

(19)



(11)

EP 3 068 928 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.11.2018 Patentblatt 2018/45

(51) Int Cl.:
C25D 11/02 ^(2006.01) **C25D 11/08** ^(2006.01)
C25D 11/16 ^(2006.01) **C25D 11/18** ^(2006.01)
C25D 9/06 ^(2006.01) **F02F 1/20** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14821488.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2014/000574

(22) Anmeldetag: **11.11.2014**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/070833 (21.05.2015 Gazette 2015/20)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER BESCHICHTETEN OBERFLÄCHE EINES TRIBOLOGISCHEN SYSTEMS**

METHOD FOR PRODUCING A COATED SURFACE OF A TRIBOLOGICAL SYSTEM
 PROCÉDÉ PERMETTANT DE PRODUIRE UNE SURFACE D'UN SYSTÈME TRIBOLOGIQUE,
 MUNIE D'UN REVÊTEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **ROSENKRANZ, Christian**
40589 Düsseldorf (DE)
- **FLORES, Gerhard**
73760 Ostfildern (DE)
- **WIENS, Andreas**
70178 Stuttgart (DE)
- **WAGNER, Andreas**
73734 Esslingen (DE)

(30) Priorität: **12.11.2013 DE 102013223011**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.09.2016 Patentblatt 2016/38

(74) Vertreter: **dompatent von Kreisler Selting Werner-Partnerschaft von Patent- und Rechtsanwälten mbB**
Deichmannhaus am Dom
Bahnhofsvorplatz 1
50667 Köln (DE)

(73) Patentinhaber:
 • **Ford-Werke GmbH**
50735 Köln (DE)
 • **Henkel AG & Co. KGaA**
40589 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
 • **MORAWITZ, Urban**
50765 Köln (DE)
 • **VERPOORT, Clemens**
40789 Monheim am Rhein (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
CA-A1- 2 556 869 DE-A1- 19 506 656
US-A1- 2013 015 072 US-B2- 7 578 921

EP 3 068 928 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer beschichteten Oberfläche einer reibungs- und verschleißoptimierten Zylinderlaufbahn und entstand vor dem Hintergrund der zunehmenden Forderungen nach einer Verringerung der CO₂-Emissionen bei Verbrennungsmotoren von Kraftfahrzeugen.

[0002] Durch die Verringerung der Reibung des tribologischen Systems "Zylinderbohrung und Kolbenringe" sinken der Kraftstoffverbrauch und damit auch die Abgasemissionen der Brennkraftmaschine.

[0003] Um eine verringerte Reibung zu erreichen, wurde zum Beispiel eine Nickel-Siliziumkarbid-Dispersionsschicht (NiSiC) galvanisch in der Zylinderbohrung abgeschieden. Dieser Komposit-Werkstoff ist durch seine Härte sehr reibungsarm und verschleißfest. Da der galvanische Prozess sehr hohe Beschichtungszeiten erfordert, kann dieses Verfahren nur in der Kleinserie bei Sportwagen- und Rennsportmotoren eingesetzt werden.

[0004] Ebenso werden thermische Beschichtungsverfahren eingesetzt (siehe zum Beispiel die DE 10 2007 023 297 A1 oder die US 5,691,004) bei denen der Beschichtungswerkstoff als legierter Draht oder als heterogenes Pulver geschmolzen wird und einzelne Schmetzpartikel mit hoher Geschwindigkeit auf die Zylinderwandung geschleudert werden und somit eine thermische Spritzschicht aufbauen. Diese Schichten sind sehr aufwändig in der Herstellung und verursachen eine hohe thermische Belastung des Zylinderblocks. Dadurch kann sich der Zylinderblock verziehen, was unerwünscht ist. Insbesondere bei gewichtsoptimierten und daher dünnwandigen Zylindern tritt dieser Effekt auf.

[0005] Darüber hinaus haben alle thermischen Verfahren den Nachteil, dass die Weiterbearbeitung aufgrund der hohen Blocktemperaturen nach dem Beschichten durch Abkühlphasen verzögert wird und aufgrund der Gefügestruktur und der Härte der aufgetragenen Beschichtung ein wirtschaftliches Ausspindeln der beschichteten Bohrungen durch subtopographische Schichtschädigungen und starkem Werkzeugverschleiß nicht möglich ist

[0006] Die DE 195 06 656 A1 offenbart ein Verfahren zur Keramisierung von Leichtmetalloberflächen unter Nutzung der Funkenentladung von Elektrolyten, insbesondere zur Erzeugung von Beschichtungen von Zylinderlaufbahnen von Brennkraftmaschinen, Weiter offenbart DE 195 06 656 A1, dass die Beschichtung mit einem plasmachemischen Verfahren aufgebracht werden könne. Dabei wird auf Elektrolytzusammensetzungen der DD 142 360 Bezug genommen. Weiter geht die DE 195 06 656 A1 nicht auf die plasmachemische Beschichtung ein, Die in Bezug genommene DD 142 360 betrifft ein Verfahren zur Erzeugung alpha-Al₂O₃ haltiger Schichten auf Aluminiummetallen und weist insofern lediglich auf eine Plasma-Elektrolytische Oxidation PEO hin.

[0007] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht darin, ein wirtschaftliches und für die Großseri-

enfertigung geeignetes Verfahren von Werkstücken aus Aluminium bereitzustellen, das zu einer verschleißfesten Oberfläche führt; bei gleichzeitig guter Ölhaltbarkeit.

[0008] Außerdem soll ein guter Wärmeübergang gewährleistet sein.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren umfassend mindestens zwei Prozessschritte gemäß Anspruch 1, das im Falle eines Aluminium-Zylinderblocks zu einer verschleißfesten und reibungsoptimierten Topographie der Zylinderbohrung führt. Bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen wiedergegeben.

Ausgangspunkt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine relativ grob bearbeitete Zylinderbohrung, welche als monolithischer Aluminium-Block oder welche als eingesetzte nasse oder trockene Buchse vorliegt. Die zu bearbeitende Oberfläche besteht in jedem Fall aus einer Aluminiumlegierung, üblicherweise aus untereutektischem Aluminium.

[0010] Durch den ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens (die Vorbearbeitung) wird die Oberfläche durch Honen oder Feinbohren in die gewünschte Form gebracht und bis fast auf das Endmaß bearbeitet. Das (noch) unbehandelte Aluminium lässt sich spanend sehr gut und wirtschaftlich bearbeiten. Es ist möglich, durch die Vorbearbeitung eine zylindrische Form herzustellen. Ein hierfür geeignetes Verfahren ist das Feinbohren. Durch die anschließende erfindungsgemäße Beschichtung wird diese Sollform nur unwesentlich verändert.

[0011] Da die elektrolytisch aufgetragene Schicht sehr dünn ist, ist eine Maßkorrektur quasi nicht möglich. Daher muss mit der Vorbearbeitung schon fast das Endmaß erreicht werden.

[0012] Durch die Vorbearbeitung wird aber nicht nur die gewünschte Sollform hergestellt, sondern auch die Oberfläche für die nachfolgende Beschichtung vorbereitet.

[0013] Insbesondere haben die im ersten Prozessschritt erreichten Rauigkeiten Einfluss auf die Endqualität nach dem Beschichten.

[0014] Rauigkeiten, welche im Bereich zwischen 1-4 µm Rz liegen, haben sich als geeignet erwiesen. Demzufolge wurden beim Honen Diamantkörnungen von 010 bis 046 verwendet.

[0015] Vor dem Herstellen der Beschichtung wird die Oberfläche in der Regel noch entfettet.

[0016] Die nachfolgend durch Elektrolyse, also durch PED aufgetragene Beschichtung bildet die vorbereitete (Soll-)Form äquidistant ab, so dass die durch den ersten Prozessschritt geschaffene Form weitestgehend erhalten bleibt.

[0017] In dem zweiten Prozessschritt wird eine verschleißfeste Beschichtung durch Elektrolyse, also durch PED aufgebracht bzw. erzeugt. Dabei entsteht kein Verzug am Werkstück und die Sollform der Oberfläche wird nicht verändert.

[0018] Diese Schicht hat eine große Härte und ist da-

her sehr verschleißfest. Durch die Wahl der Prozessparameter bei der Elektrolyse kann die Porosität der Schicht gezielt eingestellt werden. Die Porosität verbessert die Ölhaltefähigkeit, reduziert den Gleitreibungsverschleiß und unterstützt die hydrodynamische Schmierung,

[0019] Die große Härte reduziert die Gleitreibung im Mischreibungsbereich bei niedrigeren Motordrehzahlen und erhöht die Lebensdauer.

[0020] Außerdem ist der Wärmeübergang zwischen Beschichtung und dem Substrat aus Aluminium (Zylinderblock oder -büchse) sehr gut

[0021] Ein erfindungsgemäßes, elektrolytisches Verfahren ist die sogenannte "Plasma Elektrolytic Deposition", die im wässrigen Elektrolyt durchgeführt wird und sowohl eine Randzonenveränderung nach innen als auch einen Schichtaufbau nach außen bewirkt.

[0022] Ein weiterer Vorteil der PED besteht darin, dass neben den genannten Schichten aus Aluminiumoxid auch andere Metalloxid-Schichten erzeugt werden können, so dass erfindungsgemäß Titanoxid-Schichten (TiO_2) erzeugt werden können. Ein geeignetes Verfahren ist aus der US 7,576,921,B2 bekannt.

[0023] Für das erfindungsgemäße Verfahren sind solche verschleißfesten Beschichtungen bevorzugt, die mittels PED aus einen sauren wässrigen Elektrolyten enthaltend wasserlösliche Verbindungen des Elements Titan, ausgewählt aus Fluorokomplexen, erhältlich sind, wenn das Werkstück überwiegend als Anode geschaltet wird. Das Werkstück ist dann überwiegend als Anode geschaltet, wenn es über alle Zeitintervalle, während derer das PED Verfahren oberhalb der tatsächlichen Zersetzungsspannung des Elektrolyten betrieben wird, eine überwiegend anodische Ladungsmenge aufgenommen hat. Derartig erzeugte Beschichtungen bestehen im Wesentlichen aus Oxiden/Hydroxiden des Elements Titans und haben sich als besonders verschleißfest erwiesen.

[0024] Die auf diese Weise erzeugten Beschichtungen weisen eine veränderte Randzone nach innen mit einer Invasionstiefe von z. B. 3 μm auf und einen Schichtaufbau nach außen von z. B. 9 μm , sodass sich in diesem Fall eine Schichtdicke von 12 μm ergibt. Die typischerweise verwendeten Schichtdicken liegen deutlich unterhalb von 70 μm , ihre Härte beträgt bis zu 1500 HV. Härte und Topographie der Beschichtung lassen sich über die elektrischen Prozessparameter der Elektrolyse einstellen.

Der Beschichtungsprozess erfolgt im elektrolytischen Bad. Das Werkstück wird dabei weitgehend maskiert, so dass nur die zu beschichtende Bohrung in Kontakt zum Elektrolyt steht und so eine selektive Beschichtung der Bohrung möglich ist

Die Maskierung erfolgt beispielsweise mit Hilfe eines Deckels, der - mit O-Ringen abgedichtet - die Bohrung zum Kurbelraum hin verschließt.

Die Elektrode ist bevorzugt als Zylinder ausgebildet, der in etwa die Länge der zu bearbeitenden Zylinderbohrung hat und so bemessen ist, dass zwischen Elektrode und Zylinderbohrung ein radialer Spalt von etwa 20-30 mm

Dicke entsteht. Durch diesen Spalt strömt der Elektrolyt mit einem Volumenstrom von z.B. 20 L/min bei einer Zylinderbohrung für einen PKW-Motor, wird an den Deckel umgelenkt und strömt wieder in Richtung der Dichtfläche für den Zylinderkopf.

Die Elektrode ist kathodisch gepolt, das Werkstück anodisch. Zwischen Elektrode und Kathode liegt ein gepulster Gleichstrom mit einer Spannung von 400-500 Volt an. Die Elektrolyse kann auch mit ungepulstem Gleichstrom mit oder ohne überlagertem Wechselstromanteil erfolgen.

Es haben sich Stromdichten von ca. 10-30 A / dm^2 bewährt. Die Beschichtungszeit beträgt ca. 2-10 min; die Beschichtung kann gleichzeitig an allen Zylindern eines Blockes mit Hilfe mehrerer Elektroden durchgeführt werden.

Die Schichtstärke, die entstehende Schichtrauheit und die Porengröße sind abhängig vom der angelegten elektrischen Strom, der Spannung, dem verwendeten Pulsprogramm sowie von der Beschichtungszeit,

[0025] Die Beschichtung hat in der Regel eine Rauigkeit von 2-3 μm Rz und einem Rpk-Wert von z. B. 1,0 - 2,0 μm bei einer Porengröße von 2-3 μm .

[0026] Unabhängig von der gesamten Schichtstärke lässt sich allgemein sagen, dass die Tiefe der Randzonenveränderung in das Material des Werkstücks hinein ca. 1/3 von der nach außen aufwachsenden Schicht beträgt. Bei einer gesamten Schichtstärke von 20 μm beträgt die Randzonenveränderung nach innen z. B. ca. 5 μm und ca. 15 μm Schichtaufbau nach außen in die Bohrung hinein.

[0027] Die angegebene Rauigkeit der Schicht besteht aus einer Welligkeit, welche durch die Poren und das Gefüge der Schicht bedingt ist. In einem optionalen weiteren Schritt wird die Beschichtung daher bei Bedarf durch einen Glättvorgang endbearbeitet, um die Welligkeiten, die beim Beschichten entstanden sind, einzuebennen. Wenn die Welligkeit gering ist, kann der Glättvorgang entfallen.

[0028] Die Glättbearbeitung kann durch Honen oder Bürsten erfolgen. Um die Welligkeit der Schicht einzuebennen, kann man mit konventionellen Honwerkzeugen arbeiten. Es empfiehlt sich jedoch, um den Abtrag zu minimieren und die (Frei-)Form der Oberfläche nur minimal zu verändern, mit speziellen Glätthonwerkzeugen zu arbeiten. Deren pendelnd aufgehängten (Hon-)Leistensegmente sind relativ kurz, bezogen auf die Länge der Zylinderbohrung, aber länger als die kurzwelligen Anteile des Beschichtungsprofils und erzeugen dadurch die gewünschte Glättung, ohne die Geometrie der Zylinderbohrung signifikant zu verändern bei gleichzeitig minimalen Materialabtrag.

[0029] Mit zunehmender Länge der einzelnen Leistensegmente erfolgt eine stärkere Begradigung der Mantellinie.

[0030] Alternativ ist es auch möglich, mit Honbürsten zu arbeiten, welche sich aufgrund der Flexibilität ebenfalls der Welligkeit anpassen. Das sind Bürsten, deren

einzelne Borsten zum Beispiel aus Polyamid bestehen, in die abrasive Hartstoffe, wie Siliziumkarbid, Korund oder Diamantkorn, eingelagert sind.

[0031] Ebenso können so genannte Flex-Hone-Bürsten verwendet werden, welche am Borstenende zum Beispiel mit keramisch gebundenen schneidstoffhaltigen Knollen ausgerüstet sind.

[0032] Wichtig bei allen Varianten der Glättung ist, dass mit geringstmöglichem Materialabtrag die Welligkeit der Oberfläche reduziert wird und somit eine Zylinderlaufbahn mit möglichst hoher Geradheit der Mantellinie erreicht wird. Es wird diametral eine Glätthonzugabe von weniger als 10 µm abgetragen.

[0033] Beim Glätthonen wird die Porosität der Schicht und mit ihr die Ölhaltefähigkeit weitestgehend erhalten.

[0034] Insgesamt ist die fertiggehonte geglättete Schichttopographie überlagert von der Rauigkeit vor dem Beschichten und von den schichtcharakteristischen Poren.

[0035] Das Rauheitsprofil verändert sich dabei, ausgehend von den oben genannten Werten nach dem Beschichten auf Rz-Werte von 2,0-2,5 µm nach dem Glätten. Ein geeigneter Rpk-Wert liegt bei 0,13 µm.

[0036] Als Schneidstoffe haben sich metallisch gebundene Diamantkörnungen und keramisch gebundene Korund- oder SiC-Körnungen bewährt.

[0037] Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in einer fertigungstechnisch gut beherrschbaren Weise eine Schicht herstellen lässt, die wegen ihrer Porenstruktur und der hohen Werkstoffhärte tribologisch besonders geeignet ist.

[0038] Die Wärmeabfuhr vom Verbrennungsraum über die Schicht ist besonders effektiv, da die Schicht quasi-galvanisch aufgetragen wurde und damit eine bestmögliche Substratanbindung erfolgt.

[0039] Außerdem beeinflusst die erfindungsgemäße Schicht die Geometrie der Zylinderbohrung nicht oder nur unwesentlich, so dass die Sollform schon vor dem Beschichten fertiggestellt werden kann. Dabei müssen natürlich der durch die Beschichtung entstehende Auftrag und der beim optionalen Glätten anfallende Materialabtrag berücksichtigt werden.

[0040] Insgesamt lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren in einer kompakten Fertigungskette realisieren, welche wirtschaftlich und technologisch hocheffizient ist.

[0041] Es zeigen:

Figur 1 die Bohrungsmantellinie nach der Vorbehandlung durch Feinbohren oder Honen;

Figur 2 die Bohrungsmantellinie mit aufgetragener Schicht,

Figur 2.1 die Welligkeit der Schicht;

Figur 2.2 eine stark vergrößerte Wiedergabe der

Oberfläche der Schicht vor dem Glätten;

Figur 3 die Bohrungsmantellinie mit aufgetragener Schicht nach dem Glätten;

Figur 3.1 die Welligkeit der Schicht nach dem Glätten

Figur 3.2 eine stark vergrößerte Wiedergabe der Oberfläche der Schicht nach dem Glätten und

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Honwerkzeugs zum Glätten.

[0042] In Figur 1 ist die Mantellinie 2 einer durch Honen vorbereiteten (Zylinder-)Bohrung dargestellt. In diesem Zustand ist das Substrat für die nachfolgende Beschichtung aktiviert und hat die gewünschte Sollform.

[0043] In Figur 2 ist die Oberfläche nach der Behandlung durch PED dargestellt. Anhand dieser Figur wird deutlich, dass eine Dicke der Beschichtung 9 zu etwa einem Drittel (Bezugszeichen 4) eine Veränderung der Randzone des Substrats darstellt und zu etwa zwei Dritteln (Bezugszeichen 3) einen Schichtaufbau nach außen hin bewirkt.

[0044] Es ist zu beachten, dass das Vorbearbeitungsmaß der Bohrung (siehe die Mantellinie 2) so ausgelegt ist, dass die Mantellinie 5 der Beschichtung 9 im Toleranzband der fertig bearbeiteten Bohrung liegt.

[0045] In der Figur 2.1 ist die Welligkeit der Mantellinie 5 gemäß Figur 2 dargestellt. In vielen Anwendungen ist die Welligkeit zu groß, so dass sich ein Glättvorgang zur Verringerung der Welligkeit anschließen muss.

[0046] In der Figur 2.2. ist eine REM-Aufnahme der Oberfläche nach dem Beschichten dargestellt. Dabei fallen die Poren 8 der Beschichtung auf.

[0047] Figur 3 zeigt die geglättete Mantellinie 6, welche zum Beispiel durch Honen mit dem in Figur 4 gezeigten Werkzeug erreicht wurde. Dabei wurde die Mantellinie so geglättet, dass eine geradlinige Mantellinie 6 unter Beibehaltung der Poren 8 entsteht. Nach dem Glätten liegt die geglättete Mantellinie 6 auch im Toleranzband der fertig bearbeiteten Bohrung.

[0048] Die Oberfläche der geglätteten Mantellinie ist auch in Figur 3.1 im Tastschnitt sowie in der REM-Aufnahme Figur 3.2 dargestellt.

[0049] Figur 4 zeigt das Prinzip des Glätthonens mit einem federnd gelagerten Honstein 7 zu Beginn des Glätthonens. Über die Radialkraft FR erfolgt die radiale Beaufschlagung der Beschichtung. Durch die Federn hat der Honstein 7 die Möglichkeit, die kurzen Welligkeiten der Beschichtung zu verringern, ohne die Sollform der Zylinderbohrung zu verändern. Beim Glätten bleiben die Porenstrukturen weitgehend erhalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer verschleißfesten

Oberfläche eines Werkstücks (1) aus Aluminium oder einer Aluminium-Legierung umfassend die Schritte: Vorbearbeiten und Aktivieren der Oberfläche durch Honen oder Feinbohren und Aufbringen einer verschleißfesten Beschichtung (9) durch Elektrolyse, indem die verschleißfeste Beschichtung (9) durch Plasma Electrolytic Deposition (PED) aus einem sauren wässrigen Elektrolyten enthaltend wasserlösliche Fluorokomplexe des Elements Titan erzeugt wird, wobei das Werkstück (1) als Anode geschaltet ist und die verschleißfeste Beschichtung (9) eine Titanoxid-Beschichtung ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anschluss an das Aufbringen der verschleißfesten Beschichtung (9) die Oberfläche unter Beibehaltung der Porosität der Beschichtung (9) geglättet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche der Beschichtung (9) durch Honen, insbesondere Glätthonen, oder Bürsten geglättet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Glätten weniger als 5 μm , und bezogen auf den Durchmesser einer Zylinderbohrung (1) weniger als 10 μm , abgetragen werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche zwischen dem Aktivieren und dem Aufbringen der Beschichtung (9) bevorzugt alkalisch entfettet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Vorbereitung eine zylindrische Oberfläche erzeugt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Beschichtung eines Werkstücks (1) aus einer untereutektischen Aluminium-Legierung eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Herstellung der Zylinderbohrung (1) einer Brennkraftmaschine eingesetzt wird.

Claims

1. A method for producing a wear-resistant surface of a workpiece (1) that is made of aluminum or an aluminum alloy, comprising the steps of: premachining and activating the surface by honing or precision boring and applying a wear-resistant

coating (9) by means of electrolysis by producing the wear-resistant coating (9) by means of plasma electrolytic deposition (PED) from an acidic aqueous electrolyte containing watersoluble fluoro complexes of the element titanium, wherein said workpiece (1) is connected as an anode, and said wear-resistant coating (9) is a titanium oxide coating.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** after the wear-resistant coating (9) has been applied, the surface is smoothed while the porosity of the coating (9) is retained.
3. The method according to claim 2, **characterized in that** the surface of the coating (9) is smoothed by honing, especially smooth-honing, or brushing.
4. The method according to claim 2 or 3, **characterized in that** during the smoothing less than 5 μm , and less than 10 μm as based on the diameter of a cylinder bore (1), is removed.
5. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the surface is degreased, preferably by alkaline degreasing, between the activating and the applying of said coating (9).
6. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a cylindrical surface is produced during the premachining step.
7. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** it is employed for coating a workpiece (1) made of a hypoeutectic aluminum alloy.
8. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** it is employed for producing the cylinder bore (1) of an internal combustion engine.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une surface anti-usure d'une pièce (1) composée d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium, comprenant les étapes suivantes : pré-usinage et activation de la surface par rodage ou alésage de finition et application d'un revêtement anti-usure (9) par électrolyse, en ce que le revêtement anti-usure (9) est produit par dépôt électrolytique assisté par plasma (PED) à partir d'un complexe fluoré de l'élément titane soluble dans l'eau et contenant des électrolytes aqueux acides, la pièce (1) étant montée en anode, et le revêtement anti-usure (9) étant un revêtement d'oxyde de titane.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce**

que, après l'application du revêtement anti-usure (9), on lisse la surface en conservant la porosité du revêtement (9).

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la surface du revêtement (9) est lissée par rodage, en particulier par rodage de précision, ou par brossage. 5
4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que**, lors du lissage, on enlève moins de 5 μm et, rapporté au diamètre d'un alésage de cylindre (1), moins de 10 μm . 10
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la surface est dégraissée, de préférence par voie alcaline, entre l'activation et l'application du revêtement (9). 15
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une surface cylindrique est produite lors du pré-usinage. 20
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**on l'utilise pour revêtir une pièce (1) composée d'un alliage d'aluminium hypoeutectique. 25
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**on l'utilise pour fabriquer un alésage de cylindre (1) d'un moteur à combustion interne. 30

35

40

45

50

55

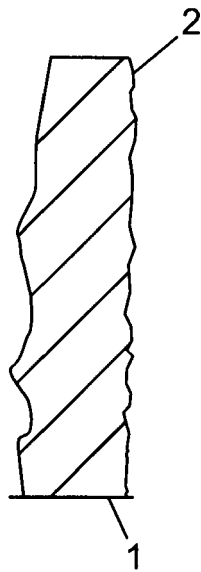


Fig. 1

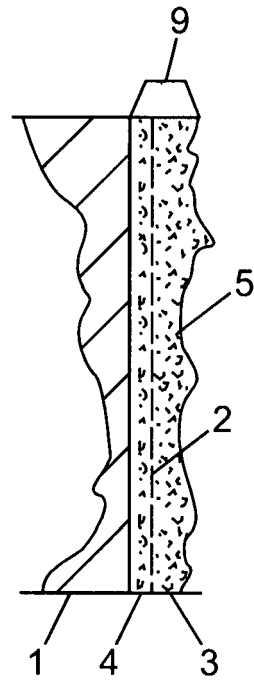


Fig. 2

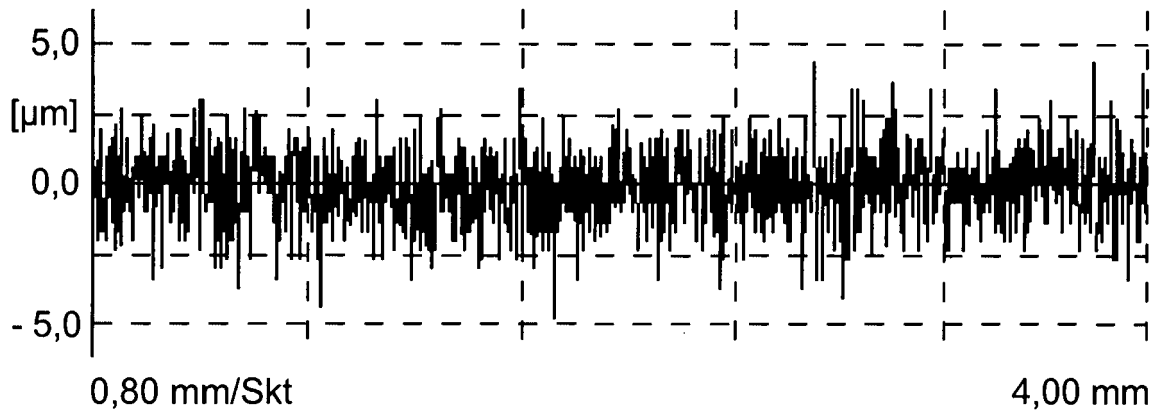


Fig. 2.1

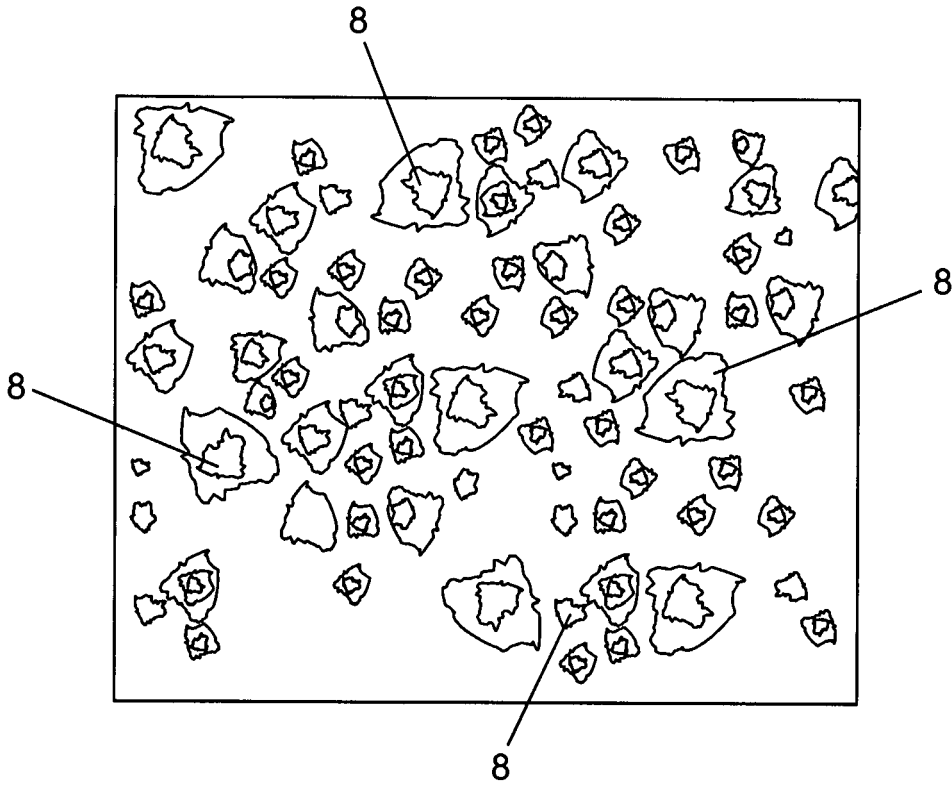


Fig. 2.2

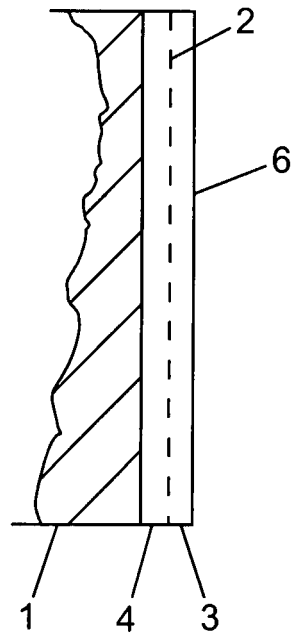


Fig. 3

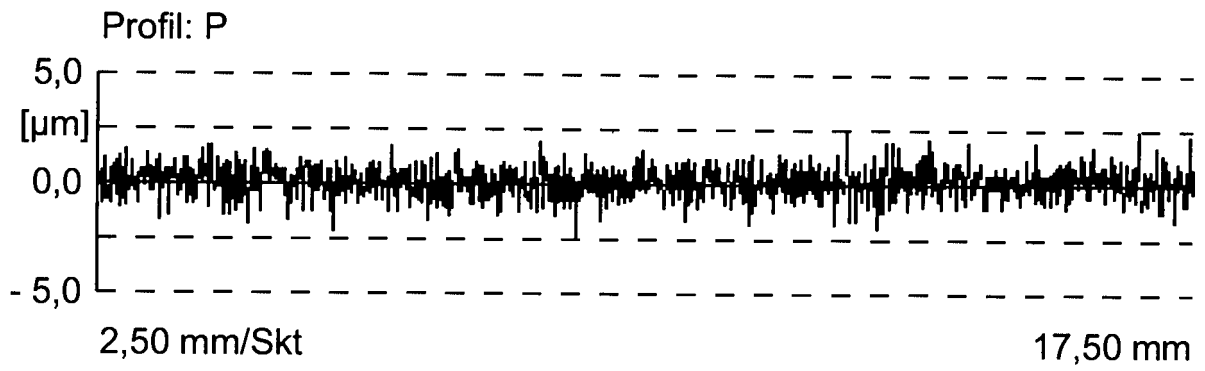


Fig. 3.1

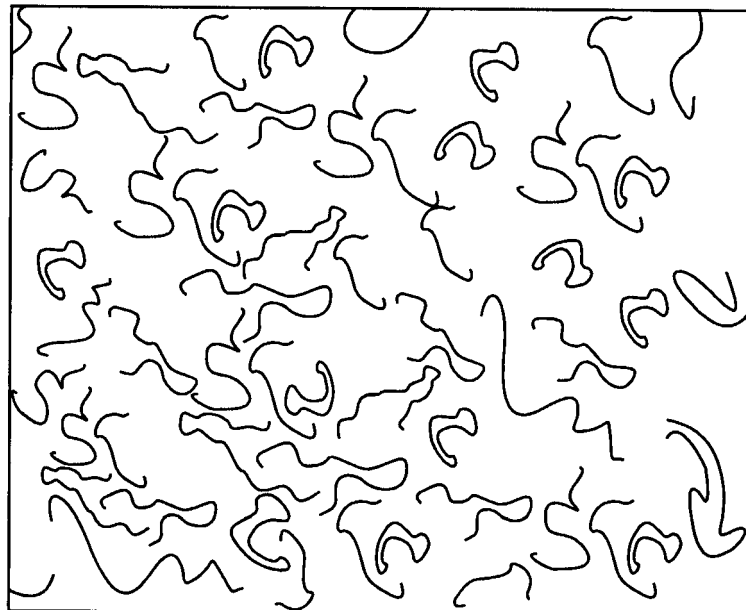


Fig. 3.2

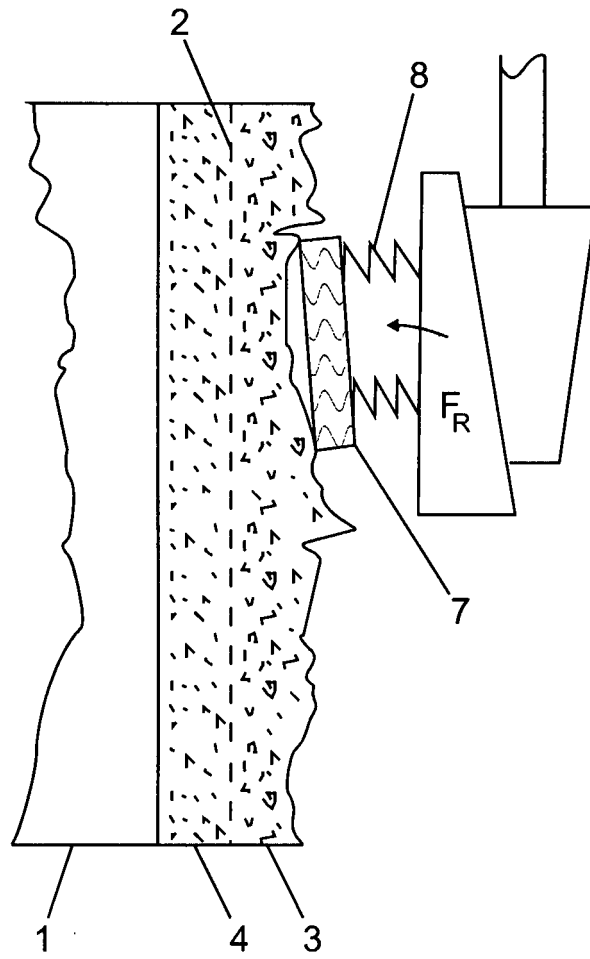


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007023297 A1 [0004]
- US 5691004 A [0004]
- DE 19506656 A1 [0006]
- DD 142360 [0006]
- US 7576921 B2 [0022]