

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
17. Juni 2004 (17.06.2004)

PCT

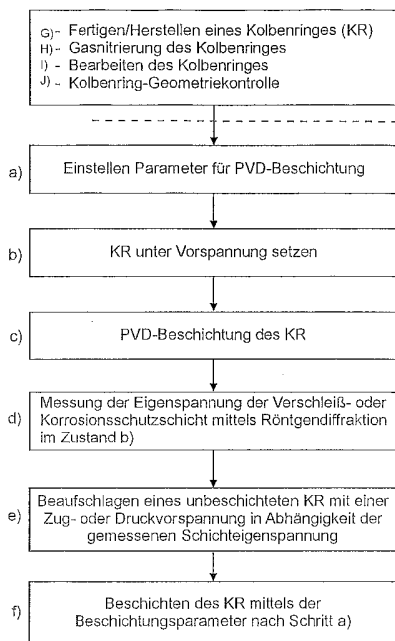
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/050937 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C23C (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003930 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ISSLER, Wolfgang  
[DE/DE]; Schwalbenweg 4, 71409 Schwaikheim (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 27. November 2003 (27.11.2003) (74) Anwalt: POHLE, Reinhard; Mahle GmbH, Pragstrasse  
26 - 46, 70376 Stuttgart (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): BR, JP, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).  
(30) Angaben zur Priorität:  
102 56 063.3 30. November 2002 (30.11.2002) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MAHLE GMBH [DE/DE]; Pragstrasse 26-46, 70376  
Stuttgart (DE). Veröffentlicht:  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR COATING PISTON RINGS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN VON KOLBENRINGEN FÜR VERBRENNUNGSMOTOREN



G) MANUFACTURE/PRODUCTION OF A PISTON RING (KR)  
H) GAS NITRIDING OF THE PISTON RING  
I) MACHINING THE PISTON RING  
J) PISTON RING GEOMETRY CONTROL  
A) PARAMETERS SET FOR PVD COATING  
B) PRESTRESS KR  
C) PVD COATING OF KR  
D) MEASURE INTERNAL STRESS OF THE ANTI-ABRASION OR ANTI-CORROSION COATING BY MEANS OF X-RAY DIFFRACTION IN STATE B)  
E) UNCOATED KR SUBJECTED TO TENSILE PRESTRESSING OR COMPRESSIVE STRAIN ACCORDING TO MEASURED INTERNAL STRESS OF THE COATING  
F) KR IS COATED ACCORDING TO COATING PARAMETERS ACCORDING TO STEP A)

(57) Abstract: The invention relates to a method for coating piston rings (10) for internal combustion engines, wherein at least the bearing surface of the piston ring is provided with an anti-abrasion and anti-corrosion coating (12) by means of a PVD or electroplating process. According to said method, the anti-abrasion and anti-corrosion coating is prevented from flaking or cracking caused by strain occurring on the piston ring during the operation of the motor by means of the following steps: a) coating parameters are set; b) an uncoated piston ring (18) is pre-stressed in order to obtain a predetermined diameter (06) thereof or opening width (10); an ion coating process is carried out using coating parameters according to step a); the internal stress of the anti-abrasion or anti-corrosion coating (12) is measured in state (b); e) a new, uncoated piston ring (10) is subjected to tensile pre-stressing or compressive strain according to the measured internal tension of the coating; and f) the piston ring is coated (10) according to the coating parameters according to step a).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beschichtung von Kolbenringen (10) für Verbrennungsmotoren, bei dem mindestens die Lauffläche des Kolbenringes mit einer Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht (12) durch ein PVD- oder galvanischen Beschichtungsprozess versehen wird, soll eine Ablösung oder Rissbildung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht infolge Belastung des Kolbenringes im Motorbetrieb durch folgende Verfahrensschritte vermieden werden:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/050937 A2



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

a) Einstellen der Beschichtungsparameter; b) Beaufschlagen eines unbeschichteten Kolbenringes (10) mit einer Vorspannung auf einen vorbestimmten Kolbenringdurchmesser (06) bzw. Maulweite (10); c) Durchführung des Ionenbeschichtungsprozesses mit den Beschichtungsparametern nach Schritt a); d) Messen der bewirkten Schichteigenspannung der Verschleiss- oder Korrosionsschutzschicht (12) im Zustand b); e) Beaufschlagen eines neuen, unbeschichteten Kolbenringes (10) mit einer Zug- oder Druckvorspannung in Abhängigkeit der gemessenen Schichteigenspannung; und f) Beschichten des Kolbenringes (10) mittels der Beschichtungsparameter nach Schritt a).

## **Verfahren zum Beschichten von Kolbenringen für Verbrennungsmotoren**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines aus Stahl oder Gusseisen bestehenden Kolbenringes für Verbrennungsmotoren, bei dem mindestens die Lauffläche des Kolbenringes mit einer Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht durch einen Beschichtungsprozess versehen wird.

Es ist allgemein bekannt, dass zur Verlängerung der Lebensdauer von Verbrennungsmotoren die Gleitflächen der Laufpartner Kolbenring/Zylinder mit einer verschleißfesten Schicht aus Metallkarbid oder Metallnitrid, wie Titancarbid (TiC), Titanitrid (TiN) oder Chromnitrid (CrN, Cr<sub>2</sub>N), versehen werden. Das Aufbringen derartiger Schichten erfolgt meist durch Ionenbeschichtungsprozesse, speziell durch physikalische Dampfabcheidung (PVD), wie beispielsweise in der DE 196 30 149 C2 beschrieben, durch chemische Dampfabcheidung (CVD), oder durch einen galvanischen Beschichtungsprozess. Ziel der Laufflächenbeschichtung ist es, die Beständigkeit der Beschichtung gegen Abrieb, Festfressen, Abschälen und Abblättern zu verbessern, um den steigenden thermischen Beanspruchungen im Motorbetrieb gerecht zu werden. Trotz verschiedener Maßnahmen, welche die vorgenannten Beständigkeiten verbessern sollen, beispielsweise in der DE 41 12 422 C2 durch einen auf einem Trägermaterial ausgebildeten abriebfesten Überzug, der CrN enthält und dessen Stickstoffkonzentration von der Grenzfläche zwischen dem Trägermaterial und Überzug in Richtung äußere Oberfläche kontinuierlich abnimmt, zeigt sich im Motorbetrieb, dass die CrN, Cr<sub>2</sub>N, TiN oder TiC-Schichten weiterhin zum Abschälen neigen. Als Ursache wird bisher angenommen, dass die PVD bzw. galvanischen Beschichtungen hohe Eigenspannungen aufweisen und dadurch ihre Adhäsion zum Trägermaterial schlecht ist. Wenn also eine dicke Beschichtung eingesetzt wird, sollte diese im Betrieb dazu neigen sich abzuschälen. Tatsächlich jedoch wird festgestellt, dass das Abschälen nicht bis zum Kolbenring als Träger der Beschichtung reicht oder, wenn der Kolbenring nitriert ist, nicht bis zur Nitridschicht erfolgt, sondern die Abschälkante bzw. Trennungsrisse verläuft innerhalb der CrN, Cr<sub>2</sub>N, TiN bzw. TiC-

Beschichtung, also fast parallel zum Träger. Damit können Maßnahmen, die nur auf die Vermeidung schlechter Haftfestigkeit gerichtet sind ein Abschälen nicht verhindern, da nach gängiger Theorie der Abriss bis zum jeweiligen Beschichtungsträger reichen müsste. Offensichtlich scheinen Maßnahmen erfolgreich zu sein, welche die Eigenspannungen der aufgetragenen Verschleißschicht besser berücksichtigen.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht so auf die Lauffläche eines Kolbenringes eines Verbrennungsmotors aufzubringen, dass geringe Eigenspannungen innerhalb der Beschichtung des im Zylinder eingebauten Kolbenringes bzw. unter Belastungsbedingungen im Motorbetrieb auftreten.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass mittels eines Beschichtungsprozesses, insbesondere durch ein PVD-Prozess oder galvanischen Prozesses, mindestens die Lauffläche eines Kolbenringes mit einer Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht versehen wird, in dem in einem ersten Schritt die Beschichtungsparameter eingestellt und fixiert werden, nachfolgend ein unbeschichteter Kolbenring mit einer Vorspannung beaufschlagt wird, so dass dieser einen vorbestimmten Kolbenringdurchmesser aufweist, in einem weiteren Schritt des PVD-Beschichtungsprozesses mit den Parametern gemäß dem ersten Schritt durchgeführt wird, wobei danach die erzielte Schichteigenspannung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht durch eine Röntgendiffraktionsmessung ermittelt wird. In einem weiteren Verfahrensschritt werden neue zu beschichtende Kolbenringe mit einer Zug- oder Druckvorspannung in Abhängigkeit der gemessenen Schichteigenspannung beaufschlagt und anschließend mit den Beschichtungsparametern des ersten Verfahrensschrittes beschichtet. Insbesondere wird bei einer Ausbildung einer Druckeigenspannung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht der Kolbenring mit einer Druckvorspannung während der Beschichtung und bei einer Zugeigenspannung der Schicht mit einer Zugvorspannung während der Beschichtung beaufschlagt. Vorteilhaft erfolgt dabei die Beaufschlagung des Kolbenringes mit einer Druckvorspannung an der Lauffläche, indem die Maulweite am Kolbenringstoß mit geeigneten Mitteln auf ein größeres Maß gebracht wird und bei Beaufschlagung mit einer Zugvorspannung, in dem der Kolbenring durch geeignete Mittel auf einen kleineren Durchmesser

bzw. verringerte Maulweite gebracht wird; gegebenenfalls mit überlappenden Stoßenden.

Das Verfahren bietet den Vorteil, dass die Eigenspannungen, die durch den Beschichtungsprozess in der aufgetragenen Verschleiß- und Korrosionsschutzschicht im Montagezustand des Kolbenringes im Zylinder entstehen, auf ein Minimum reduziert werden und damit ein Abschälen, Abblättern oder Rissbildung der Beschichtung vermieden wird. Insbesondere wird erreicht, dass die Festigkeit der Beschichtung unter Betriebsbedingungen bzw. bei der Montage der Kolbenringe in den Zylinder des Motors erhalten bleibt. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Prozessablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Kolbenringes mit Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht in zwei Verformungszuständen

Wie aus dem Prozessablauf gemäß Fig. 1 ersichtlich ist, wird ein in bekannter Weise durch Wickeln aus Draht, Abschneiden, Schleifen, Entspannungsglühen, Laufflächen- und Ringflankenbearbeitung hergestellter Kolbenring 10, der anschließend einem Gasnitrierprozess mit nachfolgender erneuter Laufflächen-, Ringflanken- und Stoßendenbearbeitung unterworfen wird, für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet. Der derart auf seine geometrischen Abmessungen gebrachte Kolbenring 10 wird am äußeren Umfang mit einer im wesentlichen den Einbauzustand entsprechenden Zugvorspannung beaufschlagt, indem der Kolbenringdurchmesser 06 bzw. die Maulweite 01 des Kolbenringes 10 mittels einer mechanischen Druckvorrichtung auf ein der vorbestimmten Druckvorspannung entsprechendes Maß, hier 0,2 bis 0,3 mm gegenüber einen ungespannten Ring 04, eingestellt wird. Durch eine Klemmvorrichtung (nicht dargestellt), die den Kolbenring 10 über seine Ringflanken 11 klemmt, wird dieser entsprechend fixiert. Im anschließenden PVD-Beschichtungsprozess, der an sich bekannt und als zum Stand der Technik gehörig betrachtet wird, werden die Beschichtungsparameter, wie Vakuumdruck, Heiztemperatur- und Dauer, N<sub>2</sub> Gas-

fluss, Vorspannung und Kathodenstrom eingestellt. Mit derart festgelegten Beschichtungsparametern wird eine CrN- oder Cr<sub>2</sub>N- oder TiN- Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht 12 in einer Schichtstärke von 28 bis 30 µm am gesamten Umfang auf die Lauffläche 07 des Kolbenringes 10 aufgebracht. Ebenso kann die Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht mittels eines ebenfalls an sich bekannten galvanischen Beschichtungsverfahrens erfolgen, wobei die Prozessparameter ebenfalls fixiert werden.

Nach dem Beenden der PVD- oder galvanischen Beschichtung wird mittels einer an sich bekannten Röntgendiffraktionsmessung, ohne dass der Kolbenring 10 aus seiner Klemmvorrichtung entnommen und damit entspannt wird, auf der dem Ringstoß gegenüberliegenden Laufflächenseite des Kolbenringes die Eigenspannung der aufgetragenen Schicht 12 bestimmt. Je nach dem ermittelten Eigenspannungswert - Druck- oder Zugeigenspannungen -, wird für die zu beschichtenden Kolbenringe die Maulweite 01 entsprechend vergrößert oder verkleinert. Eine Vergrößerung der Maulweite 01 des Kolbenringes 10 erfolgt mittels einer einfachen Spannvorrichtung, die in den Innendurchmesser des Kolbenringes eingeführt wird und diesen auf ein der vorbestimmten Zugvorspannung entsprechendes Maß auseinander drückt. Eine Verkleinerung der Maulweite 01 erfolgt mittels einer Spannvorrichtung, die den Außendurchmesser des Kolbenringes reduziert, wobei in einem weiteren Schritt der Kolbenring durch eine axiale Klemmvorrichtung in dieser Lage fixiert wird. Die Stoßenden können dabei auch, falls die gemessenen Schichteigenspannungen das erfordern, überlappend ausgeführt und fixiert werden.

Ein über seine Ringflanken 11 gestapelter Haufen unbeschichteter neu hergestellter Kolbenringe 10, deren Ringstöße 02 lagegleich übereinander liegend angeordnet sind, wird auf die der Schichteigenspannung entsprechende Maulweite 01 eingestellt und mittels der fixierten PVD-Beschichtungsparameter beschichtet.

Um optimale Schichteigenspannungen zu erreichen, mit denen ein Abblättern oder eine Rissbildung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht auf dem Kolbenring 10 wirksam vermieden werden kann, sollten diese, gemessen im Zustand des Ein-

baumaßes (gespannter Kolbenring), in einem Bereich von (minus) – 200 bis (minus) – 800 N/mm<sup>2</sup> liegen.

**Bezugszeichen**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Kolbenring                                    | 10 |
| Maulweite                                     | 01 |
| Ringstoß                                      | 02 |
| Stoßspiel                                     | 03 |
| ungespannter Ring                             | 04 |
| gespannter Ring                               | 05 |
| Durchmesser                                   | 06 |
| Lauffläche                                    | 07 |
| Ringrücken                                    | 08 |
| radiale Wanddicke                             | 09 |
| Ringflanken                                   | 11 |
| Verschleiß- oder Korrosions-<br>schuttschicht | 12 |
| axiale Wanddicke (Höhe)                       | d  |

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines aus Stahl oder Gusseisen bestehenden Kolbenringes (10) für Verbrennungsmotoren, bei dem mindestens die Lauffläche (07) des Kolbenringes mit einer Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht (12) durch einen Beschichtungsprozess versehen wird,  
**gekennzeichnet durch** die Merkmale:
  - a) Einstellen der Beschichtungsparameter;
  - b) Beaufschlagen eines unbeschichteten Kolbenringes (10) mit einer Vorspannung auf einen vorbestimmten Kolbenringdurchmesser (06) bzw. Maulweite (01);
  - c) Durchführung des Ionenbeschichtungsprozesses mit den Beschichtungsparametern nach Schritt a);
  - d) Messen der bewirkten Schichteigenspannung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht (12) im Zustand b);
  - e) Beaufschlagen eines neuen, unbeschichteten Kolbenringes (10) mit einer Zug- oder Druckvorspannung in Abhängigkeit der gemessenen Schichteigenspannung; und
  - f) Beschichten des Kolbenringes (10) mittels der Beschichtungsparameter nach Schritt a).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer Druckeigenspannung der Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht der Kolbenring (10) beim Prozessschritt f) mit einer Druckvorspannung am Ringumfang und bei einer Zugeigenspannung der Verschleiß- und Korrosionsschutzschicht (12) der Kolbenring (10) mit einer Zugvorspannung am Umfang beaufschlagt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichteigenspannung der Verschleiß- und Korrosionsschutzschicht (12) nach der Beschichtung im montierten Zustand des Kolbenringes (10) im Zylinder eines Motors einen Wert von (minus) – 200 bis (minus) – 800 N/mm<sup>2</sup> aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beaufschlagung des Kolbenringes (10) mit der Zug- oder Druckvorspannung über die gesamte Dauer der Beschichtung erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung der Schichteigenspannung nach erfolgter Beschichtung mittels Röntgendiffraktion durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Röntgendiffraktionsmessung gegenüber vom Ringstoß (02) erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht aus einer CrN- oder Cr<sub>2</sub>N oder TiN- oder TiC-Verschleiß- oder Korrosionsschutzschicht (12) gebildet ist.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beschichtungsprozess ein PVD-Prozess ist.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beschichtungsprozess ein galvanischer Prozess ist.

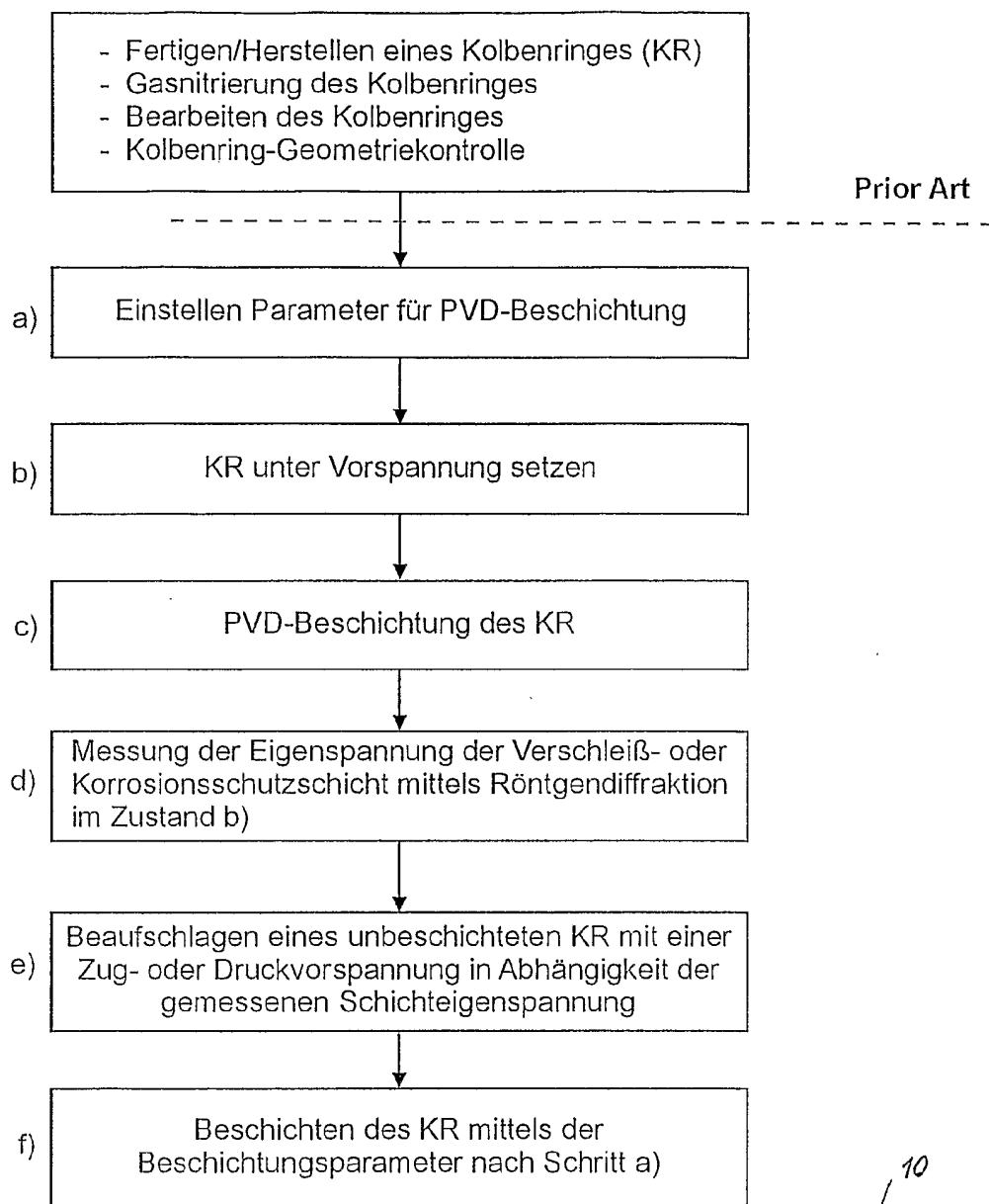


Fig. 1

Fig. 2

