



(12) **BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
1-0021198

(51)⁷ **F02F 1/00, C23C 16/00**

(13) **B**

(21) 1-2014-03662

(22) 06.05.2013

(86) PCT/IB2013/001028 06.05.2013

(87) WO2013/164690 11.07.2013

(30) 1254060 03.05.2012 FR

(45) 25.06.2019 375

(43) 26.01.2015 322

(73) H.E.F. (FR)

Rue Benoit Fourneyron, F-42160 Andrezieux Boutheon, France

(72) HEAU Christophe (FR), BOMBILLON Laurent (FR), MAURIN-PERRIER Philippe (FR)

(74) Công ty Luật TNHH Phạm và Liên danh (PHAM & ASSOCIATES)

(54) **VỎ ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG**

(57) Sáng chế đề cập đến vỏ động cơ đốt trong có bề mặt bên trong được làm cho hoàn toàn trơn nhẵn và được phủ lớp phủ DLC (Diamond Like Carbon - cacbon dạng kim cương). Cụ thể, vỏ động cơ đốt trong theo sáng chế, khác biệt ở chỗ, bề mặt bên trong của vỏ này không có các rãnh mài doa, được xử lý bằng cách đánh bóng để có độ nhám bề mặt Ra nhỏ hơn 0,06µm, và sau đó được phủ lớp phủ DLC (Diamond Like Carbon - cacbon dạng kim cương).

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến vỏ động cơ đốt trong.

Cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến việc xử lý vỏ động cơ đốt trong hoặc đối tượng có hình dạng tương tự, nhằm làm giảm tổn hao do ma sát. Đặc biệt có lợi nếu sáng chế được ứng dụng trong lĩnh vực ô tô, tuy nhiên sáng chế không chỉ giới hạn ở lĩnh vực này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các chuyên gia trong lĩnh vực này đã hoàn toàn biết cách sử dụng lớp phủ DLC (*Diamond Like Carbon - cacbon dạng kim cương*) trên các vòng găng để làm giảm hệ số ma sát của hầu hết các kim loại. Ví dụ, việc sử dụng lớp phủ như vậy có thể được áp dụng cho các vòng găng, pittông, cụm vỏ bọc của động cơ đốt trong, nơi ma sát có thể làm cho động cơ bị hao tổn từ 30% đến 40%.

Để làm giảm hệ số ma sát, đã có giải pháp phủ lớp phủ DLC lên các vòng găng này, ví dụ như giải pháp được nêu trong tài liệu WO 2011/051008. Tuy nhiên, giải pháp này là không khả quan.

Từ quan điểm động học, cần lưu ý rằng vòng găng này thường bị mòn mạnh hơn so với vỏ. Thực vậy, một điểm trên vòng găng tiếp xúc thường xuyên với vỏ trong hành trình trở về của pittông, trong khi một điểm trên vỏ chỉ tiếp xúc với vòng găng trong một thời gian rất ngắn.

Hơn nữa, để thu được kết quả khả quan, cần phải tạo ra lớp phủ DLC rất dày, nói chung với độ dày lớn hơn 10 μm , làm tăng chi phí và gây khó khăn đáng kể về mặt kỹ thuật.

Thực vậy, độ dày lớn của lớp DLC làm cho vòng găng có độ nhám đáng kể, vì vậy cần phải chỉnh sửa sau khi lắng phủ, nếu không thì vỏ sẽ bị mài mòn không thể chấp nhận được. Cũng có thể thấy rằng vòng găng thường có nhiệt độ cao ảnh hưởng xấu tới lớp phủ DLC.

Như nêu trên, do vỏ chịu sự mài mòn thấp hơn, nên đã có đề xuất xử lý bề mặt bên trong của vỏ để làm giảm độ ma sát.

Nhằm mục đích này, các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này đã đề xuất công đoạn hoàn thiện vỏ động cơ bao gồm bước tạo ra các lỗ rỗng có chức năng giữ chất bôi trơn ở những nơi có tiếp xúc cơ học. Công đoạn hoàn thiện như vậy, còn được gọi là "mài doa", tiến hành trực tiếp trên vỏ, hoặc trên lớp phủ dày phủ bên trong của vỏ này. Ví dụ, giải pháp được mô tả trong patent EP 0716151 đề cập đến vỏ mà bên trong của nó được phủ một lớp phủ dày bằng cách phun nhiệt, và sau đó được mài doa, để giảm độ dày 10 μm .

Tài liệu WO 2009106981 đề cập đến bước mài doa được thực hiện sau khi tạo lớp phủ.

Như vậy, từ tình trạng kỹ thuật, có thể thấy rằng tất cả các giải pháp được sử dụng để làm giảm độ ma sát ở vỏ và hạn chế nguy cơ kẹt đều cần đến bước mài doa để tạo chỗ giữ chất bôi trơn ở những nơi có tiếp xúc cơ học, ví dụ, giữa vòng găng và vỏ.

Các giải pháp như vậy đòi hỏi phải dùng một lượng dầu đáng kể trên thành vỏ. Một phần năng lượng bị mất trong quá trình trượt của màng dầu.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế nhằm khắc phục các nhược điểm này theo cách đơn giản, chắc chắn, hiệu quả và hợp lý.

Sáng chế tìm cách tránh thực hiện bước mài doa bên trong vỏ nhằm giảm thiểu lượng dầu trên thành vỏ và giảm tổn hao lực trong quá trình trượt của màng dầu.

Sáng chế cũng nhằm mục đích làm giảm mức độ hao mòn của vòng găng để giữ được độ kín tối ưu của phần thân động cơ trong suốt thời gian sử dụng nó.

Để giải quyết vấn đề nêu trên, vỏ động cơ đốt trong được thiết kế và chế tạo, với mặt bên trong của nó được làm cho hoàn toàn trơn nhẵn để tiếp nhận lớp phủ DLC.

Cụ thể, vỏ động cơ đốt trong theo sáng chế, khác biệt ở chỗ, bề mặt bên trong của vỏ này không có các rãnh mài doa, được xử lý bằng cách đánh bóng để có độ nhám bề mặt Ra nhỏ hơn $0,06\mu\text{m}$, và sau đó được phủ lớp phủ DLC (Diamond Like Carbon - cacbon dạng kim cương).

Ngoài ra, vỏ động cơ đốt trong theo sáng chế có thể còn bao gồm một số dấu hiệu khác biệt, riêng biệt hoặc theo cách kết hợp, như:

độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn $10\mu\text{m}$.

độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn $7\mu\text{m}$.

độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn hoặc bằng $4\mu\text{m}$.

vỏ này được làm bằng chất liệu kim loại có thể được đánh bóng để thu được độ nhám thấp.

trị số độ nhám Ra của bề mặt vỏ trước khi lắng phủ, là nhỏ hơn $0,04\mu\text{m}$.

lớp phủ DLC được phủ bên trong của vỏ đã được đánh bóng bằng kỹ thuật lắng phủ trong chân không bao gồm bước tẩm thực ion và bước lắng phủ thực tế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Việc sử dụng vỏ hoàn toàn trơn nhẵn, ví dụ, vỏ được đánh bóng, và được phủ bằng DLC, có thể làm giảm một cách đáng kể tổn hao do ma sát giữa vòng găng pittông và vỏ và, do đó làm giảm sự phát thải khí CO₂ từ động cơ. Việc sử dụng độ nhám thấp cũng cho phép làm giảm mức độ hao mòn của vòng găng và, do đó, duy trì hiệu năng cao trong quá trình sử dụng động cơ (mức độ chịu nén hoặc mức độ tiêu thụ dầu). Cuối cùng, việc sử dụng lớp phủ DLC bên trong của vỏ cho phép không cần phải thực hiện bước mài doa cuối và vì vậy mà tránh được các nhược điểm của bước mài doa này.

Độ nhám Ra của bề mặt vỏ trước khi lắng phủ là nhỏ hơn 0,06 μm và có lợi nếu nhỏ hơn 0,04 μm .

Có lợi, nếu tổng độ dày của lớp phủ chứa lớp DLC là nhỏ hơn 10 μm và tốt hơn nếu nhỏ hơn 7 μm và tốt hơn nữa nếu nhỏ hơn hoặc bằng 4 μm .

Vỏ động cơ được làm bằng chất liệu kim loại có khả năng chịu đánh bóng để thu được độ nhám thấp. Vỏ động cơ có thể được làm bằng hợp kim nhôm, thép, thép không gỉ, nhưng không chỉ giới hạn ở các chất liệu này.

Lớp phủ DLC được phủ lên mặt bên trong của vỏ bằng phương pháp lắp đặt hoặc phương pháp được làm thích ứng đặc biệt khi vỏ này có chiều dài lớn hơn đường kính của nó, hoặc bằng phương pháp thông dụng hơn khi độ dài của vỏ nhỏ hơn hoặc bằng đường kính của nó. Ví dụ, lớp phủ DLC được phủ lên mặt bên trong của vỏ bằng kỹ thuật lắng phủ trong chân không theo cách đã biết bao gồm bước tẩm thực ion và bước lắng phủ thực tế.

Bước tẩm thực ion bao gồm việc phun xạ bề mặt bằng lượng lớn ion. Các nguyên tử bề mặt được loại bỏ, nhờ đó loại bỏ được oxit bề mặt tác động bất lợi đến sự bám dính của lớp lắng phủ. Việc tẩm thực bề mặt oxit không làm thay đổi tình trạng bề mặt. Việc lắng phủ bao gồm quá trình crackinh hydrocacbon như axetylen, metan,... ngưng tụ ở bề mặt của các bộ phận để tạo ra lớp phủ DLC. Để cho phép liên kết DLC, trước đó cần sử dụng một

lớp phủ có thể tạo ra bằng cách lắng phủ để liên kết với chất liệu tạo vỏ và lớp này có khả năng liên kết với DLC. Lớp phủ này có thể được lắng phủ bằng kỹ thuật PVD hoặc kỹ thuật PACVD. Các khó khăn liên quan đến việc xử lý bên trong vỏ hoặc bộ phận tương đương là độ đồng nhất của plasma và việc xử lý được tiến hành. Plasma có thể được tạo bởi sự phân cực của vỏ hoặc từ nguồn bổ sung plasma được bố trí bên trong hoặc bên ngoài của vỏ theo hình dạng của nó, tức là theo chiều dài của nó so với đường kính của nó.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách chi tiết hơn qua các ví dụ và các phương án khác nhau, đề cập đến việc phủ lớp phủ DLC bên trong của vỏ đã được đánh bóng hoàn toàn theo sáng chế và đề cập đến bước mài doa theo các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này.

Theo phương án thứ nhất, hai vỏ động cơ được làm bằng thép, có đường kính 72mm và chiều dài 150mm được phủ bằng DLC. Theo sáng chế, bề mặt bên trong của mỗi vỏ này trước đó đã được đánh bóng bằng kỹ thuật đánh bóng cơ hóa, sao cho Ra nhỏ hơn $0,02\mu\text{m}$. Vỏ động cơ thứ hai được mài doa theo phương pháp như được mô tả trong các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này. Ra của vỏ thứ hai này là $0,25\mu\text{m}$, và nó có RSk âm. Trị số RSk âm cho biết sự có mặt của các rãnh mài doa.

Sau khi sạch, các vỏ này được đặt trong buồng chân không. Trong khi bơm, buồng chân không và vỏ thường được loại khí bằng bức xạ nhiệt ở nhiệt độ 200°C . Khi chân không đạt đến áp suất khoảng 1×10^{-5} mba, khí argon được đưa vào buồng chân không để thu được áp suất 1Pa và vỏ được áp đặt một điện áp ở trị số âm cao ở mức -500 V để thực hiện việc tẩm thực ion, cho phép loại bỏ oxit tự nhiên bao phủ trên thép để thúc đẩy việc liên kết của lớp phủ. Sau khi tẩm thực, việc lắng phủ vonfram cacbua được thực hiện

bên trong của mỗi vỏ bằng cách sử dụng catôt maghetron có dạng hình trụ có đường kính 30mm, được đặt bên trong của vỏ này. Đích được sử dụng cho việc lắng phủ này được làm bằng vonfram cacbua. Mật độ năng lượng được áp dụng cho catôt là khoảng 5 W/cm^2 . Trong khi lắng phủ vonfram cacbua, axetylen được đưa vào với tốc độ dòng tăng sao cho cấu trúc của lớp lắng phủ thay đổi từ vonfram cacbua thành nền cacbon vô định hình chứa vonfram. Cuối cùng, lớp cacbon loại DLC được lắng phủ bằng cách áp đặt lên đó một điện áp bằng -450V trong khí quyển axetylen ở áp suất $0,9\text{Pa}$.

Kết quả là tạo ra được lớp lắng phủ DLC bên trong của mỗi vỏ, được đặc trưng bởi việc liên kết nhờ tạo vết lõm Rockwell, từ HF1 đến HF3. Độ dày của lớp lắng phủ, được xác định theo nguyên tắc chỏm cầu (calotest), chỉ ra rằng lớp phủ có độ dày $0,7 \mu\text{m}$ và lớp DLC có độ dày $2,5\mu\text{m}$.

Theo phương án thứ hai, hai vỏ động cơ được làm bằng thép, có đường kính 72mm và chiều dài 150mm, được phủ bằng DLC. Theo sáng chế, bề mặt bên trong của vỏ thứ nhất trước đó đã được đánh bóng bằng kỹ thuật mài bóng, trong đó tấm vải được tẩm vật liệu mài mòn dạng bột nhão được quay bên trong của vỏ, sao cho Ra nhỏ hơn $0,04 \mu\text{m}$. Vỏ động cơ thứ hai được mài doa theo phương pháp như được mô tả trong các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, và Ra của nó bằng $0,25 \mu\text{m}$.

Sau khi làm sạch, vỏ được đặt trong buồng chân không. Trong khi bơm, buồng chân không và vỏ thường được loại khí bằng cách bức xạ nhiệt ở nhiệt độ 200°C . Khi chân không đạt đến áp suất khoảng $1 \times 10^{-5} \text{ mba}$, khí argon được đưa vào buồng chân không để thu được áp suất 1Pa và vỏ được áp đặt một điện áp ở trị số âm cao ở mức -500 V để thực hiện việc tẩm thực ion, cho phép loại bỏ oxit tự nhiên bao phủ trên thép để thúc đẩy việc liên kết của lớp phủ. Sau khi tẩm thực, việc lắng phủ crom cacbua được thực hiện bên trong của mỗi vỏ bằng cách sử dụng catôt maghetron có dạng hình trụ có đường kính 30mm, được đặt bên trong của vỏ này. Trong ví dụ này, catôt

maghetron có dạng hình trụ được phủ bằng đích crom cacbua, mật độ năng lượng được áp dụng cho catôt này là 5-W/cm^2 . Trong khi lắng phủ crom cacbua, axetylen được đưa vào với tốc độ dòng tăng sao cho cấu trúc của lớp lắng phủ thay đổi từ crom cacbua thành nền cacbon vô định hình chứa crom. Cuối cùng, lớp cacbon loại DLC được lắng phủ bằng cách áp đặt lên đó một điện áp bằng -450V trong khí quyển axetylen ở áp suất $0,9\text{Pa}$.

Kết quả là tạo ra được lớp lắng phủ DLC bên trong của mỗi vỏ, được đặc trưng bởi việc liên kết nhờ tạo vết lõm Rockwell, từ HF1 đến HF3. Độ dày của lớp lắng phủ, được xác định theo nguyên tắc chỏm cầu (calotest), chỉ ra rằng lớp phụ có độ dày $0,8\mu\text{m}$ và lớp DLC có độ dày $2,7\mu\text{m}$.

Theo phương án thứ ba, hai vỏ động cơ được làm bằng thép không gỉ, có đường kính 86mm và chiều dài 150mm , được phủ bằng DLC. Bề mặt bên trong của vỏ thứ nhất trước đó đã được đánh bóng bằng kỹ thuật lắng phủ điện phân, sao cho R_a nhỏ hơn $0,03\mu\text{m}$. Vỏ động cơ thứ hai được mài doa theo phương pháp như được mô tả trong các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, để thu được R_a $0,25\mu\text{m}$.

Các bước còn lại của phương pháp này là giống với các bước còn lại của phương án thứ hai.

Kết quả là tạo ra được lớp lắng phủ DLC bên trong của mỗi vỏ, được đặc trưng bởi việc liên kết nhờ tạo vết lõm Rockwell, từ HF1 đến HF3. Độ dày của lớp lắng phủ, được xác định theo nguyên tắc chỏm cầu (calotest), chỉ ra rằng lớp phụ có độ dày $0,8\mu\text{m}$ và lớp DLC có độ dày $2,7\mu\text{m}$.

Theo phương án thứ tư của sáng chế, hai vỏ động cơ được làm bằng thép, có đường kính bên trong 92mm và chiều dài 88mm , được phủ bằng DLC. Bề mặt bên trong của vỏ thứ nhất được đánh bóng bằng vải để thu được độ nhám nhỏ hơn $0,03\mu\text{m}$. Chiều dài của vỏ so sánh với đường kính bên trong của nó cho phép sử dụng kỹ thuật lắng phủ thông thường hơn, tức là, sử dụng nguồn plasma đặt bên ngoài vỏ. Vỏ động cơ thứ hai được mài doa

theo phương pháp như được mô tả trong các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, và Ra của nó bằng $0,25\text{ }\mu\text{m}$.

Sau khi làm sạch các vỏ này, chúng được bố trí trên cụm cơ học để cho phép bản thân các vỏ này quay và quay bên trong thiết bị, theo chuyển động hành tinh, để có thể xử lý xuyên từ 2 đầu của vỏ. Sau khi thiết bị chân không được loại khí bằng cách gia nhiệt ở nhiệt độ 200°C , các vỏ được tắm thực trong môi trường argon ở áp suất $0,3\text{Pa}$. Việc tắm thực được thực hiện bằng cách áp đặt một điện áp ở trị số -150V lên thành thiết bị. Plasma argon được tạo ra từ hệ vi sóng ECR với công suất 350W . Sau bước tắm thực là bước lắng phủ lớp crom mỏng có độ dày nằm trong khoảng từ $0,1$ đến $0,2\mu\text{m}$, được tạo ra từ các catôt maghetron phẳng được trang bị đích crom được áp dụng mật độ năng lượng 5 W/cm^2 . Sau đó, lớp vonfram cacbua được tạo ra bằng cách phún xạ catôt maghetron phẳng để thu được độ dày $1,5\mu\text{m}$. Để đạt được điều này, catôt thứ hai được trang bị đích vonfram cacbua được áp dụng mật độ năng lượng 5 W/cm^2 . Sau đó, axetylen được đưa vào với tốc độ dòng tăng để thu được lớp có khả năng liên kết với DLC. Cuối cùng, DLC được lắng phủ trong môi trường axetylen bằng cách phân cực vỏ ở điện áp -500V dưới áp suất 1Pa , để thu được độ dày $2,2\mu\text{m}$.

Kết quả là tạo ra được lớp lắng phủ DLC bên trong của vỏ, được đặc trưng bởi việc liên kết nhờ tạo vết lõm Rockwell, từ HF1 đến HF2. Độ dày của lớp lắng phủ, được xác định theo nguyên tắc chỏm cầu (calotest), chỉ ra rằng lớp phụ có độ dày $1,7\mu\text{m}$ ($0,2+1,5$) và lớp DLC có độ dày $2,2\text{-}\mu\text{m}$.

Theo phương án thứ năm, hai vỏ động cơ được làm bằng thép, được dự định là các đối thủ cạnh tranh trong lĩnh vực ô tô, có đường kính 92mm và chiều dài 80mm , được phủ bằng DLC. Bề mặt bên trong của mỗi vỏ này trước đó đã được đánh bóng bằng phương pháp cơ hóa. Kỹ thuật đánh bóng này được áp dụng để thu được Ra nhỏ hơn $0,06\text{ }\mu\text{m}$. Vỏ động cơ thứ hai

được mài doa theo phương pháp như được mô tả trong các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, và Ra của nó là $0,25\text{ }\mu\text{m}$.

Sau khi làm sạch, các vỏ này được đặt trong buồng chân không. Trong khi bơm, buồng chân không và vỏ thường được loại khí bằng bức xạ nhiệt ở nhiệt độ 200°C . Khi độ chân không đạt tới áp suất khoảng 1×10^{-5} mba, thì argon được đưa vào buồng chân không này để thu được áp suất $0,3\text{Pa}$, và vỏ được áp đặt một điện áp ở trị số âm cao bằng -150 V trong plasma được tạo ra từ các nguồn vi sóng nằm ở thành thiết bị để thực hiện việc tẩm thực ion, cho phép loại bỏ oxit tự nhiên bao phủ trên thép để thúc đẩy việc liên kết của lớp phủ. Trong suốt quá trình xử lý, vỏ được dịch chuyển trong thiết bị này theo chuyển động hành tinh để tiếp xúc với các nguồn plasma khác. Sau khi tẩm thực, việc lắng phủ vonfram cacbua được thực hiện bên trong của vỏ bằng cách sử dụng catôt maghetron phẳng trên các thành của thiết bị lắng phủ. Đích phẳng này được làm bằng vonfram cacbua và mật độ năng lượng $5\text{W}/\text{cm}^2$ được áp dụng ở đó để thực hiện việc lắng phủ. Trong khi lắng phủ vonfram cacbua, axetylen được đưa vào với tốc độ dòng tăng sao cho cấu trúc của lớp lắng phủ thay đổi từ vonfram cacbua thành nền cacbon vô định hình chứa vonfram. Cuối cùng, lớp cacbon loại DLC được lắng phủ bằng cách áp đặt lên đó một điện áp bằng -380V trong khí quyển axetylen ở áp suất $0,4\text{Pa}$. Plasma được tạo ra từ các nguồn vi sóng nằm ở thành thiết bị.

Kết quả là tạo ra được lớp lắng phủ DLC bên trong của mỗi vỏ, được đặc trưng bởi việc liên kết nhờ tạo vết lõm Rockwell, từ HF1 đến HF2. Độ dày của lớp lắng phủ, được xác định theo nguyên tắc chỏm cầu (calotest), chỉ ra rằng lớp phủ có độ dày $1,7\mu\text{m}$ và lớp DLC có độ dày $2,2\mu\text{m}$.

Sau các bước xử lý khác, một dải có chiều rộng 10mm được cắt theo chiều dài của vỏ để cho phép lớp phủ có đặc tính ma sát đặc trưng.

Đối với các thử nghiệm, ma sát kế tuyến tính A.C. được sử dụng. Quả cầu thép được phủ bằng lớp phủ CrN hoặc bằng lớp phủ DLC được sử dụng để thực hiện thử nghiệm ma sát trên các phần vỏ khác nhau. Các quả cầu này thường được phủ bằng CrN bằng phương pháp phún xạ catôt magnetron (magnetron cathode sputtering - PVD) chỉ khác là độ dày của lớp lắng phủ bằng 15 μ m đại diện cho lớp được lắng phủ trên vòng găng. Tương tự, việc phủ các quả cầu thép bằng DLC bao gồm lớp phụ PVD chứa Cr tinh khiết có độ dày 1 μ m, tiếp đó là lớp PVD chứa vonfram cacbua, lần lượt được làm giàu cacbon, khi tính từ bề mặt thép, nó có độ dày 3 μ m. Cuối cùng, lớp DLC được tạo ra từ PECVD, độ dày của nó là 6 μ m, để tạo ra lớp phủ có tổng độ dày 10 μ m. Các quả cầu so sánh được đánh bóng phẳng có Ra ban đầu bằng 0,02 μ m cũng được phủ bằng DLC. Sau khi lắng phủ, độ nhám trên phần tử so sánh phẳng này là 0,08 μ m. Mức tăng độ nhám này phụ thuộc vào độ dày của lớp phủ.

Tải trọng 5N được áp dụng lên quả cầu sẽ gây ra một áp lực tiếp xúc ban đầu bằng 540 MPa. Quả cầu này chuyển động trượt qua lại trong các phần vỏ, ở tốc độ trung bình 35mm/giây. Như thấy được qua camera, tốc độ này thay đổi theo quy tắc hình sin. Chiều dài di chuyển là 10 mm. Đối với các thử nghiệm này, dầu dùng cho động cơ, loại SAE 5W30, được nhỏ vào nơi tiếp xúc. Các thử nghiệm này được tiến hành ở nhiệt độ 110°C. Sau 15.000 chu trình, hệ số ma sát tăng lên, cũng như độ mòn trên quả cầu và độ mòn trên phần vỏ cũng tăng lên. Độ mòn trên quả cầu được xác định bằng cách đo đường kính của chỉ dấu ma sát, trong khi độ mòn trên phần vỏ được xác định bằng máy đo biên dạng trên chỉ dấu ma sát. Các thông số được chọn đều phải cho phép hoạt động ở tải trọng tối thiểu, tương ứng với tải trọng gặp phải gần với điểm trung tính cao và điểm trung tính thấp. Tải trọng này gây ra phần lớn tổn hao do ma sát và độ mòn của các bộ phận khi tiếp xúc.

Thử nghiệm Số	Vỏ	Ra của vỏ (μm)	Lớp lắng phủ ví dụ số	Quả cầu	COF	Độ mòn của quả cầu	Độ mòn của rãnh
1	Mài doa	0,11		CrN	0,15	105 μm	N.M.
2	Mài doa	0,11		DLC	0,10	100 μm	3 μm
3	Được đánh bóng + DLC	0,02	1	CrN	0,11	110 μm	N.M.
4	Mài doa + DLC	0,12	1	CrN	0,12	240 μm	N.M.
5	Được đánh bóng + DLC	0,04	2	CrN	0,11	120 μm	N.M.
6	Được đánh bóng + DLC	0,04	2	DLC	0,06	110 μm	N.M.
7	Mài doa + DLC	0,12	2	DLC	0,09	180 μm	N.M.
8	Được đánh bóng + DLC	0,03	3	CrN	0,10	110 μm	N.M.
9	Mài doa + DLC	0,11	3	CrN	0,11	230 μm	N.M.
10	Được đánh bóng + DLC	0,03	4	CrN	0,10	125 μm	N.M.
11	Mài doa + DLC	0,12	4	CrN	0,11	220 μm	N.M.
12	Được đánh bóng + DLC	0,02	5	CrN	0,10	105 μm	N.M.
13	Mài doa + DLC	0,12	5	CrN	0,12	215 μm	N.M.

Trong thử nghiệm 1, đặc tính ở tải trọng giới hạn khi tiếp xúc của vòng găng được phủ bằng crom nitrua ở bề mặt vỏ được tạo thành theo phương pháp thông thường được tái lập. Có thể quan sát thấy rằng hệ số ma sát là cao nhất trong số tất cả các thử nghiệm. Quả cầu được phủ không bị mòn, đường kính ma sát tương ứng với diện tích tiếp xúc ban đầu. Việc kiểm tra quả cầu cũng cho thấy rằng việc tạo màu là do việc tạo màng chống mòn trên quả cầu, gây ra bởi các chất phụ gia dạng dầu.

Trong thử nghiệm 2, đặc tính của vòng găng được phủ bằng DLC được tái lập. Lớp phủ DLC cho phép làm giảm hệ số ma sát. Không thấy có sự mòn nào trên quả cầu. Tuy nhiên, có thể quan sát thấy có sự mòn trên vỏ. Điều này có thể là do độ cứng của lớp lắng phủ trên quả cầu, kết hợp với độ nhám của nó.

Sau đó, các kết quả thử nghiệm có thể được thu thập theo 4 loại chính:

Vỏ đã được đánh bóng được phủ DLC/quả cầu được phủ DLC (thử nghiệm 6)

Với cấu hình này, hệ số ma sát là đặc biệt thấp (0,06) và độ mòn của quả cầu được phủ là không đáng kể. Ví dụ này phù hợp với việc sử dụng trong động cơ.

Vỏ đã được đánh bóng được phủ DLC/quả cầu được phủ CrN (các thử nghiệm 3, 5, 8, 10, và 12)

Với cấu hình này, hệ số ma sát nằm trong khoảng từ 0,10 đến 0,11, và do vậy thấp hơn so với hệ số ma sát thu được khi không có lớp phủ DLC. Độ mòn của crom nitrua là không đáng kể. Cũng có thể quan sát thấy rằng các chất phụ gia dạng dầu chống mòn được phản ứng với crom nitrua và tạo ra màng chống mòn. Một loạt các thử nghiệm này là phù hợp với sáng chế.

Vỏ được phủ DLC với tình trạng bề mặt đã được mài doa/quả cầu được phủ DLC (thử nghiệm 7)

Với cấu hình này, trạng thái bề mặt của vỏ là giống như các vỏ được sử dụng không có lớp phủ DLC. Mặc dù các thành phần đối kháng là DLC như trong thử nghiệm 6, nhưng hệ số ma sát là cao hơn đáng kể (0,09). Cũng có thể quan sát thấy rằng lớp lắng phủ DLC trên quả cầu bị mòn đáng kể ($180\mu\text{m}$). Cấu hình này là không phù hợp với sáng chế. Độ nhám của vỏ liên quan đến sự có mặt của lớp phủ DLC đã dẫn đến sự mòn đáng kể của thành phần đối kháng vỏ đại diện cho vòng găng.

Vỏ được phủ DLC với tình trạng bề mặt đã được mài doa/quả cầu được phủ CrN (các thử nghiệm 4, 9, 11, và 13)

Với cấu hình này, trạng thái bề mặt của vỏ là giống như các vỏ được sử dụng không có lớp phủ DLC. Các hệ số ma sát nằm trong khoảng từ 0,11 đến 0,12. Trị số này là lớn hơn không đáng kể trong các thử nghiệm 3, 5, 8, 10, và 12. Tuy nhiên, độ mòn tương đối cao, nằm trong khoảng từ 215 đến $240\mu\text{m}$, có thể quan sát trên các quả cầu được phủ CrN. Cấu hình này là không phù hợp với sáng chế. Độ nhám của vỏ liên quan đến sự có mặt của lớp phủ DLC đã dẫn đến sự mòn đáng kể của thành phần đối kháng vỏ.

Cuối cùng, các thử nghiệm này đã cho thấy rõ ràng rằng các lớp phủ cho lớp DLC hoặc phương pháp tạo lớp phủ không ảnh hưởng đáng kể đến độ mòn và độ ma sát.

Các ưu điểm của sáng chế có thể dễ dàng thấy được qua phần mô tả nêu trên, và cần phải hiểu rằng việc thay bước mài doa bên trong vỏ bằng bước đánh bóng và bước phủ DLC đã cho phép làm giảm thiểu mức độ hao mòn của vòng găng và làm giảm tổn hao do ma sát, và do vậy làm giảm sự phát thải khí CO₂ trong trường hợp động cơ đốt trong, đặc biệt là trong lĩnh vực ô tô.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vỏ động cơ đốt trong, khác biệt ở chỗ, bề mặt bên trong của vỏ này không có các rãnh mài doa, được xử lý bằng cách đánh bóng để có độ nhám bề mặt Ra nhỏ hơn $0,06\mu\text{m}$, và sau đó được phủ lớp phủ DLC (Diamond Like Carbon - cacbon dạng kim cương).
2. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn $10\mu\text{m}$.
3. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn $7\mu\text{m}$.
4. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, độ dày của lớp phủ bao gồm lớp phủ DLC là nhỏ hơn hoặc bằng $4\mu\text{m}$.
5. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, khác biệt ở chỗ, vỏ này được làm bằng chất liệu kim loại có thể được đánh bóng để thu được độ nhám thấp.
6. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, trị số độ nhám Ra của bề mặt vỏ trước khi lắng phủ, là nhỏ hơn $0,04\mu\text{m}$.
7. Vỏ động cơ đốt trong theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, lớp phủ DLC được phủ bên trong của vỏ đã được đánh bóng bằng kỹ thuật lắng phủ trong chân không bao gồm bước tẩm thực ion và bước lắng phủ thực tế.