

(19)



(11)

EP 3 575 435 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

26.02.2025 Patentblatt 2025/09

(21) Anmeldenummer: **19176247.5**

(22) Anmeldetag: **23.05.2019**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

C23C 4/02 (2006.01) **B05B 7/22** (2006.01)
C23C 4/06 (2016.01) **C23C 4/10** (2016.01)
C23C 4/134 (2016.01) **C23C 4/08** (2016.01)
C23C 4/14 (2016.01) **B05B 13/06** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

C23C 4/02; C23C 4/06; C23C 4/08; C23C 4/10;
C23C 4/134; C23C 4/14; B05B 7/226;
B05B 13/0636

(54) **PLASMASPRITZVERFAHREN ZUR BESCHICHTUNG EINER ZYLINDERLAUFBAHN EINES ZYLINDERKURBELGEHÄUSES EINER HUBKOLBENBRENNKRAFTMASCHINE**

PLASMA SPRAY METHOD FOR COATING A CYLINDER A CYLINDER LINER OF A CYLINDER CRANKCASE OF A RECIPROCATING PISTON COMBUSTION ENGINE

PROCÉDÉ DE PROJECTION AU PLASMA DESTINÉ AU REVÊTEMENT D'UNE VOIE DECYLINDRE D'UN BLOC MOTEUR D'UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE À PISTONS

(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

(30) Priorität: **29.05.2018 DE 102018208435**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

04.12.2019 Patentblatt 2019/49

(73) Patentinhaber: **Volkswagen AG**

38440 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder: **Klimek, Klaus**

37120 Bovenden (DE)

(74) Vertreter: **Schneider, Peter Christian**

Fiedler, Ostermann & Schneider

Patentanwälte

Obere Karspüle 41

37073 Göttingen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A1-2017/202852 DE-A1- 102008 053 642
US-A- 5 080 056 US-B2- 9 885 311

- **K. BOBZIN ET AL: "Coating Bores of Light Metal Engine Blocks with a Nanocomposite Material using the Plasma Transferred Wire Arc Thermal Spray Process", JOURNAL OF THERMAL SPRAY TECHNOLOGY, vol. 17, no. 3, 3 July 2008 (2008-07-03), US, pages 344 - 351, XP055258217, ISSN: 1059-9630, DOI: 10.1007/s11666-008-9188-y**

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).

EP 3 575 435 B1

BeschreibungGebiet der Erfindung

- 5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Plasmaspritzverfahren zur Beschichtung einer Zylinderlaufbahn eines Zylinderkurbelgehäuses einer Hubkolbenbrennkraftmaschine.

Stand der Technik

- 10 **[0002]** Aus WO 2017/202852 A1 sind ein Beschichtungsverfahren zur Beschichtung einer gekrümmten Oberfläche, eine thermische Beschichtung sowie ein Zylinder mit einer thermischen Beschichtung bekannt. Dabei wird insbesondere Bezug genommen auf die Verwendung von pulverförmigem Beschichtungsmaterial unter Verwendung einer thermischen Spritzgerätes, insbesondere ein Plasmaspritzgerät oder HVOF Spritzgerät mit einem Brenner, der an einem Brennerschaft um eine Schaftachse mit einer vorgegebenen Rotationsfrequenz rotiert, wobei der Beschichtungsstrahl zum
- 15 Aufbringen einer Beschichtung auf die gekrümmte Oberfläche zumindest teilweise radial von der Schaftachse weg zur gekrümmten Oberfläche hin gerichtet wird. Dabei wird auf die Verwendung von erhöhten Rotationsfrequenzen über 200 Umdrehungen/Minute (U/min) verwiesen, insbesondere bis zu 800 U/min oder sogar mehr, wobei die Förderrate des pulverförmigen Beschichtungsmaterials entsprechend "geeignet gesteigert" werden soll. Hierzu offenbart die genannte Druckschrift eine lineare Abhängigkeit von Rotationsfrequenz und Förderrate, wobei speziell die Parameterkombinationen
- 20 200 U/min - 25 g/min, 400 U/min - 50 g/min, 600 U/min - 75 g/min und 800 U/min - 100g/min ausdrücklich genannt werden.

- [0003]** Auch die US 5 080 056 A offenbart ein Verfahren zur Plasmabeschichtung von Zylinderbohrungen mit hoher Rotationsrate des Plasmabrenners von 800 U/min, wobei ausdrücklich eine axiale Vorschubgeschwindigkeit von ca. 4,2 mm/s angegeben wird. Zur Frage der bevorzugten Spritzgutförderrate verhält sich die genannte Druckschrift hingegen
- 25 nicht.

[0004] Das Dokument WO 2017/202852 A1 nimmt keinen Bezug auf den Vorschub während der Beschichtung und geht auch nicht auf die sogenannte Oxidzeiligkeit der zu erzielenden Beschichtung ein.

- [0005]** Die US 9 885 311 B1 offenbart ein ähnliches Verfahren und nimmt sich der Problematik an, den durch den Beschichtungsprozess bedingten Wärmeeintrag in das Kurbelgehäuse zu verringern. Sie weist diesbezüglich insbesondere auf einen vorteilhafterweise einzuhaltenden Zusammenhang zwischen der Rotationsfrequenz und dem Axialvorschub des Brenners hin. Speziell soll bei hohen Rotationsfrequenzen über 500 U/min der Axialvorschub auf Werte zwischen 16 und 25 mm/s reduziert werden, um die Verweildauer der Brenners und damit die aufgetragene Schichtdicke konstant zu halten. Mit anderen Worten offenbart also auch die US 9 885 311 B1 einen linearen Zusammenhang, dessen Extrapolation zu Vorschubwerten von deutlich unter 25 mm/s bei Rotationsfrequenzen von deutlich über 500 U/min führt.
- 30

- 35 **[0006]** Die DE 10 2008 053 642 A1 offenbart ebenfalls ein Verfahren zur Zylinderbuchsenbeschichtung und konzentriert sich primär auf die hierfür optimalerweise verwendeten Spritzgutmaterialien.

- [0007]** Ein im Hinblick auf die allgemeinen Hintergründe interessanter Artikel findet sich bei Bobzin, K. et al.: "Coating Bores of Light Metal Engine Blocks with a Nonocomposite Material Using the Plasma Transfer Wire Arc Thermal Spray Process", Journal of Thermal Spray Technology, Bd. 17, Nr. 3, 3. Juli 2008 (2008-07-03), Seiten 344-351, XP055258217, US, ISSN:1059-9630, DOI: 10.1007/s11666-008-9188-y.
- 40

- [0008]** In der Fertigung von Zylinderkurbelgehäusen für Hubkolbenbrennkraftmaschinen wird zunehmend versucht, das Gewicht der Zylinderkurbelgehäuse zu reduzieren. Dazu werden Zylinderkurbelgehäuse aus Aluminium eingesetzt, die jedoch im Bereich der Zylinderlaufbahn eine Schutzschicht benötigen, z.B. eine mittels Plasmaspritzen aufgebrachte Schutzschicht. Ein positiver Nebeneffekt der Beschichtung ist neben einer Robustheitssteigerung der Zylinderlaufbahn
- 45 eine deutlich reduzierte Reibung im Bereich der Kolbengruppe (und dadurch auch ein reduzierter CO₂-Ausstoß) sowie positive Effekte gegenüber korrosiven Medien. Aus dem Stand der Technik bekannte Beschichtungsverfahren sind das Pulver-Plasmaspritzen (APS-Verfahren), das Drahtspritzverfahren, wie z.B. Plasma Transferred Wire Arc (PTWA/RSW) Beschichtungsverfahren, das Lichtbogen-Draht-Spritzen (LDS) und das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF-Spritzen).

- 50 **[0009]** Vor einer thermischen Beschichtung von Zylinderbohrungen in Kurbelgehäusen aus Aluminium und teilweise auch aus Grauguss wird ein Aufrauprozess zur Verklammerung der Beschichtung, d.h. Verbesserung der Haftung der Beschichtung, durchgeführt bzw. ist erforderlich, damit die Beschichtung überhaupt aufgebracht werden kann. Dieser Aufrauprozess wird durch strahlende Prozesse mittels Korund und Wasser (Mitteldruck-/Hochdruck-Wasserstrahlen), Laserstrahlaufrauen oder Aufrauen mit geometrisch definierter Schneide dargestellt.

- 55 **[0010]** Beim Einsatz des Pulver-Plasmaspritzens (APS-Verfahren) entsteht an durch den vorstehend erwähnten Aufrauprozess bedingten Inhomogenitäten eine verstärkte Oxidbildung, wenn eine Prozessführung gemäß einem aus dem Stand der Technik bekannten Beschichtungsverfahren mit beispielsweise 4 Doppelzyklen gewählt wird. Diese kann zu einer parallel zur Oberfläche entstehenden Oxidzeiligkeit in der Beschichtung führen. Die Oxidzeiligkeit wiederum bewirkt

eine verminderte Schichtstabilität und kann insbesondere bei einem Vorliegen der Oxide/Oxidzeilen nach dem Fertighonen an der Oberfläche der Beschichtung (Zylinderlaufbahn) zu einem Ausbrechen der Oxide und nachfolgend zu einer Mikroriefigkeit der Zylinderlaufbahn führen. Werden die Oxide/Oxidzeilen an der Oberfläche durch den Honprozess beansprucht, kann es zu verstärkten Ausbrüchen dieser Oxide und damit zu einem erhöhten Porenflächenanteil der Laufbahnoberfläche kommen. Dieser kann einen erhöhten Ölverbrauch bewirken und damit korrespondierend zu einem erhöhten Partikelaustritt führen. Ein weiterer Nachteil des aus dem Stand der Technik bekannten Verfahrens ist, dass dieses relativ viel Zeit für den Beschichtungsvorgang benötigt.

Aufgabenstellung

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Beschichtungsverfahren zur Verfügung zu stellen, mittels welchem die Ausbildung von Oxiden begrenzt bzw. Oxidzeilen in der Schichtausbildung und somit negative Einflüsse aufgrund auftretender Oxidausbrüche und einer - insbesondere durch solche Oxidausbrüche entstehenden oder aufgrund einer hohen Oxidzeilen existierenden - Mikroriefigkeit zu vermeiden.

Darlegung der Erfindung

[0012] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 und der entsprechenden abhängigen Ansprüche. Weitere praktische Ausführungsformen und Vorteile der Erfindung sind in Verbindung mit den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0013] Gemäß dem erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahren zur Beschichtung einer Zylinderlaufbahn eines Zylinderkurbelgehäuses einer Hubkolbenbrennmaschine wird die Beschichtung zumindest teilweise mit folgender Parameterkombination auf die Zylinderlaufbahn des Zylinderkurbelgehäuses aufgebracht:

- a) Rotationsgeschwindigkeit: 600 - 700 U/min,
- b) Spritzgutförderrate: 100 - 120 g/min und
- c) Vorschubgeschwindigkeit: 24 - 75 mm/s.

[0014] Mittels ausführlicher empirischer Versuchsreihen und unter Einbeziehung modifizierter Anlagentechnik wurde ermittelt, dass mit dem vorstehend genannten Parameterbereiche, die allesamt gemäß a), b) und c) erfüllt sein müssen, damit die erfindungsgemäßen Vorteile erzielt werden, sich die Bildung von Oxiden verringern und die entstehende Oxidzeilen drastisch reduziert werden kann. Dadurch kann eine besonders homogene Oberfläche erzielt werden, die weitestgehend frei von einer unerwünschten Mikroriefigkeit ist, welche durch eine erhöhte Oxidbildung und eine hohe Oxidzeilen entsteht. Darüber hinaus kann eine hohe Rotationsgeschwindigkeit während des Verfahrens eingesetzt werden und damit die gewünschte Beschichtung in einer kürzeren Zeit aufgebracht werden als mit den bislang aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren. Hinsichtlich der Rotationsgeschwindigkeit der Brenntechnik haben sich Werte zwischen 600-700 U/min als optimal herausgestellt. Bevorzugt sind Werte zwischen 630 U/min und 770 U/min, besonders bevorzugt Werte zwischen 640 U/min und 660 U/min. Besonders gute Ergebnisse wurden mit Rotationsgeschwindigkeiten von 650 U/min erzielt.

[0015] Hinsichtlich der Spritzgutförderrate hat sich der Wertebereich zwischen 100 und 120 g/min als optimal erwiesen. Speziell wird auf den Wert von 110 g/min verwiesen, mit welchem, insbesondere in Verbindung mit der Rotationsgeschwindigkeit von 650 U/min ein qualitativ besonders hochwertiges Ergebnis einer Beschichtung der Zylinderlaufbahn erzielt wurde.

[0016] Zu der Vorschubgeschwindigkeit gemäß Merkmal c) wird auf den Wertebereich zwischen 30 und 70 mm/s, weiter bevorzugt auf den Wertebereich zwischen 40 und 65 mm/s und besonders bevorzugt auf den Wertebereich zwischen 50 und 65 mm/s verwiesen. Darüber hinaus wird auf die noch engeren Wertebereiche zwischen 52 und 60 mm/s und weiter bevorzugt zwischen 54 und 58 mm/s verwiesen.

[0017] In einer praktischen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahrens wird die Beschichtung mittels 5-8 Spritzzyklen jeweils in Form von Doppelhüben aufgebracht. Besonders bevorzugt ist diesbezüglich die Aufbringung mit 6-7 Spritzzyklen zu erwähnen. Es hat sich gezeigt, dass die Dicke und die Struktur einer entsprechenden Beschichtung in Verbindung mit der jeweils benötigten Bearbeitungsdauer in diesem Fall besonders hochwertig und effizient ist.

[0018] Als Beschichtung werden vorzugsweise eine Stahlschicht oder eine Keramischicht aufgebracht. In Bezug auf die Stahlschichten wird insbesondere auf niedriglegierte und hochlegierte Stahlschichten verwiesen, d.h. auf Stahlschichten mit Stählen, bei denen die Summe der Legierungselemente einen Gehalt von 5 Massenprozent nicht überschreitet (niedriglegierte Stähle) bzw. Stähle, bei denen der mittlere Massengehalt mindestens eines Legierungselementes größer gleich 5 % ist (hochlegierte Stähle). Die Verwendung von niedriglegierten Stählen ist gegenüber hochlegierten

Stählen bevorzugt. Mit hochlegierten Stählen werden jedoch ebenfalls Ergebnisse erzielt, die gegenüber den aus dem bisherigen Stand der Technik bekannten Ergebnissen vorteilhaft sind.

[0019] In Bezug auf die Aufbringung einer Keramikschrift wird insbesondere auf Schichten aus TitanDioxid (TiO₂) verwiesen.

[0020] Eine Keramikschrift wird unabhängig von Vorstehendem vorzugsweise in Verbindung mit einem vorherigen Aufrauungsprozess und dem vorherigen Aufbringen einer haftvermittelnden Schicht aufgebracht. Als haftvermittelnde Schicht kommen insbesondere eine Nickel-Aluminium-Schicht, eine Bronzeschicht oder eine niedrig legierte Stahlschicht in Frage. Die Dicke einer haftvermittelnden Schicht beträgt dabei vorzugsweise weniger als 100 µm, bevorzugt weniger als 60 µm und besonders bevorzugt maximal 40 µm.

[0021] Wenn bei einem erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahren eine Beschichtung in Form einer niedriglegierten Stahlschicht erzielt werden soll, wird diese Beschichtung vorzugsweise mittels eines niedriglegierten Stahlpulvers aufgebracht. Dabei sein Stahlpulver mit einer vorwiegend kugeligen Morphologie mit geringen Anteilen an Satelliten besonders bevorzugt.

[0022] In einer weiteren praktischen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahrens, bei welchem als Beschichtung eine Stahlschicht aufgebracht wird, wird die Beschichtung mittels eines Stahlpulvers aufgebracht, die weniger als 2 Gew.-% Kohlenstoff (C), weniger als 2 Gew.-% Mangan (Mn), weniger als 2 Gew.-% Chrom (Cr), weniger als 1 Gew.-% Nickel (Ni), weniger als 1 Gew.-% Sauerstoff (O₂) und weniger als 1 Gew.-% Stickstoff (N₂) aufweist. In Bezug auf den Anteil von Kohlenstoff wird insbesondere auf einen Gew.-%-Anteil von 1,0 bis 1,3 verwiesen. In Bezug auf den Anteil von Mangan wird insbesondere auf einen Anteil von 1,2 bis 1,6 Gew.-% verwiesen. In Bezug auf den Gewichtsanteil von Chrom wird insbesondere auf einen Wertebereich von 1,2 bis 1,6 Gew.-% verwiesen. In Bezug auf den Gewichtsanteil von Nickel wird insbesondere auf den Wertebereich von weniger als 0,5 Gew.-% verwiesen. In Bezug auf den Gewichtsanteil von Sauerstoff wird insbesondere auf Werte von weniger als 0,2 Gew.-% verwiesen und in Bezug auf den Gewichtsanteil von Stickstoff wird insbesondere auf den Wertebereich von weniger als 0,5 Gew.-%. Die vorstehend genannten Wertebereiche gelten vorzugsweise kumulativ, d.h. in dieser Kombination mit einander verknüpft.

[0023] Eine qualitativ besonders hochwertige Beschichtung ergibt sich, wenn eine Stahlschicht mittels eines Stahlpulvers aufgebracht wird, dessen Korngröße ausschließlich kleiner ist als 60 µm und/oder dessen Korngröße zu einem überwiegenden Teil kleiner als 42 µm ist. Der Anteil in Gewichtsprozent von Stahlpulver mit einer Korngröße von weniger als 42 µm liegt vorzugsweise bei maximal 90 Prozent. Der Anteil mit einer Korngröße von kleiner als 26 µm liegt vorzugsweise bei maximal 50 Prozent. Der Anteil mit einer Korngröße von weniger als 16 µm liegt vorzugsweise bei maximal 10 Prozent.

[0024] In einer weiteren praktischen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahrens wird die Beschichtung unter Einfluss der Atmosphäre aufgebracht. In diesem Fall wird das Verfahren auch als atmosphärisches Plasmaspritzverfahren oder APS-Verfahren bezeichnet. Ein Vorteil des APS-Verfahrens ist, dass auf den Einsatz von Schutzgasen und die damit verbundenen zusätzlichen Kosten verzichtet werden kann. Alternativ kann die Beschichtung bei einem erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahren aber auch unter Einsatz eines Schutzgases oder im Vakuum aufgebracht werden. In diesem Fall sind zwar die Kosten zur Durchführung des Verfahrens erhöht, im Einzelfall kann so aber ein qualitativ noch deutlich besseres Ergebnis einer Beschichtung erzielt werden, d.h. insbesondere eine Beschichtung erzielt werden, die einen geringeren Oxidanteil aufweist bzw. eine geringere Oxidzeitigkeit aufweist.

[0025] Das erfindungsgemäße Plasmaspritzverfahren ist insbesondere dann von Vorteil, wenn vor dem Aufbringen der Beschichtung mindestens ein strahlender Aufrauprozess mittels Korund und/oder Wasser, mittels Laserstrahlaufrauen oder mittels Aufrauen mit geometrisch definierter Schneide durchgeführt wird. In diesem Fall verbessert sich die Haftungsfähigkeit der aufzubringenden Beschichtung und gleichzeitig erhöht sich die Dauerhaltbarkeit der erzielten Beschichtung.

[0026] Weitere praktische Ausführungsformen der Erfindung sind nachfolgend im Zusammenhang mit den Zeichnungen beschrieben.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0027] Es zeigen:

Figur 1: eine Querschnittsdarstellung eines Ausschnitts einer Zylinderlaufbahn mit einer Beschichtung,

Figur 2: einen Blick auf eine Oberfläche einer Beschichtung einer Zylinderlaufbahn gemäß Stand der Technik,

Figur 3: einen Querschnitt durch eine mit einem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Beschichtung auf einer Zylinderlaufbahn und

Figur 4: eine vergrößerte Darstellung des Ausschnitts gemäß Figur 3.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0028] Figur 1 zeigt einen Ausschnitt eines Zylinderkurbelgehäuses einer Hubkolbenbrennkraftmaschine mit einem Ausschnitt einer Zylinderlaufbahn eines Aluminiumgrundkörpers 10 eines Zylinderkurbelgehäuses 14, wobei der Aluminiumgrundkörper 10 mit einer Beschichtung 12 versehen ist und die dem Aluminiumgrundkörper 10 abgewandte Oberfläche 16 Teil der Zylinderlaufbahn 18 des Zylinderkurbelgehäuses 14 ist. Die zum Teil gekennzeichneten schwarzen Bereiche 20 sind Oxide, die sich während des Aufbringens der Beschichtung 12 mittels eines Plasmaspritzverfahrens gebildet haben.

[0029] Figur 2 zeigt die Oberfläche 16 der Zylinderlaufbahn 18. Wie in der Figur erkennbar ist, haben sich auf der Oberfläche 16 einzelne Oxidzeilen 22a, 22b, 22c, 22d gebildet, die durch schwarze Punkte gebildet sind, die ungefähr in einer Reihe angeordnet sind. Hierbei handelt es sich um die eingangs erwähnte Oxidzeiligkeit.

[0030] Figur 3 zeigt eine Ansicht analog zu Figur 1, wobei die Beschichtung 12 mittels eines erfindungsgemäßen Plasmaspritzverfahrens aufgebracht wurde.

[0031] Figur 4 zeigt eine vergrößerte Darstellung der Ansicht aus Figur 3. Wie erkennbar ist, weist die Oberfläche 16, welche die Zylinderlaufbahn 18 des Zylinderkurbelgehäuses 14 bildet, eine deutlich erhöhte Qualität dadurch auf, dass keine Oxidzeiligkeit mehr erkennbar ist. Darüber hinaus ist erkennbar, dass sich in der Beschichtung 12 deutlich weniger Oxide gebildet haben, als bei der Beschichtung 12 gemäß Stand der Technik, welche in Figur 1 dargestellt ist.

Bezugszeichenliste

[0032]

10	Aluminiumgrundkörper
12	Beschichtung
14	Zylinderkurbelgehäuse
16	Oberfläche
18	Zylinderlaufbahn
20	schwarzer Bereich (Oxid)
22a-d	Oxidzeilen

Patentansprüche

1. Plasmaspritzverfahren zur Beschichtung einer Zylinderlaufbahn eines Zylinderkurbelgehäuses einer Hubkolbenbrennkraftmaschine,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Beschichtung (12) zumindest teilweise mit folgender Parameterkombination auf die Zylinderlaufbahn (18) des Zylinderkurbelgehäuses (14) aufgebracht wird:

- a) Rotationsgeschwindigkeit: 600 - 700 Umdrehungen/Minute,
- b) Spritzgutförderrate: 100 - 120 Gramm/Minute und
- c) Vorschubgeschwindigkeit: 24 - 75 mm/s.

2. Plasmaspritzverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (12) mittels 5 - 8 Spritzzyklen jeweils in Form von Doppelhüben aufgebracht wird.

3. Plasmaspritzverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Beschichtung (12) eine Stahlschicht oder einer Keramischicht aufgebracht wird.

4. Plasmaspritzverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (12) mittels eines niedriglegierten Stahlpulvers aufgebracht wird.

5. Plasmaspritzverfahren nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Beschichtung (12) eine Stahlschicht mittels eines Stahlpulvers mit einer vorwiegend kugeligen Morphologie mit geringen Anteilen an Satelliten aufgebracht wird.

6. Plasmaspritzverfahren nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Beschichtung (12) eine Stahlschicht mittels eines Stahlpulvers aufgebracht wird, die weniger als 2 Gew.-% Kohlenstoff

(C), weniger als 2 Gew.-% Mangan (Mn), weniger als 2 Gew.-% Chrom (Cr), weniger als 1 Gew.-% Nickel (Ni), weniger als 1 Gew.-% Sauerstoff (O₂) und weniger als 1 Gew.-% Stickstoff (N₂) aufweist.

7. Plasmaspritzverfahren nach einem der vier vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Stahlschicht mittels eines Stahlpulvers aufgebracht wird, dessen Korngröße ausschließlich kleiner ist als 60 µm und/oder zu einem überwiegenden Teil kleiner als 42 µm ist.
8. Plasmaspritzverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (12) unter Einfluss der Atmosphäre aufgebracht wird.
9. Plasmaspritzverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (12) unter Einsatz eines Schutzgases oder im Vakuum aufgebracht wird.
10. Plasmaspritzverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Aufbringen der Beschichtung (12) mindestens ein strahlender Aufrauprozess mittels Korund und/oder Wasser, mittels Laserstrahlaufrauen oder mittels Aufrauen mit geometrisch definierter Schneide durchgeführt wird.
11. Plasmaspritzverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorschubgeschwindigkeit 52 - 60 mm/s beträgt.

Claims

1. Plasma spraying process for coating a cylinder barrel of a cylinder crankcase of a reciprocating piston internal combustion engine, **characterized in that** the coating (12) is at least partially applied to the cylinder barrel (18) of the cylinder crankcase (14) using the following parameter combination:

a)	rotation speed:	600 - 700 revolutions/minute,
b)	spray material flow rate:	100 - 120 grams/minute and
c)	feed rate:	24 - 75 mm/s.
2. Plasma spraying process according to the preceding claim, **characterized in that** the coating (12) is applied by means of 5 - 8 spray cycles, each in the form of double strokes.
3. Plasma spraying process according to either of the preceding claims, **characterized in that** a steel layer or a ceramic layer is applied as the coating (12).
4. Plasma spraying process according to the preceding claim, **characterized in that** the coating (12) is applied by means of a low-alloy steel powder.
5. Plasma spraying process according to either of the two preceding claims, **characterized in that** a steel layer is applied as the coating (12) by means of a steel powder having a predominantly spherical morphology with small proportions of satellites.
6. Plasma spraying process according to any of the three preceding claims, **characterized in that** a steel layer is applied as the coating (12) by means of a steel powder which comprises less than 2 wt.% carbon (C), less than 2 wt.% manganese (Mn), less than 2 wt.% chromium (Cr), less than 1 wt.% nickel (Ni), less than 1 wt.% oxygen (O₂) and less than 1 wt.% nitrogen (N₂).
7. Plasma spraying process according to any of the four preceding claims, **characterized in that** a steel layer is applied by means of a steel powder of which the particle size is exclusively smaller than 60 µm and/or predominantly smaller than 42 µm.
8. Plasma spraying process according to any of the preceding claims, **characterized in that** the coating (12) is applied under the influence of the atmosphere.
9. Plasma spraying process according to any of the preceding claims,

characterized in that the coating (12) is applied using a protective gas or in a vacuum.

10. Plasma spraying process according to any of the preceding claims, **characterized in that**, before applying the coating (12), at least one blasting abrasion process is carried out by means of corundum and/or water, by means of laser beam abrasion or by means of abrasion with a geometrically defined cutting edge.

11. Plasma spraying process according to any of the preceding claims, **characterized in that** the feed rate is 52 - 60 mm/s.

Revendications

1. Procédé de projection au plasma permettant le revêtement d'un chemin de roulement de cylindre d'un carter de vilebrequin d'un moteur à combustion interne à piston alternatif, **caractérisé en ce que** le revêtement (12) est appliqué au moins partiellement avec la combinaison de paramètres suivante sur le chemin de roulement de cylindre (18) du carter de vilebrequin (14) :

- | | | |
|----|--|-----------------------------|
| a) | vitesse de rotation : | 600 à 700 tours/minute, |
| b) | taux de transfert de la matière injectée : | 100 à 120 grammes/minute et |
| c) | vitesse d'avance : | 24 à 75 mm/s. |

2. Procédé de projection au plasma selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le revêtement (12) est appliqué à l'aide de 5 à 8 cycles de projection, respectivement sous forme de courses doubles.

3. Procédé de projection au plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** couche d'acier ou une couche de céramique est appliquée comme revêtement (12).

4. Procédé de projection au plasma selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le revêtement (12) est appliqué à l'aide d'une poudre d'acier faiblement allié.

5. Procédé de projection au plasma selon l'une des deux revendications précédentes, **caractérisé en ce que** comme revêtement (12) est appliquée une couche d'acier à l'aide d'une poudre d'acier comportant une morphologie principalement sphérique comportant de faibles proportions de satellites.

6. Procédé de projection au plasma selon l'une des trois revendications précédentes, **caractérisé en ce que** comme revêtement (12) est appliquée une couche d'acier à l'aide d'une poudre d'acier, qui présente moins de 2 % en poids de carbone (C), moins de 2 % en poids de manganèse (Mn), moins de 2 % en poids de chrome (Cr), moins de 1 % en poids de nickel (Ni), moins de 1 % en poids d'oxygène (O2) et moins de 1 % en poids d'azote (N2).

7. Procédé de projection au plasma selon l'une des quatre revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** couche d'acier est appliquée à l'aide d'une poudre d'acier dont la granulométrie est exclusivement inférieure à 60 µm et/ou est, pour une part prépondérante, inférieure à 42 µm.

8. Procédé de projection au plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le revêtement (12) est appliqué sous l'influence de l'atmosphère.

9. Procédé de projection au plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le revêtement (12) est appliqué en utilisant un gaz protecteur ou sous vide.

10. Procédé de projection au plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'avant** l'application du revêtement (12), est effectué au moins un processus de grainage par sablage à l'aide de corindon et/ou d'eau, à l'aide d'un grainage par faisceau laser ou à l'aide d'un grainage avec un tranchant géométriquement défini.

11. Procédé de projection au plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la vitesse d'avance est de 52 à 60 mm/s.

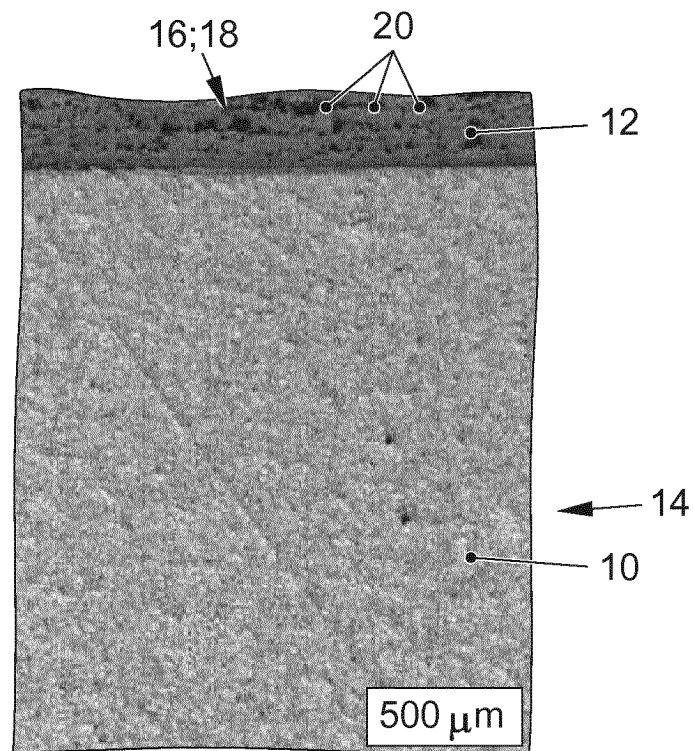


FIG. 1 (Stand der Technik)

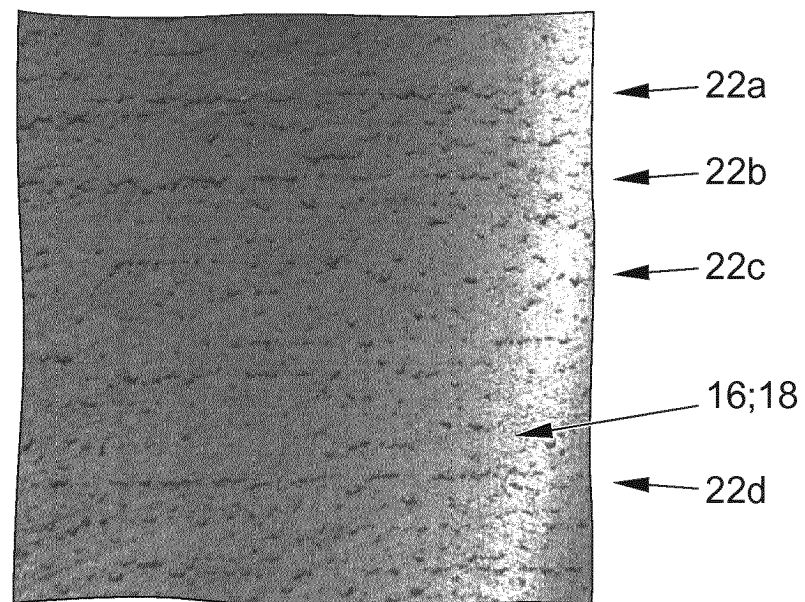


FIG. 2 (Stand der Technik)

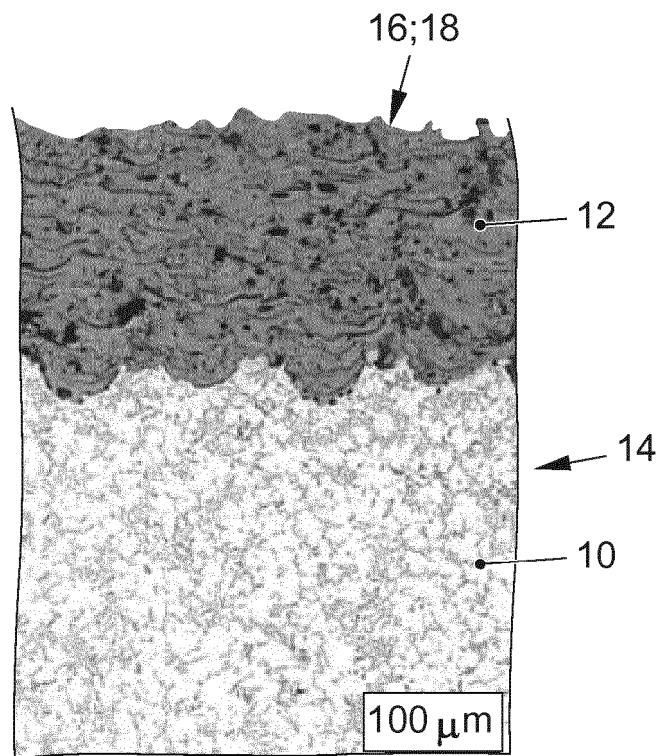


FIG. 3

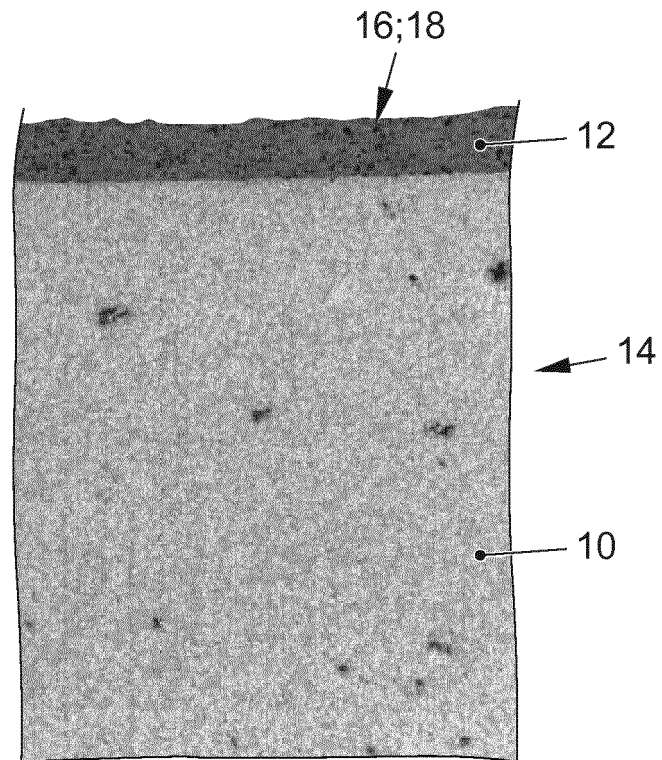


FIG. 4

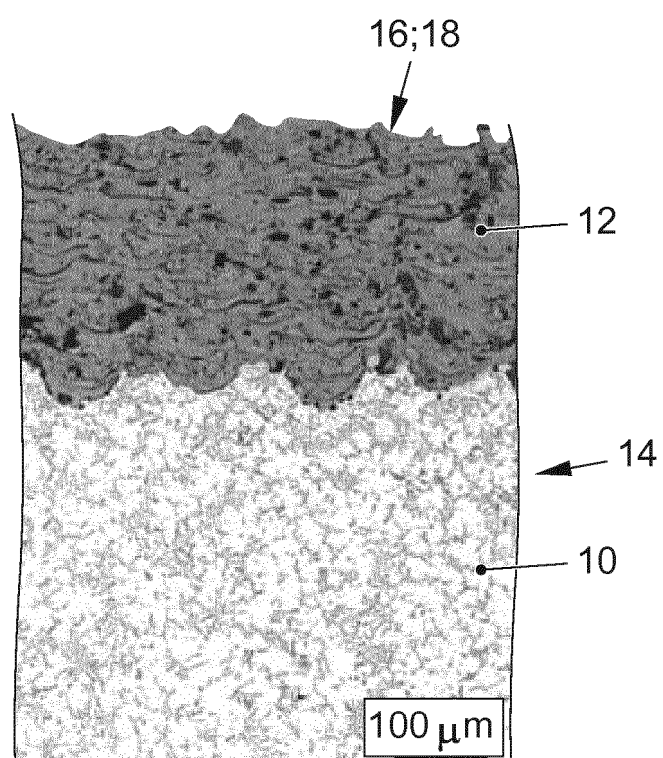


FIG. 3

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

- WO 2017202852 A1 [0002] [0004]
- US 5080056 A [0003]
- US 9885311 B1 [0005]
- DE 102008053642 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BOBZIN, K. et al.** Coating Bores of Light Metal Engine Blocks with a Nonocomposite Material Using the Plasma Transfer Wire Arc Thermal Spray Process. *Journal of Thermal Spray Technology*, 03 July 2008, vol. 17 (3), ISSN 1059-9630, 344-351 [0007]