



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 041 235 A1** 2006.03.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 041 235.9**

(22) Anmeldetag: **26.08.2004**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C23C 30/00** (2006.01)

**C23C 28/00** (2006.01)

**C23C 14/06** (2006.01)

**F01L 1/46** (2006.01)

(71) Anmelder:

**INA-Schaeffler KG, 91074 Herzogenaurach, DE**

(72) Erfinder:

**Hosenfeldt, Tim Matthias, Dr.-Ing., 96106 Ebern,  
DE; Grell, Karl-Ludwig, Dipl.-Ing., 91086 Aurachtal,  
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE 195 02 568 C1**

**DE 102 56 525 A1**

**DE 100 03 827 A1**

**DE 44 34 428 A1**

**US2003/01 68 957 A1**

**US2002/01 92 371 A1**

**EP 14 82 190 A2**

**EP 14 18 353 A2**

**EP 10 52 307 A2**

**EP 12 59 404 B1**

**EP 09 37 921 B1**

**EP 07 87 222 B1**

**EP 05 32 184 B1**

**WO 97/45 834 A1**

**JP 2004-2 13 824 A**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verschleißfeste Beschichtung und Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer verschleißfesten Beschichtung und eine verschleißfeste Beschichtung auf vorbestimmten Flächen von einem reibenden Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen für insbesondere Verbrennungskraftmaschinen, bestehend aus mindestens einer auf die vorbestimmte Fläche des Maschinenteils aufgetragenen wasserstofffreien oder annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht aus  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff für eine Reibungsreduzierung und für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes der vorbestimmten Fläche des Maschinenteils.



**Beschreibung**

## Anwendungsgebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine verschleißfeste Beschichtung auf vorbestimmten Flächen von einem reibenden Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen und auf ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen verschleißfesten Beschichtung, insbesondere für Maschinenteile in Verbrennungskraftmaschinen.

**[0002]** Obwohl auf beliebige Maschinenteile anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zugrunde liegende Aufgabe in Bezug auf Maschinenteile für Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere in Bezug auf Ventiltriebkomponenten, wie beispielsweise Tassenstößel, näher erläutert.

## Stand der Technik

**[0003]** Es sind Nockenstößelvorrichtungen bekannt, welche in beispielsweise Kraftfahrzeugmotoren mit hin- und hergehenden Kolben eingebaut sind, welche Lufterlass- und Luftauslassventile aufweisen, die sich in Phase mit der Drehung der Kurbelwelle oder synchron hierzu öffnen und schließen. Ein Ventiltriebsmechanismus wird zur Übertragung der Bewegung des an der Nockenwelle angebrachten Nockens auf die Ventile verwendet, wenn sich die Nockenwelle zusammen mit der Kurbelwelle des Motors dreht. Dabei gelangt der Nocken der Nockenwelle in Reibkontakt mit einer Lauffläche des zugeordneten Tassenstößels.

**[0004]** Allgemein unterliegen moderne Ventiltriebkomponenten, wie beispielsweise derartige Tassen- und Pumpenstößel steigenden Anforderungen bezüglich des Verschleißwiderstandes und der Ressourcenschonung. Die Ursachen für die Notwendigkeit eines erhöhten Verschleißwiderstandes liegen in den immer höher werdenden Belastungen und Beanspruchungen des tribologischen Systems, bestehend aus Steuernocken und -stößel. Die Ursachen hierfür liegen in neuen Motorkonzepten, wie beispielsweise Benzin- und Dieseldirekteinspritzsystemen, mit stetig steigenden Einspritzdrücken, einem zunehmenden Anteil an abrasiven Partikeln im Schmierstoff, mangelnder Ölversorgung der Reibpartner, was einen erhöhten Anteil an Mischreibung zur Folge hat, und der zunehmenden Verwendung von tribologisch ungünstigen Stahlnocken zur Kosten- und Massereduzierung. Ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung ist die Reduzierung der Reibungsverluste im Ventiltrieb, mit daraus folgender Kraftstoffeinsparung bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer des gesamten Ventiltriebes. Um die Reibungsverluste effektiv zu reduzieren, ist es notwendig, das Reibmoment im gesamten Drehzahlbereich zu senken, d.h. die Stribeckkurve im Ganzen nach unten zu verschie-

ben.

**[0005]** Es ist bekannt, derartige Tassenstößel als Leichtmetallstößel für die Ventilsteuerung eines Verbrennungsmotors auszubilden, welcher einen Stößelgrundkörper und eine an der Berührungsfläche für die Steuernocken der Ventilsteuerung eingelegte Stahlplatte mit einer gehärteten Oberfläche aufweist.

**[0006]** Nachteilig an diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache herausgestellt, dass derartige Tassenstößel im Betriebsfall relativ großen Temperaturschwankungen von  $-30^{\circ}\text{C}$  bei Kaltstart bis zu ca.  $130^{\circ}\text{C}$  während des Betriebes einer Brennkraftmaschine ausgesetzt sind. Problematisch dabei ist die möglicherweise unterschiedliche Wärmeausdehnung der verwendeten Werkstoffe. Zwar weist die als verschleißfeste Einlage in einen Leichtmetallstößel eingelegte Stahlplatte gute Verschleißseigenschaften auf, jedoch neigt sie bei entsprechender thermischer Belastung zum Ablösen. Die thermische Belastbarkeit ist deshalb begrenzt. Ein weiterer anwendungstechnischer Nachteil besteht darin, dass der Bauform in Form eines relativ breiten Randes als Funktionsfläche bzw. als Nockenkontaktfläche, die von dem Steuernocken einer Ventilsteuerung kontaktiert wird, verloren geht.

**[0007]** Nach einem Ansatz gemäß dem Stand der Technik ist es ebenfalls bekannt, Laufflächen von aufreibendem Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen mit Verschleißschutzschichten zu versehen, die je nach Anwendungsfall bevorzugt aus galvanisch aufgetragenen Metallen oder aus in einem thermischen Spritzverfahren aufgetragenen Metallen und/oder Metalllegierungen mit gegebenenfalls Hartstoffzusätzen bestehen.

**[0008]** An diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache als nachteilig herausgestellt, dass thermisch aufgespritzte Metallschichten eine relativ schwache Festigkeit besitzen, und es ist daher bekannt, zur Verbesserung der Festigkeit die Metallschichten nach dem Auftrag durch beispielsweise Plasmastrahlen, Laserstrahlen, Elektronenstrahlen oder durch einen Lichtbogen derart umzuschmelzen, dass sich die Spritzwerkstoffe mit dem dabei gleichzeitig im Oberflächenbereich aufgeschmolzenen Grundwerkstoff schmelzflüssig vermischen und legieren. Beim Umschmelzlegieren entstehen jedoch inhomogene Zonen unterschiedlicher Zusammensetzung, in denen sowohl der Grundwerkstoff als auch das Schichtmaterial überwiegen kann. Bei zu hohem Grundmaterialanteil ist der Schichtverschleiß dann zu hoch, und bei geringem Grundmaterialanteil besteht bei verschiedenen Schichtkombinationen die Gefahr von Makrorissbildungen, sodass solche Schichten nicht einsetzbar sind. In einem derartigen Fall können Reibungsbelastungen einen unerwünschten Adhäsiv-Verschleiß an den Schichten verursachen.

**[0009]** Ferner ist der Anmelderin der Ansatz bekannt, die Lauffläche des Tassenstößels mittels eines thermochemischen Prozesses zu carbonitrieren und/oder zu nitrocarburieren. An diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache als nachteilig herausgestellt, dass kein zufriedenstellender Reibungskoeffizient erreicht wird und ein zu geringer Verschleißwiderstand entsteht.

**[0010]** Ferner ist der Anmelderin bekannt, die Lauf­fläche des Stößels mit einer Manganphosphatschicht oder einem Gleitlack zu beschichten. Auch hierbei werden keine zufriedenstellenden Reibungskoeffizienten und Verschleißwiderstände erreicht. Zudem wird durch derartige Materialien die Umwelt unnötig belastet. Das selbe gilt für galvanische Schichten, die ebenfalls auf den Laufflächen aufgebracht werden können.

**[0011]** Ferner sind im Stand der Technik als Beschichtungsmaterialien Hartmetalle und Schnellarbeitstahle (ASP 23) bekannt, die jedoch neben einem nicht zufriedenstellenden Reibungskoeffizienten und einem nicht zufriedenstellenden Verschleißwiderstand zusätzlich eine nachteilige hohe Masse aufweisen. Ferner ist eine Fertigung derselben lediglich mit einem hohen Fertigungsaufwand verbunden.

**[0012]** Der Anmelderin sind zusätzlich harte, mittels beispielsweise eines PVD- oder eines (PA)CVD-Verfahrens, hergestellte Schichten, wie beispielsweise TiN, CrN, (Ti, Al)N, bekannt. Nachteilig an diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache herausgestellt, dass diese Schichten einen hohen Verschleiß des Gegenkörpers zur Folge haben.

**[0013]** Aus dem US-Patent 5,237,967 sind kohlenstoffbasierte PVD- und (PA)CVD-Schichten mit 20 bis 60 Atom-% Wasserstoff in der Deckschicht bekannt, sogenannte metallhaltige Kohlenwasserstoffschichten (Me-C:H) und amorphe Kohlenwasserstoffschichten (a-C:H). Diese Schichten weisen jedoch einen zu geringen Verschleißwiderstand und eine geringe chemische Stabilität auf. Ferner besitzen sie einen zu hohen Flüssigkeitsreibungskoeffizienten, da sie keine Reibungsreduzierung im ölgeschmierten Zustand gewährleisten.

#### Aufgabenstellung

**[0014]** Somit liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Beschichtung sowie ein Herstellungsverfahren für eine derartige Beschichtung zu schaffen, welche die oben genannten Nachteile beseitigt und insbesondere das Reibmoment im gesamten Einsatzbereich reduziert und die Lebensdauer des beschichteten Maschinenteils sowie des Gegenkörpers erhöht.

**[0015]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe vor-

richtungsseitig durch eine verschleißfeste Beschichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und verfahrensseitig durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 13 gelöst.

**[0016]** Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht darin, dass die verschleißfeste Beschichtung aus mindestens einer auf eine vorbestimmte Fläche des Maschinenteils aufgetragenen annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht aus  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff für eine Reibungsreduzierung und für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes der vorbestimmten Fläche des Maschinenteils besteht. Das Schichtsystem besteht dabei beispielsweise aus mehr als 97 Atomprozent Kohlenstoff, wobei der Wasserstoffanteil maximal 3 Atomprozent betragen darf.

**[0017]** Somit weist die vorliegende Erfindung gegenüber den bekannten Ansätzen gemäß dem Stand der Technik den Vorteil auf, dass sich durch die wasserstofffreie Kohlenstoffschicht, insbesondere im ölgeschmierten Zustand, das Reibmoment erheblich reduziert. Ferner wird der Oberflächenzustand erheblich homogenisiert und stabilisiert. Zusätzlich wird der Verschleißwiderstand aufgrund des Anteils an  $sp^3$ -Bindungen vergrößert. Durch die hervorragenden tribologischen Eigenschaften können kostengünstigere und auch Schmierstoffe mit einer niedrigeren Viskosität verwendet werden, welche geringere innere Reibungen aufweisen. Zudem können Ölwechselintervalle erhöht und somit kundenfreundlicher ausgestaltet werden. Durch die Möglichkeit als Schmierstoffe auch Hydrauliköl, Dieselmotorenstoff, Wasser bis hin zu Benzin zu verwenden, bieten sich ganz neue Einsatzgebiete in der Lebensmittelindustrie, hydraulischen und weiteren mediengeschmierten Anwendungen.

**[0018]** In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der im Anspruch 1 angegebenen verschleißfesten Beschichtung sowie des im Patentanspruch 13 angegebenen Verfahrens.

**[0019]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung besteht die Beschichtung aus mindestens 97 Atom-% hybridisiertem Kohlenstoff, wobei der Anteil des  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffs in der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht mehr als 50% beträgt. Durch einen derartigen hohen Anteil an  $sp^3$ -Bindungen werden hohe Härtewerte und sehr niedrige Trockenreibungswerte erreicht.

**[0020]** Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt der Anteil an Wasserstoff in der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht maximal 3 Atom-%. Ein derart niedriger Anteil an Wasserstoff ist vorteilhaft, da der Wasserstoff in unerwünsch-

ter Weise neue Bindungen, z.B. mit dem Wasserstoff eines Schmierstoffs, eingehen würde. Derartige Bindungen werden somit reduziert und eine gleich bleibende Schichteigenschaft im Betrieb gewährleistet. Ferner wird durch eine annähernd wasserstofffreie Kohlenstoffschicht die Reibung im ölgeschmierten Zustand unter Beachtung des bekannten Effektes der Homogenisierung und Stabilisierung des Oberflächenzustandes erheblich reduziert.

**[0021]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschicht Härtewerte von 30 bis 95 GPa, ein E-Modul im Bereich von 300 bis 820 GPa und ein Verhältnis aus Härte zu E-Modul von wenigstens 0,15 auf. Derartige Härtewerte tragen zu einer erhöhten Verschleißfestigkeit bei, welche vorzugsweise während der gesamten Lebensdauer des Motors gewährleistet wird.

**[0022]** Vorzugsweise weist die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschicht eine thermische Stabilitätstemperatur von bzw. eine Oxidationsbeständigkeit bis etwa 600°C auf. Gegenüber wasserstoffhaltigen Kohlenstoffschichten, welche beispielsweise eine thermische Stabilität bis zu lediglich 350°C aufweisen, wird somit eine erhöhte thermische Stabilität erreicht, wodurch sich ein deutlich größeres Einsatzgebiet ergibt.

**[0023]** Vorteilhaft weist die wasserstofffreie tetraedrische amorphe Kohlenstoffschicht eine Dicke von etwa 0,1 µm bis 4,0 µm, insbesondere 2,0 µm auf. Die entsprechende Dicke der Kohlenstoffschicht ist an die jeweiligen Anforderungen bzw. an die jeweiligen Kundenwünsche anzupassen.

**[0024]** Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist zwischen der vorbestimmten Fläche des Maschinenteils und der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht mindestens eine Stützschiicht und/oder mindestens eine Haftvermittlungsschiicht vorgesehen, welche beispielsweise mittels eines PVD-Verfahrens als metallhaltige, beispielsweise Wolfram umfassende, Kohlenstoffschiicht, Carbide und/oder Nitride der Übergangsmetalle aufweisende Schicht, mittels einer Wärmebehandlung als Einsatz gehärtete, carbonitrierte oder nitrocarburierte Schicht, mittels eines thermochemischen Verfahrens als nitrierte oder borierte Schicht und/oder beispielsweise mittels eines galvanischen Verfahrens als Chrom aufweisende Schicht ausgebildet ist. Vorzugsweise weist die mindestens eine Stützschiicht und/oder Haftvermittlungsschiicht jeweils eine Dicke von 0,1 µm bis 4,0 µm auf, wobei die Dicke wiederum jeweils an die entsprechenden Anforderungen bzw. an die Kundenwünsche anzupassen ist.

**[0025]** Beispielsweise besteht die vorbestimmte Fläche des Maschinenteils aus 16MnCr5, C45,

100Cr6, 31 CrMoV9, 80Cr2, oder dergleichen.

**[0026]** Vorteilhafte Verwendungen der erfindungsgemäßen Beschichtungen stellen eine Gegenläufer-schicht auf einem als Tassenstößel, Schlepp- oder Kipphebel ausgebildeten Gegenläufer bei Verbrennungskraftmaschinen, die Nockenkontaktfläche oder die Nockenkontaktfläche und/oder das Tassenhemd des Tassenstößels, vorbestimmte Oberflächen von Ventiltriebkomponenten, insbesondere von mechanischen und hydraulischen Tassenstößeln, von hydraulischen Abstütz- und Einsteckelementen, von Wälzlagerkomponenten, von Steuerkolben, von Ausrücklagern, von Kolbenbolzen, von Lagerbuchsen, von Linearführungen oder dergleichen dar. Dabei können vorteilhaft lediglich bestimmte Flächen der einzelnen Maschinenteile oder die vollständigen Oberflächen der Maschinenteile mit einer erfindungsgemäßen Beschichtung ausgebildet werden.

**[0027]** Die einzelnen Schichten werden vorzugsweise mittels eines PVD-Verfahrens abgeschieden. Dabei erfolgt vorzugsweise keine thermische und/oder mechanische Nachbearbeitung der abgeschiedenen Kohlenstoffschiicht, wenn vorzugsweise eine Reibungsreduzierung gewünscht wird. Eine mechanische Nachbearbeitung, beispielsweise Polieren und/oder Bürsten der abgeschiedenen Kohlenstoffschiicht, wird vorzugsweise dann durchgeführt, wenn vorzugsweise Schutz vor einem reibenden Verschleiß gewünscht wird. Der Beschichtungsvorgang wird vorzugsweise bei einer Temperatur durchgeführt, welche maximal 160°C, insbesondere 120°C, beträgt.

#### Ausführungsbeispiel

**[0028]** Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren der Zeichnung näher erläutert. Von den Figuren zeigen:

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0029]** [Fig. 1](#) eine Vorderansicht einer Reibpaarung, bestehend aus Tassenstößel und Nockenwelle für den Betrieb eines Ventils einer Brennkraftmaschine;

**[0030]** [Fig. 2](#) eine perspektivische Ansicht des Tassenstößels aus [Fig. 1](#);

**[0031]** [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht eines hydraulischen Abstützelementes, welches über eine Wälzlagerkomponente mit einem Schlepphebel in Verbindung steht; und

**[0032]** [Fig. 4](#) eine schematische Querschnittsansicht eines Maschinenteils mit verschleißfester Beschichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der

vorliegenden Erfindung.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

**[0033]** In den Figuren der Zeichnung bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

**[0034]** [Fig. 1](#) illustriert eine Reibpaarung, bestehend aus einem Tassenstößel **5** mit einer Nockenkontaktfläche **50** und einem Tassenhemd **51** sowie aus einer Nocke **6**. Der Tassenstößel **5** ist in [Fig. 2](#) in einer perspektivischen Ansicht detaillierter dargestellt, wobei ersichtlich ist, dass das Tassenhemd **51** die Nockenkontaktfläche **50** zumindest teilweise umläuft. Der Tassenstößel **5** ist im allgemeinen für Maschinenteile in Brennkraftmaschinen mit dem Schaft **7** eines Ventils verbunden, welches durch Anlage der Nockenfläche mit der Nockenkontaktfläche **50** des Tassenstößels **5** das Ventil öffnet oder schließt.

**[0035]** Im allgemeinen unterliegen moderne Ventiltriebkomponenten, wie beispielsweise Tassen- und Pumpenstößel, hohen Anforderungen bezüglich des Verschleißwiderstandes und der Ressourcenschonung, insbesondere an der Kontaktfläche **50**.

**[0036]** In Verbindung mit [Fig. 4](#), welche eine schematische Querschnittsansicht einer verschleißfesten Beschichtung für ein Maschinenteil **1**, beispielsweise für einen Tassenstößel **5**, gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung illustriert, wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung im folgenden näher erläutert.

**[0037]** Der Tassenstößel **5** wird für eine Reduzierung des Reibungskoeffizienten und für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes im Bereich der Nockenkontaktfläche **50** oder bei Bedarf im Bereich der Nockenkontaktfläche **50** und des Tassenhemdes **51** mit einer erfindungsgemäßen verschleißfesten Beschichtung beschichtet. Im Falle hoher Verformungen des Tassenhemdes **51** des Tassenstößels **50** im Bereich der offenen Seite kann wahlweise auch eine Teilbeschichtung des Tassenhemdes **51**, eine abschließliche Beschichtung der Nockenkontaktfläche **50** oder ein nachträgliches zumindest teilweises Entfernen der reibfesten Beschichtung im Bereich des Tassenhemdes **51** des Tassenstößels **5** erfolgen.

**[0038]** Im vorliegenden Fall gilt zunächst die Annahme, dass die Nockenkontaktfläche **50** des Tassenstößels **5** als vorbestimmte Fläche **2** des Maschinenteils angesehen wird. Es ist für einen Fachmann offensichtlich, dass beliebige vorbestimmte Flächen beliebiger Maschinenteile mit der erfindungsgemäßen Beschichtung beschichtet werden können.

**[0039]** Die vorbestimmte Fläche **2**, d.h. vorliegend

die Nockenkontaktfläche **50** des Tassenstößels **5**, wird vorzugsweise vor einem Beschichten einsatzgehärtet oder carbonitriert und angelassen.

**[0040]** Der Grundkörper, im vorliegenden Fall die Nockenkontaktfläche **50** des Tassenstößels **5**, welcher vorteilhaft aus einem kostengünstigen Stahlwerkstoff, wie beispielsweise 16MnCr5, C45, 100Cr6, 31CrMoV9, 80Cr2, oder dergleichen, besteht, wird gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel anschließend mit einer Stützschiicht **3** und/oder einer Haftvermittlungsschiicht **3** beschichtet. Die Stützschiicht **3** bzw. die Haftvermittlungsschiicht **3** kann beispielsweise jeweils aus einem metallhaltigen Kohlenstoff, beispielsweise einer Verbindung aus Wolfram und Kohlenstoff, aber auch aus anderen metallischen Stoffen, sowie Boriden, Carbiden und Nitriden der Übergangsmetalle bestehen. Die Stützschiicht **3** und/oder die Haftvermittlungsschiicht **3** kann beispielsweise durch Wärmebehandlung, beispielsweise Einsatzhärten, Carbonitrieren, Nitrocarbrieren, durch ein thermochemisches Verfahren, beispielsweise Nitrieren, Borieren, durch ein galvanisches Verfahren, beispielsweise durch Aufbringen einer chromhaltigen Schicht, oder mittels eines PVD-Verfahrens, beispielsweise Aufbringen von Me-C, Carbiden und Nitriden der Übergangsmetalle, gebildet werden. Bei einem PVD-Verfahren, wie beispielsweise bei der Sputter- oder der ARC-Technologie werden gleichzeitig Metalle verdampft und in die zu bildende Schicht eingebracht. Graphit wird dabei als festes Ausgangsmaterial verdampft und mittels Anreicherung durch Einbringen einer hohen Energie auf die vorbestimmte Fläche **2** des Tassenstößels **5** als teilkristalline Schicht abgeschieden.

**[0041]** Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass lediglich eine Stützschiicht **3** oder eine Haftvermittlungsschiicht **3**, mehrere Stützschiichten **3** bzw. mehrere Haftvermittlungsschiichten **3** oder eine Kombination dieser beiden Schichten auf dem Grundkörper bzw. der vorbestimmten Fläche **2** des Tassenstößels **5** gebildet werden können. Für den Fall, dass eine Haftverbesserung der noch zu bildenden verschleißfesten Beschichtung bzw. einer Stützschiicht auf dem Grundkörper gewünscht ist, wird eine Schicht als Haftvermittlungsschiicht **3** mit einer Dicke von beispielsweise 0,1 µm bis 2,0 µm auf dem Grundkörper gebildet. Für den Fall, dass die Schicht jedoch als Stützschiicht, d.h. als mechanische Stütze zwischen dem Grundkörper und der noch zu bildenden verschleißfesten Beschichtung dienen soll, sind Dicken von beispielsweise 2,0 µm bis 4,0 µm vorteilhaft. Durch die Stützschiicht soll die Ermüdungsfestigkeit erhöht werden, d.h. Risse und Brüche der noch zu bildenden verschleißfesten Beschichtung verhindert werden. Derartige Risse können bei Biegungen und Verformungen des Tassenstößels **5** bei Kontakt mit der Nocke **6** oder aufgrund unterschiedlicher Härtegrade, Elastizitätsmodule, Verformbarkeit

ten der einzelnen Schichten bzw. des Grundkörpers und der verschleißfesten Beschichtung entstehen. In diesem Fall ist eine Ausbildung der Schicht **3** als Stützschiicht **3** entweder alleine oder in Kombination mit einer geeigneten Haftvermittlungsschiicht vorzuziehen.

**[0042]** Wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, wird gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel nach einem Bilden der Stütz- und/oder der Haftvermittlungsschiicht **3** eine verschleißfeste Beschichtung **4** darauf gebildet. Die verschleißfeste Beschichtung **4** besteht vorzugsweise aus einer wasserstofffreien oder zumindest annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiicht (ta-C-Schiicht) oder mehreren derartigen Schichten **4**. Die amorphe Kohlenstoffschiicht **4** besteht vorzugsweise lediglich aus  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff, wobei vorteilhaft mehr  $sp^3$ -Bindungen als  $sp^2$ -Bindungen in der amorphen Kohlenstoffschiicht **4** vorgesehen sind. Dadurch wird der Härtegrad der Beschichtung **4** für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes vergrößert.

**[0043]** Der Wasserstoffanteil in der Beschichtung **4** beträgt vorzugsweise maximal 3 Atom-%, sodass eine extreme Reinheit gewährleistet wird. Dies ist vorteilhaft, da Wasserstoff in der Beschichtung neue Bindungen mit beispielsweise dem Wasserstoff von Schmierstoffen eingehen würde. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird durch den geringen Wasserstoffanteil bzw. durch einen Ausschluss von Wasserstoff in der Beschichtung eine gleich bleibende Schichteigenschaft über die gesamte Lebensdauer des Maschinenteils **1** im Betrieb gewährleistet, was einen Einsatz in Motoren und Maschinen in einer Vielzahl von Einsatzgebieten ermöglicht.

**[0044]** Vorzugsweise werden die Härtewerte der wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiichten **4** (ta-C Schichten) im Vergleich zu allen anderen Hartstoffschiichten in einem sehr weiten, der jeweiligen Anwendung angepassten, Spektrum von 30 GPa bis 95 GPa (Martenshärte nach EN ISO 14577-1) eingestellt.

**[0045]** Im Vergleich hierzu kann man mit den bisher verwendeten Hartstoffschiichten (Me-C:H, a-C:H, Metallnitridhartstoffschiichten) nur einen Härtebereich von etwa 20 GPa bis 40 GPa abdecken, so dass folglich die ta-C Schichten deutlich höhere Härtewerte und in Folge dessen auch nur diese Verschleißwiderstände aufweisen, die für höchstbeanspruchte Bauteile ausreichend sind. So erreichen die ta-C Schichten im Kalottenschliffverfahren mit Diamantsuspension (Korngröße 0,25  $\mu\text{m}$ ) extrem niedrige Verschleißraten von  $V_r < 0,5 \times 10^{-15} \text{ m}^3 \text{ N m}^{-1}$ , was dementsprechend einem extrem hohen Verschleißwiderstand entspricht, denn bei identischen Messparametern und -bedingungen weisen alle bisher verwendeten Schichten (Me-C:H, a-C:H, Metallnitridhartstoff-

schichten Verschleißraten  $V_r$  über  $0,6 \times 10^{-15} \text{ m}^3 \text{ N m}^{-1}$  bis zu  $50 \times 10^{-15} \text{ m}^3 \text{ N m}^{-1}$  auf. Ein wichtiges Qualitätsmerkmal ist das Verhältnis aus Universalhärte [GPa] zu Elastizitätsmodul [GPa]. Hierbei ist ein möglichst hohes Verhältnis anzustreben, das heisst eine Schicht mit einer hohen Härte und damit mit einem hohen Verschleißwiderstand sowie einem im Verhältnis niedrigen Elastizitätsmodul, um möglichst geringe Kontaktspannungen zu übertragen und geringe belastungsinduzierte Spannungen in das Schichtsystem, Interface und Bauteil einzubringen und somit hohe lokale (Dauer-)festigkeiten zu realisieren.

**[0046]** Die E-Module der wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiichten liegen im Bereich von 300 GPa bis 820 GPa, Stahl hat ein E-Modul von etwa 210 GPa und a-C:H Schichten weisen E-Module von 250 GPa bis 500 GPa auf. Im Vergleich zu allen anderen bisher verwendeten Schichtsystemen und Oberflächen weisen die wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiichten damit deutlich höhere Härte-zu-Elastizitätsmodul-Verhältnisse von bis zu 0,20 [GPa/GPa] im Gegensatz zu bestenfalls 0,10 bis 0,15 auf.

**[0047]** Die harten Partikel, die sich vermehrt in den hier beschriebenen Motoranwendungen zwischen den Reibpartnern befinden, induzieren hohe lokale Spannungen in die Oberflächen, was zu lokaler Werkstoffermüdung führt, wenn die induzierten Spannungen über der lokalen Dauerfestigkeit des Schichtsystems liegen. Deshalb sind Schichtsysteme notwendig, die möglichst hohe Dauerfestigkeitswerte bzw. Härtewerte sowie einen möglichst hohen Anteil an elastischer Verformbarkeit haben; d.h., dass bei gleicher Materialverformung durch ein hartes Partikel ein möglichst großer Anteil der Verformung elastisch rückverformt und somit ein möglichst geringer Anteil an plastischer Verformung bzw. Schädigung der Oberfläche zurückbleibt. Zur quantitativen Erfassung dieses Qualitätsmerkmals dient der elastische Anteil  $\eta_{IT}$  nach EN ISO 14577-1 „Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter“. Hier erreichen die wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiichten herausragende Werte bis 95 % und lassen sich zwischen 75 % und 95 % einstellen. Im Vergleich hierzu erreicht gehärteter Stahl 100Cr6 (60 HRC + 4 HRC) etwa 30 % und bisher verwendete Schichten etwa 60 % bis 80 %.

**[0048]** Die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht **4** wird vorzugsweise mittels eines PVD-Verfahrens auf der Stütz- bzw. Haftvermittlungsschiicht **3** abgeschieden. Dabei wird beispielsweise Graphit mit einem hochenergetischen Strahl derart erhitzt, dass ein Ionenstrahl aus Kohlenstoffatomen aus dem Graphit herausgelöst und auf die Oberfläche des Tassenstößels **5** bzw. des Maschinenteils **1** gerichtet werden kann. Dadurch werden  $sp^2$ -Bindungen und  $sp^3$ -Bin-

dungen auf der Stütz- bzw. Haftvermittlungsschicht **3** abgeschieden. Abhängig von der Energie der Ionen des aus Kohlenstoffatomen bestehenden Ionenstrahls, welche beispielsweise Energien von 60 bis 160 Elektronenvolt aufweisen, kann der jeweilige Anteil von  $sp^2$ -Bindungen und von  $sp^3$ -Bindungen gesteuert werden. Eine Erhöhung der Energie der Ionen des aus Kohlenstoffatomen bestehenden Ionenstrahls erhöht den Anteil an  $sp^3$ -Bindungen. Somit ergibt sich eine insgesamt amorphe Beschichtung mit kleinen kristallinen Bereichen, welche einen hohen Verschleißwiderstand und geringe Reibungskoeffizienten aufweist.

**[0049]** Bei der Abscheidung der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht **4** wird der zu beschichtende Grundkörper in einer Abscheidungskammer beispielsweise derart rotiert, dass bei jedem Rotationszyklus eine Schichtlage des  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffs auf dem Grundkörper bzw. der Stütz- bzw. Haftvermittlungsschicht **3** gebildet wird.

**[0050]** Die Dicke der amorphen Kohlenstoffschicht **4** kann zwischen  $0,1\ \mu\text{m}$  und  $4,0\ \mu\text{m}$ , insbesondere  $2,0\ \mu\text{m}$ , betragen. Wird die amorphe Kohlenstoffschicht **4** auf eine Schicht mit guten Oberflächenqualitäten abgeschieden, so genügt beispielsweise eine Dicke von  $0,1\ \mu\text{m}$  bis  $2,0\ \mu\text{m}$ , da die Kohlenstoffbeschichtung **4** vornehmlich einer Reduzierung des Reibungskoeffizienten dient. Wird hingegen die Kohlenstoffbeschichtung **4** auf eher rauen Oberflächen abgeschieden, so beträgt die Dicke der Beschichtung **4** vorzugsweise in etwa zwischen  $2,0\ \mu\text{m}$  und  $4,0\ \mu\text{m}$ , da die Beschichtung **4** hierbei vornehmlich zur Vergrößerung des Verschleißwiderstandes dient. Die Härte- werte der Beschichtung **4** liegen vorzugsweise zwischen 60 und 95 GPa, um im Vergleich zu den bisher verwendeten Hartstoffschichten (a-C:H; Me-C:H; Metallnitridschichten) deutlich höhere Verschleißwiderstände bereitzustellen.

**[0051]** Zur Erzielung bester tribomechanischer Eigenschaften, d.h. durch das Beschichten eines Reibpartners, die Reibung des Systems zu minimieren, die statische und zyklische Festigkeit des beschichteten Bauteils zu erhöhen und zusätzlich den unbeschichteten Reibpartner vor Verschleiß zu schützen, ist es notwendig, den Mittenrauwert  $R_a$  nach dem Beschichten auf maximal  $0,035\ \mu\text{m}$  zu begrenzen. Beträgt der Mittenrauwert  $R_a$  nach dem Beschichten mehr als  $0,035\ \mu\text{m}$ , so ist eine anschließende mechanische Nachbearbeitung der Funktionsfläche, d.h. der Oberfläche der wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht, durch beispielsweise Polieren und/oder Bürsten vorzunehmen.

**[0052]** Um eine möglichst geringe Adhäsionsneigung zu dem metallischen Gegenkörper, d.h. im vorliegenden Fall dem Nocken **6**, einen hohen abrasiven Verschleißwiderstand, eine hohe chemische Bestän-

digkeit, auch im Kontakt mit Öl, hohe mechanische Festigkeiten und große Härte/E-Modul-Verhältnisse zu erreichen, weist die Kohlenstoffschicht vorteilhaft einen maximalen Wasserstoffanteil von 3 Atom-% auf, wie oben bereits erläutert. Somit wird eine wasserstofffreie oder zumindest nahezu wasserstofffreie tetraedrische amorphe Kohlenstoffschicht abgeschieden, welche gegenüber konventionellen wasserstoffhaltigen Kohlenstoffschichten bezüglich des Verschleißes tribophobe Oberflächen mit polarisierenden, die Schmierung- und Reibungsreduzierung unterstützenden Eigenschaften aufweisen. Dadurch ergibt sich sowohl eine Reibungsreduzierung im trockenen Reibkontakt mit metallischen Werkstoffen als auch im geschmierten Zustand. Als Schmierstoff können für bestimmte Anwendungen Flüssigkeiten mit extrem niedriger Viskosität bis hin zu Wasser oder Benzin verwendet werden.

**[0053]** Im oszillierenden Reibkontakt mit einer Stahlkugel aus 100Cr6 (Verfahrweg  $1,0\ \text{mm}$ , Schwingfrequenz 25 Hz, Kugeldurchmesser  $10\ \text{mm}$ , Normalkraft der Kugel auf die beschichtete Oberfläche  $20\ \text{N}$ ) verringert sich die Reibung im trockenen Reibkontakt um mehr als 80 % und mit Motoröl um mehr als 10 %. Diese einzigartigen tribologischen Eigenschaften führen dazu, dass im Ventiltrieb durch das Beschichten der Tassenbodenoberfläche Reibungsreduzierungen je nach Öltemperatur und Relativgeschwindigkeit der Reibpartner von 6 % bis 28 vorherrschen. Der besondere Unterschied zu den bisher verwendeten Schichtsystemen ist, dass sich auch eine deutliche Reibungsreduzierung im Drehzahlbereich von  $2000\ \text{Umin}^{-1}$  bis  $7000\ \text{Umin}^{-1}$  ergibt, sodass sich ein bisher nicht zu realisierendes Potenzial der Reibungsreduzierung im Ventiltrieb und damit zur Kraftstoffeinsparung bzw. Ressourcenschonung, die aufgrund des extrem hohen Verschleißwiderstandes bevorzugt über die gesamte Motorlebensdauer erhalten bleiben, ergibt.

**[0054]** Darüber hinaus bieten die ta-C-Schichten **4** gegenüber Schichten gemäß dem Stand der Technik eine erhöhte Oxidationsbeständigkeit bis etwa  $600^\circ\text{C}$ , einen höheren Korrosionswiderstand, einen geringeren elektrischen Leitwert und eine höhere chemische Stabilität, welche eine gleich bleibende Qualität im Einsatz gewährleistet. Aufgrund des extrem hohen Verschleißwiderstandes sind nur geringe Schichtdicken notwendig, wodurch die Gefahr im Einsatz bei Hertzscher Pressung, dass das Vergleichsspannungsmaximum im Interface liegt, umgangen werden kann. Darüber hinaus sind keinerlei Aufmaße erforderlich und die Abscheidezeiten und somit Abscheidekosten bzw. Beschichtungskosten können erheblich reduziert werden.

**[0055]** Neben dem Verschleißschutz des beschichteten Körpers wird auch der Gegenkörper aufgrund der hervorragenden tribologischen Schichteigen-

schaften der Kohlenstoffschicht bzw. -schichten **4** geschützt. Durch die Verwendung der Beschichtung kann man kostengünstige Werkstoffe als Unterbau verwenden. Als Gegenkörper sind dann im Sinne des Leichtbaus und der Kosteneinsparung auch Eisen-Kohlenstoff-Legierungen für beispielsweise die Nockenwelle bzw. die Nocke **6** realisierbar. Darüber hinaus sind niedrig viskose und niedrig additivierte Öle einsetzbar, wodurch eine Minimalschmierung oder erhöhte Ölwechselintervalle realisierbar sind.

**[0056]** Im Folgenden wird eine weitere vorteilhafte Verwendung der erfindungsgemäßen Beschichtung näher erläutert. **Fig. 3** illustriert eine perspektivische Ansicht eines hydraulischen Abstützelementes **8**, welches einen Kolben **9** und ein Gehäuse **10** aufweist. Das hydraulische Abstützelement **8** ist mit einem Schleppebel **11** gekoppelt, wobei der Schleppebel **11** über ein Wälzlager **12** schwenkbar gelagert ist. Wie in **Fig. 3** ferner ersichtlich ist, weist der Kolben **9** einen Kontaktbereich **90** zwischen dem Kolben **9** und dem Schleppebel **11** auf. Ferner weist der Kolben **9** einen Kontaktbereich **91** zwischen dem Kolben **9** und dem Gehäuse **10** auf. Für eine Reduzierung des Verschleißes im Kontaktbereich **90** zwischen dem Kolben **9** und dem Schleppebel **11** wird der Kontaktbereich **90** ebenfalls mit einer erfindungsgemäßen wasserstofffreien bzw. annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht **4**, bestehend aus  $sp^2$ -Bindungen und  $sp^3$ -Bindungen unter Zwischenschaltung beispielsweise einer Stütz- und/oder Haftvermittlungsschicht beschichtet. Die reibfeste Beschichtung entspricht dabei der in dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß den **Fig. 1**, **Fig. 2** erläuterten Beschichtung **3**, **4**.

**[0057]** Ferner kann ebenfalls der Kontaktbereich **91** zwischen dem Kolben **9** und dem Gehäuse **10** mit einer derartigen Beschichtung **3**, **4** je nach Anwendung und Fertigungstechnologie beschichtet werden. Dadurch wird die Gesamtlebensdauer des dargestellten tribologischen Systems erhöht, wodurch ein Ausfall der einzelnen Maschinenteile während eines Betriebes reduziert und somit insgesamt Kosten eingespart werden können.

**[0058]** Ferner können bestimmte Wälzlagerkomponenten des Wälzlagers **12**, beispielsweise der Wälzkörper, die Innen- und Außenringe des Wälzlagers **12**, die Wälzlagerkäfige, die Axialscheiben, oder dergleichen ebenfalls zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes und zur Reibungsreduzierung mit einer oben beschriebenen wasserstofffreien bzw. annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht **4**, bestehend aus  $sp^2$ -Bindungen und  $sp^3$ -Bindungen unter Zwischenschaltung beispielsweise einer Stütz- und/oder Haftvermittlungsschicht **3** beschichtet werden.

**[0059]** Das oben beschriebene Schichtsystem ist

selbstverständlich auch für andere Bau- und Funktionseinheiten, wie beispielsweise Abstütz- und Einsteckelemente, Wälzlagerkomponenten, Ausrücklager, Kolbenbolzen, Lagerbuchsen, Steuerkolben für beispielsweise Einspritzdüsen im Motorenbereich, Linearführungen und andere mechanisch und tribologisch hoch beanspruchte Teile geeignet.

**[0060]** Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die amorphe Kohlenstoffschicht **4** auch direkt auf dem Grundkörper des zu beschichtenden Maschinenteils abgeschieden werden kann, ohne dass eine Stützschiicht **3** bzw. Haftvermittlungsschicht **3** dazwischen aufgebracht ist.

**[0061]** Somit schafft die vorliegende Erfindung eine verschleißfeste Beschichtung sowie ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen verschleißfesten Beschichtung, wodurch der Verschleißwiderstand von einem reibenden Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen erhöht und zu hohe Reibmomente zwischen diesen Maschinenteilen und entsprechenden Gegenkörpern verhindert werden. Durch die etwa  $0,1 \mu\text{m}$  bis  $4,0 \mu\text{m}$  dicke Beschichtung **4** bzw. **3**, **4** bleiben die Maße und Oberflächenrauigkeiten nahezu unverändert, wobei dennoch die Oberfläche reaktiv homogenisiert wird. Die tribologischen Eigenschaften der Schicht werden verbessert und die mechanischen Beanspruchungen werden mit dem Grundkörper geteilt, der aufgrund der Aufgabenstellung und der geringen Beschichtungstemperatur, welche kleiner als  $160^\circ\text{C}$  ist, auf kostengünstigen Stählen gefertigt werden kann. Dadurch sind gängige und kostengünstige Fertigungstechnologien einsetzbar.

**[0062]** Die vorgeschlagenen wasserstofffreien Kohlenstoffschichten reduzieren die Reibung im ölgeschmierten Zustand unter Beachtung des erkannten Effektes der Homogenisierung des Oberflächenzustandes. Es wurden um etwa 20% geringere Reibmomente mit Stahl oder Gusseisen als Reibpartner im ölgeschmierten Zustand gemessen, wodurch sich ein deutlicher Beitrag zur Leistungssteigerung und Ressourcenschonung ergibt. Durch die hervorragenden tribologischen Eigenschaften können kostengünstigere und auch niedrig viskose Schmierstoffe verwendet werden, welche geringere innere Reibungen aufweisen. Ölwechselintervalle können ferner kundenfreundlich erhöht werden.

**[0063]** Darüber hinaus weist die vorgeschlagene ta-C-Schicht eine deutlich höhere thermische Stabilität von etwa  $600^\circ\text{C}$  gegenüber  $350^\circ\text{C}$  bei wasserstoffhaltigen Kohlenstoffschichten auf, wodurch sich ein größeres Einsatzgebiet ergibt. Durch die Möglichkeit, als Schmierstoff auch Hydrauliköl, Dieselkraftstoff, Wasser bis hin zu Benzin zu verwenden, bieten sich neue Einsatzgebiete in der Lebensmittelindustrie, in hydraulischen und weiteren mediengeschmierten Anwendungen.

**[0064]** Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorstehend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

#### Bezugszeichenliste

1	Maschinenteil
2	vorbestimmte Fläche des Maschinenteils
3	Stützschiicht/Haftvermittlungsschiicht
4	tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht
5	Tassenstößel
6	Nocke
7	Ventilschaft
8	hydraulisches Abstützelement
9	Kolben
10	Gehäuse
11	Schlepphebel
12	Wälzlager
50	Nockenkontaktfläche
51	Tassenhemd
90	Kontaktbereich zwischen Kolben und Schlepphebel
91	Kontaktbereich zwischen Kolben und Gehäuse

#### Patentansprüche

1. Verschleißfeste Beschichtung auf vorbestimmten Flächen (2) von einem reibenden Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen (1) für insbesondere Verbrennungskraftmaschinen bestehend aus mindestens einer auf die vorbestimmte Fläche (2) des Maschinenteils (1) aufgetragenen wasserstofffreien oder annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiicht (4) aus  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff für eine Reibungsreduzierung und für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes der vorbestimmten Fläche (2) des Maschinenteils (1).

2. Verschleißfeste Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung aus mindestens 97 Atom-% hybridisiertem Kohlenstoff besteht, wobei der Anteil des  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffs in dem hybridisierten Kohlenstoff mindestens 50% beträgt.

3. Verschleißfeste Beschichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil an Wasserstoff in der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiicht (4) maximal 1 Atom-% beträgt.

4. Verschleißfeste Beschichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht (4) Härtewerte von 30 bis 95 GPa, ein E-Modul im Bereich von 300 GPa bis 820 GPa und ein Verhältnis aus Härte Modul von wenigstens 0,15 aufweist.

5. Verschleißfeste Beschichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht (4) eine thermische Stabilitätstemperatur von bzw. eine Oxidationsbeständigkeit bis etwa 600°C aufweist.

6. Verschleißfeste Beschichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschiicht (4) eine Dicke von etwa 0,1 µm bis 4,0 µm, insbesondere 2,0 µm, aufweist.

7. Verschleißfeste Beschichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der vorbestimmten Fläche (2) des Maschinenteils (1) und der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschiicht (4) mindestens eine Stützschiicht (3) und/oder mindestens eine Haftvermittlungsschiicht (3) vorgesehen ist, welche beispielsweise mittels eines PVD-Verfahrens als metallhaltige, beispielsweise Wolfram umfassende, Kohlenstoffschiicht, als Carbide und/oder Nitride der Übergangsmetalle aufweisende Schicht, als mittels einer Wärmebehandlung einsatzgehärtete, carbonitrierte oder nitrocarburierte Schicht, mittels eines thermochemischen Verfahrens als nitrierte oder boriierte Schicht, mittels eines galvanischen Verfahrens als Chrom aufweisende Schicht, beispielsweise als Chromnitridschicht, oder dergleichen ausgebildet ist.

8. Verschleißfeste Beschichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Stützschiicht (3) und/oder die mindestens eine Haftvermittlungsschiicht (3) eine Dicke von etwa 0,1 µm bis 4,0 µm aufweist.

9. Verschleißfeste Beschichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmte Fläche (2) des Maschinenteils (1) aus 16 MnCr5, C45, 100Cr6, 31CrMoV9, 80Cr2, etc. besteht.

10. Verwendung der verschleißfesten Beschichtung (3, 4) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche als Gegenläuferschicht auf einem als Tassenstößel (5), Schlepp- oder Kipphebel (11) ausgebildeten Maschinenteil.

11. Verwendung der verschleißfesten Beschichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Nockenkontaktfläche (50) des Tassenstößels (5), oder die Nockenkontaktfläche (50) und das Tassenhemd (51) des Tassenstößels (5) vollständig oder zumindest teilweise mit einer verschleißfesten Beschichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet ist.

12. Verwendung der Beschichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 9 als Schicht auf vor-

bestimmten Flächen von Ventiltriebkomponenten, mechanischen und hydraulischen Tassenstößeln, hydraulischen Abstütz- und Einsteckelementen, Wälzlagerkomponenten, Steuerkolben, insbesondere für Einspritzdüsen im Motorenbereich, von Ausrücklagern, von Kolbenbolzen, von Lagerbuchsen, von Linearführungen, oder dergleichen.

13. Verfahren zur Herstellung einer verschleißfesten Beschichtung auf vorbestimmten Flächen (2) von einem reibenden Verschleiß ausgesetzten Maschinenteilen (1) mit folgendem Verfahrensschritt: Abscheiden mindestens einer wasserstofffreien oder annähernd wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht (4) aus  $sp^2$ - und  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff auf der vorbestimmten Fläche (2) des Maschinenteils (1) für eine Reibungsreduzierung und für eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes der vorbestimmten Fläche (2).

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung mittels eines PVD-Verfahrens bewerkstelligt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die tetraedrische amorphe Kohlenstoffschicht (4) mit einer Dicke von etwa 0,1  $\mu\text{m}$  bis 4,0  $\mu\text{m}$ , insbesondere 2,0  $\mu\text{m}$ , ausgebildet wird.

16. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Beschichtungsvorgang bei einer Temperatur durchgeführt wird, welche maximal 160°C, insbesondere 120°C, beträgt.

17. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass keine thermische und/oder mechanische Nachbearbeitung der abgeschiedenen amorphen Kohlenstoffschicht (4) durchgeführt wird, wenn vorzugsweise eine Reibungsreduzierung gewünscht wird.

18. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine mechanische Nachbearbeitung, beispielsweise ein Polieren und/oder Bürsten, der abgeschiedenen amorphen Kohlenstoffschicht (4) durchgeführt wird, wenn vorzugsweise ein Schutz vor einem reibenden Verschleiß gewünscht wird.

19. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmte Fläche (2) des Maschinenteils (1) aus 16MnCr5, C45, 100Cr6, 31CrMoV9, 80Cr2, oder dergleichen hergestellt wird.

20. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Abscheidung die vorbestimmte Fläche (2) des

Maschinenteils (1) einsatzgehärtet und/oder carbonitriert und angelassen wird.

21. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der vorbestimmten Fläche (2) des Maschinenteils (1) und der tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschicht (4) mindestens eine Stützschiicht (3) und/oder mindestens eine Haftvermittlungsschiicht (3) vorgesehen ist, welche beispielsweise mittels eines PVD-Verfahrens als metallhaltige, beispielsweise Wolfram umfassende, Kohlenstoffschiicht, als Carbide und/oder Nitride der Übergangsmetalle aufweisende Schicht, mittels einer Wärmebehandlung als einsatzgehärtete, carbonitrierte oder nitrocarburierte Schicht, mittels eines thermochemischen Verfahrens als nitrierte oder borierte Schicht, mittels eines galvanischen Verfahrens als Chrom aufweisende Schicht, beispielsweise als Chromnitridschicht, oder dergleichen ausgebildet wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Stützschiicht (3) und/oder die mindestens eine Haftvermittlungsschiicht (3) mit einer Dicke von etwa 0,1  $\mu\text{m}$  bis 4,0  $\mu\text{m}$  ausgebildet wird.

23. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung aus mindestens 97 Atom-% hybridisiertem Kohlenstoff ausgebildet wird, wobei der Anteil des  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffs in dem hybridisierten Kohlenstoff mindestens 50% beträgt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

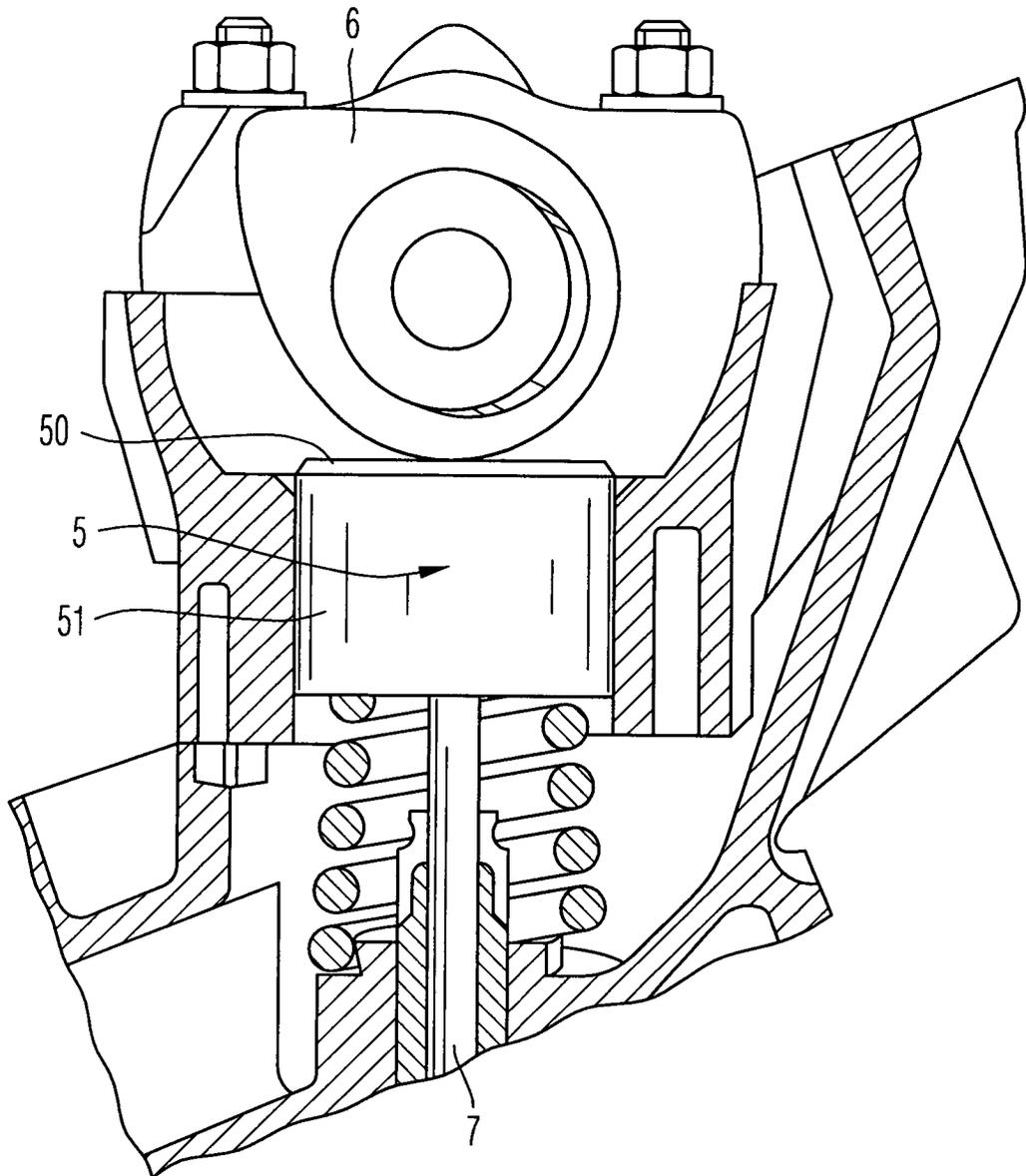


Fig. 1

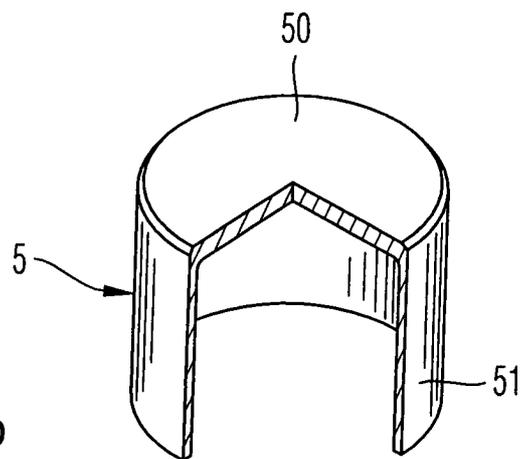


Fig. 2

