

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 759 519 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
26.02.1997 Patentblatt 1997/09

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **F16J 9/26**

(21) Anmeldenummer: 96112522.6

(22) Anmeldetag: 02.08.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT SE

(30) Priorität: 18.08.1995 DE 19530511

(71) Anmelder: **ALCAN DEUTSCHLAND GMBH**  
D-37075 Göttingen (DE)

(72) Erfinder:  
• **Linz, Roland**  
90471 Nürnberg (DE)

• **Martin, Edgar**  
90411 Nürnberg (DE)

(74) Vertreter: **Görg, Klaus, Dipl.-Ing. et al**  
**Hoffmann, Eitle & Partner,**  
**Patent- und Rechtsanwälte,**  
**Arabellastrasse 4**  
**81925 München (DE)**

### (54) **Kolbenring für Verbrennungsmotoren**

(57) Ein Kolbenring für Verbrennungsmotoren wird nach bekannten Verfahren hergestellt und auf seiner äußeren Umfangsfläche mit einer Laufschiicht beschichtet. Durch ein anschließendes Beschichten des Kolbenringes im Plasma-CVD-Verfahren mit einer dotierten Hartkohlenstoffschicht wird ein Kolbenring erhalten, der sowohl die Kolbenringflanken als auch die Kolbenringnutenflanken in dem Kolben vor unzulässig hohem Verschleiß schützt.

**EP 0 759 519 A2**

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Kolbenringen für Verbrennungsmotoren sowie einen Kolben mit erfindungsgemäß hergestellten Kolbenringen.

Die im Kopf von Kolben für Verbrennungsmotoren in die Kolbenringnuten eingesetzten Kolbenringe haben die Aufgabe, den zwischen Kolbenkopf und Zylinderwand vorhandenen Spalt gegenüber dem Brennraum abzdichten. Bei der Auf- und Abbewegung des Kolbens gleitet der Kolbenring einerseits mit seiner äußeren Umfangsfläche in ständiger federnder Anlage gegen die Zylinderwand, andererseits gleitet der Kolbenring oszillierend in seiner Kolbenringnut, bedingt durch die Kippbewegungen des Kolbens, wobei seine Flanken, d.h. die Ober- und Unterseite des Kolbenringes, wechselnd an der oberen oder unteren Nutenflanke der Kolbenringnut anliegen.

Abhängig von den Materialeigenschaften der jeweils gegeneinander laufenden Gleitpartner tritt bei dem einen oder dem anderen der Gleitpartner mehr oder weniger starker Verschleiß auf, der bei einem Trockenlauf zu sogenannten Fressern, zu Riefenbildung und letztlich zu einer Motorzerstörung führen kann (vgl. hierzu auch Nüral Kolben-Handbuch der Alcan Aluminiumwerk Nürnberg GmbH, 1983, Seiten 146 bis 151).

Um das Gleitverhalten gegenüber der Zylinderwand zu verbessern, die in der Regel aus Grauguß besteht, sind im Stand der Technik zahlreiche Oberflächenbeschichtungen für die Umfangsfläche der Kolbenringe entwickelt worden. So ist in der DE-AS 17 51 573 ein chrombeschichteter Kolbenring beschrieben, der an seiner Umfangsfläche teilweise zusätzlich mit Molybdän beschichtet ist. In dem Kolbenring-Handbuch der Goetzwerke Friedrich Goetze AG, 3. Auflage 1977, Seite 28 ff. sind darüber hinaus verschleißmindernde Schichten als Laufflächenbewehrungen vorgesehen, die aus Chrom, Molybdän, Keramik, aus Bronzeeinlagen oder auch aus zusammengesetzten Schichten verschiedener Werkstoffe bestehen können.

Aus der DE-OS 21 56 127 ist ferner ein elektrolytisches Aufbringen von Gleitschichten auf einen Kolbenring und eine Zylinderwandung bekannt, wobei diese Gleitschichten, z.B. Nickel, durch harte suspendierte Partikel in ihrer Abriebsfestigkeit erhöht werden. Die partikelförmigen Einlagerungen können hierbei aus Siliciumcarbid oder Diamant bestehen.

Jüngere Entwicklungen bei Kolbenringen nützen die Möglichkeit der Abscheidung dünner Schichten aus Plasma (Plasma-PVD oder -CVD-Verfahren) (vgl. JP-A-62 58050). In dieser Druckschrift wird das Aufbringen von superharten Beschichtungen aus CBN, TiC, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oder Diamant auf den Außenumfang von Kolbenringen beschrieben. Die Dicke dieser Superhart-Schichten ist relativ groß und beträgt 15 µm. Darüber hinaus ist auf der Superhart-Werkstoffbeschichtung als oberste Beschichtung eine äußere Schicht aus TiN mit einer geringeren Dicke von 3 µm aufgebracht.

Obwohl auf dem Gebiet der Kolbenringe vielfache Anstrengungen unternommen wurden, den Verschleiß der Nutenflanken bei Verwendung von Aluminiumkolben zu reduzieren, konnte dies durch die obenbeschriebenen Entwicklungen nicht erreicht werden. Es hat sich im Gegenteil herausgestellt, daß gerade sogenannte Superhart-Schichten zwar den Kolbenring selbst vor einem Verschleiß schützen, daß derartige Verschleißschutzschichten jedoch aufgrund ihrer Härte bei Aluminiumlegierungen als Gleitpartner einen stärkeren Verschleiß bewirken. Insbesondere hat das vielfach verwendete TiN nur unzureichende Trockenlaufeigenschaften, so daß derartige Beschichtungen bei einem Schmierölmangel in kürzester Zeit erhebliche Laufflächenschäden erzeugen.

Aufgrund der obenbeschriebenen Probleme werden im Stand der Technik, insbesondere bei hochbeanspruchten Dieselmotoren, die dem Brennraum am nächsten liegenden Nuten, die folglich den höchsten thermischen und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, durch einen eingegossenen Kolbenringträger armiert, der in der Regel aus austenitischem Grauguß besteht (vgl. hierzu Nüral Kolben-Handbuch, Ausgabe 1983, Seiten 128 bis 131, insbesondere Bild 166).

Derartige Ringträger lösen zwar das Problem des Nutenverschleißes auf befriedigende Weise und werden deshalb auch in großem Umfang angewendet. Jedoch ist mit derartigen Ringträgern auch ein erheblicher Nachteil verbunden, da durch sie das Kolbengewicht erhöht wird und sowohl beim Gießen des Kolbens als auch bei dessen mechanischer Bearbeitung eine aufwendige Fertigungstechnologie erforderlich ist, was insgesamt erhebliche Mehrkosten verursacht. Kolbenringträger nehmen darüber hinaus im Kolbenkopf einen Raum ein, der die Anordnung von Kühlkanälen einschränkt und gerade dort nicht zuläßt, wo diese am meisten gewünscht wären, nämlich in möglichst großer Nähe zur obersten Ringnut. Aus dem Stand der Technik ebenfalls bekannte Alternativen zu Ringträgeringteilen sind beispielsweise Armierungen der obersten Ringnut durch Auftragsschweißen oder schweißtechnische Auflegierungen der Nutenflanken sowie durch Flamspritzen aufgetragene Oberflächenschichten. Jedoch bereiten auch diese Verfahren große fertigungstechnische Probleme und sehr hohe Kosten, so daß diese keine befriedigende Lösung bieten.

Es ist das der Erfindung zugrundeliegende Problem (Aufgabe), einen Kolbenring zu schaffen, der kostengünstig hergestellt werden kann, selber verschleißbeständig ist und insbesondere in der obersten Nut eines hochbelasteten Leichtmetall-Kolbens eingesetzt werden kann, ohne daß die Flanken der Nut einer besonderen Armierung bedürfen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch einen Kolben, der gemäß Anspruch 1 hergestellt ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren für Kolbenringe wird zunächst ein Kolbenringrohling aus einem für Kolbenringe gebräuchlichen Werkstoff,

beispielsweise Grauguß oder Stahl, hergestellt, in bekannter Weise zerspanend bearbeitet, auf der äußeren Umfangsfläche mit einer geeigneten Beschichtung als Laufschrift gegenüber der Zylinderbüchse versehen und erforderlichenfalls durch abschließendes Feinstbearbeiten in einen einbaufertigen Zustand gebracht.

Erfindungsgemäß erfolgt anschließend ein Beschichten des so erhaltenen Kolbenringes im Plasma-CVD-Verfahren mit einer dotierten Hartkohlenstoffschicht, vorzugsweise mit der Formel a-C:H, wobei a ein amorphes Material bezeichnet und C und H Kohlenstoff und Wasserstoff als Materialbestandteile bezeichnen.

Eine derartige dotierte, superharte Kohlenstoffschicht wird auch unter dem Handelsnamen Dynamant (eingetragene Marke) angeboten und ist aus dem Beitrag von Dr. Knut Enke "Mit modifiziertem superhartem Kohlenstoff gegen Verschleiß, Korrosion und Reibung" bekannt, der im Jahrbuch Oberflächentechnik Band 45, 1989, des Metall-Verlages erschienen ist. Auf diesen Stand der Technik wird hiermit hinsichtlich der superharten, dotierten Kohlenstoffschicht ausdrücklich Bezug genommen und dessen Inhalt wird als Bestandteil der Offenbarung dieser Anmeldung angesehen. Durch Ionenbeschuß entsteht hier eine Kohlenstoffmodifikation, die weder reiner Graphit noch reiner Diamant ist, sondern vielmehr zwischen diesen beiden Materialien liegt. Die allgemeine Formel a-C:H bedeutet, daß es sich um ein amorphes ("a") also nicht-kristallines Material handelt, das im wesentlichen aus Kohlenstoff besteht, der einen nicht näher angegebenen Anteil an Wasserstoff enthält.

Die erfindungsgemäß vorgesehene Hartkohlenstoffschicht dient in erster Linie als Laufschrift gegenüber den Nutenflanken der Kolbenringnuten und nicht notwendigerweise als Laufschrift gegenüber der üblicherweise aus Grauguß bestehenden Zylinderbüchse. Zwar kann die Hartkohlenstoffschicht auch auf die äußere Umfangsfläche des Kolbenringes aufgebracht werden, da sie dort nicht stört, jedoch bringt sie dort bei Laufbüchsen aus Grauguß keine wesentlichen zusätzlichen Vorteile. Andererseits bringt die erfindungsgemäße Bewehrung des Kolbenringes an seiner Oberseite und seiner Unterseite, d.h. an den Flächen, die mit den Nutenflanken der Kolbenringnut in Berührung treten, ganz erhebliche Vorteile. Die Hartkohlenstoffschicht schützt nämlich in der Paarung von Kolbenring und Kolbenringnut sowohl die Kolbenringflanken als auch die Nutenflanken im Kolbenwerkstoff vor unzulässig hohem Verschleiß, und dies selbst bei einem Einsatz in hochbelasteten Dieselmotoren. Hierbei ist es mit den erfindungsgemäß hergestellten Kolbenringen möglich, auf eine Bewehrung der Kolbenringnuten zu verzichten, was die Herstellungskosten der Kolben entscheidend verringert. Auf einen Ringträgerersatz für die oberste Kolbenringnut kann demnach verzichtet werden, wodurch es erstmals möglich wird, den Kühlkanal im Kolbenkopf in die unter ther-

mischen Gesichtspunkten gewünschte Nähe zur obersten Ringnut zu bringen. Hierdurch wird die Betriebstemperatur im Bereich der obersten Ringnut gesenkt und somit zusätzlich wirksam zur Betriebssicherheit der obersten Ringnut beigetragen. Schließlich besitzt die erfindungsgemäß vorgesehene Hartkohlenstoffschicht auch außerordentlich gute Trockenlauf Eigenschaften.

Vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind durch die Unteransprüche 2 bis 8 gekennzeichnet.

So kann das Beschichten der äußeren Umfangsfläche des Kolbenringes in bekannter Weise mit Chrom, Molybdän, Nickel, Diamant oder ähnlichen Materialien erfolgen, um den Verschleiß der Umfangsfläche des Kolbenringes zu verringern.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann das erfindungsgemäße Verfahren so abgeändert werden, daß das Beschichten der äußeren Umfangsfläche mit einer speziellen Laufschrift weggelassen wird, jedoch der Kolbenring allseitig mit der Hartkohlenstoffschicht beschichtet wird. Eine derartige Ausführungsform eignet sich insbesondere bei Paarung mit einer Leichtmetallzylinderlaufbüchse, d.h. bei Zylinderlaufflächen aus beispielsweise Aluminiumlegierungen. Während bei den üblichen Grauguß-Zylinderbüchsen die Kolbenringe mit einer stirnseitigen Laufschrift beschichtet sein sollten, führt die Paarung eines allseitig hartkohlenstoffbeschichteten Kolbenringes, der keine weitere Beschichtung aus Laufschrift auf der äußeren Umfangsfläche aufweist, mit einer Leichtmetallzylinderlaufbüchse auch auf der Stirnseite des Ringes zu einem zufriedenstellenden Gleitverhalten. Hierbei können nitrierte Stahlringe ohne jede vorhergehende Stirnflächenbelegung vorgesehen werden. In Einzelfällen kann zusätzlich eine galvanische Chrombeschichtung der Stirnfläche vorgesehen werden.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung betrifft diese einen Kolben, der mindestens einen erfindungsgemäß hergestellten Kolbenring aufweist. Hierbei kann der Kolben erfindungsgemäß aus einer warmfesten Aluminiumlegierung hergestellt sein, die insbesondere eine Zusammensetzung gemäß Anspruch 11 aufweist.

Eine derartige Legierung ist zwar aus der DE 43 26 978 A1 bekannt. Jedoch hat sich herausgestellt, daß ein Kolben aus einer derartigen Aluminiumlegierung, der mit einem erfindungsgemäß hergestellten Kolbenring kombiniert wird, entscheidende Vorteile bringt. Die erfindungsgemäß vorgeschlagene, warmfeste Aluminiumlegierung für den Kolbenwerkstoff ist nicht nur in Hinblick auf den Reibverschleiß vorteilhaft, sondern insbesondere auch in Hinblick auf die schlagende Beanspruchung der Ringnutenflanken unter der Einwirkung des sich in der Nut oszillierend mit der motorischen Kolbenbewegung in der Ringnut auf- und abbewegenden Kolbenringes. Andere bevorzugte, warmfeste Aluminiumlegierungen sind Al-Si-Mg-Legierungen mit relativ hohen Gehalten an Schwermetallen wie Ni, Cu, Mn und Fe. Bei derartigen Kolbenlegierun-

gen kann bei Verwendung der erfindungsgemäß hergestellten Kolbenringe selbst die oberste Ringnut direkt in den Kolbenwerkstoff eingearbeitet werden. Somit bietet die erfindungsgemäße Kombination des erfindungsgemäß hergestellten Kolbenringes, der hartkohlenstoffbeschichtet ist, mit einem Kolben aus einer warmfesten Aluminiumlegierung, der eine unbewehrte Ringnut aufweist, eine einfache, kostengünstige und in jeder Hinsicht vorteilhafte Lösung des eingangs genannten Problems.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung rein beispielhaft anhand einer vorteilhaften Ausführungsform beschrieben.

Zur Herstellung des erfindungsgemäßen Kolbenringes wird zunächst ein Kolbenringrohling nach bekannten Verfahren aus Stahl hergestellt und in seiner Oberfläche nitriert.

In einem nachfolgenden Schritt wird die äußere Umfangsfläche des Kolbenringes mit einer Laufschrift gegenüber der Zylinderbüchse versehen, die beispielsweise aus galvanisch aufgebrachtem Chrom besteht. Hierauf wird der so erhaltene Kolbenring auf eine Rauigkeit von  $Rz \leq 1 \mu\text{m}$  einbaufertig feinstbearbeitet.

Um den so erhaltenen Kolbenring mit der erfindungsgemäßen Beschichtung zu versehen, wird dieser allseitig im Plasma-CVD-Verfahren mit einer dotierten Hartkohlenstoffschrift überzogen, die eine Dicke von  $3 \pm 0,5 \mu\text{m}$  aufweist. Diese Hartkohlenstoffschrift, die unter dem Handelsnamen Dynamant bekannt und durch die allgemeine Formel  $a\text{-C:H}$  definiert ist, macht die Oberflächen des Kolbenringes in besonderer Weise gleitfähig gegenüber den Nutenflanken der jeweiligen Kolbenringnut, mit der der Ring in Eingriff steht. Hierdurch werden sowohl die Kolbenringflanken wie auch die Nutenflanken vor unzulässig hohem Verschleiß geschützt.

Der erfindungsgemäß vorgesehene Kolben wird aus einer warmfesten Aluminiumlegierung gegossen, wie sie in Anspruch 11 beansprucht und in der DE 43 26 978 A1 beschrieben ist. Hinsichtlich der Legierungszusammensetzung wird diese Druckschrift ebenfalls zum Gegenstand der Offenbarung dieser Anmeldung gemacht. Nach dem Gießen des Kolbens werden im Zuge der üblichen mechanischen Bearbeitung die Kolbenringnuten direkt in den Werkstoff des Kolbens eingestochen, ohne daß eine besondere Flankenarmierung vorgesehen wird. Die erfindungsgemäßen Kolbenringe werden auf herkömmliche Weise in die Kolbenringnuten des Kolbens eingesetzt.

Die gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellten Kolbenringe wurden zwar vorstehend für eine Paarung mit unbewehrten Nuten in einer Aluminiumkolbenlegierung beschrieben, sie sind jedoch auch auf vorteilhafte Weise für Paarungen in Nuten in Eisenwerkstoffen einsetzbar, z.B. bei gebauten Kolben mit einem Leichtmetallunterteil und einem Oberteil aus Stahl oder Grauguß. Auch können die erfindungsgemäß hergestellten Kolbenringe in Paarungen mit Nuten in den bekannten Ringträgern eingesetzt werden. Auch

hier können sie unter extremen Belastungen Standzeitverlängerungen der Gleichflächen bewirken.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Kolbenringen für Verbrennungsmotoren, umfassend die folgenden Schritte:

- Herstellen eines Kolbenringrohlings nach herkömmlichen Verfahren;
- Beschichten der äußeren Umfangsfläche des so erhaltenen Kolbenringes mit einer Laufschrift und ggf. Feinbearbeiten des Kolbenringes;

### gekennzeichnet durch

- anschließendes Beschichten des Kolbenringes im Plasma-CVD-Verfahren mit einer dotierten Hartkohlenstoffschrift.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dotierte Hartkohlenstoffschrift folgende Zusammensetzung aufweist:



wobei

- a: amorphes Material,
- C: Kohlenstoff und
- H: Wasserstoff bedeuten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Beschichten des Kolbenringes mit einer Hartkohlenstoffschrift allseitig erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolbenring vor dem Beschichten mit der Hartkohlenstoffschrift feinstbearbeitet wird, vorzugsweise auf eine Rauigkeit  $\leq 1 \mu\text{m}$ .

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Beschichten des Kolbenringes mit einer Schichtdicke von mindestens  $2,5 \mu\text{m}$ , vorzugsweise von  $3 \pm 0,5 \mu\text{m}$  erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolbenring aus Grauguß und vorzugsweise aus Stahl hergestellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Kolbenringes vor dem Beschichten nitriert wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung einer Laufschrift das Beschichten der äußeren Umfangsfläche des Kolbenringes mit einem oder mehreren der folgenden Materialien erfolgt: Chrom, Molybdän, Keramik, Bronze, Nickel, SiC, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, oder Diamant. 10  
15
9. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Verfahrensschritt des Beschichtens der äußeren Umfangsfläche des Kolbenringes mit einer Laufschrift weggelassen wird. 20
10. Kolbenring, hergestellt nach einem der vorstehenden Ansprüche.
11. Kolben mit mindestens einem Kolbenring nach Anspruch 10, wobei der Kolben aus einer warmfesten Aluminiumlegierung hergestellt ist. 25
12. Kolben nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Aluminiumlegierung folgende Zusammensetzung aufweist: 30
- 2 - 6 % Kupfer
  - 2 - 6 % Nickel 35
  - 11 - 16 % Silizium
  - 0,5 bis 2,0 % Magnesium
  - bis 0,7 % Eisen
  - bis 0,5 % Mangan
  - Rest Aluminium 40
13. Kolben nach einem der vorstehenden Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringnut des Kolbens direkt in den Kolbenwerkstoff eingearbeitet ist. 45
14. Kolben nach einem der vorstehenden Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß dieser keinen Kolbenring-Trägereinsatz aufweist. 50
15. Kolben nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß dieser in der Nähe seiner obersten Ringnut einen Kühlkanal im Kolbenkopf aufweist. 55
16. Kolben nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß

der engste Abstand zwischen Kühlkanalwand und dem Nutengrund der obersten Ringnut nicht mehr als 3 mm beträgt.