-19
X	US 4 184 380 A (RIVIN EVGENY I [CA]) 22 January 1980 (1980-01-22) column 3, lines 33-54; figures -----	1-19
X	DE 10 2005 027137 A1 (GKN SINTER METALS GMBH [DE]) 14 December 2006 (2006-12-14) abstract; figures paragraph [0076] -----	1-19
X	EP 1 552 895 A1 (HITACHI POWDERED METALS [JP]; HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 13 July 2005 (2005-07-13) the whole document -----	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 September 2012

Date of mailing of the international search report

24/09/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Meritano, Luciano

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2012/050066

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008194377	A1	14-08-2008	NONE

US 4184380	A	22-01-1980	NONE

DE 102005027137	A1	14-12-2006	CA 2611672 A1 14-12-2006
		CN 101193716 A	04-06-2008
		DE 102005027137	A1 14-12-2006
		EP 1888277	A1 20-02-2008
		US 2008209730	A1 04-09-2008
		WO 2006131357	A1 14-12-2006

EP 1552895	A1	13-07-2005	CN 1703292 A 30-11-2005
		EP 1552895	A1 13-07-2005
		JP 4160561	B2 01-10-2008
		JP 2005344126	A 15-12-2005
		US 2005272545	A1 08-12-2005
		WO 2004030852	A1 15-04-2004

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16H55/06
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16H B22F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2008/194377 A1 (MORDUKHOVICH GREGORY [US] ET AL) 14. August 2008 (2008-08-14) Absätze [0006], [0007] Absatz [0031]; Abbildungen -----	1-19
X	US 4 184 380 A (RIVIN EVGENY I [CA]) 22. Januar 1980 (1980-01-22) Spalte 3, Zeilen 33-54; Abbildungen -----	1-19
X	DE 10 2005 027137 A1 (GKN SINTER METALS GMBH [DE]) 14. Dezember 2006 (2006-12-14) Zusammenfassung; Abbildungen Absatz [0076] -----	1-19
X	EP 1 552 895 A1 (HITACHI POWDERED METALS [JP]; HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 13. Juli 2005 (2005-07-13) das ganze Dokument -----	1-19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. September 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/09/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meritano, Luciano

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2012/050066

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008194377 A1	14-08-2008	KEINE	
US 4184380 A	22-01-1980	KEINE	
DE 102005027137 A1	14-12-2006	CA 2611672 A1	14-12-2006
		CN 101193716 A	04-06-2008
		DE 102005027137 A1	14-12-2006
		EP 1888277 A1	20-02-2008
		US 2008209730 A1	04-09-2008
		WO 2006131357 A1	14-12-2006
EP 1552895 A1	13-07-2005	CN 1703292 A	30-11-2005
		EP 1552895 A1	13-07-2005
		JP 4160561 B2	01-10-2008
		JP 2005344126 A	15-12-2005
		US 2005272545 A1	08-12-2005
		WO 2004030852 A1	15-04-2004