



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0027731

(51)⁷ C23C 14/02; C23C 16/26; C23C 16/02; (13) B
C23C 14/06; C23C 14/32

(21) 1-2016-00235

(22) 07/07/2014

(86) PCT/FR2014/051747 07/07/2014

(87) WO 2015/011361 A1 29/01/2015

(30) 1357359 25/07/2013 FR

(45) 25/03/2021 396

(43) 25/05/2016 338A

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

Zone Industrielle Sud Rue Benoit Fourneyron F-42160 Andrezieux Boutheon, France

(72) HEAU Christophe (FR).

(74) Công ty TNHH VINTELL Sáng chế và thương hiệu (VINTELL CO., LTD.)

(54) CHI TIẾT CƠ HỌC CÓ LỚP PHỦ CACBON VÔ ĐỊNH HÌNH VÀ CẶP CHI TIẾT ĐỒNG VẬN HÀNH THEO KIỂU TRƯỢT

(57) Sáng chế đề cập đến chi tiết cơ học có lớp phủ cacbon vô định hình (có ít nhất 70% cacbon nguyên tử không kể hydro) và có kết cấu để đồng vận hành theo kiểu trượt cùng với chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa là bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ. Chi tiết cơ học này có lớp phủ có độ nhám Ra mà khi được đo bởi máy đo biên dạng, tối đa bằng 0,050 μm và, độ vi nhám, khi được đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử, nằm trong khoảng từ 0,004 μm đến 0,009 μm . Việc này làm giảm thiểu độ mòn của chi tiết đối lập kém cứng hơn và của lớp phủ. Sáng chế cũng đề cập đến cặp chi tiết đồng vận hành theo kiểu trượt bao gồm chi tiết cơ học và chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa là bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến việc xử lý các chi tiết cơ học có kết cấu để trượt dưới tác động của tải cao tương đối với các bộ phận làm bằng các nguyên liệu mềm hơn. Cụ thể là sáng chế đề cập tới, nhưng không nhằm loại trừ, việc xử lý các chót pit tông trong các động cơ đốt trong, do các bộ phận này có một lớp vỏ cứng bằng cacbon vô định hình (đôi khi được xem như “loại cacbon giống như kim cương” (DLC: Diamond Like Carbon); các khái niệm này được mô tả chi tiết dưới đây) và ma sát với các vật liệu tương đối mềm như đồng đỏ hoặc các hợp kim nhôm chẳng hạn (hoặc các vòng được xỏ qua bởi một chót như vậy, hoặc các thân pit tông tiếp nhận một chót như vậy). Tuy nhiên, về cơ bản sáng chế đề cập đến vỏ của bộ phận cơ học, phổ biến nhất là bằng kim loại, có kết cấu để đồng vận hành nhờ chuyển động trượt với một bộ phận khác có độ cứng thấp hơn, trong ứng dụng ma sát học liên quan tới các điều kiện chất tải và tốc độ đã biết là nguyên nhân gây mòn đáng kể.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc xử lý các chót pit tông, cụ thể là bằng lớp phủ cacbon vô định hình, là đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này. Ưu điểm của việc gắn lớp phủ này là ngăn không cho chót pit tông ma sát với các bộ phận thân đỡ thường được làm từ đồng đỏ hoặc nhôm.

Liên quan tới vấn đề này, có thể tham khảo tài liệu DE - 10 2011 102 209, WO/2009/144076, hoặc “*The effect of various surface treatments on piston pin scuffing resistance*” của I. Etsion, G. Halperin và E. Becher, được xuất bản trong ấn phẩm Wear 261 (2006) pp785-791; tài liệu này có thể tìm thấy trên trang web với địa chỉ sau:

[http://www.technion.ac.il/~merei02/public/2_The%20effect%20of%20various%20surface%20treatments%20on%20piston%20pin.pdf]

Việc gắn một lớp phủ chống kéo như vậy trở nên cần thiết do việc gia tăng liên tục áp lực tiếp xúc có giữa các bộ phận này. Việc gia tăng áp lực tiếp xúc nảy sinh từ xu hướng giảm liên tục kích cỡ của các bộ phận này nhằm mục đích giảm khối lượng của nó và tổn thất năng lượng do quán tính.

Nói chung, người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này cho rằng, trong cặp bộ phận đồng vận hành với nhau bằng cách trượt/ma sát, thì độ mòn của bộ phận có độ cứng thấp giảm theo độ nhám bề mặt của bộ phận có độ cứng cao. Trong trường hợp chốt pit tông, điều thường thấy là độ mòn của bộ phận bằng đồng đỏ hoặc nhôm giảm theo độ nhám của bộ phận thân đỡ được phủ lớp cacbon vô định hình; điều này là lý do cần hạn chế độ mòn của đồng đỏ hoặc nhôm, cụ thể là lưu tâm đến các chốt pit tông, thông qua trạng thái bề mặt của chúng trước khi phủ. Tuy nhiên, việc làm giảm thiểu độ nhám trước khi phủ là không thỏa đáng và thường phải bổ sung thêm công đoạn xử lý cuối cùng nhằm làm giảm độ nhám của chi tiết đã phủ; công đoạn xử lý cuối cùng như vậy có thể bao gồm chải bóng (theo các phương pháp đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này).

Tuy nhiên, đã phát hiện ra rằng, trong các điều kiện nhất định, không phải là độ mòn đồng hay độ mòn nhôm, mà là độ mòn của lớp phủ cacbon vô định hình trở nên cao bất thường, cho dù lớp phủ cacbon vô định hình có độ cứng cao. Vì vậy, cho dù hai lớp phủ có các đặc trưng cơ học và độ nhám giống hệt nhau (khi xét về ý nghĩa vĩ mô, xem ở dưới) thì chúng vẫn có thể có đặc tính hoàn toàn khác nhau. Ở một trường hợp, độ mòn cao có thể được ghi nhận ở chi tiết thân đỡ (bằng vật liệu “mềm” hoặc có độ cứng thấp hơn), và độ cứng cực kỳ thấp của lớp phủ, trong khi ở một trường hợp khác, vật liệu mềm được đặc tả bởi độ mòn tối thiểu khi kết hợp với độ mòn cao của lớp phủ, mà chưa biết lý do.

Có thể dễ dàng hiểu được rằng, đối với việc vận hành thích hợp của hệ thống, thì mỗi một trong số cặp chi tiết thân đỡ phải có độ mòn tối thiểu để đảm bảo tăng tuổi thọ cho các bộ phận.

Do đó, có nhu cầu có thể chế tạo và tạo riêng chi tiết có lớp phủ cacbon vô định hình (có ít nhất là 70% cacbon nguyên tử nguyên tử, hoặc thậm chí ít nhất là 90% nguyên tử, không tính hydro) để đảm bảo rằng sự kết hợp với chi tiết thân đỡ có độ cứng về cơ bản là thấp hơn (ví dụ, có độ cứng thấp hơn 2/3 độ cứng của lớp phủ), cặp chi tiết này có độ mòn cao khi sử dụng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để có thể kiểm soát được độ mòn của chi tiết được phủ lớp mỏng cứng bằng cacbon vô định hình, gồm chủ yếu là cacbon (với lượng trên 70% cacbon nguyên tử, không bao gồm lượng hydro), có kết cấu để ma sát với một vật liệu mềm hơn, điều đó có nghĩa là độ cứng của nó thấp hơn 1,5 lần so với độ cứng của lớp phủ, sáng chế đề xuất các điều kiện về độ nhám ở mức độ vĩ mô (phép đo thông thường) và ở mức độ vi mô (đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử, thực tế là trên diện tích nhỏ hơn $100 \mu\text{m}^2$).

Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất chi tiết có lớp phủ cacbon vô định hình (ít nhất là 70% cacbon nguyên tử) và có kết cấu để đồng vận hành theo kiểu trượt cùng với chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa là bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ, lớp phủ này có độ nhám Ra, mà khi được đo bởi máy đo biên dạng, là tối đa bằng $0,050 \mu\text{m}$ và, độ vi nhám, khi được đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử, nằm trong khoảng từ $0,004 \mu\text{m}$ đến $0,009 \mu\text{m}$.

Cần hiểu rằng độ nhám Ra được nêu trong bản mô tả là độ nhám của chi tiết mang lớp phủ này.

Điều sẽ trở nên rõ ràng là bằng việc tuân thủ theo các khoảng độ nhám này, khi được đo nhờ sử dụng hai kỹ thuật khác nhau, sẽ làm cho chi tiết được phủ mòn vừa phải, mà không làm cho chi tiết thân đỡ mòn cao vốn có độ cứng thấp

hơn nhiều, không phụ thuộc vào các đặc tính cụ thể của chất bôi trơn bất kỳ nằm xen giữa các bề mặt ma sát.

Để phân biệt hai khái niệm về độ nhám (giá trị trung bình số học), thuật ngữ “độ nhám” được nêu ở dưới là để giành riêng cho độ nhám đo được bằng các phương tiện đo thông thường) và thuật ngữ “độ vi nhám” được sử dụng cho độ nhám đo được nhờ sử dụng kính hiển vi lực nguyên tử.

Các phương tiện để đo độ nhám thông thường, bị giới hạn về độ phân giải, theo kích cỡ của điểm (nó thường có bán kính cục bộ là 2 μm); điểm được sử dụng trong kính hiển vi lực nguyên tử có độ lớn nhỏ hơn vài bậc (thường có bán kính cục bộ là 0,01 μm hoặc có khả năng là nhỏ hơn); do đó điểm đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử (AFM: *Atomic-Force Microscopy*) cho phép xem xét các chi tiết nhỏ hơn so với các chi tiết có thể phát hiện được bằng các phương tiện thông thường.

Nguyên tắc thiết lập các trị số độ nhám tối đa và tối thiểu cho một chi tiết được phủ màng mỏng DLC đã được đề xuất, trong công bố đơn quốc tế số WO2012/073717; lớp phủ DLC được khuyến dùng trong công bố đơn này chứa từ 4,5% nguyên tử đến 30% nguyên tử hydro, và độ nhám căn quân phương nằm trong khoảng từ 5 nm đến 25 nm (tức là, từ 0,005 đến 0,025 μm); tuy nhiên, sự tồn tại của một ngưỡng tối thiểu khiến cho không thể làm giảm đến mức tối thiểu độ mòn của lớp DLC và của chi tiết thân đỡ, nhưng nó được cho là để đảm bảo một mức độ ma sát đủ để tạo ra năng lượng cần thiết đối với các phản ứng cho phép tác động của các chất phụ gia có trong chất bôi trơn cụ thể được sử dụng (chất bôi trơn này chứa hợp chất trên cơ sở molypden và các chất phụ gia kẽm và lưu huỳnh, và phần mô tả được đưa ra trong tài liệu nhằm đảm bảo sự tạo thành của MoS_2); thực tế, tài liệu này khuyến cáo rằng cặp chi tiết làm bằng vật liệu tương đương, vì vậy giữa chúng không có sự khác biệt nhiều về độ cứng và các vấn đề kỹ thuật cơ bản theo sáng chế không thể phát sinh giữa chúng. Trong bất kể trường hợp nào, thì tài liệu này không đề cập đến lợi ích của việc đo độ nhám bằng phương pháp đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử, cũng như chưa từng đề cập

đến lợi ích của việc thiết lập các ngưỡng đối với độ nhám được đo thông thường (bởi phép đo biên dạng) và bởi phương pháp rất cụ thể này. Nếu việc xem xét chỉ giới hạn ở độ nhám bởi phép đo thông thường (theo độ nhám căn quân phương, và không theo trung bình cộng (RA: *Arithmetic Average*), là giá trị trung bình số học), thì điều đáng lưu ý là tài liệu này mới chỉ đề cập tới trị số tối đa thấp hơn đáng kể so với trị số tối đa theo sáng chế (giá trị trung bình số học Ra), mà rất có khả năng là không tương thích với khoảng độ vi nhám AFM theo sáng chế. Nói cách khác, sáng chế đề cập đến khoảng độ nhám, theo phép đo thông thường, là lớn hơn độ nhám được nêu trong tài liệu này.

Tốt hơn là (nhưng không nhất thiết), trị số độ nhám Ra đo được bằng phép đo biên dạng là lớn hơn ngưỡng 0,02 μm , hoặc thậm chí là 0,025 μm . Điều cần được lưu ý ở đây là độ nhám của lớp phủ, có thể là khác với độ nhám của bề mặt trước khi phủ.

Tốt hơn là, độ nhám đo được bằng phép đo biên dạng tối đa bằng 0,046 μm và độ vi nhám đo được bằng kính hiển vi lực nguyên tử nằm trong khoảng từ 0,004 đến 0,0075 μm ; khoảng giới hạn này dường như vẫn thích hợp để có thể đảm bảo được mức độ thấp đối với độ mòn của cặp chi tiết thân đỡ; tuy nhiên cần lưu ý là sáng chế không đề cập tới việc xác định điều kiện cần và đủ để cho phép độ mòn của cặp chi tiết ở mức vừa phải; nó chỉ đơn thuần đề cập tới điều kiện đủ để tạo ra một kết quả như vậy.

Theo các phương án được ưu tiên của sáng chế, có thể kết hợp:

- Lớp phủ chứa hydro với lượng 20+/-5% nguyên tử, đo được theo phương pháp phân tích tán xạ đàn hồi ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis).
- Chi tiết này bao gồm lớp CrN dày tối đa một μm ở dưới lớp phủ cacbon vô định hình đã được hydro hóa.
- Lớp phủ này bao gồm sự pha tạp vonfram dày tối đa 1 μm tính từ bề mặt của chi tiết, dày ít nhất 2 μm đối với màng mỏng.

Sáng chế còn đề xuất cặp chi tiết đồng vận hành theo kiểu trượt, bao gồm một chi tiết thuộc loại nêu trên và chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ này.

Ví dụ, chi tiết thân đỡ này có thể được làm bằng hợp kim chứa đồng, như đồng đỏ; theo một phương án, nó có thể được làm bằng hợp kim nhôm, ví dụ, bằng AlSn. Nó cũng có thể là hợp kim thiếc. Chi tiết thân đỡ này có thể được làm bằng duy nhất một vật liệu như vậy trên bề mặt.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các mục đích, các dấu hiệu và các lợi ích của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng qua phần mô tả dưới đây, được đưa ra để làm ví dụ không nhằm giới hạn sáng chế và có dựa vào các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 là biểu đồ tương quan giữa độ nhám theo các ví dụ khác nhau của các chi tiết được phủ với độ mòn của chi tiết này và độ mòn của chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ; và

Fig.2 là biểu đồ tương quan giữa độ vi nhám theo các ví dụ khác nhau của các chi tiết được phủ với độ mòn của chi tiết này và độ mòn của chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ.

Mô tả chi tiết phương án được ưu tiên của sáng chế

Việc xem xét dưới đây được đưa ra đối với các chi tiết kim loại, cụ thể là thép, được phủ màng mỏng cacbon vô định hình, được làm thích ứng để đồng vận hành cùng với chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ (hoặc thậm chí bằng nhôm), trong các điều kiện mô phỏng các chế độ vận hành của trục (hoặc chốt) pit tông trong động cơ; nó có thể là một khớp nối của trục với trục khuỷu hoặc các khớp nối của trục với chính pit tông.

Các ví dụ với lớp phủ CrN sẽ dùng làm sản phẩm so sánh.

Phép đo thông thường về độ nhám Ra cho phép, dựa trên phương pháp thông thường, có thể xác định mức độ cần thiết yêu cầu, nhằm giới hạn độ mòn

của chi tiết thân đỡ (cụ thể là đồng đỏ hoặc nhôm) của chốt được phủ lớp cứng này. Tuy nhiên, đối với một lớp phủ nhất định, các đặc tính thông thường của chi tiết đã được phủ chưa cho phép xác định được rằng liệu lớp phủ sẽ có hoặc chưa bị mòn hay không. Với cùng một trị số độ nhám Ra (được đo theo cách thông thường) và một trị số độ cứng, một trong hai lớp phủ dường như giống nhau vẫn có khả năng có lớp không bị mòn và lớp còn lại bị mòn, thậm chí là sẽ bị mòn quá mức, mà không rõ nguyên nhân (nó không chỉ đơn thuần là sự mòn ở mức cao giữa các độ cứng của các chi tiết thân đỡ). Theo một khía cạnh của sáng chế, việc kiểm tra bề mặt của các chi tiết bằng phương pháp kính hiển vi lực nguyên tử (hoặc AFM) sẽ góp phần cho phép xác định bề mặt hình học lý tưởng mà chi tiết được phủ phải có để làm giảm đến mức tối thiểu độ mòn của cặp chi tiết thân đỡ.

Trong các ví dụ dưới đây, các chốt pit tông, ban đầu giống hệt nhau (sẽ chỉ khác nhau ở dung sai chế tạo) lần lượt được phủ bằng cách mạ crom nitrua CrN và các loại vật liệu trên cơ sở cacbon vô định hình khác nhau; hiện thời chữ viết tắt DLC thường được sử dụng chung cho tất cả các dạng của cacbon vô định hình; Thực tế, chữ viết tắt DLC (“Diamond Like Carbon”) dùng để chỉ cacbon có các nguyên tử cacbon ở dạng lai hóa giống như kim cương và sẽ chỉ dành riêng cho dạng cacbon vô định hình này. Dưới đây, để đơn giản hóa, chữ viết tắt DLC sẽ được dùng để chỉ cho các dạng khác nhau của cacbon vô định hình, hoặc là cacbon vô định hình đã được hydro hóa, hoặc là cacbon vô định hình không được hydro hóa (mà vẫn có thể dùng duy nhất chữ viết tắt DLC), hoặc là cacbon vô định hình đã được pha tạp vonfram.

Trước khi có lớp phủ, các chốt pit tông được đặc trưng bởi số đo độ nhám Ra là 0,025 μm và số đo độ nhám Rpk là 0,040 μm . Số đo độ nhám Rpk được nêu trong bản mô tả là hỗ trợ cho các số đo độ nhám, nhằm hoàn thành việc đặc tả cho các ví dụ. Như đã nêu ở trên, các lớp phủ sau khi được phủ sẽ có thể có các độ nhám rất khác nhau, cụ thể là tùy thuộc vào các phương thức để tạo ra các lớp phủ này.

Dưới đây, các số đo độ cứng Hv tương ứng với lực nằm trong khoảng từ 10 đến 30 mN, được làm thích ứng với độ dày của lớp phủ và với độ cứng của nó, sao cho độ sâu của vết lõm bằng khoảng một phần mười của độ dày được phủ; do vậy số đo độ cứng này sẽ không tích hợp vào độ cứng của đế một cách đáng kể.

Các lớp CrN được tạo ra bằng cách mạ phun manhetron, với lưu ý rằng kiểu mạ này thường dẫn đến việc tạo ra các lớp dưới hệ số tỷ lệ. Hàm lượng nitơ nằm trong khoảng 40+/-5% nguyên tử. Trong thực tế, các lớp mạ CrN này thường được đặc trưng bởi độ cứng Vickers 1800+/-200 Hv. Hai độ dày của lớp mạ đã được dự định, 1µm và 2µm, lần lượt tương ứng với ký hiệu CrN1 và CrN2.

Các lớp mạ cacbon vô định hình đã hydro hóa thường được tạo ra bằng cách mạ hơi hóa học (CVD: *Chemical Vapor Deposition*) trong argon; tốt hơn là, một dạng lắng phủ cụ thể của CVD là phương pháp CVD bằng plasma (PACVD: *Plasma assisted CVD*) hoặc phương pháp CVD được tăng cường plasma (PECVD: *Plasma enhanced CVD*). Các lớp này, được đặc trưng bởi độ cứng 3000+/-400Hv, tương ứng với hàm lượng hydro đo được bằng ERDA là 20+/-5 % nguyên tử. Các lớp này được mạ với độ dày 2 µm bên trên lớp đệm CrN có thể có hai độ dày:

- lớp mạ kép gồm 0,8 µm CrN, tiếp đó là 2,0 µm cacbon vô định hình đã hydro hóa, trong bản mô tả này còn được ký hiệu là DLC1,
- lớp mạ kép gồm 1,5 µm CrN, tiếp đó là 2,0 µm cacbon vô định hình đã hydro hóa, trong bản mô tả này còn được ký hiệu là DLC2,

Như một biến thể của DLC1, lớp mạ cacbon vô định hình đã hydro hóa khác được tạo ra bằng cách thay đổi các điều kiện mạ CrN, cụ thể là bằng cách tăng áp suất argon tổng cộng; ở đây, lớp mạ này được ký hiệu là DLC3.

Lớp phủ cacbon vô định hình không được hydro hóa được tạo ra bởi phương pháp mạ hồ quang catot. Độ cứng của nó đo được ở 4500 Hv. Nó được xem là ở độ dày đơn, tức là độ dày 1 µm; lớp phủ đã tạo ra như vậy được ký hiệu DLC4 ở dưới. Lớp mạ cacbon vô định hình không được hydro hóa, DLC (hoặc taC) được tạo ra bởi phương pháp PVD (mạ graphit bằng hồ quang catot).

Cuối cùng, lớp mạ cacbon vô định hình đã hydro hóa có phụ gia vonfram được tạo ra bằng cách mạ phun catot manhetron nhờ sử dụng đích vonfram cacbua, trong môi trường áp suất hydrocacbon cục bộ. Lớp mạ này, được đặc trưng bởi độ cứng 1400Hv và hàm lượng W là 10% nguyên tử (không kể hydro). Nó có thể được phân tích ở dạng được tạo ra từ lớp đệm WC được phủ cacbon (tăng dần hàm lượng cacbon cho đến khi đạt 90%; ở đây lớp phủ này được xem là lớp WC dày 0,6 μm (từ từ giàu thêm cacbon) đối với độ dày tổng cộng là 2,5 μm ; lớp phủ này được ký hiệu DLC5 ở dưới.

Điều cần được nhắc lại (như nêu trên) là các độ cứng đã được mô tả trên đây là các độ cứng thực tế của lớp phủ, cho dù độ dày của chúng nhỏ, và không phải là độ cứng của các vật liệu nằm dưới.

Các lớp phủ cacbon vô định hình là cứng hơn đáng kể so với các lớp phủ CrN, đặc biệt là khi chúng không được hydro hóa (nói chung được tạo ra từ 100% cacbon đối với trường hợp DLC), trừ lớp phủ cacbon vô định hình đã hydro hóa đã pha tạp vonfram; do đó, các lớp phủ cacbon vô định hình (đã hydro hoặc không được hydro hóa, không được pha tạp vonfram) thường có độ bền chống mòn, cụ thể là bởi sự ăn mòn, cao hơn so với các lớp phủ CrN.

Cuối cùng, lớp phủ này sẽ được tiến hành hoặc không được tiến hành bước chải cuối với các cường độ mạnh hoặc nhẹ theo phương pháp đã biết trong lĩnh vực.

Việc chải này được đặc trưng bởi hai thông số định lượng chính, áp lực tỳ của bộ phận chải và số hành trình chải, như được thể hiện trong bảng dưới đây.

Kiểu chải	Áp lực	Số hành trình chải
+	0,4 bar ($0,4 \cdot 10^5 \text{Pa}$)	1
++	1,5 bar ($1,5 \cdot 10^5 \text{Pa}$)	1
++++	1,5 bar ($1,5 \cdot 10^5 \text{Pa}$)	4

Việc chải này khiến cho có thể loại bỏ các chỗ sùi có thể được hình thành trong công đoạn mạ các lớp và tạo nên các đỉnh có khả năng làm trầm trọng thêm cho độ mòn của chi tiết thân đỡ bằng cách cạo. Các chỗ sùi này có độ bền cơ học

rất thấp, có nghĩa là chúng được loại bỏ sau khi chải nhẹ. Kết quả của quá trình chải với cường độ mạnh là để làm bóng bề mặt của lớp mạ.

Tất cả các chi tiết này thu được các đặc trưng độ nhám không chỉ bởi phép đo biên dạng, mà còn bởi các phép đo độ vi nhám nhờ sử dụng phương pháp kính hiển vi lực nguyên tử “AFM” tạo các ảnh $5 \times 5 \mu\text{m}$. Nói cách khác, các chi tiết khác nhau là đối tượng của phép đo độ nhám vĩ mô (thông thường) nhờ sử dụng máy đo độ nhám (với thang đo một phần mười μm) và phép đo cỡ nanomet bằng AFM (với thang đo một phần mười nanomet); như nêu trên, độ nhám này còn được gọi là “độ vi nhám” để phân biệt nó với độ nhám vĩ mô.

Tất cả các chi tiết này cuối cùng được đặc tả về sự ma sát, liên quan tới việc định lượng không chỉ đối với độ mòn của chi tiết được phủ, mà cả đối với độ mòn của chi tiết thân đỡ làm bằng kim loại mà trong bản mô tả này được cho là mềm (điều đó có nghĩa là độ cứng tối đa của nó bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ được xem xét).

Trong các ví dụ dưới đây, kim loại mềm này là ống trụ bằng đồng đỏ có đường kính 10 mm có độ nhám R_a là $0,3 \mu\text{m}$ là đại diện cho một chi tiết thực tế. Các thử nghiệm ma sát được tiến hành trong kết cấu kiểu trục chéo: sự dịch chuyển tương đối được tạo ra theo phương song song với các vết trên chót pit tông và điểm tiếp xúc được dịch chuyển trên đường sinh của chót đồng đỏ này trên hành trình 10 mm. Tải tác động bằng 11,6N. Tốc độ trượt trung bình là 100 mm/giây với sự dịch chuyển luân phiên được tạo ra bởi một hệ thống lệch tâm. Trước khi thử nghiệm, phần tiếp xúc được bôi trơn bằng giọt dầu SAE5W30. Hệ thống này được gia nhiệt lên tới 110°C .

Sau 9000 chu kỳ thử nghiệm, độ mòn được đặc tả bởi số đo các kích thước của vùng trượt. Đối với chót đồng đỏ, số đo được lấy dọc theo bề rộng của đường ma sát. Đối với chi tiết đã được phủ, số đo độ mòn được lấy theo hướng ma sát. Điều được lưu ý là bề rộng ban đầu tiếp xúc với đồng đỏ là $320 \mu\text{m}$; Do đó, các kích thước của các đường ma sát, nằm trên đồng đỏ là nằm trong khoảng từ $320 \mu\text{m}$ đến $340 \mu\text{m}$, biểu thị cho độ mòn thấp hoặc không có của đồng đỏ này. Tương

tự, kích thước của diện tích bề mặt ban đầu trên chốt đã được phủ theo phương mà sát, là 240 μm ; do vậy, các kích thước lên tới 260 μm là biểu thị cho độ mòn thấp của lớp phủ. Cần lưu ý rằng, do các lớp phủ về cơ bản là cứng hơn so với các chi tiết thân đỡ, nên độ mòn của chúng không thể cấu thành sự bào mòn.

Bảng dưới đây thể hiện mối tương quan giữa các đặc tính khác nhau của các lớp phủ. Các số đo độ mòn có thể tương ứng với trị số thấp hơn so với các số đo ban đầu được nêu ở dưới, cụ thể là do sai số phép đo (trong thực tế, mẫu thử nghiệm dạng hình trụ có độ nhám và dạng hình học của nó không phải là lý tưởng để dùng cho cho việc tính toán các kích thước của mỗi tiếp xúc; mức độ ảnh hưởng của dạng hình học thực và địa hình thực mà có thể là khu vực ban đầu, về lý thuyết có dạng hình elip, có thể là nhỏ hơn 240 μm một chút.

Thử nghiệm	Lớp mạ	Gia công tinh	Máy đo độ nhám		AFM	Độ mòn lớp mạ	Độ mòn lớp đồng đỏ	Tính nguyên hình
			Ra(conv)	RPk	μRa			
1	DLC 2	không	0,053	0,080	0,0103	239	398	không
2	DLC 2	++++	0,045	0,066	0,0098	238	380	không
3	DLC1	không	0,046	0,045	0,0068	260	322	có
4	DLC1	+	0,043	0,040	0,0065	244	315	có
5	DLC1	++	0,041	0,037	0,0034	304	320	không
6	DLC1	++++	0,045	0,042	0,0032	301	330	không
7	DLC3	không	0,050	0,070	0,0121	232	400	không
8	DLC3	++++	0,049	0,064	0,0112	236	395	không
9	DLC4	không	0,054	0,095	0,0980	232	440	không
10	DLC4	++++	0,043	0,046	0,0033	312	317	không
11	DLC5	không	0,050	0,075	0,0070	250	345	đường biên
12	DLC5	++	0,042	0,040	0,0034	325	315	không
13	CrN 1	+	0,046	0,042	0,0070	250	350	không
14	CrN 2	+	0,052	0,079	0,0135	234	435	không
15	CrN 1	++++	0,045	0,038	0,0033	235	318	không

Các kết quả này còn được thể hiện bằng biểu đồ trên Fig.1 (số đo độ nhám Ra bằng máy đo độ nhám với đầu đo có bán kính $2\mu\text{m}$) và bằng biểu đồ trên Fig.2 (độ vi nhám AFM, được ký hiệu một cách ngắn gọn là μRa):

- Các ký hiệu hình vuông thể hiện cho các trường hợp độ mòn tính theo μm của chi tiết bằng đồng đỏ áp lên lớp phủ DLC (thang đo bên trái),
- Các ký hiệu hình thoi thể hiện cho các trường hợp độ mòn của các lớp phủ DLC (thang đo bên phải),
- Các ký hiệu hình tam giác thể hiện cho các trường hợp độ mòn của chi tiết bằng đồng đỏ áp lên lớp phủ CrN (thang đo bên trái), và
- Các ký hiệu bất chéo thể hiện cho các trường hợp độ mòn của các lớp phủ CrN (thang đo bên phải).

Điều có thể được giả định là hai thang độ nhám không đưa ra cùng một thông tin theo cách chính xác: phần lớn độ nhám vi mô là phát sinh từ việc gia công trước khi mạ lớp phủ trong khi độ vi nhám chủ yếu là đặc trưng cho sự phát triển của lớp phủ, với phạm vi ảnh hưởng của việc gia công nêu trên là thấp hơn.

Trong biểu đồ trên Fig.1, kết quả đã biết từ tình trạng kỹ thuật có thể được chỉ ra, tức là độ mòn của đồng đỏ có mối quan hệ với độ nhám của chi tiết thân đỡ, khi nó được đo theo cách thông thường. Việc giảm độ nhám của chi tiết được phủ mặc nhiên dẫn đến làm giảm độ mòn của thân đỡ mềm hơn này.

Tuy nhiên, biểu đồ trên Fig.1 cho thấy, trái ngược với điều đã được giả định là các lớp phủ DLC có thể có độ mòn cao, mặc dù bản chất của chúng không khiến cho chúng dễ bị bào mòn (chúng cứng hơn so với các chi tiết bằng đồng đỏ). Hơn thế nữa, độ mòn của các lớp phủ không phụ thuộc vào độ nhám của chúng. Thực tế, đối với các lớp phủ CrN, độ mòn quan sát được dường như không phụ thuộc vào độ nhám của lớp phủ, trong khi, đối với các lớp phủ DLC, thậm chí đã thấy rằng một mối tương quan âm, điều này có nghĩa là độ mòn càng lớn khi độ nhám càng thấp.

Các nhận xét tương tự có thể được rút ra đối với biểu đồ trên Fig.2, với lưu ý độ mòn của các chi tiết bằng đồng đỏ gần như tỷ lệ thuận với độ nhám AFM

(trung bình số cắt ngang đường tọa độ đối với một trị số rất thấp của độ nhám AFM). Liên quan tới độ mòn của các chi tiết được phủ cacbon vô định hình, thì điều này dường như vẫn đúng miễn là độ nhám AFM vượt quá khoảng $0,0050 \mu\text{m}$ (liên quan đến các lớp phủ CrN, độ mòn duy trì ở mức thấp trong tất cả các trường hợp).

Nói cách khác, các số đo độ nhám và độ vi nhám cho thấy rằng có mối quan hệ tỷ lệ nghịch giữa độ nhám và độ vi nhám của chi tiết được phủ và độ mòn của nó áp lên chi tiết thân đỡ có thể dễ kém cứng hơn (hoặc mềm hơn), do điều rõ ràng là các lớp nhẵn nhất của cacbon vô định hình có độ mòn lớn nhất.

Cụ thể hơn là, nằm trong số các lớp cacbon vô định hình đã hydro hóa (DLC1 tới DLC3):

- Các trường hợp độ mòn của các chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ hầu như không giảm khi các lớp phủ được chải (thậm chí có thể đáng chú ý là, nếu bỏ qua các sai số phép đo, thì sẽ không có sự khác biệt đáng kể giữa các ví dụ 3 và 6),
- Độ mòn của các chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ không giảm (hoặc thậm chí là tăng) tương ứng với phương án cải thiện bằng cách chải (xem các DLC1),
- Độ nhám Ra của lớp phủ giảm khi việc chải được tiến hành, nhưng sẽ không nhất thiết đòi hỏi phải kéo dài thời gian chải này để có một tác dụng có lợi cho việc giảm này,
- Tuy nhiên, độ vi nhám AFM của lớp phủ giảm khi việc chải được tiến hành và giảm tiếp khi tiếp tục việc chải này, độ vi nhám tối thiểu quan sát được với các DLC1 (lớp đệm CrN mỏng nhất),
- Việc chải không dẫn đến làm giảm độ mòn của lớp phủ (DLC2, DLC3); nếu mức giảm nhỏ được lưu ý liên quan đến DLC1, thì việc kéo dài thời gian chải thậm chí dẫn đến làm tăng độ mòn.
- Trừ các DLC1 đã được tiến hành chải kéo dài, độ mòn của lớp phủ sẽ duy trì ở mức vừa phải (dưới $260 \mu\text{m}$).

- Việc gia tăng lớp CrN nằm dưới không có tác động có lợi tới độ mòn của các chi tiết bằng đồng đỏ; trái lại, chỉ duy nhất các lớp phủ DLC1, với lớp nằm dưới chỉ dày 0,8 μm , có độ mòn vừa phải, ở trạng thái chưa được chải hoặc đã được chải ít,
- Việc gia tăng áp suất argon trong quá trình mạ lớp phủ không mang lại tác dụng tích cực rõ rệt (so với các DLC2 và các DLC3).

Liên quan tới các DLC không được hydro hóa (DLC4):

- Việc chải lớp phủ đường như là cần thiết để duy trì một mức độ hợp lý của độ mòn của chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ, nhưng lại gây bất lợi đối với độ mòn của lớp phủ,
- Có thể nhận thấy rằng việc chải vừa phải có khả năng dẫn đến sự thỏa hiệp có thể chấp nhận được.

Cuối cùng, liên quan đến các DLC có vonfram (DLC5):

- Việc chải đường như có tác dụng tích cực tới độ mòn của chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ, mặc dù độ mòn vẫn duy trì ở mức độ vừa phải ngay cả khi không chải,
- Tuy nhiên, tác dụng tích cực của việc chải đối với chi tiết thân đỡ đường như là gây bất lợi cho độ mòn lớp phủ.

Điều có thể được lưu ý là trong thực tế việc thực hiện công đoạn chải được đề xuất là một công đoạn thường được thực hiện bởi các nhà sản xuất chốt pit tông với mục đích loại trừ các khuyết tật phát triển trên lớp phủ; tuy nhiên, do mật độ của chúng rất thấp (trừ trường hợp đối với các lớp mạ cacbon vô định hình không được hydro hóa, mà tùy thuộc vào các đặc điểm của phương pháp sản xuất, chúng có thể có những lượng rất lớn các khuyết tật phát triển), thì dường như mới chỉ nghi ngờ rằng các khuyết tật này có thể có ảnh hưởng đáng kể tới hiện tượng bào mòn nêu trên.

Cũng có thể được lưu ý là các ví dụ 1 và 7 tới 9 là các trường hợp phù hợp với tình trạng đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này, điều đó có nghĩa là độ mòn cao của các chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ được

chỉ ra với các mẫu thử nghiệm đã được phủ nhám nhất (độ nhám Ra lớn hơn $0,050 \pm 0,001 \mu\text{m}$), ngay cả khi không có sự tương xứng phù hợp giữa độ nhám và độ mòn (ví dụ 1 là cho dù nhám hơn so với ví dụ 7 song vẫn ít mòn hơn; quả thực độ nhám không phải là một thông số liên quan duy nhất). Điều cần được lưu ý là các độ vi nhám AFM được chỉ ra trong các ví dụ này là nằm trong số các trị số cao nhất được lưu ý (lớn hơn $0,0090$).

Liên quan tới các ví dụ 5, 6, 10 và 12, điều có thể được lưu ý là chúng tương ứng với các giá trị cao về độ mòn của các lớp phủ. Kết quả này là bất ngờ đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này do các lớp phủ trên các chi tiết này hầu như không có sự khác biệt về các tính chất cơ học hoặc hoá học với các lớp tương ứng nhám nhất của chúng. Mặc dù các lớp phủ này là cứng hơn nhiều so với thân đỡ bằng đồng đỏ (về cơ bản là mềm hơn), song độ mòn cao là rõ rệt. Việc kiểm tra độ nhám bằng phương pháp AFM cho thấy rằng với thang đo vài μm^2 , các lớp này có sự khác biệt với các lớp còn lại bởi Ra thấp (dưới $0,004\mu\text{m}$).

Điều có thể được lưu ý là Ví dụ 11 tương ứng với độ mòn của chi tiết bằng đồng đỏ mà hầu như không lớn hơn ngưỡng đã được chỉ ra và có thể được xem như đường biên.

Việc này dẫn đến điều được tin chắc là khi lớp phủ cacbon vô định hình (có ít nhất 70% nguyên tử cacbon) có độ nhám Ra tối đa bằng $0,050 \mu\text{m}$, kết hợp với độ vi nhám Ra AFM nằm trong khoảng lớn hơn $0,004 \mu\text{m}$ đến dưới $0,009 \mu\text{m}$, thì sẽ có tổ hợp độ nhám thấp của lớp phủ và của chi tiết thân đỡ bằng đồng đỏ (cho dù có độ cứng hầu như nhỏ hơn so với độ cứng của lớp phủ).

Thực vậy, chỉ duy nhất các ví dụ đáp ứng điều kiện kép nêu trên mới mang lại độ mòn thấp cho cặp chi tiết ma sát với nhau.

Có thể xuất hiện các trường hợp độ mòn là hoàn toàn thấp khi độ nhám của lớp phủ:

- tối đa bằng $0,046 \mu\text{m}$ theo số đo thông thường
- và nằm trong khoảng từ $0,004$ đến $0,0075 \mu\text{m}$ theo AFM.

Điều cần được nhấn mạnh là các ví dụ có lợi đã được nhận diện như vậy là tương ứng với các lớp phủ không được chải hoặc hầu như không được chải, bằng cacbon vô định hình đã hydro hóa (tốt hơn là cùng với một lượng hydro có lớp CrN nằm dưới mỏng (dường như không lớn hơn 1 μm) hoặc cacbon vô định hình đã hydro hóa có phụ gia vonfram (dường như cả hai không lớn hơn 1 μm). Liên quan đến cacbon vô định hình không được hydro hóa, dường như là việc chải vừa phải có thể đáp ứng các điều kiện nêu trên và nhờ vậy mang sự mài mòn lẫn nhau vừa phải.

Hơn nữa, ngoài những điều nêu trên thì bản chất của lớp phủ cũng quan trọng do các ví dụ 1 tới 12, bao gồm lớp cứng trên cơ sở cacbon vô định hình (có trên 70% cacbon nguyên tử không kể hydro), dẫn đến các kết quả khác với các kết quả từ các ví dụ 13 tới 15 được tạo ra bằng lớp phủ CrN. Cụ thể, như đối với các lớp cacbon vô định hình, các lớp mạ CrN dẫn đến độ mòn cao của đồng đồ khi độ nhám của chi tiết được phủ này cao, trong khi ở độ nhám thấp hoặc rất thấp, các lớp CrN không mòn và không làm mòn thân đỡ bằng đồng đồ. Những kết quả này cho thấy rằng độ hiện tượng mài mòn của các lớp phủ cacbon vô định hình không phải là do cơ học hoặc do sự mài mòn, do các lớp này cứng hơn so với CrN hoặc có độ cứng so với độ cứng của thân đỡ nhiều hơn 1,5 lần. Do vậy, độ mòn cao của các lớp cacbon vô định hình ở các độ nhám rất thấp sẽ không phải là một hiện tượng phổ biến và đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này. Mặc dù không muốn gắn liền với lý thuyết cụ thể bất kỳ, song điều tin chắc là do lớp phủ được đề cập chứa chủ yếu là cacbon, nên một cơ chế có liên quan có thể là sự oxy hóa do ma sát, và do vậy không bị ảnh hưởng bởi các lớp cacbon cứng.

Với khía cạnh duy nhất về độ bền chống mòn, thì một lớp CrN rất nhẵn là đủ đáp ứng chức năng này. Tuy nhiên, với mục đích giảm tiếp sự ma sát, thì các lớp phủ cacbon vô định hình là được ưu tiên đối với CrN do việc dùng chúng cho phép có được hệ số ma sát thấp. Các khoảng độ nhám đã nêu trên cho phép có thể đảm bảo được các mức độ hợp lý về độ mòn.

Điều có thể được lưu ý là, trong bảng nêu trên, cột nằm giữa hai cột Ra và μ Ra (AFM), có tiêu đề của nó là RPK; cột này thể hiện độ nhám thu được theo một biến thể của phép đo độ nhám. Điều có thể được lưu ý là cách thức khác này để đặc tả độ nhám đã cho các kết luận tương đương cần đạt được.

Các kết luận nêu trên khái quát hóa cho các cặp vật liệu khác; do vậy, nhìn chung, chi tiết thân đỡ (có độ cứng thấp như đã nêu trên) có thể có một phần hoặc toàn bộ là hợp kim đồng, hoặc một phần hoặc toàn bộ là hợp kim nhôm; điều này đặc biệt đối với trường hợp các chốt pit tông. Nó có thể là hợp kim thiếc như AlSn (đặc biệt được sử dụng trong các vòng đỡ trục khuỷu hoặc trong đầu thanh kết nối). Có thể thấy rõ là chi tiết thân đỡ này có thể là một vật liệu mềm chỉ ở bề mặt (và bao gồm một lõi bằng vật liệu khác).

Điều cần nhấn mạnh là nằm trong phạm vi hiểu biết của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này, có thể dùng độ nhám và độ vi nhám để tạo ra, để điều chỉnh các trạng thái của lớp mạ. Thực vậy, một tập hợp các thông số vận hành cho phép người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này thay đổi hình thái học của các lớp mạ và thậm chí là các lớp dưới PVD, các lớp PVD nói chung phát triển với một biểu đồ dạng cột có kích thước của nó gia tăng theo độ dày, làm ảnh hưởng tới độ nhám.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Chi tiết cơ học có lớp phủ cacbon vô định hình (có ít nhất 70% cacbon nguyên tử không kể hydro) và có kết cấu để đồng vận hành theo kiểu trượt cùng với chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa là bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ, lớp phủ này có độ nhám Ra, mà khi được đo bởi máy đo biên dạng, nằm trong khoảng lớn hơn 0,025 μm đến 0,050 μm và, độ vi nhám, khi được đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử, nằm trong khoảng từ 0,004 μm đến 0,009 μm .
2. Chi tiết theo điểm 1, trong đó độ nhám của nó, mà khi được đo bởi máy đo biên dạng, là tối đa bằng 0,046 μm và độ vi nhám khi được đo bằng kính hiển vi lực nguyên tử nằm trong khoảng từ 0,004 đến 0,0075 μm .
3. Chi tiết theo điểm 1 hoặc 2, trong đó lớp phủ của nó chứa hydro với lượng 20+/-5% nguyên tử, khi được đo theo phương pháp phân tích tán xạ đàn hồi ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis).
4. Chi tiết theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó chi tiết này bao gồm dưới lớp phủ cacbon vô định hình, mà đã được hydro hóa, là lớp CrN dày tối đa 1 μm .
5. Chi tiết theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó chi tiết này bao gồm sự pha tạp vonfram dày tối đa 1 μm tính từ bề mặt của chi tiết, dày ít nhất 2 μm đối với màng mỏng, trong đó lớp phủ cacbon vô định hình có độ dày ít nhất 2 μm , lớp phủ này có pha tạp vonfram dày tối đa là 1 μm tính từ bề mặt của chi tiết.

6. Cặp chi tiết đồng vận hành theo kiểu trượt bao gồm chi tiết theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5 và chi tiết thân đỡ có độ cứng bề mặt của nó tối đa là bằng hai phần ba độ cứng của lớp phủ.
7. Cặp chi tiết theo điểm 6, trong đó chi tiết thân đỡ được làm bằng hợp kim đồng.
8. Cặp chi tiết theo điểm 6, trong đó chi tiết thân đỡ được làm bằng hợp kim nhôm.
9. Cặp chi tiết theo điểm 6, trong đó chi tiết thân đỡ được làm bằng hợp kim thiếc.

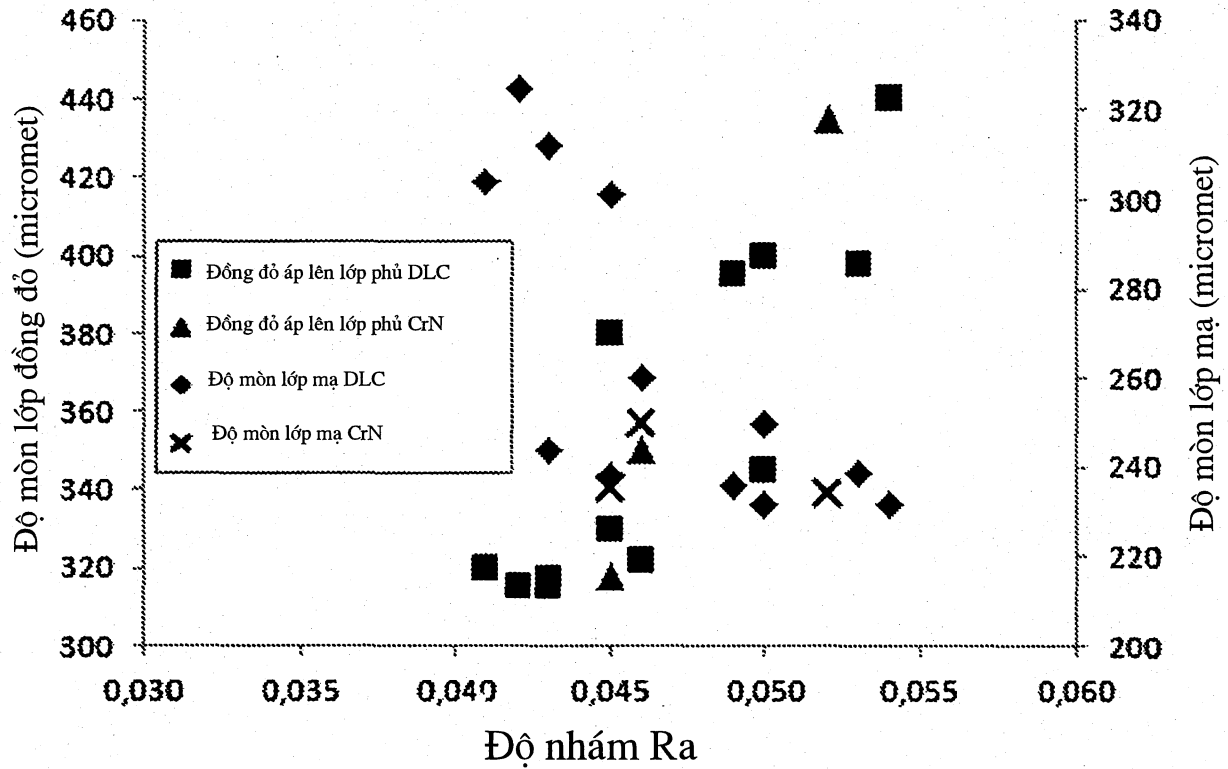


Fig. 1

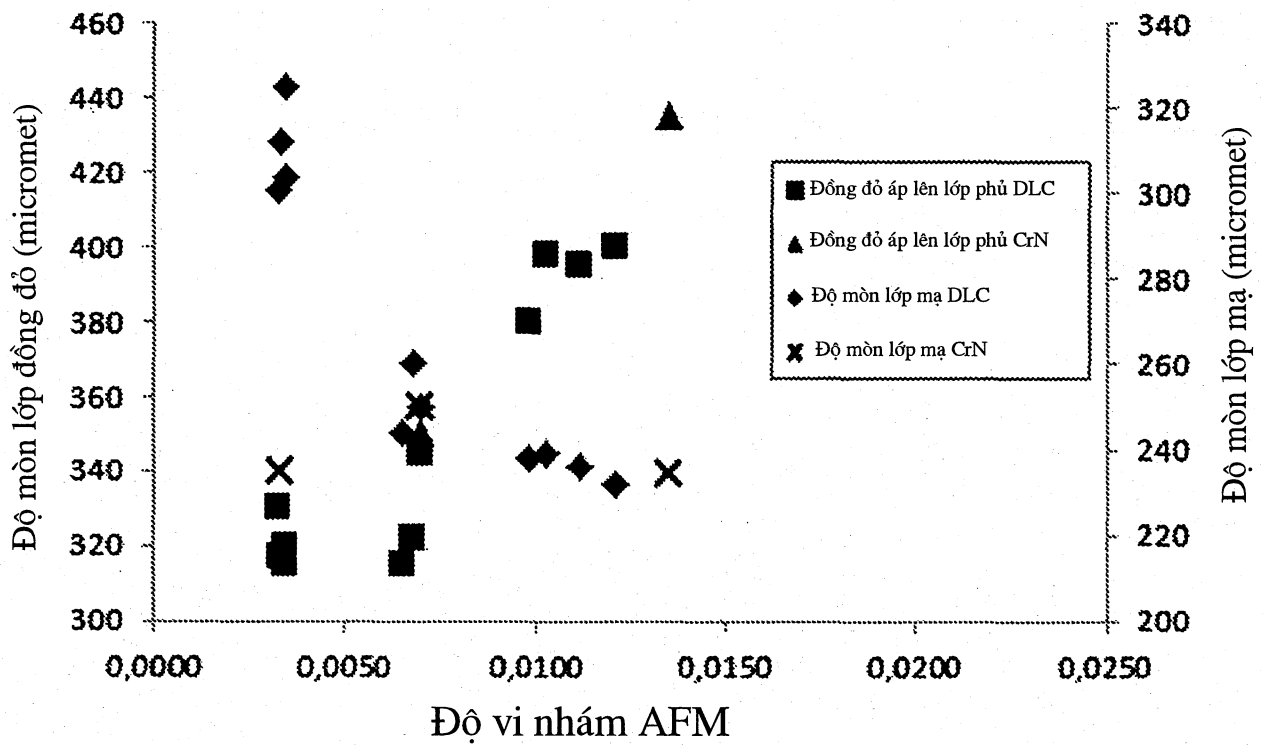


Fig. 2