



(10) **DE 10 2020 205 537 A1** 2021.11.04

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 205 537.8**

(22) Anmeldetag: **30.04.2020**

(43) Offenlegungstag: **04.11.2021**

(51) Int Cl.: **C23C 28/00** (2006.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 16/27 (2006.01)

C23C 16/34 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

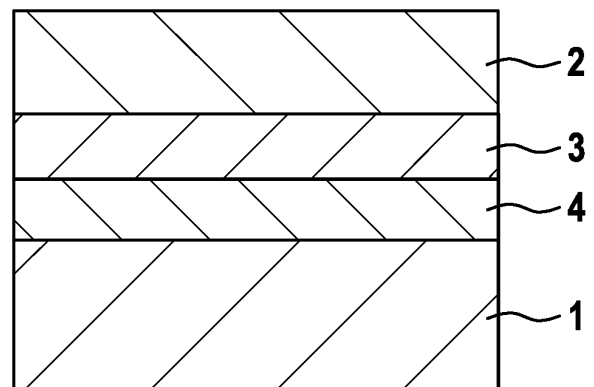
(72) Erfinder:

**Mandl, Bernhard, Linz, AT; Groiss, Heiko,
Unterweikersdorf, AT**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verschleißschutzbeschichtetes Bauteil sowie Verfahren zum Beschichten desselben**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein verschleißschutzbeschichtetes Bauteil (1) aus einer Stahlegierung, insbesondere ein Bauteil eines Kraftstoffeinspritzsystems, dessen tribologisch beanspruchte Oberfläche zumindest teilweise per Plasmaverfahren mit einer harten äußeren Verschleißschutzschicht (2) überzogen ist, die auf einer metallischen Haftschrift (3) aufgebracht ist, wobei die metallische Haftschrift (3) auf einer Fe-Pufferschicht (4) aufgebracht ist, die auf der Oberfläche des Bauteils (1) aufgetragen ist, um die als Diffusionsfront wirkende Oberfläche des Bauteils (1) von der Haftschrift (3) zu trennen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein verschleißschutzbeschichtetes Bauteil aus einer Stahlliegierung, insbesondere ein Bauteil eines Kraftstoffeinspritzsystems, dessen tribologisch beanspruchte Oberfläche zumindest teilweise per Plasmaverfahren mit einer harten äußeren Verschleißschutzschicht überzogen ist, die auf einer metallischen Haftschrift aufgebracht ist.

[0002] Das Einsatzgebiet der Erfindung erstreckt sich vornehmlich auf die Kraftfahrzeugtechnik, insbesondere auf Kraftstoffeinspritzsysteme. Deren gewöhnlich aus einem hochlegierten Stahl bestehenden Bauteile, wie beispielsweise Ventilsitze von Kraftstoffinjektoren, Gleitlagerstellen bei Hochdruckpumpen und dergleichen sind im Betrieb starken Drücken und Reibbeanspruchungen ausgesetzt, so dass derartig tribologisch hoch beanspruchte Oberflächen der hier interessierenden Bauteile gewöhnlich mit einer harten Verschleißschutzschicht versehen werden, welche insbesondere die Reibwerte in tribologischen Kontakten deutlich senken.

[0003] Solche Verschleißschutzschichten enthalten beispielsweise Chromnitrid, Titanitrid oder DLC (Diamond-like Carbon). Diese Verschleißschutzschichten können neben der Kraftfahrzeugtechnik auch im Zusammenhang mit anderen Bauteilen angewendet werden, beispielsweise in der Werkzeugtechnik und insoweit dann also als Werkzeugbeschichtungen.

Stand der Technik

[0004] Ein allgemein bekanntes Verfahren, um derartige Verschleißschutzschichten auf einer Bauteiloberfläche abzuscheiden, ist das PVD-Verfahren (PVD = Physical Vapor Deposition), welches unter anderem nach dem Prinzip der Vakuumbogenverdampfung arbeiten kann. Zur Erhöhung der Schichtanbindung kommt als Zwischenschicht gewöhnlich eine zusätzliche Haftschrift aus einem Material mit guten Adhäsionseigenschaften - beispielsweise Chrom - zum Einsatz, welche in der Regel direkt auf die Oberfläche des Stahlbauteils, also zwischen diesem und der harten Verschleißschutzschicht angeordnet ist.

[0005] Aus der DE 10 2009 003 192 A1 geht eine Verschleißschutzschichtanordnung hervor, die im PVD-Verfahren, vorzugsweise unter Vakuum, auf die zu schützende Oberfläche eines Bauteils aufgebracht ist. Die Verschleißschutzschichtanordnung weist eine aus tetraedisch gebundenem amorphen Kohlenstoff gebildete oder einen Anteil an tetraedisch gebundenem amorphen Kohlenstoff aufweisende äußere Verschleißschutzschicht sowie eine Haftschrift zwischen der Oberfläche des Bauteils und der Verschleißschutzschicht auf. Die als Zwischenschicht vorgesehene Haftschrift besteht im

Wesentlichen aus Titan und weist außerdem wenigstens ein oxidationsbeständiges Element auf. Hierdurch wird die hohe chemische Reaktivität von Titan vermindert und die Oxidationsbeständigkeit in der Haftschrift erhöht, was der Beständigkeit der gesamten Verschleißschutzanordnung zugutekommt. Auch die Haftschrift wird hier im PVD-Verfahren aufgebracht.

[0006] Besteht ein zu beschichtendes Bauteil aus einem hochlegierten, gehärteten, oberflächenkarburierten oder nitrierten Stahl, werden durch Diffusionsprozesse zusätzliche Materialphasen an der Grenzfläche zwischen Stahl und Haftschrift während der PVD-Beschichtung oder im Bauteilbetrieb gebildet, welche zu einer so genannten Delamination, also einer Schichtenthaftung, führen. Der unerwünschte Diffusionsprozess wird durch einen Konzentrationsunterschied der einzelnen Elemente an der Grenzfläche zwischen dem Stahlmaterial des Bauteils und der Haftschrift ausgelöst. Falls sich Haftschriftmaterial und Diffusionsmaterial zu einer stabilen Phase verbinden können, entsteht eine zusätzliche Zwischenschicht; beispielsweise vereint sich hierin Titan aus der Zwischenschicht mit Kohlenstoff aus dem Stahlmaterial des Bauteils zu Titancarbid. Diese zusätzliche Zwischenschicht wird also nicht gezielt aufgetragen, sondern entsteht durch den Diffusionsprozess der Legierungselemente oder Kohlenstoff bzw. Stickstoff aus Härteprozessen des Stahlmaterials des Bauteils an der Grenzfläche zur Haftschrift. Hieraus resultiert das Problem einer Rissbildung in der zusätzlichen Zwischenschicht, was im Extremfall schließlich zu der vorstehend erwähnten Delamination führen kann.

[0007] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verschleißschutzbeschichtetes Bauteil der gattungsgemäßen Art dahingehend weiter zu verbessern, dass mit einfachen technischen Mitteln eine zuverlässige Schichthaftung der äußeren Verschleißschutzschicht an der Oberfläche selbst eines hochlegierten, gehärteten oder nitrierten Stahlbauteils erzielt wird.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Die Aufgabe wird ausgehend von einem verschleißschutzbeschichteten Bauteil gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 in Verbindung mit dessen kennzeichnenden Merkmalen gelöst. Im Hinblick auf ein Herstellungsverfahren zum Beschichten des Bauteils wird auf Anspruch 6 verwiesen. Der Anspruch 9 gibt als bevorzugte Anwendung ein Kraftstoffeinspritzsystem mit einem erfindungsgemäß verschleißschutzbeschichteten Bauteil an. Die jeweils rückbezogenen abhängigen Ansprüche widmen sich vorteilhaften Weiterbildungen der Erfindung.

[0009] Die Erfindung schließt die technische Lehre ein, dass bei einem verschleißschutzbeschichteten Bauteil aus einer Stahllegierung, dessen tribologisch beanspruchte Oberfläche mit einer harten äußeren Verschleißschutzschicht überzogen ist, die auf einer metallischen Haftschiicht aufgebracht ist. Diese metallische Haftschiicht ist wiederum nicht unmittelbar auf das Bauteil aufgetragen, sondern auf einer Fe-Pufferschicht (Fe = Eisen), welche als weitere Zwischenschicht auf der Oberfläche des Bauteils aufgetragen ist.

[0010] Hierdurch wird die als Diffusionsfront wirkende Oberfläche des Bauteils von der Haftschiicht getrennt und eine Delamination ist daher nicht zu befürchten. Denn die zusätzliche Eisenschicht wirkt als Diffusionspuffer und nimmt die Legierungselemente des Stahlmaterials des Bauteils auf, so dass die Grenzfläche zwischen dem Eisen und der Haftschiicht vor der Bildung zusätzlicher Materialphasen geschützt ist.

[0011] Mit anderen Worten erfolgt erfindungsgemäß eine Anbindung der metallischen Haftschiicht an der zuvor aufgetragenen Fe-Pufferschicht des Bauteils, so dass der Konzentrationsgradient der Diffusion von Legierungselementen aus dem Stahlmaterial am Übergang zwischen demselben und der Fe-Pufferschicht vorhanden ist, und nicht an der Haftschiicht. Dabei ist die Fe-Pufferschicht so dick gewählt, dass die Diffusionsfront über die gesamte Lebensdauer des Bauteils immer in der Fe-Pufferschicht verbleibt. Dies kann sichergestellt werden mit einer Schichtdicke zwischen vorzugsweise 0,01 und 50 µm für die Fe-Pufferschicht, je nach Bauteilmaterial und Anwendungsfall.

[0012] Hierdurch ist vorteilhafter Weise an der Grenzfläche zwischen der Fe-Pufferschicht und der Haftschiicht kein Konzentrationsgradient mehr vorhanden, so dass keine Delamination zu befürchten ist.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform für das Bauteil-Material kommt als hochlegierter, gehärteter oder nitrierter Stahl ein Material in Frage, das ausgewählt ist aus einer Stahlgruppe, umfassend Chrom-Stähle, Chrom-Molybdän-Stähle, Chrom-Vanadium-Stähle, Chrom-Molybdän-Vanadium-Stähle. Beispielsweise kann das verschleißschutzbeschichtete Bauteil aus nitriertem X40CrMoV5-1 bestehen, welches für Komponenten eines Kraftstoffinjektors oder dergleichen verwendet werden kann.

[0014] Um dabei eine hinreichende äußere Schichtstärke zu gewährleisten, besteht die äußere Verschleißschutzschicht vorzugsweise aus einer tetraedischen wasserstofffreien amorphen Kohlenstoffschicht (Ta-C).

[0015] Das vorstehend beschriebene verschleißschutzbeschichtete Bauteil lässt sich vorzugsweise durch ein Beschichtungsverfahren herstellen, welches die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines aus einer Stahllegierung bestehenden Bauteils,
- Auftragen einer Fe-Pufferschicht auf die Oberfläche des Bauteils, vorzugsweise durch Vakuumbogenverdampfen,
- Auftragen einer metallischen Haftschiicht auf die Fe-Pufferschicht, vorzugsweise durch Vakuumbogenverdampfen,
- Auftragen einer harten Verschleißschutzschicht auf die metallische Haftschiicht, vorzugsweise durch reaktives Vakuumbogenverdampfen.

[0016] All die Auftragungsschritte können dabei in derselben Beschichtungsmaschine durchgeführt werden. Vorzugsweise wird wenigstens ein Teil der Schichten mit einem PVD- oder CVD-Verfahren (CVD = Chemical Vapor Deposition) aufgetragen, wofür insbesondere ein gepulstes oder ungepulstes Vakuumbogenverdampfen geeignet ist.

[0017] Die metallische Haftschiicht besteht vorzugsweise aus hochreinem Chrom, Titan, Wolfram und/oder Molybdän. Denkbar ist ebenfalls ein Gemisch aus Titan-Aluminium oder dergleichen. Die Haftschiicht erhöht die Beständigkeit der harten Verschleißschutzschicht und kann ebenfalls per Plasmbeschichtung automatisiert in einer Vakuumbeschichtungsmaschine aufgebracht werden, welche zu diesem Zweck das Haftschiichteil abseidet. Die Haftschiicht kann auch mehrlagig aufgebracht werden.

Figurenliste

[0018] Weitere die Erfindung verbessernde Maßnahmen werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigt:

Fig. 1 einen schematischen Längsschnitt durch ein verschleißschutzbeschichtetes Bauteil gemäß der Erfindung, und

Fig. 2 einen Ablaufplan der Verfahrensschritte zum Beschichten des Bauteils nach **Fig. 1**.

[0019] Gemäß **Fig. 1** besteht ein - hier nur schematisch dargestelltes - Bauteil **1** aus einem gehärteten, hochlegierten Chrom-Molybdän-Stahl. Aus dem Härteprozess resultiert Kohlenstoff im Materialgefüge. Das Bauteil **1** ist mit einer harten äußeren Verschleißschutzschicht **2** versehen, die als eine allgemein bekannte tetraedische wasserstofffreie amor-

phosphor Kohlenstoffschicht ausgebildet ist und insoweit einen Schutz für die tribologisch beanspruchte Oberfläche des Bauteils **1** bildet.

[0020] Die harte äußere Verschleißschutzschicht **2** ist auf einer metallischen Haftschiicht **3** aus hochreinem Chrom aufgebracht. Diese metallische Haftschiicht **3** ist wiederum auf einer Fe-Pufferschiicht **4** aufgebracht, die auf der Oberfläche des Bauteils **1** aufgetragen ist. Durch die Fe-Pufferschiicht **4** wird die als Diffusionsfront wirkende Oberfläche des Bauteils **1** von der Haftschiicht **3** getrennt, um eine Delamination zu verhindern. Konkret kann sich hier das Kohlenstoff aus der Stahlliegierung des Bauteils **1** nicht mit dem Chrom aus der Haftschiicht **3** zu Chromcarbid verbinden, woraus eine zusätzliche Materialphase resultiert, welche zur Delamination infolge Rissbildung führen würde. Stattdessen findet der Diffusionsprozess gänzlich in der Fe-Pufferschiicht **4** statt, so dass Legierungselemente des Bauteils **1** nicht bis zur Haftschiicht **3** vordringen können.

[0021] Gemäß **Fig. 2** erfolgt die Beschichtung eines Bauteils **1** mit dem erfindungsgemäß widerständigen Verschleißschutz, indem in einem Schritt A zunächst ein aus einer Stahlliegierung bestehendes Bauteil **1** bereitgestellt wird. Anschließend wird in einem Schritt B eine Fe-Pufferschiicht **4** per Plasmaverfahren auf die Oberfläche des Bauteils **1** abgeschieden. Nachfolgend wird in einem Schritt C eine metallische Haftschiicht **3** auf die Fe-Pufferschiicht **4** per Plasmaverfahren aufgetragen. Schließlich wird in einem Schritt D die äußere harte Verschleißschutzschicht **2** auf die metallische Haftschiicht **3** per Plasmaverfahren aufgetragen.

[0022] Das Auftragen der Fe-Pufferschiicht **4**, der metallischen Haftschiicht **3** sowie der harten Verschleißschutzschicht **2** erfolgt bei diesem Ausführungsbeispiel durch Abscheidung mittels PVD-Verfahren als Plasmaverfahren, konkret per Vakuumbogenverdampfen, in derselben PVD-Maschine, nachdem das Bauteil **1** in einem gereinigten Zustand bereitgestellt worden ist.

[0023] Die Erfindung ist nicht beschränkt auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel. Es sind vielmehr auch Abwandlungen hiervon denkbar, welche vom Schutzbereich der nachfolgenden Ansprüche mit umfasst sind. So ist es beispielsweise auch möglich, anstelle eines Vakuumbogenverdampfers auch ein anderes Plasmabeschichtungsverfahren zum Auftragen des Schichtaufbaus auf die Oberfläche des Bauteils zu verwenden. Dieses kann auch aus einem anderen hochlegierten Stahl der vorstehend angegebenen Stahlgruppen bestehen, welcher gehärtet, karburiert oder nitriert ist, um eine hohe Bauteilfestigkeit für eine vorzugsweise im Rahmen eines Kraftstoffeinspritzsystems auftretende tribologische Belastung zu erzielen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102009003192 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Verschleißschutzbeschichtetes Bauteil (1) aus einer Stahllegierung, insbesondere ein Bauteil eines Kraftstoffeinspritzsystems, dessen tribologisch beanspruchte Oberfläche zumindest teilweise per Plasmaprozedur mit einer harten äußeren Verschleißschutzschicht (2) überzogen ist, die auf einer metallischen Haftschiicht (3) aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die metallische Haftschiicht (3) auf einer Fe-Pufferschiicht (4) aufgebracht ist, die auf der Oberfläche des Bauteils (1) aufgetragen ist, um die als Diffusionsfront wirkende Oberfläche des Bauteils (1) von der Haftschiicht (3) zu trennen.

2. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fe-Pufferschiicht (4) mit einer Schichtdicke zwischen 0,01 und 50 Mikrometern aufgetragen ist.

3. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die metallische Haftschiicht (3) aus hochreinem Chrom, Titan, Molybdän und/oder Wolfram besteht.

4. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteils (1) als legierter, hochlegierter, gehärteter, karburierter oder nitrierter Stahl ausgeführt ist, ausgewählt aus einer Stahlgruppe, umfassend: Chrom-Stähle, Chrom-Molybdän-Stähle, Chrom-Vanadium-Stähle, Chrom-Molybdän-Vanadium-Stähle.

5. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die äußere Verschleißschutzschicht (2) als eine tetraedrische wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschicht (ta-C) oder als eine Schicht aus Chromnitrid, Titanitrid oder Aluminiumtitannitrid ausgebildet ist.

6. Verfahren zum Beschichten eines Bauteils (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen (A) eines aus einer Stahllegierung bestehenden Bauteils (1),
- Auftragen (B) einer Fe-Pufferschiicht (4) auf die Oberfläche des Bauteils (1),
- Auftragen (C) einer metallischen Haftschiicht (3) auf die Fe-Pufferschiicht (4),
- Auftragen (D) einer harten Verschleißschutzschicht (2) auf die metallische Haftschiicht (3).

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fe-Pufferschiicht (4), die metallische Haftschiicht (3) und/oder die harte Verschleißschutzschicht (2) mit einem PVD- oder CVD-Verfahren aufgetragen werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Auftragen per Vakuumbogenverdampfen durchgeführt wird.

9. Kraftstoffeinspritzsystem eines Kraftfahrzeuges mit mindestens einem tribologisch belasteten, verschleißschutzbeschichtetem Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

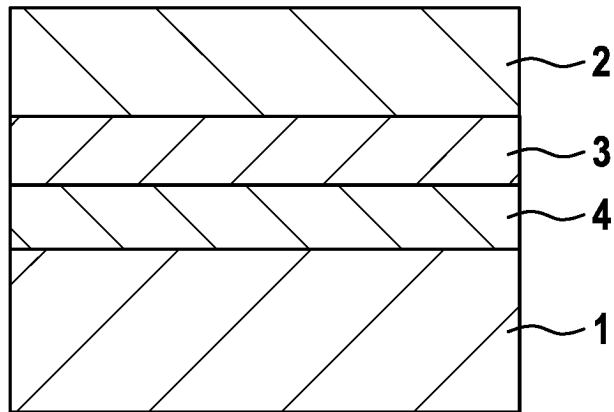


Fig. 2

