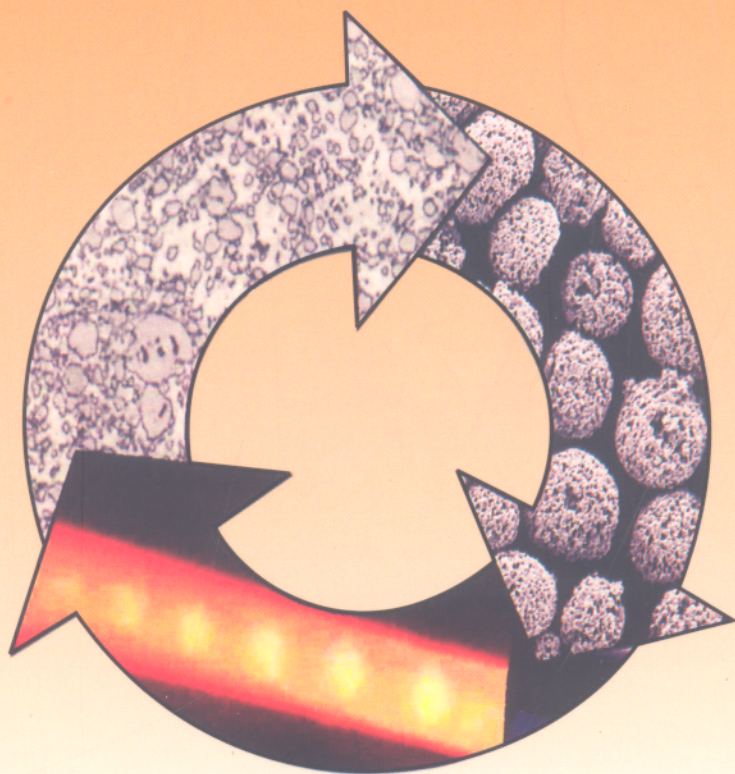


TS. NGUYỄN VĂN THÔNG

CÔNG NGHỆ PHUN PHỦ BẢO VỆ VÀ PHỤC HỒI



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TS. NGUYỄN VĂN THÔNG

CÔNG NGHỆ PHUN PHỦ BẢO VỆ VÀ PHỤC HỒI



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

Lời nói đầu

Phun phủ là một trong những phương pháp gia công bề mặt vật liệu được sử dụng trong hơn nửa thế kỷ nay. Công dụng chủ yếu của phun phủ là bảo vệ chống gỉ các kết cấu và chi tiết làm việc trong các môi trường khác nhau, phục hồi các chi tiết máy bị mài mòn, ăn mòn và xâm thực.

Sự phát triển mạnh mẽ về thiết bị, vật liệu và công nghệ phun trong vài chục năm gần đây đã đưa phun phủ trở thành một lĩnh vực khoa học công nghệ riêng, góp phần đáng kể vào tiến bộ khoa học của loài người, mang lại hiệu quả kinh tế to lớn trong lĩnh vực chế tạo và phục hồi.

Ở Việt Nam, nhiều ngành công nghệ lớn đang phát triển với tốc độ nhanh, như Đóng tàu, Hàng không, Dầu khí, Xây dựng, Hoá học, Chế tạo máy...

Sự "hàng hụt" trong công nghệ phun phủ đã dẫn đến sự bị động và trì trệ trong lĩnh vực chế tạo và phục hồi, gây tổn hại to lớn cho nền kinh tế quốc dân. Hàng năm Nhà nước phải nhập ngoại hàng ngàn tỉ đồng vật liệu và phụ tùng thay thế; phải chi hàng trăm tỉ đồng cho việc thuê các nước phun phủ phục hồi các chi tiết và kết cấu bị hư hỏng dưới dạng ăn mòn và mài mòn.

Với mong muốn tổng hợp có hệ thống các thông tin tư liệu và những thành quả khoa học, công nghệ phun phủ từ khi nó ra đời cho tới nay nhằm góp phần giảm bớt sự "hàng hụt" nói trên, tác giả biên soạn cuốn "Công nghệ phun phủ bảo vệ và phục hồi" này.

Đối tượng phục vụ của cuốn sách là cán bộ kỹ thuật trong các lĩnh vực liên quan và sinh viên các trường đại học công nghệ và cao đẳng kỹ thuật. Sách cũng có thể giúp ích cho các cán bộ nghiên cứu và giảng dạy.

Rất chân thành cảm ơn bạn đọc tham khảo cuốn sách và đóng góp những ý kiến quý báu. Ý kiến đóng góp xin gửi về Nhà xuất Khoa học và Kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

Hà Nội, tháng 3 năm 2006

TS. Nguyễn Văn Thông

CÁC KÝ HIỆU

U_p	- điện áp phun
I_p	- cường độ dòng điện phun
V_p	- tốc độ di chuyển đầu phun
l_p	- khoảng cách phun
m_b	- năng suất cấp bột phun
σ_B	- giới hạn bền kéo
σ_{-1}	- giới hạn bền mỏi
σ_c	- giới hạn bền chảy
E	- môđun đàn hồi
p_h	- khối lượng phân tử hạt (5.1)*
g	- gia tốc trọng trường (5.1)
T_{nc}	- nhiệt độ nóng chảy (5.1)
C	- tỉ nhiệt (5.7)
v_h	- tốc độ bay của hạt (5.1)
s	- nhiệt ẩn nóng chảy (5.1)
Bi	- tiêu chuẩn Bio (5.2)
Φ_1	- số Phuri (5.2)
α	- hệ số tỏa nhiệt (5.2)
α_t	- hệ số giãn nở nhiệt (6.9)
a	- độ dẫn nhiệt (5.2)
ρ	- độ chặt/mật độ của vật liệu (6.14)
eV	- điện tử vôn
U_D	- năng lượng phân ly

* Ký hiệu công thức

CHƯƠNG 1

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHUN

1.1. TỔNG QUAN VÀ PHÂN LOẠI CÁC PHƯƠNG PHÁP PHUN

1.1.1. TỔNG QUAN

Các chi tiết máy và kết cấu làm việc trong nhiều môi trường khác nhau với những chế độ công tác rất khác nhau. Chúng bị phá hủy và hư hỏng dưới nhiều dạng. Có nhiều nguyên nhân, những nguyên nhân chính là: gỉ (do làm việc trong môi trường không khí – các kết cấu xây dựng, và nước – các phương tiện thủy; các môi trường tĩnh và động – thiết bị hoá học...); ăn mòn (chẳng hạn dưới tác dụng của các chất lỏng và khí cháy); mài mòn cơ học và các hư hỏng khác (chẳng hạn, tại các mặt tiếp xúc của các chi tiết làm việc dưới áp suất và nhiệt độ cao).

Để nâng cao độ bền và tuổi thọ của chi tiết và kết cấu, nhiều giải pháp đã được đưa ra: gia công nhiệt để cải thiện các tính chất của vật liệu; sản xuất vật liệu mới và hợp kim. Trong nhiều trường hợp, bề mặt vật liệu được phủ một lớp bảo vệ chống ăn mòn và mài mòn.

Có nhiều phương pháp phủ trên mặt chi tiết và kết cấu tùy theo mục đích sử dụng và điều kiện làm việc của chúng. Có những lớp phủ bảo vệ hoặc trang trí; có những lớp phủ đặc biệt với những tính chất đặc biệt như: chống cháy, chịu mài mòn, chịu nhiệt và cách nhiệt v.v...

Việc chọn vật liệu và phương pháp phủ nói chung phụ thuộc vào điều kiện làm việc của các chi tiết và kết cấu. Ngoài ra sự cải thiện chất lượng bề mặt của vật liệu cũng cho phép thiết kế và chế tạo máy móc và thiết bị năng suất hơn.

Có ba nhóm phương pháp phủ bề mặt vật liệu:

- a) Các phương pháp hoá học và điện ly;
- b) Các phương pháp vật lý ;
- c) Các phương pháp cơ học.

Các phương pháp thuộc nhóm a) bao gồm: photphat hoá, sunfit hoá (phương pháp hoá học); mạ niken, mạ crom, oxit hoá (phương pháp điện ly). Lớp phủ photphat hoá (còn gọi tẩm photphat) dùng để trang trí và bảo vệ chống gỉ. Lớp phủ sunfit hoá có tác dụng nâng cao độ bền mòn. Các lớp phủ bằng mạ niken, mạ crom hay oxit hoá đều có tác dụng trang trí, bảo vệ và chống mài mòn.

Các phương pháp phủ vật lý bao gồm tráng nhôm, nhúng kẽm khuếch tán (khuếch tán bột nhôm, bột crom; tẩm cacbon, tẩm nitơ hoặc tẩm hỗn hợp cacbon – nitơ). Sự tôi bề mặt, sự phủ chân không và sự thiêu kết thủy tinh với mặt kim loại cũng thuộc nhóm phương pháp phủ vật lý. Hầu hết các phương pháp thuộc nhóm này đều cho các lớp phủ có độ bền mòn, bền nhiệt cao, và tính chống gỉ tốt.

Phủ bề mặt kim loại bởi một tấm kim loại khác bằng công nghệ cán, đúc, hàn nổ...; tăng bền bề mặt bằng xấp xỉ; tăng các tính chất đặc biệt khác bằng phun phủ là những phương pháp thuộc nhóm c) – nhóm phương pháp cơ học. Các tấm kim loại phủ bằng phương pháp đúc, cán hoặc hàn nổ có thể là thép không gỉ, niken, monen, đồng, titan... Chúng được dùng để bảo vệ kim loại khỏi bị gỉ. Lớp xấp xỉ tăng cường có chiều dày 0,3 – 0,5 mm có tác dụng tăng độ bền mỏi mà không làm thay đổi cấu trúc của kim loại.

Lớp phun phủ được hình thành trên bề mặt chi tiết là nhờ nguồn nhiệt từ ngọn lửa khi đốt hoặc nhờ hồ quang điện. Nguồn nhiệt đốt nóng các phần tử kim loại phun tới trạng thái nóng chảy hoặc gần nóng chảy; dưới áp lực của không khí hoặc hỗn hợp khí cháy các phần tử kim loại chuyển động với tốc độ rất cao tới bề mặt vật phun tạo thành lớp phun.

Ưu điểm của công nghệ phun phủ

Công nghệ phun phủ có những ưu điểm nổi trội so với các công nghệ khác. Đó là:

- * Bằng sự phun có thể phủ các vật liệu rất khác nhau trên bề mặt chi tiết. Chẳng hạn, có thể phủ kim loại trên kính, vải, gỗ, giấy v.v...

- * Có thể phun trên các bề mặt có diện tích lớn hoặc các vùng nhỏ của chi tiết lớn, trong khi đó, bằng các phương pháp khác như nhúng, mạ, khuếch tán v.v... không thể thực hiện được mục đích này do không có các thiết bị phụ trợ thích hợp (như bể chứa hoặc thiết bị nung nóng). Phun phủ là phương pháp tiện lợi nhất và kinh tế nhất đối với các chi tiết có yêu cầu mặt phủ lớn.

- * Cũng như hàn đắp, phun phủ cho phép tạo lớp đắp với chiều dày tương đối lớn (để phục hồi các chi tiết bị mài mòn).

- * Thiết bị phun phủ khá đơn giản và gọn nhẹ, có thể di chuyển dễ dàng và nhanh chóng. Chẳng hạn, khi phun bằng ngọn lửa khí chỉ cần máy nén khí, mỏ

đốt và bình khí. Khi có nguồn điện có thể ứng dụng phương pháp phun điện với những súng phun cầm tay rất tiện lợi.

- * Có thể sử dụng các kim loại và hợp kim khác nhau, hoặc hỗn hợp của chúng. Có thể phun nhiều lớp với những vật liệu khác nhau để tạo các lớp phủ có các tính chất đặc biệt.

- * Chi tiết phun ít bị biến dạng, trong khi đó, sự đốt nóng toàn phần hoặc cục bộ các chi tiết phủ bằng các phương pháp khác có thể gây biến dạng lớn.

- * Bằng phương pháp phun có thể sản xuất các chi tiết có hình dạng phức tạp. Trong trường hợp này, sự phun được tiến hành trên mặt khuôn mẫu. Sau khi phun khuôn mẫu được tháo ra để lại lớp vỏ tạo thành từ lớp phun.

- * Quá trình công nghệ phun phủ đảm bảo năng suất cao và đặc trưng bởi khối lượng công việc không lớn.

Nhược điểm của công nghệ phun phủ

- * Khi chi tiết phun nhỏ, sự phun ít hiệu quả do tổn hao vật liệu phun lớn. Trong trường hợp này, kinh tế hơn là sử dụng phương pháp khác.

- * Quá trình chuẩn bị bề mặt trước khi phun gây ô nhiễm môi trường làm việc do phải sử dụng các thiết bị tẩy rửa và làm sạch như máy phun cát, phun bi, phun bột kim loại và các dung dịch tẩy rửa khác.

- * Trong quá trình phun, các hạt phun có thể bắn tung toé, đồng thời có thể tạo các hợp chất có hại cho sức khoẻ của người công nhân.

1.1.2. PHÂN LOẠI CÁC PHƯƠNG PHÁP PHUN

Người đầu tiên phát minh ra phương pháp phun phủ là Shoop – kỹ sư Thụy Điển. Vào năm 1910 ông đã chế tạo được máy phun kim loại đầu tiên. Theo phương pháp của ông, kim loại lỏng được rót vào luồng không khí nóng thoát ra từ vòi đốt. Dưới tác dụng của luồng khí nóng áp suất cao, kim loại lỏng bị tách thành từng hạt nhỏ bắn vào bề mặt vật phun.

Máy phun dựa trên nguyên lý trên không có độ tin cậy cao và cho năng suất rất thấp. Sự phát triển của kỹ thuật đòi hỏi phải tạo được các máy móc thiết bị tin cậy và năng suất hơn, có khả năng phun những vật liệu đa dạng nhất.

Nhiều nguồn nhiệt có năng lượng cao và làm việc tin cậy đã được sáng chế; những phương pháp cấp vật liệu phun vào chùm nhiệt độ cao được phát minh.

Ngày nay có rất nhiều kiểu máy phun cho năng suất lao động cao nhờ quá trình phun được tự động hoá.

Dựa theo nguồn năng lượng nhiệt được cung cấp để làm nóng chảy vật liệu phun, có thể phân các phương pháp phun thành hai nhóm: phun ngọn lửa khí và phun điện. Trong các máy phun ngọn lửa khí, nhiệt phát sinh bởi sự đốt cháy hỗn hợp khí đốt và oxi. Các máy phun điện dựa trên nguyên tắc sử dụng nhiệt của hồ quang điện.

Phương pháp phun ngọn lửa khí có ứng dụng rộng rãi nhất. Nó được dùng để phun và làm nóng chảy các hợp kim tự bảo vệ trên nền niken và coban, và để phun các vật liệu gốm và khó chảy khác. Một trong những dạng đặc biệt của phun ngọn lửa khí là phun nổ - dùng năng lượng nổ của hỗn hợp khí axetylen và oxi. Dạng này cho phép phun các vật liệu có nhiệt độ nóng chảy cao hơn.

Phương pháp phun kim loại bằng hồ quang điện là dạng cũ nhất trong số các dạng phun phủ điện. Trước đây hồ quang điện xoay chiều được sử dụng để phun kim loại, do đó quá trình phun dây không ổn định. Hiện nay, tính ổn định của quá trình phun được đảm bảo bởi việc sử dụng hồ quang dòng một chiều trong các máy phun kim loại.

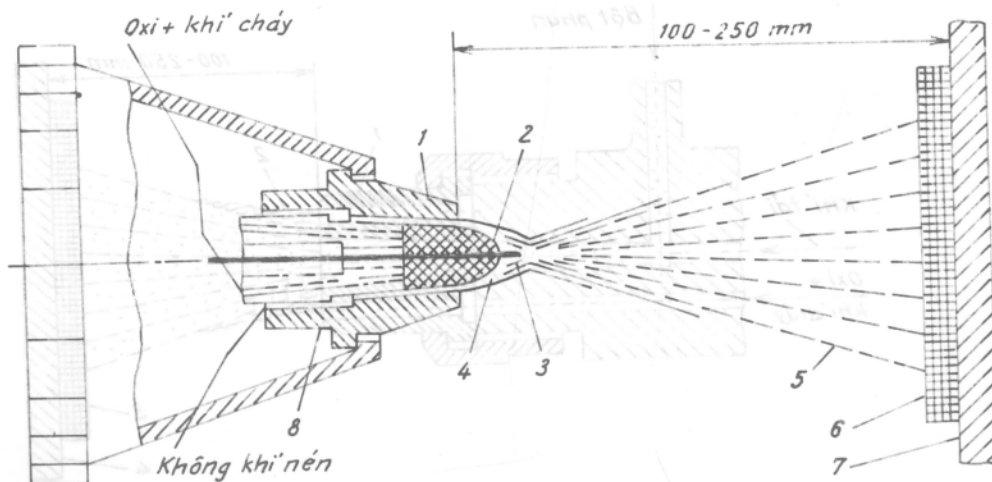
Trong những năm gần đây, thiết bị phun plasma dùng để phun cảm ứng tần số cao có khả năng công nghệ rộng hơn cả, có thể phun bất kỳ vật liệu nào.

1.2. PHUN NGỌN LỬA KHÍ

Khi phun ngọn lửa khí, nguồn năng lượng nhiệt được tạo bởi sự đốt cháy hỗn hợp khí cháy với oxi. Tùy thuộc vào trạng thái vật liệu phun, sự phun phủ có thể có ba dạng: phun dây, phun thanh và phun bột. Ngoài ra, sự phun nổ, dựa trên nguyên lý sử dụng năng lượng nổ của hỗn hợp oxi - khí cháy, cũng thuộc phương pháp phun ngọn lửa khí.

Nguyên lý phun dây bằng ngọn lửa khí được trình bày trên hình 1.1. Sự phun thanh cũng diễn ra tương tự. Trong cả hai trường hợp, vật liệu phun dạng dây hoặc thanh được cấp qua lỗ tâm của mỏ đốt và nóng chảy trong ngọn lửa. Luồng không khí nén làm phân tán vật liệu phun nóng chảy thành các hạt nhỏ phủ trên bề mặt vật phun. Dây được cấp với tốc độ không đổi nhờ các con lăn dẫn động của tuabin không khí hoặc động cơ điện.

Khi sử dụng tuabin không khí, việc điều chỉnh chính xác tốc độ cấp dây sẽ khó khăn, tuy nhiên mỏ đốt sẽ gọn nhẹ hơn. Vì vậy tuabin không khí được dùng trong các mỏ đốt cầm tay. Mỏ đốt dùng động cơ điện cho phép điều chỉnh tốc độ cấp dây chính xác hơn và duy trì ổn định tốc độ đó. Tuy nhiên vì nặng hơn nên các mỏ đốt như vậy được lắp trên thiết bị cơ khí hoá dùng cho phun phủ.



Hình 1.1. Phun dây bằng ngọn lửa khí:

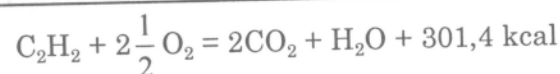
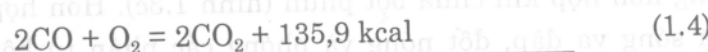
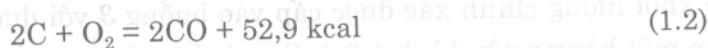
- 1- dây phun; 2- ngọn lửa khí cháy; 3- đầu dây nóng chảy; 4- dòng không khí nén;
5- hạt kim loại; 6- lớp phủ; 7- kim loại nền; 8- đầu bép.

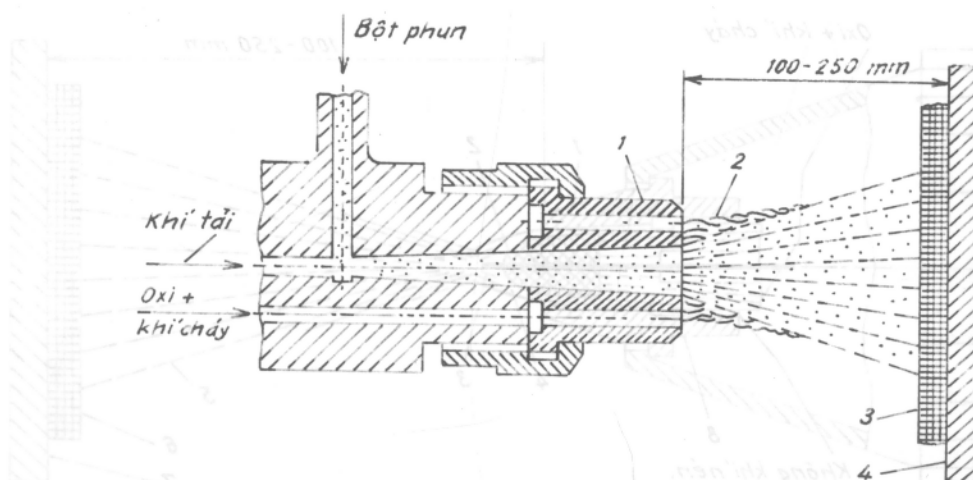
Đường kính dây phun thường không quá 3 mm. Khi phun các kim loại có nhiệt độ nóng chảy thấp (như nhôm, kẽm...) có thể sử dụng dây phun đường kính 5 – 7 mm.

Hình 1.2 giới thiệu nguyên lý phun ngọn lửa khí với vật liệu bột. Bột phun chảy từ trên xuống bị kéo theo bởi dòng khí tải (hỗn hợp oxi – khí cháy) và rơi vào ngọn lửa. Các phần tử bột bị đốt nóng và bắn vào bề mặt vật phun. Trong các mỏ đốt phun bột và phun dây, việc cấp vật liệu phun có thể được thực hiện nhờ luồng không khí nén.

Trong nhiều trường hợp axetylen được dùng làm khí đốt. Khi phun chất dẻo thường dùng propan.

Khi axetylen cháy hoàn toàn, các phản ứng hoá học sau đây xảy ra:





Hình 1.2. Nguyên lý phun bột bằng ngọn lửa khí:

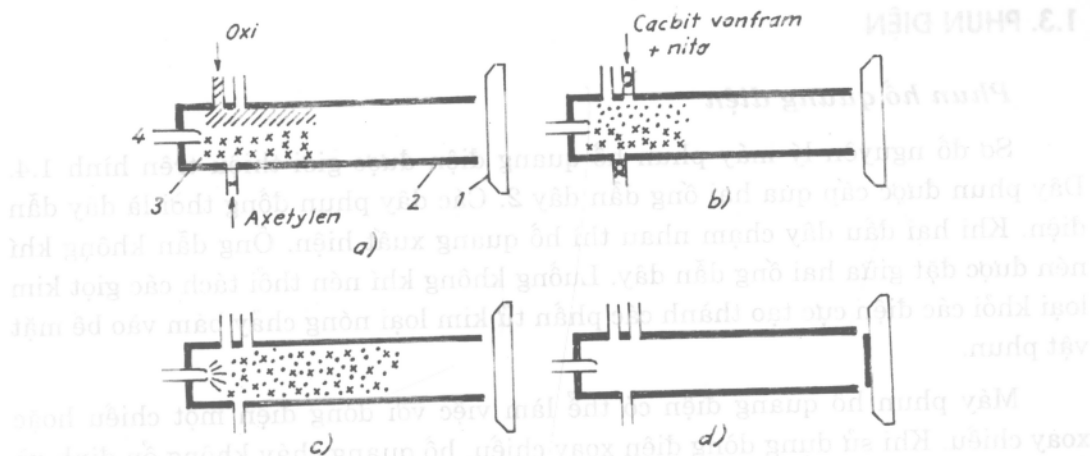
1- đầu béc; 2- ngọn lửa; 3- lớp phủ; 4- kim loại nền.

Như vậy, để đốt cháy hoàn toàn 1 g mol axetylen cần 2,5 g mol oxi. Tỷ lệ trong hỗn hợp oxi – axetylen bằng 1:1. Ngọn lửa trung tính có được là nhờ cả oxi của môi trường xung quanh tham gia vào sự đốt axetylen. Tại phía đầu ngọn lửa với cường độ chiếu sáng mãnh liệt nhất, xảy ra các phản ứng (1.1) và (1.2). Ở đây các sản phẩm khí cháy có bầu khí quyển phục hồi. Tiếp đến, dưới tác dụng của oxi xâm nhập từ không khí, xảy ra các phản ứng (1.3) và (1.4) và sự cháy hoàn toàn của axetylen. Khi chuyển động trong ngọn lửa, các phần tử phun bị đốt nóng liên tục. Khi cấp luồng không khí nén vào ngọn lửa thì một phần lớn ngọn lửa bị oxi hoá.

Nhiệt độ ngọn lửa khí đốt không quá 2850°C, vì vậy không thể dùng phương pháp phun ngọn lửa khí để phun các vật liệu khó chảy.

Công nghệ phun phủ ngọn lửa khí rất đơn giản, thiết bị và chi phí vận hành lại thấp. Đó là lý do để phương pháp này có được ứng dụng rộng rãi nhất.

Sơ đồ nguyên lý phun nổ được giới thiệu trên hình 1.3. Oxi và axetylen với tỷ lệ khối lượng chính xác được cấp vào buồng 3 với đường kính 25 mm và được làm mát bằng nước (hình 1.3a). Sau đó bột phun (chẳng hạn bột vonfram) được cấp vào buồng cùng với khí nitơ (hình 1.3b). Người ta phóng tia lửa điện vào buồng hỗn hợp khí chứa bột phun (hình 1.3c). Hỗn hợp khí phát nổ, sinh nhiệt và sóng va đập, đốt nóng và phóng các phần tử bột trên mặt chi tiết phun (hình 1.3d).



Hình 1.3. Sơ đồ nguyên lý phun nổ:

1- chi tiết phun; 2- cơ cấu làm mát; 3- buồng nổ; 4- kênh điện.

a) chất đầy hỗn hợp công tác vào buồng; b) cấp bột phun;

c) phóng điện; d) tạo lớp phủ.

Khi phun nổ các phân tử bột phun được tích lũy động năng rất lớn. Ở khoảng cách 75 mm tính từ miệng buồng nổ, tốc độ của các phân tử có thể đạt 820 m/s. Nếu tại đây đặt chi tiết phun thì khi các phân tử va phải bề mặt của nó sẽ phát sinh một lượng nhiệt lớn và nhiệt độ của bột phun có thể đạt tới 4000°C. Sau khi nổ, buồng nổ được làm sạch sản phẩm cháy bằng nitơ và quá trình lại lặp lại. Tần số nổ được điều chỉnh chính xác trong phạm vi 3 đến 4 lần trong 1 giây.

Phun nổ được ứng dụng để phun các lớp cứng và bền mòn từ bột cacbit có chứa một lượng nhỏ bột oxit kim loại liên kết. Mỗi chu kỳ phun đạt độ dày khoảng 6 μm . Công việc phun tiếp tục kéo dài tới khi lớp phun đạt được chiều dày cần thiết. Thực tế chiều dày đó thường đạt 0,25 – 0,30 mm. Các lớp phun nổ có độ chặt cao và độ bám dính cao. Khi phun nổ nhiệt độ chi tiết phun không vượt quá 200°C (khi phun ngọn lửa khí nhiệt độ chi tiết là khoảng 260 – 320°C). Vì vậy chi tiết hầu như không bị biến dạng và không thay đổi các tính chất cơ lý khác.

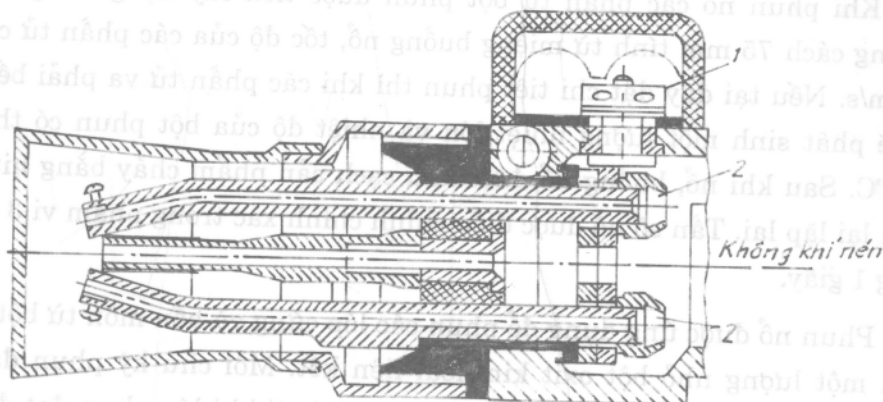
Nhược điểm của phun nổ là tiếng ồn lớn, tới 140 dB, vì vậy phải đặt thiết bị phun tại một vị trí đặc biệt. Một nhược điểm nữa là thiết bị phun nổ có giá thành cao.

1.3. PHUN ĐIỆN

Phun hồ quang điện

Sơ đồ nguyên lý máy phun hồ quang điện được giới thiệu trên hình 1.4. Dây phun được cấp qua hai ống dẫn dây 2. Các dây phun đồng thời là dây dẫn điện. Khi hai đầu dây chạm nhau thì hồ quang xuất hiện. Ống dẫn không khí nén được đặt giữa hai ống dẫn dây. Luồng không khí nén thổi tách các giọt kim loại khỏi các điện cực tạo thành các phần tử kim loại nóng chảy bám vào bề mặt vật phun.

Máy phun hồ quang điện có thể làm việc với dòng điện một chiều hoặc xoay chiều. Khi sử dụng dòng điện xoay chiều, hồ quang cháy không ổn định và tạo tiếng nổ lớn. Quá trình phun với dòng điện một chiều ổn định; lớp phun có cấu trúc hạt mịn; năng suất phun cao. Vì vậy hiện nay các nguồn điện một chiều được dùng để phun hồ quang. Sự ổn định của hồ quang được đảm bảo bởi điện thế tần số cao. Dây phun có đường kính 0,8; 1,0; 1,6 và 2,0 mm.



Hình 1.4. Sơ đồ nguyên lý máy phun hồ quang điện:

1- đầu kẹp cáp điện; 2- ống dẫn dây phun.

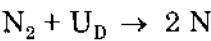
Ưu điểm của phương pháp phun hồ quang điện là năng suất cao và có khả năng rút ngắn thời gian phun. Chẳng hạn, khi sử dụng dòng điện 750 A có thể phun được 36 kg/h lớp phun dây, cao hơn nhiều lần so với khi phun ngọn lửa khí; độ bám của lớp phun hồ quang điện cũng tốt hơn độ bám của lớp phun ngọn lửa khí. Khi sử dụng hai dây phun kim loại khác nhau có thể nhận được lớp phun hợp kim. Chi phí vận hành máy phun không lớn. Cần lưu ý khi phun với hai dây kim loại lớp phun khác nhau (không đồng nhất).

Nhược điểm của phương pháp nói trên là sự quá nhiệt và oxi hoá vật liệu phun khi tốc độ cấp dây phun bé. Ngoài ra, lượng nhiệt lớn phát ra từ hồ quang

làm cháy đáng kể các nguyên tố hợp kim tham gia vào lớp phủ (chẳng hạn, hàm lượng cacbon trong lớp phủ giảm 40 – 60%; còn silic và mangan giảm 10 – 15%). Do vậy cần phải sử dụng các dây phun chứa hàm lượng lớn các nguyên tố hợp kim. Tuy nhiên, giá thành dây hợp kim như vậy cao hơn khoảng 3 lần.

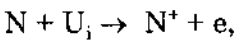
Phun plasma

Khi một chất khí với các phân tử tạo bởi nhiều nguyên tử được đốt nóng tới nhiệt độ trên 1000 K, thì xảy ra quá trình phá hủy các liên kết phân tử và chất khí chuyển sang trạng thái ion. Nhiệt độ của quá trình đó - gọi là quá trình phân ly - được xác định bởi chất khí và áp suất. Các biến đổi xảy ra, chẳng hạn đối với nitơ, có thể mô tả dưới dạng phản ứng sau:



ở đây U_D - năng lượng phân ly, thông thường được tính bằng điện tử von (eV).

Bảng 1.1 giới thiệu năng lượng phân ly của một số chất khí [11]. Khi nhiệt độ tiếp tục tăng, các điện tử tách khỏi nguyên tử và xảy ra sự ion hoá nguyên tử đó. Dưới áp suất khí quyển và nhiệt độ 10000 K, các khí như oxi và nitơ là những khí ion hoá:



ở đây U_i - năng lượng ion hoá của một nguyên tử, eV.

Bảng 1.1. Năng lượng phân ly phân tử của các chất khí

Khí	Năng lượng phân ly, eV
H ₂	4,477
N ₂	9,76
O ₂	5,08
CO	11,11
NO	6,48
OH	4,37
CO ₂	16,56

Bảng 1.2 cho năng lượng ion hoá của các nguyên tố. Chất khí mà trong đó phần lớn các nguyên tử hoặc phân tử bị ion hoá và nồng độ các điện tử và ion âm bằng nồng độ các ion dương, gọi là plasma. Plasma có độ dẫn điện rất cao.

Bảng 1.2. Năng lượng ion hoá của các nguyên tố, eV

Nguyên tố	Mức độ ion hoá (số lượng điện tử tách ra)					
	I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7
Al	5,984	18,823	28,44	119,96	153,77	190,42
Ar	15,755	27,62	40,90	59,79	75,0	91,3

Tiếp bảng 1.2

1	2	3	4	5	6	7
Ca	6,111	11,87	51,21	67	84,39	-
C	11,264	24,376	47,864	64,476	391,986	489,84
Ce	3,893	25,1	-	-	-	-
He	24,580	54,400	-	-	-	-
H	13,595	-	-	-	-	-
Fe	7,90	16,18	30,64	-	-	-
Kr	13,99	24,56	36,09	-	-	-
Mg	7,644	15,03	80,12	109,29	141,23	186,86
Hg	10,44	18,8	-	-	-	-
Nb	6,77	14	-	-	-	-
N	14,54	29,605	47,426	77,450	97,963	551,92
O	13,614	35,146	54,934	77,394	113,873	138,08
Pt	8,9	18,5	-	-	-	-
K	4,339	31,81	46	60,90	-	99,7
Si	8,149	16,34	33,46	45,13	166,73	205,11
Ag	7,574	21,48	-	-	-	-
Na	5,138	47,29	71,65	98,88	138,60	172,36
Sr	5,692	11,027	-	57	-	-
Ti	6,83	13,63	28,14	43,24	99,8	120
W	7,94	-	-	-	-	-
Xe	12,13	21,2	-	-	-	-

Các dạng phóng điện trong các chất khí, trong đó có cả phóng điện hồ quang, được ứng dụng rộng rãi nhất để tạo plasma.

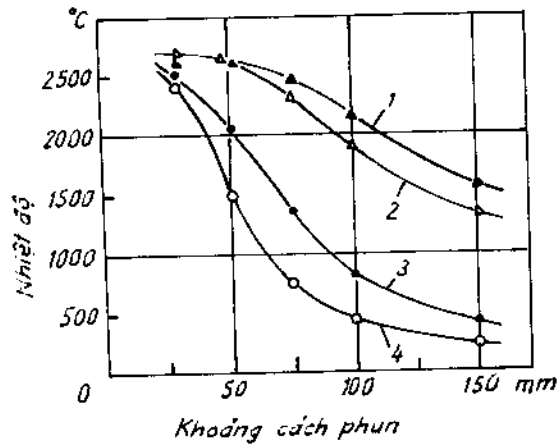
Phương pháp phun plasma có những đặc điểm dưới đây. Nhiệt độ cao của tia plasma cho phép phun các vật liệu khó chảy. Nhiệt độ tia plasma có thể điều chỉnh trong phạm vi rộng bằng cách thay đổi đường kính miệng phun (đầu búp) và chế độ công tác của súng phun. Điều đó cho phép phun các vật liệu khác nhau (kim loại, gốm và vật liệu hữu cơ). Do sử dụng khí trơ làm khí công tác nên lượng oxit tạo thành trong lớp phủ rất nhỏ. Khi cần thiết có thể tiến hành sự phun trong buồng chứa khí trơ.

Các lớp phun plasma có độ chặt cao và độ bám tốt với vật liệu nền. Tuy nhiên năng suất phun plasma tương đối thấp; khi phun có tiếng ồn và tia cực

tím mạnh. Giá thành và chi phí vận hành thiết bị cao là nhược điểm của phương pháp phun plasma.

Phun cảm ứng tần số cao

Sự phun phủ cảm ứng tần số cao được ứng dụng đầu tiên tại Liên Xô (cũ). Nguyên lý của thiết bị phun phản ứng tần số cao được mô tả trên hình 1.5. Lõi cảm ứng (dây phun) bị đốt nóng chảy bởi dòng điện cảm ứng xuất hiện do tác dụng của từ trường khi có dòng điện tần số cao chạy qua cuộn dây. Kim loại nóng chảy bị tách thành hạt và chuyển động với tốc độ cao tới bề mặt vật phun nhờ luồng không khí áp suất cao. Quá trình phun diễn ra trong buồng kín chứa khí trơ.



Hình 1.5. Sơ đồ nguyên lý thiết bị phun cảm ứng tần số cao:

1- cuộn sơ cấp; 2- dây phun; 3- vòng cảm ứng.

1.4. SO SÁNH ĐẶC ĐIỂM CÔNG NGHỆ CỦA PHƯƠNG PHÁP PHUN NGỌN LỬA KHÍ VÀ PHUN PLASMA

Phun ngọn lửa khí (dây và bột) là phương pháp phun phủ điển hình có ứng dụng rộng rãi trong thực tế. Ngoài ra phun plasma cũng rất phổ biến bởi nó cho phép nhận lớp phun từ các vật liệu khó chảy, đáp ứng được các yêu cầu khắt khe của máy móc hiện đại. Dưới đây sẽ khảo sát kỹ hơn một số đặc điểm công nghệ của hai phương pháp đó.

Sự phân bố nhiệt độ trong ngọn lửa khí và trong tia plasma

Khi phun, vật liệu phun được đốt nóng và di chuyển tới mặt vật phun dưới trạng thái nóng chảy hoặc gần nóng chảy. Mức độ nóng chảy và cường độ tương tác của vật liệu phun với môi trường bao bọc nói chung phụ thuộc vào sự phân

bố nhiệt độ trong luồng khí thoát ra khỏi miệng súng phun plasma hoặc mỏ đốt ngọn lửa khí.

Khí phun ngọn lửa khí thông thường người ta sử dụng các ngọn lửa oxi – axetylen hoặc oxi – propan làm nguồn nhiệt. Nhiệt độ lớn nhất có thể nhận được trong trường hợp đó bằng nhiệt độ cháy của các hỗn hợp khí. Bảng 1.3 cho các nhiệt độ cháy của các hỗn hợp khí khác nhau.

Bảng 1.3. Nhiệt độ cháy của các hỗn hợp khí

Hỗn hợp khí	Nhiệt độ cháy, °C	Hỗn hợp khí	Nhiệt độ cháy, °C
Oxi - axetylen	3100	Không khí-axetylen	2325
Oxi - butan	3100	Không khí-hydro	2055
Oxi - propan	2760	Không khí-khí than	1530
Oxi - hydro	2700	đá	

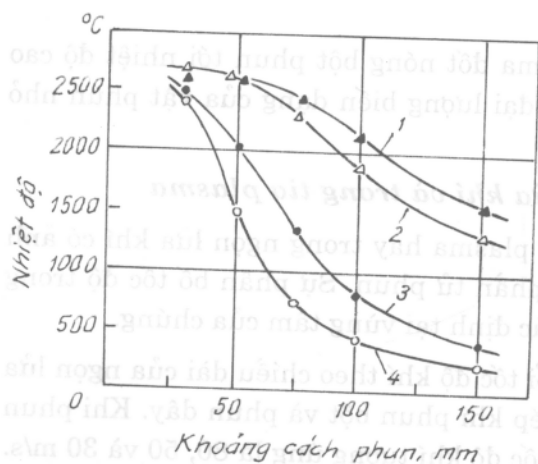
Sự phân bố nhiệt độ dọc theo trục tâm của ngọn lửa phụ thuộc vào khoảng cách phun (hình 1.6). Đối với mỏ đốt phun bột kiểu P (Hãng "Metco" – Mỹ) ở khoảng cách 60 – 70 mm tính từ miệng phun (đầu bép), nhiệt độ trên trục tâm ngọn lửa là trên 2500°C, sau đó giảm. Ở khoảng cách 100 mm tính từ đầu bép, là khoảng cách thường đặt vật phun, nhiệt độ là 1900°C, và ở khoảng cách 150 mm là 1400°C.

Khí phun dây bằng mỏ đốt kiểu K (cùng Hãng "Metco"), nhiệt độ giảm nhanh khi tăng khoảng cách phun. Ở khoảng cách 50 mm, nhiệt độ là 1500°C; ở khoảng cách 100 mm – giảm xuống tới 500°C. Nhiệt độ giảm nhanh là do cấp không khí nén vào ngọn lửa.

Khí phun bột có thể nhận được lớp phủ, kể cả khi bột phun chưa nóng chảy hoàn toàn. Điều đó không thể có được khi phun dây hoặc thanh. Vì vậy, so với phun bột, khi phun dây hoặc thanh, các phần tử hình thành trong giai đoạn đầu của sự chuyển động có nhiệt độ và tốc độ cao hơn, đảm bảo năng lượng va đập lớn hơn với chi tiết phun và nâng cao độ bám của lớp phun với kim loại nền. Tuy nhiên, khi phun dây hoặc thanh, các phần tử (hạt phun) bị nguội đi nhanh chóng. Khi phun bột, vùng nhiệt độ cao của ngọn lửa được mở rộng hơn, cho phép đốt nóng hiệu quả các phần tử bay.

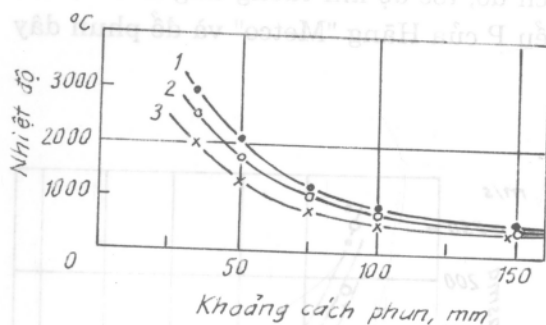
Trên hình 1.7 giới thiệu sự thay đổi nhiệt độ của tia plasma phụ thuộc khoảng cách phun. Các số liệu nhận được khi phun plasma với súng phun SG-1 của Hãng "Plasmadyne" (Mỹ). Nhiệt độ trung bình ở miệng súng phun với dòng điện 550 A và lượng cấp khí công tác (argon) 30 l/ph là 5000 – 10000 K; ở khoảng cách 50 mm là 2200°C, và ở khoảng cách 100 mm là 800 – 900°C. Hình

1.8 dẫn các số liệu đo sự phân bố nhiệt độ trong tia plasma nhận được ở dòng 400 A và lượng argon tiêu thụ 10 l/ph.



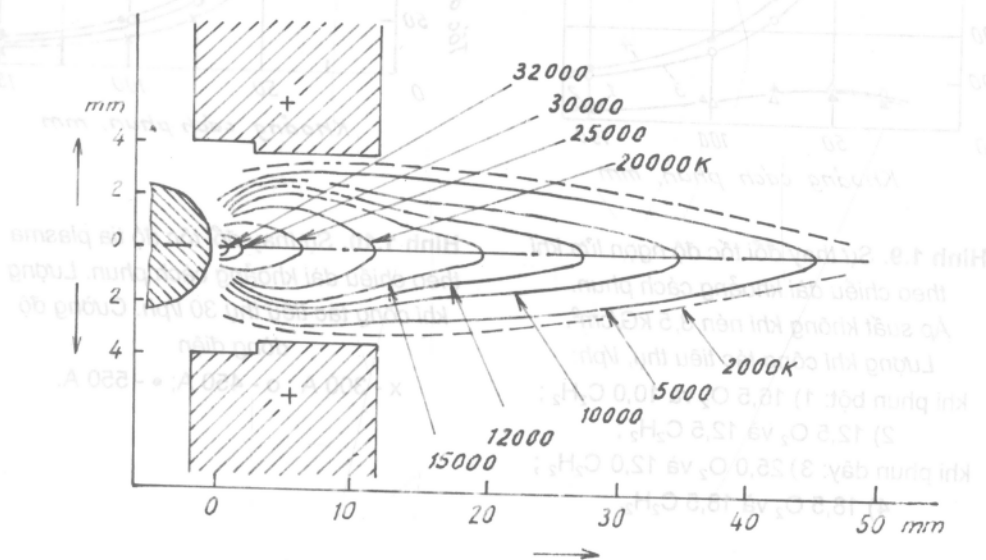
Hình 1.6. Sự thay đổi nhiệt độ của ngọn lửa khí cháy phụ thuộc khoảng cách và chế độ công tác. Áp suất không khí nén 3,5 kG/cm². Lượng khí công tác tiêu thụ, l/ph:

- khi phun bột: 1) 12,5 O₂ và 12,5 C₂H₂ ;
- 2) 16,5 O₂ và 10,0 C₂H₂ ;
- khi phun dây: 3) 18,5 O₂ và 18,5 C₂H₂ ;
- 4) 25,0 O₂ và 12,0 C₂H₂.



Hình 1.7. Sự thay đổi nhiệt độ của tia plasma phụ thuộc khoảng cách phun. Lượng khí công tác tiêu thụ 30 l/ph.

- Cường độ dòng điện:
- 1) 550 A; 2) 450 A; 3) 300 A.



Hình 1.8. Sự phân bố nhiệt độ trong tia plasma.

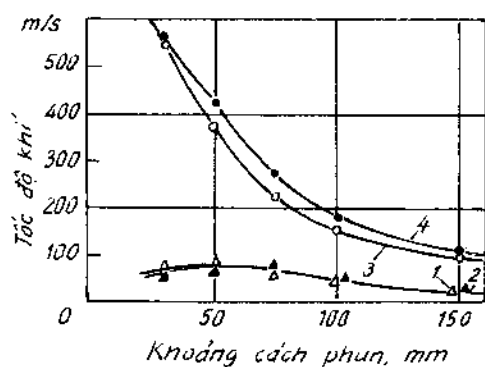
Nhiệt độ cao của tia plasma cho phép phun bất kỳ vật liệu khó chảy nào và trong quá trình phun các vật liệu phun không bay hơi và không thay đổi đáng kể các tính chất của mình.

So với phun ngọn lửa khí, tia plasma đốt nóng bột phun tới nhiệt độ cao hơn và đốt nóng vật phun ít hơn, do đó đại lượng biến dạng của vật phun nhỏ hơn.

Sự phân bố tốc độ trong ngọn lửa khí và trong tia plasma

Tính chất phân bố tốc độ trong tia plasma hay trong ngọn lửa khí có ảnh hưởng đến tốc độ chuyển động của các phần tử phun. Sự phân bố tốc độ trong tia plasma và trong ngọn lửa khí được xác định tại vùng tâm của chúng.

Trên hình 1.9 giới thiệu sự thay đổi tốc độ khí theo chiều dài của ngọn lửa phụ thuộc khoảng cách tính từ miệng béc khí phun bột và phun dây. Khi phun bột, ở khoảng cách 50, 100 và 150 mm, tốc độ khí tương ứng là 80, 50 và 30 m/s. Khi phun dây, cũng ở những khoảng cách đó, tốc độ khí tương ứng là 370, 160 và 95 m/s. Để phun bột, dùng mỏ đốt kiểu P của Hãng "Metco" và để phun dây dùng mỏ đốt kiểu K.



Hình 1.9. Sự thay đổi tốc độ ngọn lửa khí theo chiều dài khoảng cách phun.

Áp suất không khí nén 3,5 kG/cm².

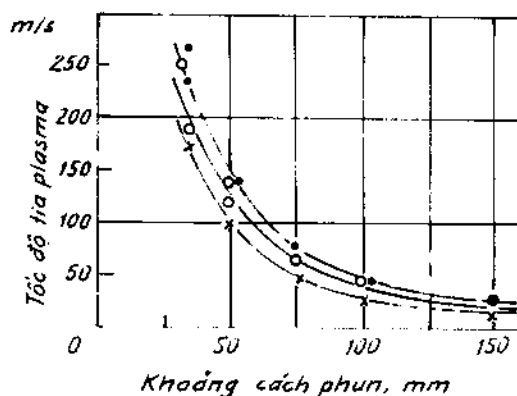
Lượng khí công tác tiêu thụ, l/ph:

khí phun bột: 1) 16,5 O₂ và 10,0 C₂H₂ ;

2) 12,5 O₂ và 12,5 C₂H₂ ;

khí phun dây: 3) 25,0 O₂ và 12,0 C₂H₂ ;

4) 18,5 O₂ và 18,5 C₂H₂.



Hình 1.10. Sự thay đổi tốc độ tia plasma theo chiều dài khoảng cách phun.

Lượng khí công tác tiêu thụ 30 l/ph. Cường độ dòng điện

x - 300 A ; o - 450 A ; • - 550 A.

Sự thay đổi tốc độ tia plasma khi phun phụ thuộc khoảng cách tính từ miệng béc (đường kính 7 mm, khí công tác là argon) được biểu thị trên hình 1.10. Các số đo được thực hiện theo trục tâm của tia. Theo các số liệu nhận được, khi phun với dòng điện 550 A (là dòng thường được ứng dụng trong thực tế), ở các khoảng cách 50, 100 và 150 mm tính từ đầu béc, tốc độ dòng plasma tương ứng là 140, 55 và 35 mm/s. Các nghiên cứu được tiến hành trên súng phun SG-1 của Hãng "Plasmadyne". Theo tính toán, ở cường độ dòng điện 400 A, lượng khí công tác 43 l/ph và đường kính béc 5,5 mm, tốc độ tia tại miệng béc là 750 m/s [11].

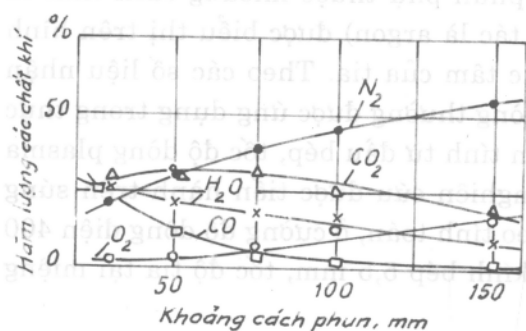
Thành phần khí của tia plasma và ngọn lửa khí cháy

Khi phun bột, ngọn lửa hình thành trong quá trình đốt khí cháy và oxi là nguồn năng lượng cần thiết cho sự đốt nóng bột. Khi phun dây và trong nhiều trường hợp cả phun bột, để tăng tốc các hạt phun, người ta cấp luồng không khí nén vào ngọn lửa. Vì vậy, thành phần khí trong ngọn lửa ở những vùng khác nhau sẽ thay đổi. Khi phun plasma, sau khi khí công tác ra khỏi miệng phun (béc), tia plasma hình thành và di chuyển cùng môi trường bao bọc. Kết quả thành phần khí của tia cũng thay đổi trên đường đi của nó. Các số liệu về thành phần khí mà trong đó các phần tử vật liệu phun chuyển động có ý nghĩa to lớn đối với sự nghiên cứu chi tiết hơn quá trình tương tác của vật liệu phun với dòng khí nhiệt độ cao, cơ chế hình thành và các tính chất của lớp phủ.

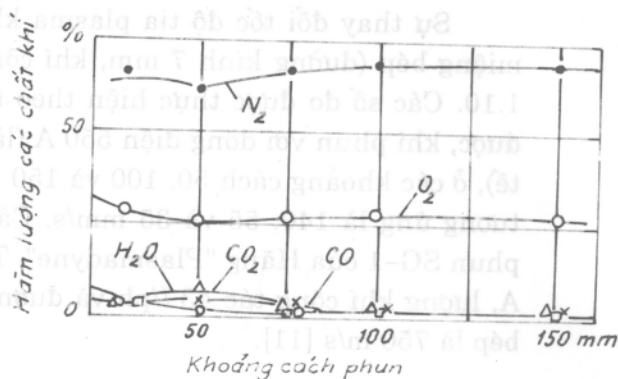
Trên các hình 1.11 và 1.12 giới thiệu biểu đồ thành phần ngọn lửa ở các khoảng cách khác nhau khi phun bột (mỏ đốt kiểu P Hãng "Metco") và dây (mỏ đốt K). Các số liệu đo thực hiện trên trục tâm của ngọn lửa. Trên thực tế, các phần tử phun chuyển động ở các vùng ngoại vi của ngọn lửa, nơi thành phần khí ít nhiều khác với thành phần dẫn trên hình vẽ. Các số liệu nhận được cho phép phán đoán đặc tính chung của sự thay đổi thành phần ngọn lửa khí.

Khi phun bột bằng ngọn lửa khí, ở khoảng cách 100 mm từ miệng béc, hàm lượng oxi trong ngọn lửa là không đáng kể. Khi phun dây luồng không khí thổi vào ngọn lửa, thành phần của ngọn lửa đó cơ bản giống thành phần môi trường bao bọc (hình 1.13).

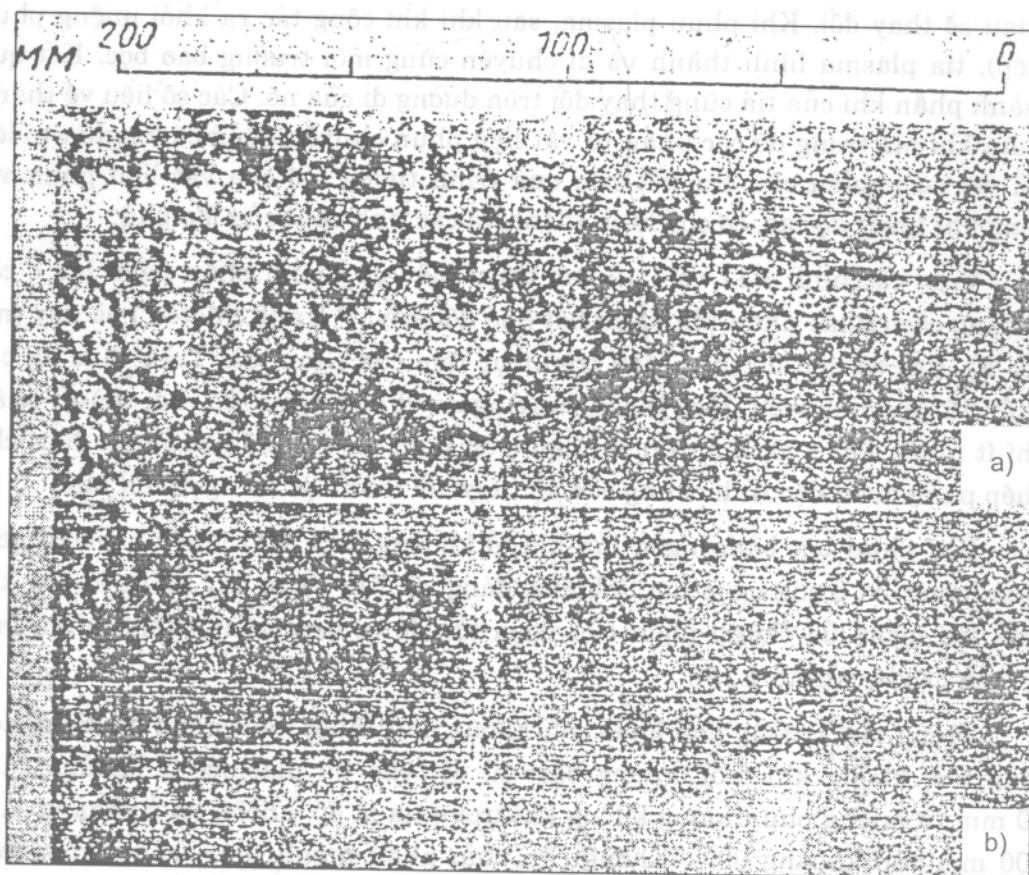
Trong mọi trường hợp khảo sát, không phụ thuộc vào cường độ dòng điện công tác, không khí môi trường bắn dữ dội vào tia plasma. Ở khoảng cách 50 mm từ miệng phun lượng không khí trong tia là 55 – 65%, và ở khoảng cách 100 mm vào khoảng 90%. Không cần phải nhấn mạnh thêm rằng, khi phun plasma, nhờ sử dụng khí trợ làm khí công tác nên trong lớp phun kim loại hình thành một lượng nhỏ các oxit. Các giả thiết như vậy cần được khảo sát.



Hình 1.11. Hàm lượng các chất khí trong ngọn lửa khi phun bột phụ thuộc khoảng cách từ bếp mỡ đốt. Lượng khí công tác tiêu thụ, l/ph: 16,5 O₂ và 10,0 C₂H₂.

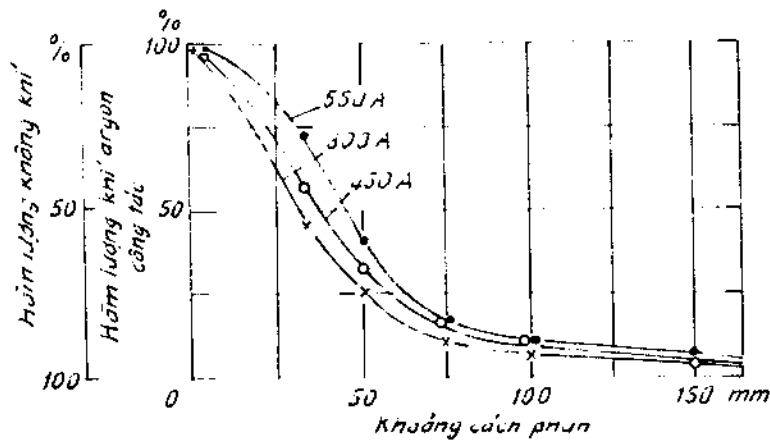


Hình 1.12. Hàm lượng các chất khí trong ngọn lửa khi phun dây phụ thuộc khoảng cách từ bếp mỡ đốt. Lượng khí công tác tiêu thụ, l/ph: 25,0 O₂ và 12,0 C₂H₂. Áp suất không khí nén 3,5 kG/cm².



Hình 1.13. Ảnh chụp ngọn lửa:
a- khi phun bột; b- khi phun dây.

Trên hình 1.14. biểu thị sự thay đổi hàm lượng không khí trong tia plasma phụ thuộc khoảng cách từ đầu béc.



Hình 1.14. Lượng không khí trong tia plasma phụ thuộc khoảng cách phun.
Lượng khí công tác tiêu thụ 30 l/ph.

Khi phun hồ quang điện và phun cảm ứng tần số cao, các hạt phun di chuyển được là nhờ luồng không khí nén thổi vào. Vì vậy có thể giả thiết rằng, trong các phương pháp phun nói trên, các phân tử phun chuyển động trong môi trường không khí. Khi phun nổ, các phân tử phun bay từ buồng nổ vào môi trường không khí vì vậy có thể coi rằng sự di chuyển của chúng cũng diễn ra trong môi trường không khí.

CHƯƠNG 2

VẬT LIỆU PHUN

2.1. DÂY PHUN

Khi phun hồ quang, phun ngọn lửa khí và phun cảm ứng tần số cao, người ta sử dụng chủ yếu dây kim loại làm vật liệu phun. Việc sử dụng dây cho phép cung cấp liên tục và điều hoà vật liệu phun vào mỏ đốt, nâng cao tính ổn định của quá trình phun và chất lượng lớp phun.

Có nhiều loại dây dùng để phun, dưới đây sẽ giới thiệu những loại chính.

Dây kẽm

Để phun có thể sử dụng nhiều loại dây kẽm với độ sạch trên 99,6% hoặc dây kẽm điện phân với độ sạch trên 99,97%. Dây kẽm tinh chế với độ sạch trên 99,99% được ứng dụng rộng rãi. Độ sạch càng cao thì kích thước các hạt tạo thành khi phun càng nhỏ, lớp phủ càng chặt và càng dễ gia công.

Dây kẽm dùng cho phun phải được tẩy sạch dầu mỡ và bám bẩn khác, đặc biệt các sản phẩm oxi hoá kẽm màu trắng trên bề mặt.

Dây kẽm chủ yếu dùng để phun bảo vệ chống gỉ các kim loại đen.

Dây nhôm

Dây nhôm dùng để phun có độ tinh khiết (độ sạch) trên 99,85%, hoặc dây tinh chế với độ tinh khiết 99,92 – 99,95%.

Sự hiện diện trong nhôm của các tạp chất, như đồng và sắt, làm giảm đáng kể các tính chất chống gỉ của nó. Đặc biệt khi sắt và silic cùng tồn tại trong nhôm thì ảnh hưởng của chúng càng tai hại. Vì vậy khi phun các lớp nhôm chống gỉ, yêu cầu quan trọng là độ sạch của nhôm phải cao và lượng tạp chất như sắt và đồng phải thấp.

Không được sử dụng dây nhôm để phun nếu bề mặt của nó bị bám bẩn bởi dầu mỡ và màng oxit nhôm màu trắng.

Dây nhôm dùng để phun bảo vệ chống gỉ cho kim loại đen, đồng thời nâng cao độ bền nhiệt và tính dẫn điện.

Dây molipden

Dây molipden dùng để phun có độ sạch trên 99,95%. Molipden bám dính tốt với kim loại đen, vì vậy thường được ứng dụng để phun lớp lót sau đó phun lớp phủ từ vật liệu khác. Lớp phủ molipden có tính chịu mài mòn cao. Molipden là vật liệu duy nhất được dùng trong công nghiệp để bảo vệ các chi tiết và kết cấu khỏi tác dụng của axit clohydric nóng.

Dây đồng và hợp kim đồng

Người ta thường sử dụng dây đồng có độ sạch trên 99,9% để phun phủ. Các lớp phủ bằng đồng được dùng vào mục đích dẫn điện và trang trí.

Dây đồng thau chứa 5 – 12% nhôm và một số ít chất dện khác như sắt, niken và mangan có tính chống gỉ tốt, đặc biệt trong nước biển. Ngoài ra chúng còn là những chất chống mài mòn và ăn mòn.

Thành phần hoá học của dây đồng thau – nhôm dùng để phun phủ xem ở bảng 2.1.

Bảng 2.1. Thành phần hoá học (%) và tính chất cơ học của đồng thau - nhôm đặc biệt

Loại	Mác	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	σ_K , kG/mm ²	δ , %	HB
1	ABB-1	7,0 - 10,0	2,0 - 4,0	0,5 - 2,0	0,5 - 2,0	còn lại	60	25	130
2	ABB-2	8,0 - 11,0	3,0 - 5,0	0,5 - 2,0	0,5 - 2,0	"	70	15	170
3	ABB-3	9,0 - 12,0	3,0 - 5,0	0,5 - 2,0	0,5 - 2,0	"	70	10	210

Bảng 2.2. Thành phần hoá học (%) và tính chất cơ học của đồng thau - photpho (JISH3751)

Loại	Mác	Sn	P	Sn+P+Cu	σ_K , kG/mm ²
1	PBW1-H	3,0 – 5,5	0,03 – 0,35	99,5	65
2	PBW2-1/2H	5,5 – 7,0	0,03 – 0,35	99,5	65 – 80
	PBW2-H				85
3	PBW3-H	7,0 – 9,0	0,03 – 0,35	99,5	95

Việc doping thêm 0,03 – 0,35% photpho vào đồng thau có tác dụng khử oxi của nó. Lớp phun từ đồng thau loại này có độ bền mòn tốt và được phủ trên các máng đệm tàu thủy. Thành phần hoá học và độ bền kéo của đồng thau – photpho xem ở bảng 2.2.

Đồng latun có độ bền chống gỉ rất tốt. Chúng bị ăn mòn trong môi trường nước biển ở những nhiệt độ tương đối cao. Các lớp phủ từ đồng latun biển có thể chịu được tác dụng của nước biển. Bảng 2.3 giới thiệu thành phần hoá học của latun biển.

Bảng 2.3. Thành phần hoá học của latun biển (JISH 3203), %

Loại	Cu	Sn	Zn	Tạp chất (nhỏ hơn)	
				Pb	Fe
1	61,0 - 64,0	0,7 - 1,5	còn lại	0,3	0,3
2	59,0 - 62,0	0,5 - 1,0	còn lại	0,2	0,1

Dây niken và hợp kim niken

Khi phun dây người ta thường sử dụng niken dùng cho đèn điện tử JISH 4511, VNiW1, VNiW2.

Các lớp phủ niken có công dụng bảo vệ khỏi tác dụng ăn mòn. Ngoài ra chúng còn có độ cứng khá cao và độ bền chống gỉ bề mặt tốt. Niken hoà tan trong axit nitric; hoà tan rất ít trong các axit clohydric và sunfuric. Nó không bị nước ăn mòn và ổn định trong nhiều liên kết hoá học.

Nicrom được sử dụng rộng rãi để phun phủ. Hợp kim nicrom với 80% Ni và 20% Cr hầu như không bị oxi hoá ở nhiệt độ cao và chịu được tác dụng của axit và bazơ. Các lớp phủ từ nicrom có tính chống gỉ và chống nóng điển hình. Tuy nhiên nicrom hoà tan nhẹ trong các axit nitric và sunfuric, và bị phá hủy nhanh chóng trong môi trường nhiệt độ cao có chứa các sản phẩm cháy của dầu lửa.

Bảng 2.4. Thành phần hoá học của monen, %

Vật liệu	Ni	Cu	Tạp chất (nhỏ hơn)				
			Fe	Al	Mn	C	Si
Monen	63 - 70	còn lại	2,5	0,5	2,5	0,2	0,25
Monen K	63 - 70	còn lại	2,0	2 - 4	2,0	0,2	0,5

Monen có độ bền ăn mòn và tính chịu axit cao, chịu được tác dụng của nước mặn, hầu như không hoà tan trong các dung dịch trung tính và kiềm. Đối với các axit yếu monen có tính chống ăn mòn tương đối tốt. Nhược điểm của hợp kim này là khả năng chống ăn mòn giảm khi tiếp xúc với sắt. Thành phần hoá học của monen xem ở bảng 2.4.

Dây thép

Dây thép cacbon là vật liệu phổ biến nhất dùng để phun phủ trên các chi tiết máy bị mài mòn. Thành phần hoá học của các loại dây thép cacbon để phun xem ở bảng 2.5.

Dây thép không gỉ (bảng 2.6) dùng để phun các lớp phủ chống gỉ và chống nóng.

Gỉ thép được phân thành ba loại: mactenxit, ferit và austenit.

Thép mactenxit chống gỉ. Các cấu trúc mactenxit xuất hiện khi làm nguội nhanh hệ Fe – Cr ở trạng thái đốt nóng trong vùng γ hoặc $\gamma + \alpha$. Khi lượng cacbon trong thép lớn các lớp phủ có độ cứng và độ bền mòn cao, tính chống gỉ tốt. Các dây thép chống gỉ mactenxit dùng để phun lớp chống gỉ với độ cứng cao gồm: SUS 44, SUS 51, SUS 54.

Thép ferit chống gỉ. So với thép mactenxit, hàm lượng crom trong các thép này cao hơn. Chúng có cấu trúc $\alpha + \gamma$ hoặc α , tính tự tôi tốt. Số lượng mác thép loại này không lớn. Hàm lượng crom trong thép càng cao thì tính chống gỉ càng được cải thiện nhưng tính chịu axit lại giảm.

Bảng 2.5. Thành phần hoá học của dây thép cacbon, %

Mã	C	Si	Mn	Tạp chất (nhỏ hơn)		
				P	S	Cu
SWR1	0,06 - 0,09	0,03	0,03 - 0,65	0,045	0,045	-
SWR2	0,09	"	0,50	0,04	0,04	0,30
SWR3a	0,15	0,35	"	0,06	0,060	-
SWR3b	0,15 - 0,25	"	"	"	0,050	-
SWR4	0,25 - 0,35	0,15 - 0,25	0,60	0,045	0,045	-
SWR5	0,35 - 0,45	"	"	"	"	-
SWR6	0,45 - 0,55	"	"	"	"	-
SWR7	0,55 - 0,65	"	"	"	"	-
SWR8	0,65 - 0,75	"	"	0,030	0,030	-
SWR9	0,75 - 0,85	"	"	"	"	-
SWR10	0,50 - 0,60	"	0,70 - 0,90	0,045	0,045	-

Bảng 2.6. Thành phần hoá học của dây thép không gỉ, %

Mác		C	Ni	Cr	Mo	Si	Mn	Nguyên tố khác
JIS	AISI					nhỏ hơn		
SUS21	410	0,12	60,00	12,00 - 14,00	-	0,75	1,00	-
SUS22	403	0,12 - 0,18	"	11,50 - 13,00	-	0,60	"	-
SUS23	420	0,25 - 0,40	"	12,00 - 14,00	-	0,75	"	-
SUS24	430	0,12	"	16,00 - 18,00	-	"	2,00	-
SUS7	304	0,08	8,00-11,00	18,00 - 20,00	-	1,00	"	-
SUS8	304L	0,03	9,00-13,00	"	-	"	"	-
SUS9	321	0,08	9,00-13,00	17,00 - 20,00	-	"	"	Ti 0,60
SUS32	316	0,08	10,00-14,00	16,00 - 18,00	2,00 – 3,00	"	"	-
SUS33	316L	0,03	12,00-16,00	"	"	"	"	-
SUS35	-	0,08	10,00-14,00	17,00 - 19,00	1,20 - 2,70	"	"	Cu 1,00-2,50
SUS36	-	0,03	12,00-16,00	"	"	"	"	-
SUS37	-	0,08 - 0,18	60,00	11,50 - 14,00	0,30 - 0,60	0,60	1,00	-
SUS38	405	0,08	"	"	-	1,00	"	Al 0,10-0,30
SUS39	301	0,15	6,00 - 8,00	16,00 - 18,00	-	"	2,00	-
SUS40	302	0,15	8,00 - 11,00	17,00 - 19,00	-	"	"	-
SUS41	309S	0,08	12,00 - 15,00	22,00 - 24,00	-	"	"	-
SUS42	310S	"	19,00 - 22,00	24,00 - 26,00	-	1,50	"	-
SUS43	347	"	9,00 - 13,00	17,00 - 20,00	-	1,00	"	Nb+Ta 1,00
SUS44	431	0,20	1,25 - 2,50	15,00 - 17,00	-	"	1,00	-
Ghi chú: Trong tất cả các mác thép S không quá 0,3% và P không quá 0,04%.								

Ghi chú: Trong tất cả mác thép S không quá 0,3% và P không quá 0,04%.

Thép austenit chống gỉ. Đây là các thép thuộc hệ Fe-Cr-Ni hoặc Fe-Cr-Ni-Mn. Ở nhiệt độ bình thường có cấu trúc pha γ . Tính chống gỉ và chống nhiệt tốt. Việc chọn mác thép được xác định bởi tính chất công tác của môi trường, vì vậy cần thử nghiệm cẩn thận trước khi chọn.

Vật liệu khác

Để phun bảo vệ chống gỉ người ta thường sử dụng cadimi (độ sạch trên 99,99%) thay cho kẽm bởi nó có tính chống gỉ tốt hơn kẽm. Trong một số trường hợp đặc biệt lớp phủ được tạo từ kim loại quý như vàng, platin v.v...

2.2. BỘT PHUN

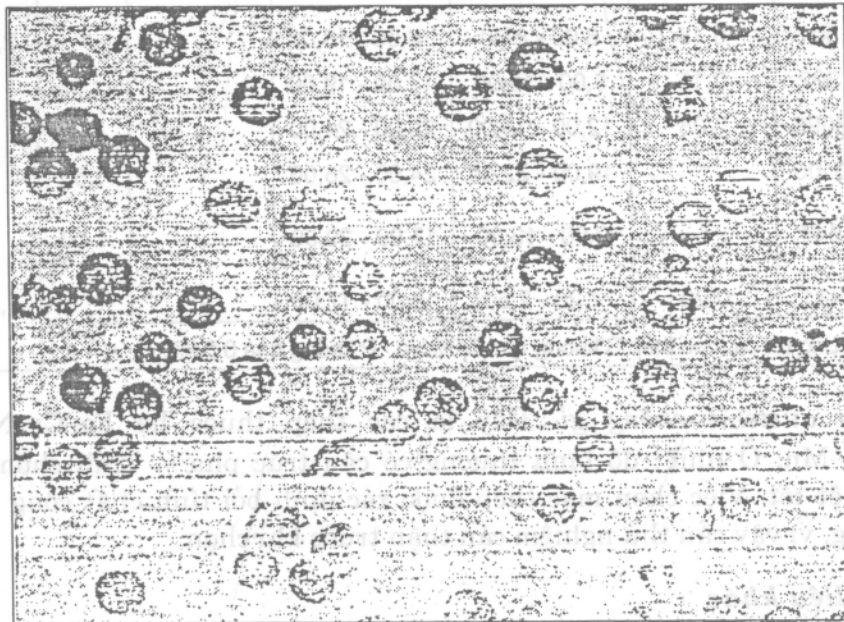
Trong nhiều trường hợp vật liệu phun có thể là dạng bột. Tuy nhiên, với cùng một nguồn nhiệt, các lớp phủ bằng dây có độ chặt lớn hơn và chứa lượng oxit nhỏ hơn so với các lớp phủ bột cùng loại vật liệu đó.

Nhược điểm nữa của phun bột là sự phức tạp trong việc đảm bảo cấp bột ổn định vào ngọn lửa phun.

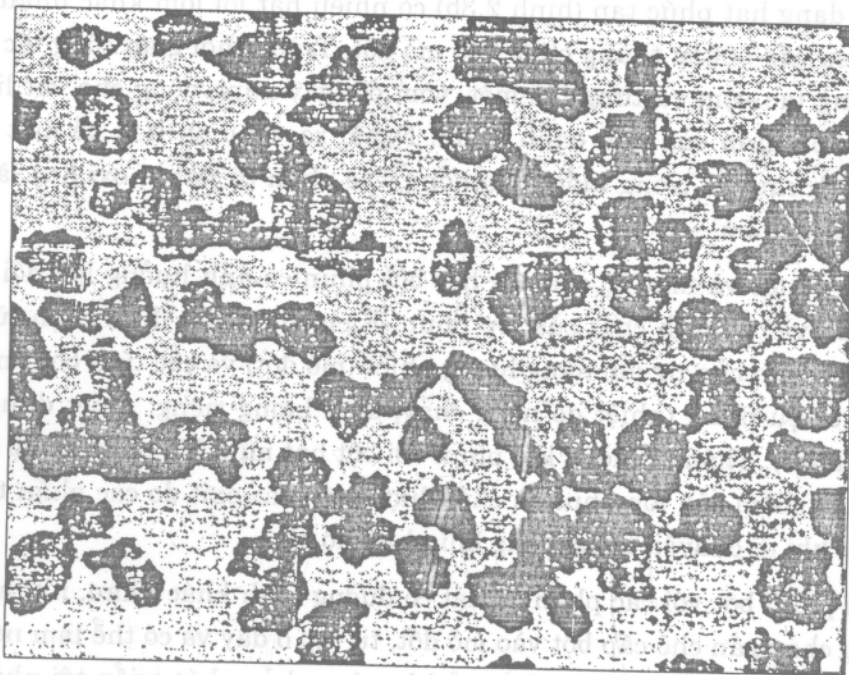
Ưu điểm cơ bản của phương pháp phun bột là giá thành thấp và sự đơn giản của công nghệ sản xuất bột kim loại, hợp kim và các hỗn hợp hoá học khác; trong khi đó, bằng các phương pháp công nghệ thông thường, không thể sản xuất được dây hoặc thanh từ các vật liệu đó do độ cứng và độ giòn cao của chúng.

Vật liệu bột có nhiệt độ nóng chảy cao được chuyên dùng cho phương pháp phun plasma và phun nổ. Các bột có nhiệt độ nóng chảy thấp có thể dùng cho phun ngọn lửa khí.

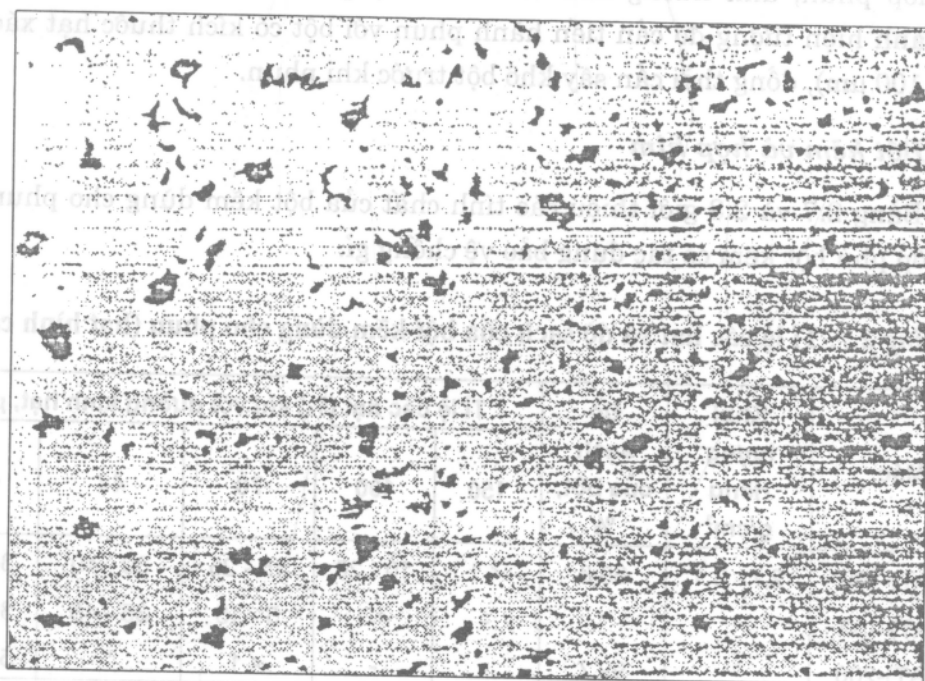
Bột phun phải có dạng hạt hình cầu (hình 2.1) hoặc hỗn hợp (hình 2.2). Các loại bột như vậy có độ chảy tương đối tốt nên dễ điều chỉnh và duy trì ổn định lượng bột tiêu thụ.



Hình 2.2. Bột phun hợp kim niken dạng hạt hình cầu, x 60.



Hình 2.3a. Bột phun molipđen dạng hạt hỗn hợp, x 60.



Hình 2.3b. Bột phun dạng hạt phức tạp.

Bột dạng hạt phức tạp (hình 2.3b) có nhiều hạt lồi lõm khác nhau gây trở ngại cho sự cấp bột từ thùng chứa vào mỏ đốt. Trong thời gian công tác bột loại này thường tạo vòm và từng lúc một, vòm đổ, gây xung động cho vật liệu, làm giảm tính ổn định của quá trình phun. Ngoài ra, do diện tích bề mặt lớn nên trong khi di chuyển trong luồng khí nóng, các phần tử hạt bị oxi hoá làm giảm chất lượng lớp phủ.

Kích thước và mật độ của các hạt bột phun có ảnh hưởng lớn đối với quá trình phun và các tính chất của lớp phun. Kích thước hạt được chọn tùy thuộc vào các đặc tính của nguồn năng lượng nhiệt (mỏ đốt) và các tính chất nhiệt vật lý của vật liệu phun (nhiệt độ nóng chảy, khối lượng riêng, nhiệt dung và các thông số khác). Thông thường khi phun với bột hạt mịn, lớp phun có độ chặt cao hơn. Nhược điểm của lớp phun là chứa lượng lớn các oxit do các phần tử hạt bị quá nhiệt khi di chuyển trong dòng khí nhiệt độ cao.

Khi phun bột với các phần tử hạt có đường kính khác nhau, những hạt bé hơn nóng chảy gần chỗ cấp bột vào mỏ đốt, tụ tập ở đây và có thể làm nóng chảy miệng lỗ dẫn bột. Đôi khi các phần tử bột nóng chảy phát triển tới những kích thước nhất định rồi tách ra và bị tia plasma kéo theo dưới dạng giọt lớn phủ trên lớp phun, ảnh hưởng xấu đến chất lượng bề mặt và tính chất của nó. Để tránh hiện tượng đó cần tiến hành phun với bột có kích thước hạt xác định (44 – 100 μm), đồng thời cần sấy khô bột trước khi phun.

Bột kẽm và hợp kim

Bảng 2.7 và 2.8 giới thiệu các tính chất của bột kẽm dùng cho phun phủ. Các lớp phủ bột kẽm có tác dụng bảo vệ chống gỉ.

Bảng 2.7. Tỷ lệ các hạt và độ sạch của bột kẽm dùng cho phun (hạt hình cầu)

Mác	Khối lượng riêng g/cm^3	Độ sạch của bột, %	Tỷ lệ các hạt (%) khi với đường kính hạt, μm				
			150	100	70	44	< 44
Zn (AT)-100	2,7 - 3,1	99,8	< 1	10 - 20	15 - 25	30 - 40	30 - 40
Zn (AT)-150	"	"	-	< 1	5 - 15	35 - 45	35 - 55
ZN (AT)-200	"	99,7	-	-	< 1	"	55 - 60

Bảng 2.8. Thành phần các chất độn chứa trong bột kẽm dùng cho phun, %

Mác	Cu	Pb	Sn	Fe
Zn (AT)-20-50	0,008	vết	0,003	0,001
Zn (AT)-50-150	0,005	vết	0,002	-
Zn (AT)-50-100	0,002	0,030	-	-

Bột nhôm

Các tính chất của bột nhôm được giới thiệu trong các bảng 2.9 và 2.10. Bột nhôm dùng để phun các lớp phủ chống gỉ. Cũng thế đối với các bột hợp kim nhôm kẽm. Các hợp kim nhôm kẽm ít dẻo, vì vậy khó sản xuất được dây từ các hợp kim đó. Các lớp phủ nhôm - kẽm được tạo thành từ bột hợp kim nhôm kẽm bằng phương pháp phun bột. Bột nhôm và bột hợp kim nhôm kẽm được sản xuất bằng phương pháp phun tạo hạt.

Các tính chất của bột hợp kim nhôm kẽm được trình bày trong các bảng 2.11 và 2.12.

Bảng 2.9. Tỷ lệ các hạt và độ sạch của bột nhôm dùng cho phun

Mác	Khối lượng riêng, g/cm ³	Độ sạch của nhôm, %	Tỷ lệ các hạt (%) khi đường kính hạt, μm					
			175	150	100	70	44	< 44
Al(AT)-80	0,8 - 1,3	99,0	< 1	2 - 15	5 - 15	10 - 20	25 - 35	25 - 40
Al(AT)-100	"	"	-	< 1	"	"	"	40 - 50
Al(AT)-150	"	"	-	-	< 1	5 - 15	30 - 40	45 - 60
Al(AT)-200	0,7 - 1,2	"	-	-	-	< 1	25 - 35	65 - 75

Bảng 2.10. Thành phần các chất độn chứa trong bột nhôm dùng cho phun, %

Mác	Si	Fe	Cu
Al(AT) - 150	0,097	0,10	0,010
Al(AT) - độ sạch cao	0,044	0,015	"

Bảng 2.11. Các tính chất của bột hợp kim nhôm kẽm (hạt hình cầu)

Mác	Khối lượng riêng, g/cm ³	Hàm lượng Zn-Al, %	Tỉ lệ các hạt (%) khi đường kính hạt, µm				
			150	100	70	44	< 44
40Zn-Al-100	1,6 - 1,7	99,4	< 1	10-20	15-25	30 - 40	30 - 40
40Zn-Al-200	"	99,2	-	-	< 1	35 - 45	55 - 60
60Zn-Al-100	1,7 - 1,8	99,7	< 1	10 - 20	15 - 25	30 - 40	30 - 40
60Zn-Al-200	"	99,5	-	-	< 1	35 - 45	55 - 60

Bảng 2.12. Thành phần hoá học của bột hợp kim nhôm kẽm, %

Mác	Zn	Al
40Zn-Al-100	40 - 45	55 - 60
40Zn-Al-200	"	"
60Zn-Al-100	55 - 60	40 - 45
60Zn-Al-200	"	"

Bột molipđen

Bột molipđen dùng để phun plasma. Trên hình 2.3 biểu thị các phần tử bột molipđen với độ sạch trên 99,9% dùng cho phun phủ.

Bột vonfram

Trong tất cả các kim loại, vonfram có nhiệt độ nóng chảy cao nhất. Cần phải sử dụng vonfram chứa lượng nhỏ các chất tạp, đặc biệt là sắt. Vonfram bị oxi hoá rất mạnh trong không khí ở nhiệt độ thường. Trong môi trường khí trơ nó duy trì được nhiệt độ cao. Khi phun phủ vonfram bám dính tốt với các bề mặt gốm và graphit cứng. Tuy nhiên khi được phun trực tiếp trên graphit, vonfram tác dụng với graphit tạo thành cacbit vonfram có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn. Vì vậy, trước hết người ta phun lên graphit một lớp lót bằng tantan, sau đó phun lớp phủ vonfram. Trong trường hợp này tantan đóng vai trò lớp cản, ngăn không cho lớp phủ vonfram tác dụng với nền graphit. Các lớp phủ nhận được bằng phun bột vonfram có độ chặt cao hơn và các tính chất tốt hơn so với các lớp phủ bằng nhúng trong kim loại nóng chảy hoặc bằng bay hơi trong chân không.

Bột hợp kim đồng chì

Các hợp kim đồng chì có độ dẻo thấp, gây khó khăn cho việc chế tạo dây. Vì vậy người ta sản xuất chúng dưới dạng bột. Bột hợp kim đồng chì dùng để

phun phủ các máng đệm. Các lớp phủ trên máng đệm có khả năng chịu được tải trọng lớn và tốc độ trượt cao. Các tính chất của các hợp kim đồng chì xem ở bảng 2.13 và bảng 2.14.

**Bảng 2.13. Các tính chất của bột đồng chì dùng cho
phun đắp máng đệm (hạt hình cầu)**

Mác	Khối lượng riêng, g/cm ³	Độ sạch, %	Tỉ lệ các hạt (%) khi đường kính hạt, µm			
			100	70	44	< 44
KJ1(AT)-150	5,6 - 6,0	99,5	< 1	13 - 23	20 - 30	50 - 65
KJ2(AT)-150	"	"	"	"	"	"
KJ3(AT)-150	5,5 - 5,9	99,6	"	"	"	"
KJ4(AT)-150	5,3 - 5,8	"	"	"	"	"

**Bảng 2.14. Thành phần hoá học và độ cứng của bột
dùng cho phun đắp máng đệm**

Mác	Thành phần hoá học, %				HB
	Cu	Pb	Chất tạp, nhỏ hơn		
			Fe	Sn	
KJ1(AT)-150	Nền	38 - 42	0,8	1,0	30
KJ2(AT)-150	"	33 - 37	"	"	35
KJ3(AT)-150	"	28 - 32	"	"	40
KJ4(AT)-150	"	23 - 27	"	"	45

Bột thép chống gỉ và nicrom

Các thép chống gỉ, như các thép để phun dây, được sản xuất dưới dạng bột với những tính chất đặc biệt. Các lớp phun phủ bột có tính chống gỉ, chống nóng và chống mài mòn.

Bột nicrom (80% Ni + 20% Cr) cho phép nhận lớp phủ chống gỉ và chống nóng. Khi phun ceramic (gốm) và các vật liệu khác, lớp nicrom mỏng có được ứng dụng làm lớp lót. Các lớp lót từ nicrom đảm bảo độ bám dính tốt với lớp ceramic được phun phủ lên chúng. Các lớp lót nicrom khá chặt và có khả năng bảo vệ kim loại nền khỏi sự xâm nhập của các chất khí xâm thực từ khí quyển.

Bột hợp kim coban và niken

Các hợp kim nền coban với các chất độn crom, vonfram và sắt có độ cứng cao kể cả ở nhiệt độ cao, các tính chất chống mài mòn và chống gỉ. Trong nhiều trường hợp các hợp kim như vậy dùng để phun với các chất độn bo và silic tạo nên các hợp kim tự chảy. Vì vậy ngay sau khi phun plasma có thể nhận được lớp phủ có độ chặt tốt và thoả mãn hoàn toàn các yêu cầu đặt ra.

Bột alumin niken

Người ta đã sản xuất công nghiệp bột nhôm trắng niken để phun. Khi phun dưới tác dụng của luồng khí nhiệt độ cao, nhôm và niken nóng chảy tham gia vào phản ứng phát nhiệt tạo thành các liên kết của chúng. Lượng nhiệt lớn phát ra do sự hình thành alumin niken cho phép các phần tử hạt tác dụng tương hỗ với vật liệu nền (lớp lót) tạo thành các liên kết kim loại, đảm bảo độ bám dính cao của lớp phủ.

Bột hợp kim tự chảy

Việc phun hợp kim tự chảy cho phép nhận được lớp phủ không có rỗ. Các hợp kim tự chảy là những hợp kim nền niken, niken-crom hoặc coban chứa các chất độn bo và silic. Các lớp phủ bằng hợp kim tự chảy có tính chống mài mòn, chống ăn mòn, chống gỉ, chống oxy hoá ở nhiệt độ cao v.v...

Trong các bảng 2.15 và 2.16 giới thiệu các mác bột hợp kim tự chảy nền niken do Hãng "Wall Colmonoy" (Mỹ) sản xuất. Nhật Bản cũng sản xuất các loại bột tương tự. Colmonoy N^o6 là bột hợp kim tự chảy điển hình. Hợp kim này có độ cứng cao nhất. Các colmonoy N^o4 và 5 có độ cứng thấp nhất nhưng có độ bền va đập cao và khuynh hướng tạo các vết nứt thấp. Colmonoy N^o70 chứa chất độn vonfram. Hợp kim này có độ cứng cao ở nhiệt độ cao và tính chống ăn mòn tốt. Colmonoy N^o20 dùng để cải thiện tính gia công cắt gọt do có độ cứng thấp. Hợp kim C-290 dùng để phun phủ các máng đệm do lớp phun chứa các lỗ xốp được hình thành trong quá trình phun. Hợp kim N^o70 chứa chất độn cacbit vonfram. Lớp phủ bằng hợp kim này có tính chịu mài mòn tốt. Lượng chất độn cacbit vonfram trong hợp kim có thể lên tới 80%.

Tất cả các hợp kim nêu trên sau khi phun không cần thiêu kết.

Các hợp kim coban tự chảy phải thiêu kết sau khi phun được giới thiệu trong bảng 2.17. Điển hình là các hợp kim stelit với rất nhiều chủng loại được sản xuất công nghiệp để phun phủ. Các hợp kim nền coban có tính chống gỉ và chống mài mòn cao ở nhiệt độ cao.

Bảng 2.15. Thành phần hoá học (%) và các tính chất cơ bản của hợp kim bột kiểu Colmonoy

Mác	Ni	Co	B	Si	Fe	C	Nguyên tố khác	ρ , g/cm ³	HRC
Colmonoy N ^o 4	32,80	10,00	2,00	2,25	2,50	0,45	-	8,22	35 - 40
" N ^o 5	77,35	11,50	2,50	3,75	4,25	0,65	-	8,14	45 - 50
" N ^o 6	73,75	13,50	3,00	4,25	4,75	0,75	-	7,80	56 - 61
" N ^o 70	62,45	11,50	2,50	3,25	3,75	0,55	16,00W	8,50	50 - 55
" N ^o 20	87,25	5,00	1,00	3,00	3,50	0,25	-	-	15 - 20
" N ^o 50	11,00	25,00	1,30	2,75	1,00	0,75	10,00 W	-	-
							46,50Co	-	-
" N ^o 56	75,35	12,50	2,75	4,00	4,50	0,70	< 0,20Co	-	-
C-290	37,00	13,25	1,50	2,50	4,500	0,45	-	-	-

Bảng 2.16. Thành phần hoá học (%) và độ cứng của hợp kim tự chảy Ni-Cr-Si-W

Hợp kim	Ni	Cr	B	Si	Fe	C	Nguyên tố khác	HRC
Ni-Si-B	93,25	-	1,90	3,50	-	-	-	35
	91,25	-	2,90	4,50	-	-	-	60
	72,00	-	3,25	4,40	0,60	0,14	20,15 Co	60
AMS 1775	65-75	13,0-20,0	2,75-4,75	3,5-5,0	3,5-5,0	-	-	-
Ni-Cr-Si-B	82,00	7,0	2,90	4,50	-	-	-	60
	81,0	11,0	2,0	2,0	2,0	0,30	1,5 Co	38
	78,0	11,5	3,0	3,5	3,5	0,40	-	48
	72,50	15,0	3,5	5,0	-	-	-	60
	65-75	13 - 20	2,75 - 4,75	Tổng < 10			-	56 - 61
	75-85	8 - 14	2 - 3	" < 8			-	35 - 40
	71-81	10 - 17	2 - 4	" < 6			-	45 - 50
	Nền	14,0	3,25	4,0	4,0	0,75	-	59 - 62
	"	17,0	3,3	3,9	3,0	0,85	-	59 - 62
	"	9,0	2,0	3,0	3,75	0,45	-	35 - 40
	"	10,0	2,50	2,5	2,50	0,15	-	30 - 35
	"	17,0	3,5	4,0	4,0	1,0	-	60 - 65
	"	16,0	4,0	4,0	2,5	0,5	3,0 Cu 3,0 Mo	59 - 62

Tiếp bảng 2.16

Hợp kim	Ni	Cr	B	Si	Fe	C	Nguyên tố khác	HRC
Ni-Cr-Si-B	"	15,0	3,5	4,0	4,0	1,0	-	30 - 38
	-	33,0	2,5 - 3,5	1,0	-	2,2	45 Co, 18 W	60 - 65
	Nền	10 - 13	1,75 - 3,25	2,5 - 4,0	2,5 - 4,0	0,4 - 0,7	15 - 17 W	50 - 55
Ni-Cr-S-B + WC	46,0	11,0	2,5	2,5	2,5	0,5	35,0 WC	60 - 63
	14,0	3,5	0,8	0,8	0,8	0,1	80,0 WC	60 - 63
	46,0	8,5	1,65	1,95	1,5	0,45	50,0 WC	-

Bảng 2.17. Thành phần hoá học (%) và các tính chất cơ bản của hợp kim tự chảy nền coban

Mác	Co	Ni	Cr	B	Si	Mo
Stelit 10	38 - 42	24 - 28	19 - 21	2,8 - 3,2	3,5 - 4,5	5,5 - 6,5
Stelit 100	68 - 72	< 3	"	2,3 - 2,7	1,3 - 1,7	-
Mác	W	ρ , g/cm ³	$T_{\text{nóng chảy}}$, °C		HRC	
Stelit 10	-	7,82	1080		47 - 53	
Stelit 100	4,5 - 5,5	8,25	1120		50 - 55	

Gốm (ceramic)

Thông thường các hợp chất sau đây được liệt vào loại gốm: các oxit kim loại, borit, nitrit, silicit, cacbit... Gốm là vật liệu khó chảy.

Oxit nhôm Al_2O_3 , dioxit ziriconi ZrO_2 và cacbit vonfram WC là những vật liệu phun phổ biến nhất.

Các oxit kim loại. So với các vật liệu nhiệt độ cao khác, các oxit có độ dẫn điện và dẫn nhiệt thấp nhất và độ bền tương đối tốt ở nhiệt độ cao.

Các oxit có thể được phân thành hai loại: đơn và phức. Oxit đơn là liên kết của một kim loại, còn phức là liên kết của hai hoặc nhiều kim loại. Các oxit kim loại khác nhau có thể tạo ra các liên kết hoá học hoặc các dung dịch rắn. Về nguyên tắc, các oxit đơn có thể giữ được nhiệt độ cao nhất. Đại bộ phận các oxit phức là những vật liệu khó chảy, tuy nhiên nhiệt độ nóng chảy của chúng lại thấp hơn nhiệt độ nóng chảy của các thành phần tạo nên chúng.

Không phải tất cả các oxit ở nhiệt độ cao là oxit ổn định hoá học. Chẳng hạn, trong môi trường hoàn nguyên ở nhiệt độ cao, các oxit kim loại như xeri

(Se), crom, coban, niken, chì, titan và kẽm, hoàn nguyên nhẹ và chuyển thành kim loại hoặc oxit thấp hơn với nhiệt độ nóng chảy không cao. Ngược lại, các oxit khó chảy niobi, mangan, vanadi và uran không ổn định trong môi trường oxi hoá và chuyển thành các oxit hoá trị cao hơn với nhiệt độ nóng chảy thấp hơn. Khi nung oxit crom tới 2000°C, nó bắt đầu bay hơi mạnh. Các oxit beri BeO, magie MgO, đioxit ziriconi ZrO₂ và đioxit thori ThO₂ ổn định ở nhiệt độ cao.

Bảng 2.18 cho thấy nhiệt độ mà ở đó các vật liệu nói trên trở nên không ổn định và tương tác với các vật liệu khác khi đốt nóng trong chân không, là rất cao. Bảng 2.19 giới thiệu các tính chất khác nhau của các oxit.

Bảng 2.18. Nhiệt độ tương tác của các oxit khó chảy với các vật liệu khác, °C

Vật liệu	C	W	Mo	ThO ₂	ZrO ₂	MgO	BeO
BeO	2300	2000	1900	2100	1900	1800	-
MgO	1800	2000	1600	2200	2000	-	1800
ZrO ₂	17000	1600	2200	2200	-	2000	1900
ThO ₂	2000	2200	1900	-	2200	2200	2100

Borit các kim loại khó chảy có nhiệt độ nóng chảy cao. Ở nhiệt độ cao chúng có độ giòn thấp và độ dẫn điện tốt. Tuy nhiên, trong môi trường oxi hoá ở nhiệt độ 1300 - 1500°C chúng bắt đầu bị oxi hoá. Đây là một nhược điểm của chúng. Trong các môi trường trung tính và hoàn nguyên, cả trong chân không, borit được sử dụng như những vật liệu chịu nhiệt. Ưu điểm nổi trội của các borit là có thể sử dụng chúng trong chân không bởi chúng có độ giòn thấp. Cần lưu ý rằng các borit sắt, nhôm và nhiều vật liệu khác có nhiệt độ nóng chảy tương đối thấp và có thể tạo các σtecti nhiệt độ thấp.

Các lớp phủ từ borit nói chung được phun bằng phương pháp plasma. Chúng ngày càng được dùng rộng rãi trong các ngành hàng không, vũ trụ và công nghiệp nguyên tử.

Silicit. Phần lớn silicit có nhiệt độ nóng chảy thấp. Tuy nhiên ở nhiệt độ cao trong các lớp phủ silicit có thể xảy ra quá trình tự làm chặt của các lớp phủ. Các silicit chưa được ứng dụng nhiều trong công nghiệp như những vật liệu bền nhiệt. Tuy nhiên, người ta cho rằng trong tương lai các silicit molipden, crom và titan sẽ có ứng dụng rộng rãi. Các lớp phủ từ silicit có thể thực hiện bằng phương pháp phun plasma. Các tính chất của các silicit xem ở bảng 2.19.

Cacbit. Nhiệt độ nóng chảy của cacbit kim loại cao hơn nhiều so với nhiệt độ nóng chảy của bản thân kim loại đó. Nhiệt độ mà ở đó xảy ra sự làm mềm

của cacbit, vượt trên 3000°C . Trong môi trường oxi hoá nhiệt độ cao cacbit có thể bị phá hủy. Tuy nhiên phần lớn cacbit trong điều kiện đó có tính chịu nhiệt tốt hơn so với các vật liệu bền nhiệt. Ngoài ra, nhiều loại cacbit có khả năng chống oxi hoá lớn hơn cacbon và graphit. Cacbit silic và cacbit titan có tính chịu nhiệt đặc biệt cao. Ở nhiệt độ cao các tính chất cơ học của chúng hầu như không thay đổi đáng kể.

Hầu hết cacbit có độ dẫn nhiệt và dẫn điện tốt. Cacbit bo, silic, titan và vonfram đặc trưng bởi độ cứng cao, chúng được sử dụng rộng rãi để làm dụng cụ cắt gọt và vật liệu đánh bóng và bền mòn. Để phun phủ người ta sử dụng cacbit vonfram WC, cacbit titan TiC, cacbit ziriconi ZrC và cacbit tantan TaC, trong đó cacbit vonfram có ứng dụng rộng rãi nhất. Các tính chất cơ bản của cacbit được giới thiệu trong bảng 2.19.

Nitrit. Tính chịu oxi hoá của nitrit thấp, vì vậy người ta không sử dụng nitrit làm vật liệu chống nóng. Nitrit được dùng làm chất độn trong các vật liệu chịu nhiệt để cải thiện một số tính chất cần thiết. Các tính chất cơ bản của nitrit xem ở bảng 2.19.

Oxit nhôm. Các lớp phủ từ oxit nhôm sạch có màu sáng, chúng có tính chất cách nhiệt tốt và ổn định ở nhiệt độ cao. Nếu chi tiết làm việc trong môi trường oxi hoá nhiệt độ cao thì trước khi phun phủ lớp oxit nhôm cần phải phun lớp lót (lớp trung gian) từ nicrom hoặc vật liệu chịu nhiệt khác.

Trong trường hợp không có vùng chuyển tiếp phủ kín nền thì môi trường xâm thực sẽ thấm qua các lỗ xóp của lớp phủ oxit nhôm tới nền, oxi hoá ranh giới phân cách nền – lớp phủ, làm tróc lớp phủ.

Có thể phun các lớp phủ oxit nhôm trên các chi tiết làm việc trong điều kiện không va đập. Các lớp phủ này có độ cứng cao, độ bền hoá học cao và hệ số ma sát thấp, do vậy có độ bền mòn tốt. Nhược điểm cơ bản của các lớp phủ từ oxit nhôm là độ giòn và độ bền cơ học thấp. Khi có tải trọng va đập cục bộ chúng có thể bị bong khỏi vật liệu nền.

Các lớp phủ từ oxit nhôm, chứa một lượng không lớn oxit titan TiO_2 và vết các oxit khác, có màu xanh thẫm. Chúng khác lớp phủ màu trắng từ oxit nhôm sạch ở độ dẻo tốt hơn và độ bền va đập lớn hơn. Các lớp phủ như vậy có độ bền mòn tốt nhưng độ bền nhiệt thấp hơn so với các lớp phủ màu trắng.

Có tới bảy loại oxit nhôm khác nhau được phân biệt theo pha. Các pha cơ bản gồm α và γ . Pha α ổn định ở nhiệt độ cao và xuất hiện trong vùng nhiệt độ $750 - 1200^{\circ}\text{C}$. Lớp phủ bằng phương pháp phun bột oxit nhôm α không biến đổi pha cả khi nung nóng và làm nguội. Nó có độ bám dính cao với kim loại nền và nhạy cảm ít với tác dụng của các tải trọng nhiệt theo chu kỳ.

Điôxit ziriconi. Để phun phủ người ta thường sử dụng điôxit ziriconi ổn định hoá bởi CaO (chẳng hạn, 93% ZrO_2 , 5% CaO, 0,5% Al_2O_3 , 0,35% SiO_2). Lớp phun phủ có tính chịu nhiệt cao và độ dẫn nhiệt rất thấp. Ngoài ra, các lớp phủ từ điôxit ziriconi không hoạt hoá và có độ giòn không cao, cho phép sử dụng trong chân không ở nhiệt độ cao.

Nếu kim loại nền dễ bị oxi hoá thì cũng giống như khi phun oxit nhôm, trước khi phun lớp phủ bằng điôxit ziriconi cần phun lớp lót từ hợp kim nicrom.

Cacbit vonfram có độ cứng rất cao (độ cứng Mook bằng 9, độ cứng vi mô với tải trọng 50 G là 2400 kG/mm²) và là vật liệu bền mòn điển hình.

Khi nung nóng trong không khí hoặc trong khí oxi, WC dần dần bị oxi hoá và chuyển thành WO_3 . Trong nhiều trường hợp người ta sử dụng hỗn hợp cacbit vonfram với coban hoặc các kim loại khác. Lượng coban trong hỗn hợp thường chiếm tới 20%. Có thể trộn cacbit vonfram với các hợp kim tự chảy. Lượng WC trong trường hợp này trong khoảng 30 – 80%.

Khó có thể nhận được lớp phun phủ từ WC sạch, bởi khi phun nó bị phân hủy thành W_2O và C. Vì vậy nên sử dụng hỗn hợp cacbit vonfram với coban hoặc hợp chất đã qua gia công sơ bộ của chúng.

Bảng 2.19. Tính chất và ứng dụng của một số vật liệu gốm khó chảy

Vật liệu	Công thức hoá học	ρ , g/cm ³	t_c , °C	t_l , °C	Đặc tính và phạm vi ứng dụng
1	2	3	4	5	6
Oxit nhôm	$\alpha-Al_2O_3$	3,96 - 4,00	1970 - 2030	2980	Độ cứng cao; tính dẫn nhiệt và chịu nhiệt thấp; độ bền mài mòn và ăn mòn ở nhiệt độ cao tốt
Điôxit ziriconi	ZrO_2	5,56	2700 - 2850	4300	Độ bền nhiệt và độ bền ăn mòn ở nhiệt độ cao tốt; không tương tác với các kim loại nóng chảy; độ bám dính với nền tốt
Oxit crom	Cr_2O_3	5,21	2265	> 3000	Độ bền nhiệt và độ bền ăn mòn cao ở nhiệt độ cao
Oxit titan	TiO_2	4,24	1840	2227	Độ cứng, độ bền nhiệt và độ bền mài mòn cao; độ bám dính với nền tốt
Oxit niken	NiO	6,8	1950	-	Độ cứng cao trong môi trường oxi hoá ở nhiệt độ cao; khả năng bức xạ tốt

Tiếp bảng 2.19

1	2	3	4	5	6
Oxit beri	BeO	3,03	2550	4260	Tính dẫn nhiệt và bền nhiệt độ ổn định ở nhiệt độ cao; không tương tác với các kim loại nóng chảy; không biến đổi pha; khó hoàn nguyên
Oxit hafni	HfO ₂	9,68	2790 - 2890	-	Độ dẫn nhiệt thấp; ổn định ở nhiệt độ cao; không hoạt hoá
Oxit silic	SiO ₂	2,32	1728	2950	Độ bền nhiệt cao; chịu va đập nhiệt
Oxit magie	MgO	3,58	2800	2825	Độ bền nhiệt cao; không tương tác với kim loại nóng chảy
Oxit thori	ThO ₂	9,69	3300	4400	Khả năng bức xạ cao; không tương tác với kim loại nóng chảy; không biến đổi pha
Oxit xeri	CeO ₂	7,13	> 2600	-	Không tương tác với axit và kiềm; ổn định ở nhiệt độ cao
Oxit lantan	La ₂ O ₃	6,51	2305	4200	Có thiên hướng hydrat hoá
	Al ₂ O ₃ - TiO ₂	3,68	1855	-	Độ bền mòn cao; tính dẫn nhiệt thấp; không tương tác với kim loại nóng chảy
	ZrO ₂ (67%) - SiO ₂ (33%)	4,7	2550	-	Độ cứng và độ bền nhiệt cao; không tác dụng với các liên kết hoá học; điện môi; không tương tác với kim loại nóng chảy; độ bền chống gỉ cao
	Al ₂ O ₃ (71,8%) - SiO ₂ (28,2%)	3,16	1830	-	Có các tính chất của thủy tinh; không tương tác với kim loại nóng chảy
Spinen magie	MgO (28,2%) - Al ₂ O ₃ (71,8%)	3,58	2135	-	Không tương tác với kim loại nóng chảy và thủy tinh; điện môi; độ chịu bào mòn cao
Borit crom	CrB ₂	5,6	2150	-	Độ cứng cao, chịu cháy tốt tới 1100°C; chất dẫn ở nhiệt độ cao
Borit titan	TiB ₂	4,4- 4,6	2880 - 2990	-	Không bị oxi hoá tới nhiệt độ 1400 - 1500°C; các tính chất cơ học cao ở 2500°C (trong chân không)
Borit ziriconi	ZrB ₂	6,0-6,2	2999 - 3000	-	Độ cứng cao; chịu cháy tốt tới 1300 - 1400°C ; các tính chất cơ học tốt ở 2000°C (trong chân không)
Borit vanadi	VB ₂	5,1-5,3	2400	-	Độ cứng cao

Tiếp bảng 2.19

1	2	3	4	5	6
Borit hafni	HfB ₂	11,2	3150-3350	-	Vật liệu nhiệt độ cao; nên sử dụng để làm việc trong chân không ở nhiệt độ trên 2500°C
Borit tantan	TaB ₂	11,0 - 11,7	3050 - 3180	-	Ổn định trong môi trường hoàn nguyên tới 1780°C; không tương tác với cacbon; không hoà tan trong axit và hỗn hợp của chúng, trừ axit sunfuric
Borit vonfram	WB	16,0	2870 - 2970	-	Giữ được các tính chất trong môi trường hoàn nguyên ở nhiệt độ trên 2000°C; ổn định khi có oxi
Silicit molipđen	MoSi ₂	6,26	1443 - 1543	-	Chống cháy tốt tới 1500°C; bền nhiệt; không tương tác với axit và kiềm
Silicit crom	Cr ₃ Si	6,45	1660 - 1760	-	Độ cứng cao khi đốt nóng; chống cháy và chịu nhiệt; độ bền mòn tốt
Silicit tantan	TaSi ₂	9,14	2200 - 2400	-	Chống cháy tới 1500°C; chống tác dụng của các liên kết hoá học
Silicit vonfram	WSi ₂	9,86 - 9,88	2030 - 2200	-	Chịu nhiệt tốt ở nhiệt độ cao
Cacbit bo	B ₄ C	2,52	2450	> 3500	Độ cứng cao; chống cháy tới 1000°C; độ bền mòn cao; ổn định trong các axit và kiềm; dẫn điện; dùng trong tuabin và động cơ đốt trong
Cacbit crom	Cr ₃ C	6,70	1890	3800	Độ cứng cao; chống cháy và bền mòn ở nhiệt độ cao; dẫn điện tốt
Cacbit titan	TiC	4,25	3140	4300	Độ cứng cao; chất dẫn ở nhiệt độ cao; ổn định trong môi trường nitơ ở 2500°C; không hoà tan trong axit clohydric; ứng dụng trong tuabin khí
Cacbit zirconi	ZrC	6,70	3530	5100	Độ cứng và độ bền mòn cao ở nhiệt độ cao; dẫn điện tốt
Cacbit vonfram	WC	15,77	2867	6000	Độ cứng cao; độ bền chống ăn mòn và mài mòn tốt; dẫn điện tốt; không hoà tan trong axit

ziriconi (Rokide Z), oxit crom (Rokide C), oxit magie (Rokide MA). Thành phần của các lớp phủ từ các vật liệu nói trên xem ở bảng 2.20.

**Bảng 2.20. Thành phần các lớp phủ tạo bởi vật liệu thanh
(phun bằng ngọn lửa khí)**

Mác	Thành phần các chất, %								
	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	N ₂ O ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	MgO
Rokide A	-	98,55	0,58	0,10	0,04	0,31	0,19	-	0,23
Rokide Z	94,57	0,63	0,33	0,33	0,39	0,02	3,73	-	-
Rokide ZS	64,12	1,42	33,22	0,14	0,19	0,07	0,57	-	-
Rokide C	-	3,16	8,39	0,78	0,16	0,28	1,28	82,94	2,96
Rokide MA	-	66,8	2,9	0,04	0,02	0,02	0,69	-	29,5

Tiếp bảng 2.19

1	2	3	4	5	6
Cacbit tantan	TaC	14,37	3710 - 4040	5500	Độ cứng cao; dẫn điện; tương tác yếu với clo dạng khí
Cacbit molipđen	Mo ₂ C	9,06 - 9,18	2687	-	Độ cứng cao; ổn định ở nhiệt độ cao; dẫn điện
Cacbit silic	SiC	3,2	> 2700	2000 - 2210	Độ cứng và tính chống cháy cao tới 1500°C; ổn định trong không khí tới < 1000°C và > 1140°C; độ bền chống gỉ và chống mài mòn tốt; dùng trong buồng đốt động cơ đốt trong
Cacbit hafni	HfC	12,67	3720 - 4050	-	Độ cứng cao; dẫn điện
Cacbit niobi	NbC	5,85	3480 - 3520	4300	Độ cứng cao; dẫn điện; ổn định trong môi trường nitơ ở 2500°C
Cacbit vanadi	VC	5,81	2830	3900	Độ cứng cao; dẫn điện; không hoà tan trong các axit sunfuric và clohydric; ổn định trong môi trường nitơ ở 2500°C
Nitrit titan	TiN	5,21	2950	-	Độ cứng và độ bền mòn cao ở nhiệt độ cao; không tương tác với kim loại nóng chảy và axit
Nitrit ziriconi	ZrN	6,93	2980	~4300	Độ cứng cao; độ bền mòn và bền nhiệt tốt; chịu va đập nhiệt; không tương tác với kim loại nóng chảy
Nitrit hafni	HfN	13,84	3310	-	Độ cứng, độ bền mòn và bền nhiệt cao
Nitrit nhôm	AlN	3,05	2230	> 2000	Độ bền nhiệt tốt

2.3. THANH PHUN

Các thanh phun được sản xuất với đường kính 3,2 ; 4,8 và 6,4 mm và chiều dài 305, 457 và 610 mm. Để sản xuất chúng người ta thường sử dụng các oxit dạng bột. Các thanh được tạo hình từ các oxit bột mịn và các chất liên kết, sau đó được thiêu kết. Chúng được sản xuất bởi Hãng "Norton" (Mỹ) và có tên gọi "Rokide". Để phun bằng ngọn lửa khí oxi-axetylen, người ta sản xuất các thanh từ các vật liệu sau đây: oxit nhôm (Rokide A), silicat ziriconi (Rokide ZS); dioxit

CHƯƠNG 3

THIẾT BỊ PHUN

3.1. THIẾT BỊ PHUN NGỌN LỬA KHÍ

Thiết bị đồng bộ để phun ngọn lửa khí bao gồm:

- Đầu phun;
- Bình chứa oxi và khí cháy;
- Thiết bị điều áp và lưu lượng khí;
- Bình nén không khí và bình lọc không khí;
- Đồ gá chi tiết phun hoặc súng phun.

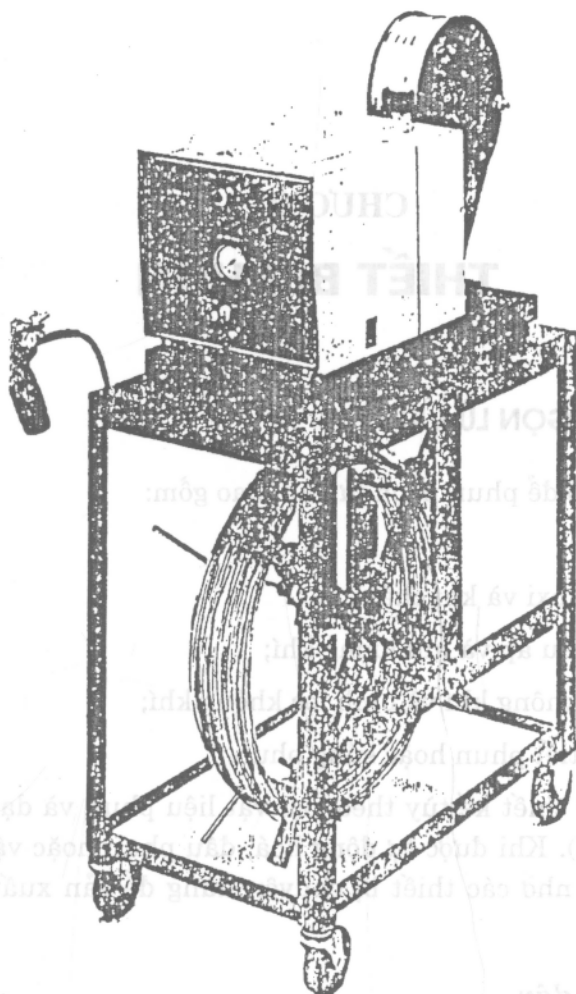
Đầu phun được thiết kế tùy theo loại vật liệu phun và dạng vật lý của nó (dây, thanh hoặc bột). Khi được tự động hoá, đầu phun hoặc vật phun, hoặc cả hai, được di chuyển nhờ các thiết bị chuyên dùng để sản xuất các lớp phủ có hình dạng thích hợp.

Thiết bị phun dây

Gồm hai cơ cấu chủ yếu: cơ cấu cấp dây và cơ cấu cấp khí với chức năng kiểm tra và trộn các dòng khí đốt, oxi và không khí. Nguyên lý hoạt động của tất cả các kiểu đầu phun dây ngọn lửa khí đều giống nhau. Thiết bị thương mại để phun dây ngọn lửa khí được giới thiệu trên hình 3.1. Dây phun có thể là các hợp kim nóng chảy ở nhiệt độ thấp (babbit) hoặc dây thép (cuộn dưới) và dây nhôm (cuộn trên).

Cơ cấu cấp dây gồm động cơ và các con lăn. Chúng có thể được truyền động bằng không khí (tuabin khí) hoặc bằng động cơ điện. Tốc độ cấp dây được kiểm tra bằng cơ, điện cơ, điện tử hoặc khí.

Thiết bị phun thanh bằng vật liệu gốm có kết cấu tương tự với thiết bị phun dây. Thiết bị này yêu cầu cao hơn trong sự điều chỉnh vật liệu phun bởi vật liệu gốm có điểm nóng chảy cao hơn và độ dẫn nhiệt thấp hơn so với kim loại.



Hình 3.1. Thiết bị phun dây bằng ngọn lửa khí.

Thiết bị điều áp và lưu lượng khí (oxi và khí cháy) dùng để kiểm tra tỉ lệ khí và cường độ của ngọn lửa khí. Chúng cho phép tăng tốc độ phun cao hơn so với khi điều chỉnh bằng van khí. Do các hạt phun nóng chảy tiếp xúc với oxi nên các màng oxit hình thành trên bề mặt, kể cả khi sử dụng hỗn hợp khí khử oxi. Chiều dày màng oxit không thay đổi lớn khi thay đổi tỉ lệ khí cháy - oxi.

Không khí nén được dùng để nguyên tử hoá và đẩy vật liệu phun nóng chảy tới vật liệu nền. Việc lọc và sấy khô không khí trước khi phun nhằm để nhận được lớp phun chất lượng. Dầu và nước trong không khí nén làm thay đổi cường độ ngọn lửa, ảnh hưởng xấu đến quá trình nguyên tử hoá của vật liệu phun, làm giảm độ bám và các tính chất khác của lớp phun. Thiết bị lọc và sấy khí phải đặt giữa nguồn cấp khí và đầu phun. Sự điều chỉnh chính xác áp suất không khí đảm bảo cho quá trình nguyên tử hoá đồng đều của vật liệu phun.

Có nhiều kiểu bình lọc khí. Một trong những kiểu đó được giới thiệu trên hình 3.2.

Bình lọc khí (hình 3.2) gồm thùng tôn 4, có các lỗ xung quanh, chứa đầy than cốc và halogen. Phía đáy và đỉnh thùng 4 đặt các tấm lọc 2. Không khí nén được dẫn vào qua ống 5 và lấy ra ở cửa 1. Khi qua các lớp than cốc và halogen, không khí được lọc khỏi dầu mỡ và hơi nước. Thời gian làm việc có hiệu quả của bình lọc là 400 giờ.

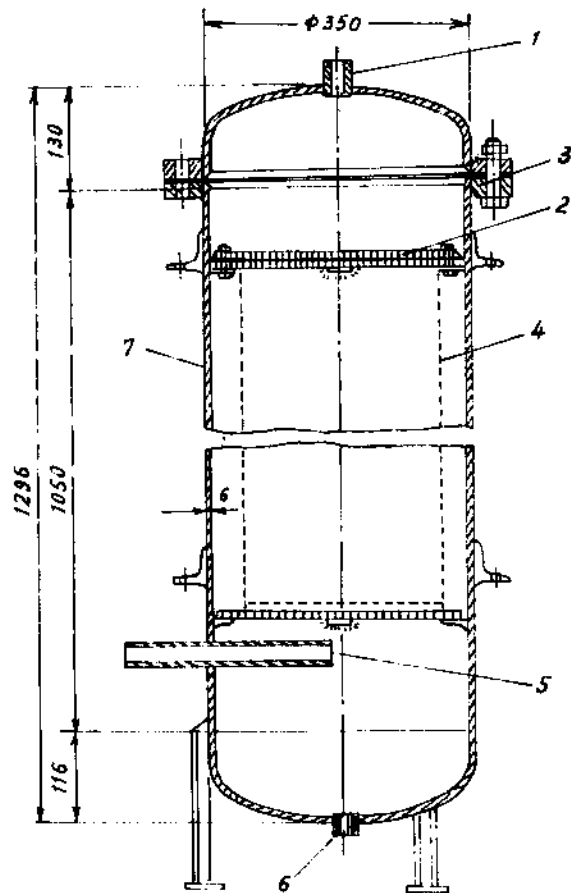
Trong một số trường hợp, để đảm bảo chất lượng khí nén và kéo dài thời gian làm việc của bình lọc, không khí nén có thể được đưa qua thùng lọc thô trước khi vào thùng lọc tinh.

Nguyên lý làm việc của thùng lọc thô (hình 3.3). Không khí nén từ bình chứa được đưa vào bình lọc thô qua mặt bích. Từ đây không khí được phun ra phía cuối và quay ngược lên phía trên, để

lại ở đây một phần dầu và nước. Sau đó không khí này tiếp tục đi qua hai lớp lưới đồng (chế tạo từ dây đồng $\Phi 0,35 - 0,3 \text{ mm}$) làm một phần nước và dầu được lọc.

Chất lượng không khí nén được kiểm tra như sau: Cho luồng không khí nén chạy qua ống có đường kính 6 mm và xì không khí lên bề mặt tấm kim loại mặt nhẵn (hoặc tờ giấy lọc trắng). Nếu trên bề mặt tấm kim loại không có dầu mỡ và nước là không khí đạt yêu cầu độ sạch.

Thiết bị phun bột bằng ngọn lửa khí đơn giản hơn và rẻ hơn thiết bị phun plasma. Tuy nhiên năng suất phun ngọn lửa khí thấp hơn. Thiết bị được thiết kế nhẹ nhàng để xách tay.

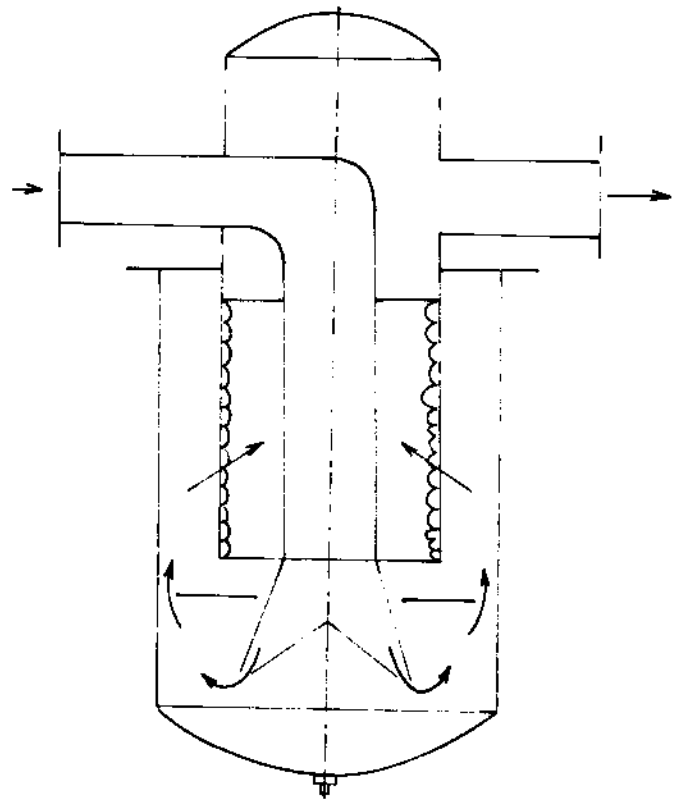


Hình 3.2. Bình lọc khí nén:

- 1- cửa ra khí nén; 2- tấm lọc; 3- bulông kẹp;
- 4- thùng lọc khí; 5- ống dẫn khí vào;
- 6- ống thoát nước đọng; 7- thân bình.

Trong trường hợp đặc biệt, thiết bị phun bột có kết cấu giống mỏ hàn oxi-axetylen. Bột phun được cấp vào tia khí trước khi rời khỏi đầu béc. Không cần sử dụng không khí nén. Mỏ đốt có thể dùng để đốt nóng sơ bộ hoặc nung chảy bột phun khi nó không được cấp vào tia khí.

Thiết bị phun nổ với súng phun có kết cấu đặc biệt được giới thiệu trên hình 3.4. Súng phun nổ có kết cấu khác với thiết bị phun cháy. Nó dùng năng lượng nổ của hỗn hợp khí oxi-axetylen để thổi các phân tử bột lên bề mặt vật phun. Lớp phủ nhận được rất cứng, chặt và liên kết chắc.



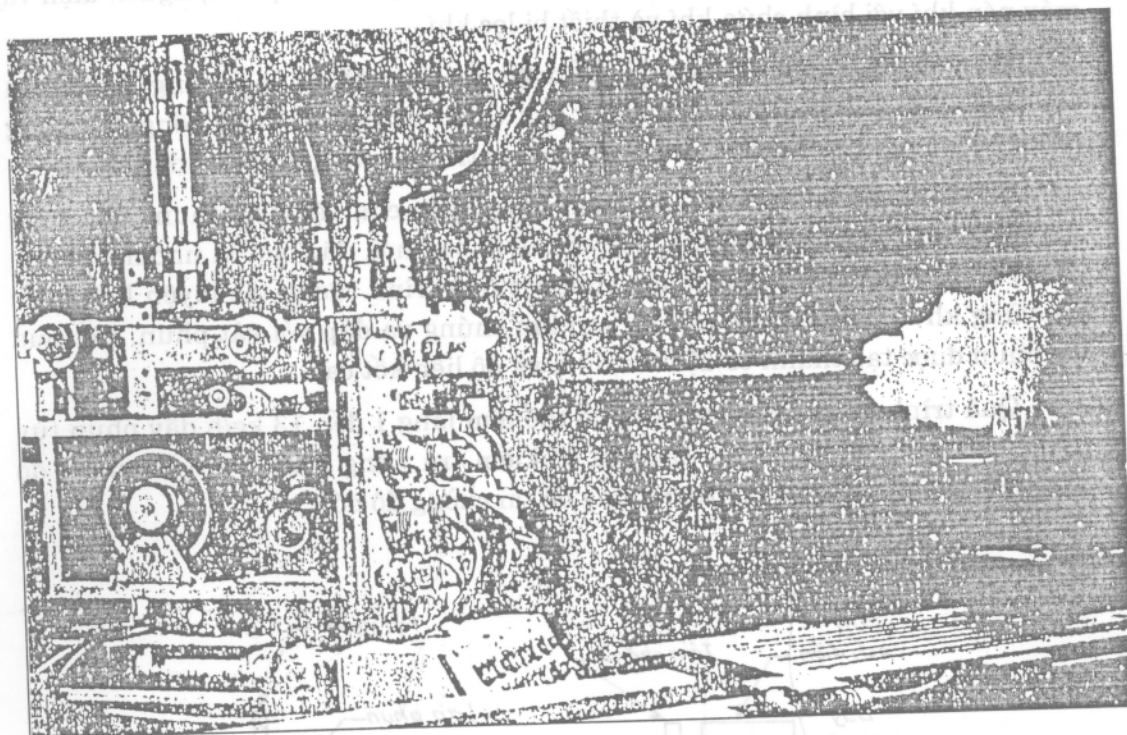
Hình 3.3. Sơ đồ nguyên lý thùng lọc thô không khí nén.

Súng phun nổ (sơ đồ trên hình 3.5) gồm nòng dài trong đó hỗn hợp khí oxi-axetylen và vật liệu phun bột lơ lửng trong khí nitơ được đưa vào. Hỗn hợp khí oxi-axetylen được kích nổ nhiều lần trong một giây bằng tia lửa điện, tạo nên hàng loạt sóng nổ làm gia tốc và nung nóng các phân tử bột khi chúng chuyển động trong nòng. Tốc độ di chuyển của các hạt đạt tới 760 m/s. Sau mỗi lần phun bột, dùng nitơ thanh lọc cơ cấu trước khi nổ tiếp. Quá trình nổ tiếp diễn ra cho tới khi đạt được chiều dày cần thiết của lớp phủ.

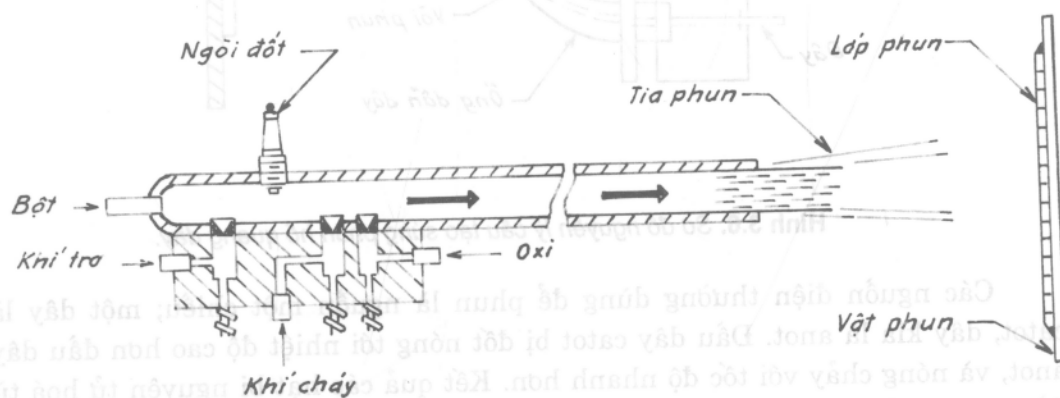
Nhiệt độ súng nổ đạt tới trên 6000°F (3315°C), trong khi đó nhiệt độ vật phun giữ ở mức dưới 300°F (150°C) nhờ hệ thống làm mát bằng đioxit cacbon.

Thiết bị phun khí cháy giống thiết bị phun ngọn lửa dưới âm tốc (phun nổ), nhưng ở đây khí cháy tạo nguồn nhiệt là hỗn hợp khí oxi - propylen; bột phun được cấp vào khí tải nitơ và phun thẳng vào mỏ đốt. Đầu béc trên súng phun siêu âm (súng phun cháy) thu hẹp dòng khí, nhờ vậy tốc độ của nó đạt tới 900 m/s.

Lớp phun tạo bởi súng phun siêu âm giống lớp phun tạo bởi súng phun nổ. Do chuyển động với tốc độ cao, các phần tử phun bám rất chặt vào vật liệu bên.



Hình 3.4. Thiết bị phun nổ ngọn lửa khí.



Hình 3.5. Sơ đồ nguyên lý súng phun nổ khí oxi - axetylen.

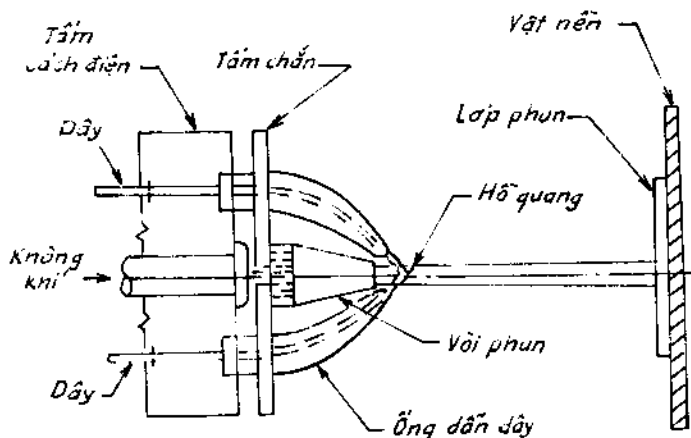
3.2. THIẾT BỊ PHUN ĐIỆN

Thiết bị phun hồ quang điện đồng bộ bao gồm đầu phun, nguồn điện và máy nén khí với bình chứa khí và thiết bị lọc khí.

Đầu phun hồ quang điện có thể được lắp trên đồ gá (loại nặng) hoặc cầm tay (loại nhẹ - súng phun). Hình 3.6 giới thiệu nguyên lý hoạt động của súng phun hồ quang. Nguồn điện được cấp để duy trì hồ quang giữa hai đầu dây.

Nhiệt độ hồ quang cao hơn điểm nóng chảy của vật liệu phun. Khi nóng chảy kim loại bị nung nóng tới mức có thể bị bay hơi, đặc biệt là nhôm và kẽm. Nhiệt độ cao của các phần tử sản sinh các quá trình tương tác luyện kim hoặc các vùng khuếch tán, hoặc cả hai, sau khi chúng va đập với vật phun. Kết quả lớp phun được tạo thành có độ bám dính và độ liên kết cao.

Quá trình phun hồ quang dây có thể làm lắng 1 đến 13 kg/h dây phun tùy thuộc vào loại vật liệu dây. Các yếu tố kiểm tra năng suất phun là cường độ dòng điện và tốc độ cấp dây tương ứng để tải cường độ đó.



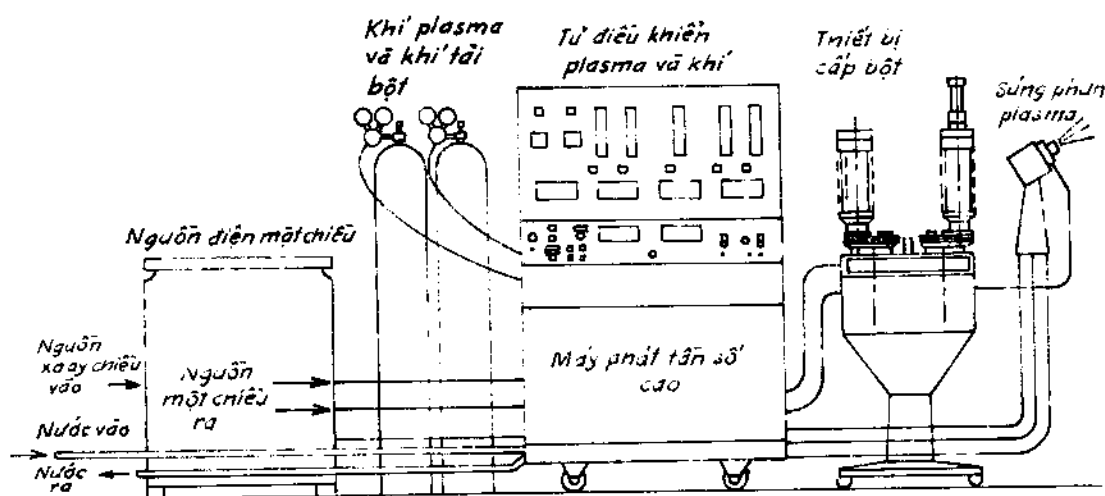
Hình 3.6. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo súng phun hồ quang dây.

Các nguồn điện thường dùng để phun là nguồn một chiều; một dây là catot, dây kia là anot. Đầu dây catot bị đốt nóng tới nhiệt độ cao hơn đầu dây anot, và nóng chảy với tốc độ nhanh hơn. Kết quả các hạt bị nguyên tử hoá từ đầu catot nhỏ hơn nhiều so với các hạt anot khi cả hai dây có cùng đường kính.

Nguồn điện một chiều với điện thế 18 – 40 V cho phép phun nhiều dây kim loại và hợp kim khác nhau. Khe hở của hồ quang và kích thước hạt tăng khi

tăng điện thế. Điện áp phun phải được giữ ở mức thấp nhất có thể và đảm bảo tính ổn định của hồ quang để nhận được các lớp phun hạt mịn nhất và có độ chặt tối đa.

Thiết bị phun plasma đồng bộ bao gồm súng phun plasma, nguồn điện, nguồn bột, hệ thống cấp bột, tủ điều khiển, đồ gá và thiết bị di chuyển. Sơ đồ thiết bị này xem ở hình 3.7.



Hình 3.7. Sơ đồ hệ thống phun plasma đồng bộ.

Có nhiều kiểu súng phun plasma. Súng phun plasma công suất 80 kW được giới thiệu trên hình 3.8. Tại một thời điểm nhất định hồ quang xuất hiện giữa điện cực và buồng (miệng) làm mát bằng nước trong đó khí plasma được phóng vào. Khí được đốt nóng bởi nhiệt hồ quang, tăng tốc và thoát ra khỏi buồng dưới dạng hình nón.

Hình 3.9 cho thấy điện cực phía sau có thể cố định hoặc điều chỉnh được, nhưng nó phải đồng tâm với buồng (điện cực trước). Các đồng hồ lưu lượng dùng để kiểm tra dòng khí qua súng phun. Có nhiều dạng buồng (đầu bép) có thể được dùng để thích ứng với các khí plasma và để phun nhiều kiểu bột khác nhau.

Để nhận được các lớp phủ chất lượng cần phải cấp bột vào hồ quang plasma đúng thời điểm và với tốc độ cấp chính xác. Do các phân tử bột tồn tại rất ngắn trong plasma nên chỉ cần thay đổi rất nhỏ thời điểm cấp bột cũng có thể làm thay đổi đáng kể lượng nhiệt chuyển vào bột.

Các súng phun plasma có công suất từ 40 đến 80 kW. Nguồn điện một chiều từ 100 đến 1100 A được sử dụng ở điện thế 40 đến 100 V. Nguồn điện công suất cao được dùng để phun các phần tử chuyển động với tốc độ lớn. Tốc độ phần tử là một trong những yếu tố quan trọng quyết định độ bám và độ chặt của lớp phun.

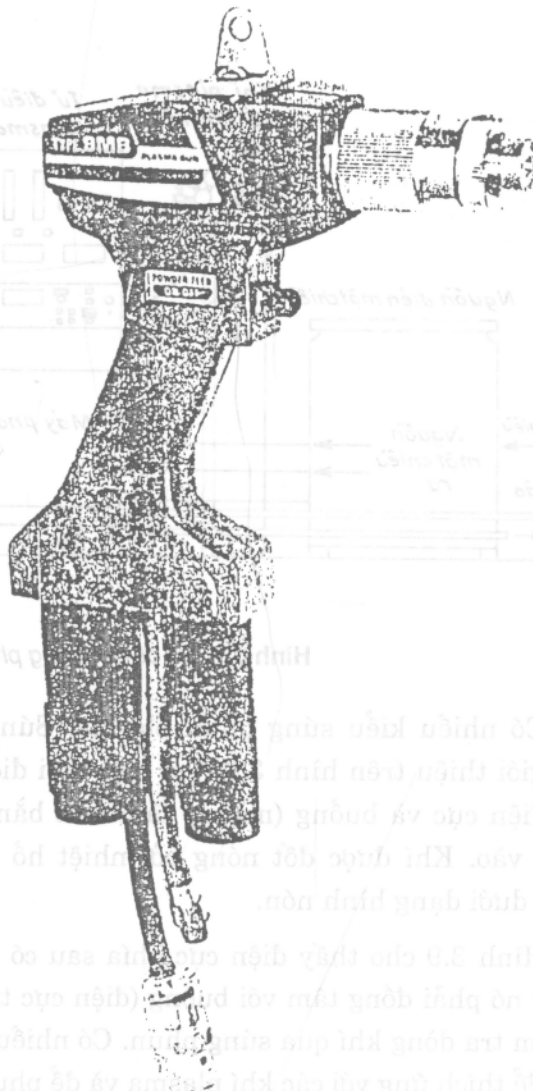
Nguồn điện cung cấp cho phun plasma phải đáp ứng các yêu cầu sau:

- Dòng ra một chiều không thay đổi;
- Mạch hở và điện thế tải biến đổi được;
- Sự kiểm tra dòng biến đổi được;
- Tiếng ồn thấp;
- Điều chỉnh tốt;
- Có khả năng kích thích hồ quang tốt.

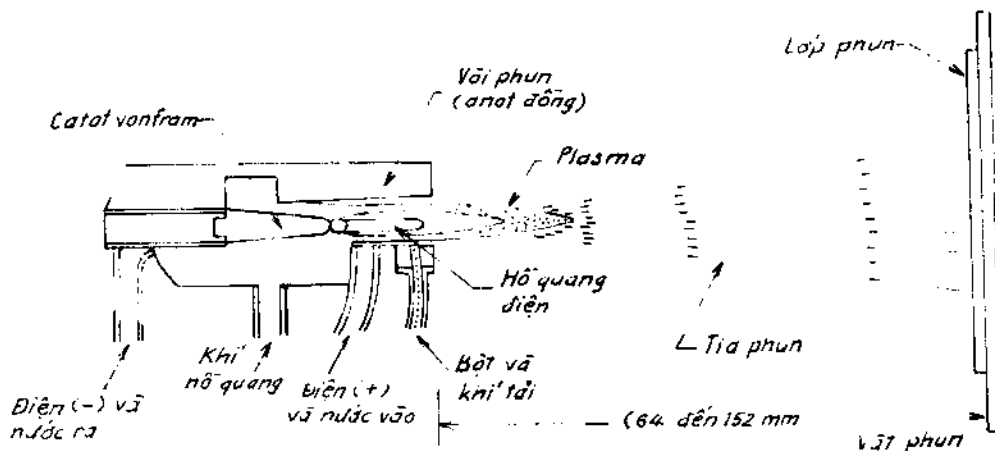
Các chỉnh lưu nói chung đáp ứng được các yêu cầu trên.

Thiết bị cấp bột gồm ba kiểu: hút, cơ khí và tự chảy. Thiết bị cấp cơ khí là phổ biến nhất. Thiết bị sử dụng kết cấu đo bằng trục vít hoặc bánh xe để phân phối bột với tốc độ không đổi vào buồng trộn. Bột được đưa vào tia khí tải trong buồng trộn.

Có nhiều kiểu thiết bị cấp bột đáp ứng được yêu cầu tốc độ phun trong phạm vi rộng. Các kiểu đó được xác định bởi trọng lượng đặc trưng của vật liệu bột.



Hình 3.8. Súng phun bột bằng hồ quang plasma công suất 80 kW.



Hình 3.9. Sơ đồ cấu tạo súng phun hồ quang plasma.

Tủ điều khiển đóng vai trò điều chỉnh tốc độ dòng khí plasma, cường độ plasma bắt đầu và kết thúc quá trình phun phủ. Trong một số trường hợp sự điều khiển còn vận hành cả thiết bị cấp bột. Các chức năng này là chung cho tất cả các hệ thống phun plasma.

Hình 3.10 giới thiệu ảnh chụp hệ thống phun plasma kiểu 3710 do Hãng "Praxair - Tafa" (Mỹ) chế tạo. Tính năng kỹ thuật của máy như sau:

– Súng phun : SG-100

- Công suất : 40 kW
- Làm mát : tối thiểu 30,4 l/ph
- Trọng lượng : 1,8 kg
- Khí plasma : Ar (khí sơ cấp và khí tải bột); H, N (khí thứ cấp).

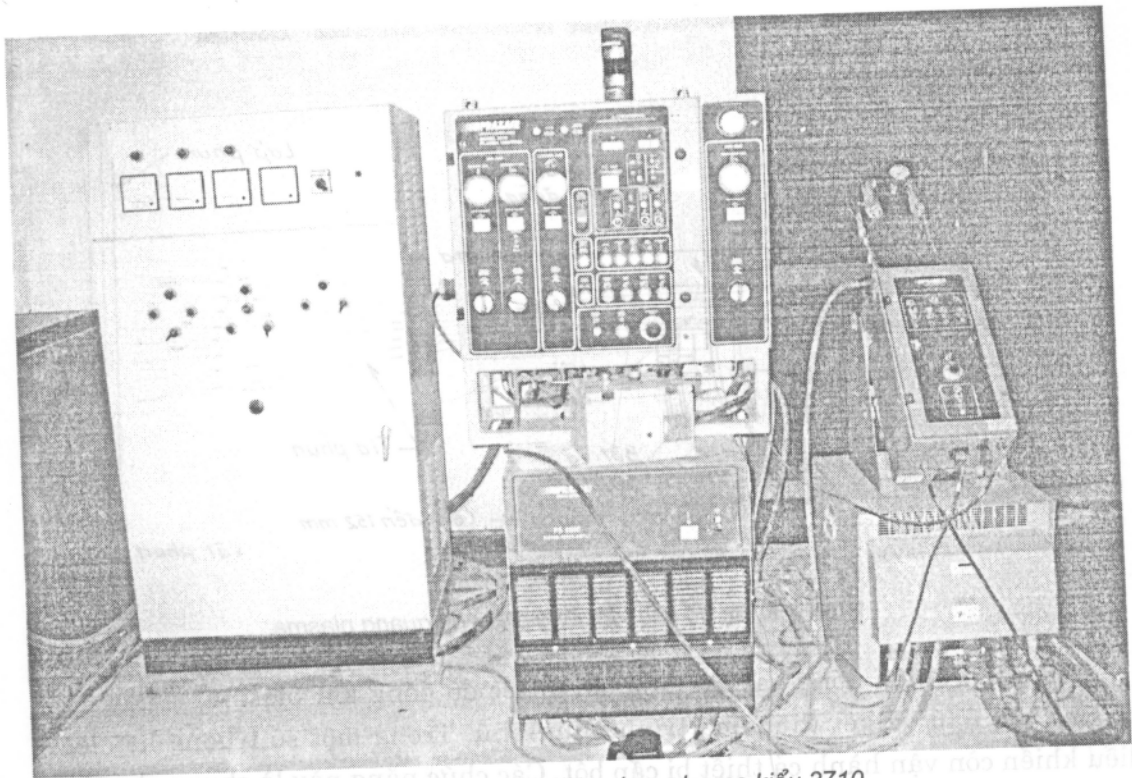
– Bộ khởi động cao tần HF-2200 : kích lửa khí plasma ở tần số ~2200 Hz

– Bộ cấp bột 1264 :

- Dung tích : 3000 cm³
- Nhiệt độ duy trì : 60°C
- Cỡ hạt 40 – 120 μm

- Năng suất cấp bột, kg/h :

{	kim loại	:	2 – 10
	cacbit	:	1 – 6
	gốm	:	1,6



Hình 3.10. Máy phun plasma kiểu 3710

- Hệ thống làm mát :
 - Công suất : 31 kW, 106.000 BTU/h
 - Nhiệt độ đầu vào : 18 – 20°C
 - Nhiệt độ đầu ra : 35 – 40°C
- Bộ điều khiển quá trình công nghệ 3710 :
 - Điều khiển dòng khí bằng đầu hạn chế phun (Critical orifice)
 - Kết hợp bộ điều khiển nguồn cung cấp PS100 với bộ hiển thị cường độ dòng điện và điện áp
 - Điều khiển tại chỗ
 - Điều khiển hai bộ nạp bột (cả hai hoặc một trong hai bộ)
 - Điều khiển tắt mở nguồn trợ giúp
 - Nguồn 220 VAC, 50 Hz
- Bộ nguồn điện PS100 :
 - Điện 3 pha, công suất 60 kW
 - Nhiệt độ làm việc max 49°C
 - Điều khiển tại chỗ
 - Hiển thị số.

CHƯƠNG 4

CÔNG NGHỆ PHUN

4.1. CHUẨN BỊ BỀ MẶT CHI TIẾT PHUN

Do đặc điểm công nghệ của các quá trình phun, đại bộ phận các liên kết của lớp phun với nền là liên kết cơ học. Vì vậy, để tăng cường độ bám cơ học của lớp phun cần tăng diện tích tiếp xúc giữa nó và bề mặt chi tiết, đồng thời cần tạo tính hoạt hoá cao của bề mặt để có được những liên kết hoá học giữa lớp phun và kim loại nền. Hai yêu cầu này liên quan đến hai công đoạn chính của quá trình chuẩn bị, đó là làm sạch và làm sẵn sùi bề mặt trước khi phun.

4.1.1. LÀM SẠCH CHI TIẾT

Có nhiều phương pháp tẩy dầu mỡ và bám bẩn khác khỏi bề mặt chi tiết. Tùy thuộc vào mức độ bám bẩn có thể ứng dụng một hoặc tất cả các phương pháp sau đây.

Rửa. Dầu mỡ có thể tẩy rửa bằng cách cạo, rửa nước xà phòng hoặc các chất hoà tan như tricloetylen và các dung dịch khác. Hiệu quả nhất là hoá hơi bằng tricloetylen. Tuy nhiên hơi sản phẩm này có hại cho sức khỏe, đặc biệt khi có tác dụng của các tia cực tím. Sau khi rửa xà phòng hoặc hoá hơi dầu mỡ cần rửa chi tiết bằng nước.

Đốt nóng. Các chi tiết bị rỉ hoặc các sản phẩm gang đúc có thể chứa dầu mỡ trong các lỗ rỉ; khi phun, do bị đốt nóng, chúng thoát ra bề mặt làm giảm đáng kể độ bám của lớp phun với nền. Vì vậy các chi tiết đó phải được đốt nóng tới 250 – 300°C để dầu mỡ cháy hết.

Phun cát. Các màng oxit có thể được tẩy khỏi bề mặt chi tiết bằng phun cát thạch anh hoặc mạt thép.

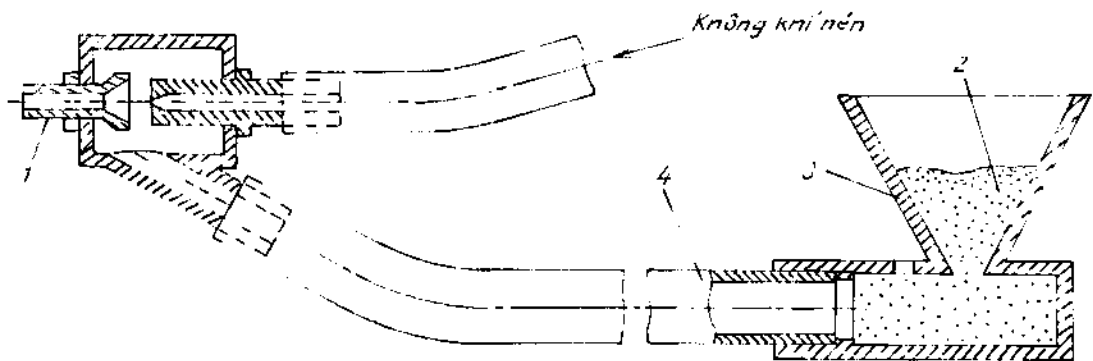
Ngâm. Chi tiết được ngâm trong dung dịch NaOH (20 g/l) + Na₂CO₃ (50 g/l) + Na₂SiO₃ (5 g/l) + Na₂PO₄ (50 g/l) trong thời gian 2 ÷ 3 giờ. Sau đó được rửa sạch bằng nước và sấy khô bằng không khí sạch ở nhiệt độ 40 – 50°C.

4.1.2. TẠO NHÁM BỀ MẶT

Có những phương pháp sau đây được dùng để gia công bề mặt chi tiết trước khi phun: phun hạt (cát, bi, hạt kim loại); cơ khí; phun lớp mỏng molipden bám chắc với nền; tia lửa điện; hoá học.

Phun hạt tạo nhám. Người ta sử dụng hai kiểu thiết bị phun: Khí nén và ly tâm. Trong thiết bị khí nén, các hạt mài được cấp vào buồng không khí nén thoát khỏi miệng phun dưới dạng tia với tốc độ lớn và đập vào bề mặt chi tiết. Trong thiết bị ly tâm, các hạt mài liên tục được cấp vào cánh quạt quay với tốc độ lớn; ở đây, dưới tác dụng của lực ly tâm chúng bị văng ra và hướng vào bề mặt chi tiết.

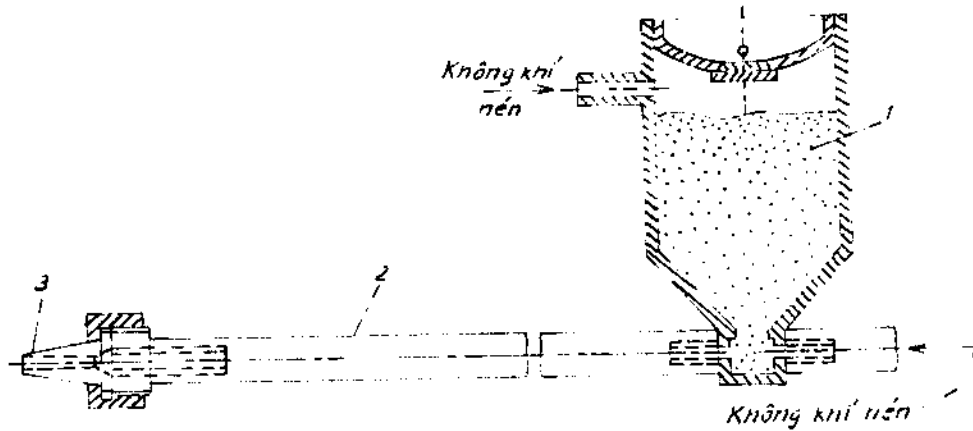
Các thiết bị phun hạt mài theo phương pháp dùng không khí nén được giới thiệu trên các hình 4.1 và 4.2, trong đó thiết bị thứ nhất theo nguyên lý hút; thiết bị thứ hai theo nguyên lý đẩy. Thiết bị hút rẻ hơn và được dùng để phun tạo nhám bề mặt các chi tiết không lớn. Thiết bị này không đảm bảo cho hạt phun có tốc độ cao và không cho phép nhận được độ nhám cao của bề mặt những vật liệu cứng, chẳng hạn gang. Thiết bị đẩy có công suất lớn, được dùng để tạo nhám bề mặt cứng. Thiết bị ly tâm chỉ được dùng trong sản xuất dây chuyền bởi giá rất cao.



Hình 4.1. Sơ đồ nguyên lý máy phun hạt mài theo phương pháp hút:
1- vò phun; 2- bột mài; 3- phễu; 4- ống dẫn bột.

Khi sử dụng cùng một loại vật liệu hạt và cùng một kích thước miệng phun thì năng suất quá trình phun tăng cùng với sự tăng áp suất không khí nén. Khi tăng kích thước hạt, năng suất phun tăng. Tuy nhiên khi đó khoảng cách giữa các phân lỗi hoặc lỗm của bề mặt nhám lại lớn hơn. Vì vậy thông thường người ta sử dụng hỗn hợp của các hạt thô và mịn. Các kết quả thí nghiệm cho thấy, trong khoảng thời gian làm việc không quá 15 phút, khi tăng

thời gian gia công thì độ nhám bề mặt tăng. Công nghệ phun hạt mài chịu ảnh hưởng của kiểu hạt, hình dạng và kích thước của nó, cũng như các yêu cầu đặt ra đối với các tính chất của lớp phun và các yếu tố khác.



Hình 4.2. Sơ đồ nguyên lý máy phun hạt mài theo phương pháp đẩy:
1- bột mài ; 2- ống dẫn bột; 3- vòi phun.

Trong số vật liệu mài để gia công bề mặt người ta dùng mạt gang và thép, corun, cacbit silic, cát thạch anh, granit và các vật liệu khác. Cát thạch anh và granit không được chứa các khoáng chất dễ bị phá vỡ, bởi chúng có thể bị giữ lại trên bề mặt chi tiết. Vật liệu mài được chọn tùy theo kích thước chi tiết gia công, hình dạng và độ cứng của hạt mài. Thông thường để phun làm nhám người ta sử dụng bột thép hoặc bột gang trắng, corun và cát thạch anh. Bột thép và bột gang trắng rất bền và có thời gian công tác dài.

Công nghệ phun cát thường được sử dụng cho các kết cấu yêu cầu phun phủ nhôm hoặc kẽm. Khi chiều dày lớp phủ nhôm nhỏ hơn 0,13 mm và lớp kẽm nhỏ hơn 0,20 mm, người ta dùng cát thạch anh với độ hạt 370 - 830 μm (40% cát thạch anh phải qua rây kích thước lỗ 500 μm). Để nhận được các lớp phủ nhôm hoặc kẽm dày hơn cần tiến hành gia công với các hạt cát thạch anh lớn hơn, có kích thước 500 - 1400 μm . Trong đó 40% số lượng cát không phải qua rây kích thước lỗ 830 μm .

Bột thép và corun có thể được sử dụng nhiều lần. Để phun các lớp phủ kẽm với chiều dày không quá 0,2 mm, và nhôm - không quá 0,15 mm, cần sử dụng bột thép với kích thước hạt 400 - 700 μm ; khi chiều dày các lớp phun lớn hơn - kích thước hạt thép là 700 - 1000 μm .

Trong nhiều trường hợp, trước khi phun người ta gia công bề mặt bằng phun bột thép kích thước hạt 500 - 1000 μm . Bột thép kích thước lớn (900 - 1000 μm) được dùng cho các chi tiết của kết cấu; bột thép kích thước bé được dùng để gia công bề mặt sau đó phủ lớp chống gỉ. Khi gia công bề mặt bằng phun bột sắt, áp suất của không khí nén là 2,8 - 5,3 kG/cm^2 . Hỗn hợp các hạt thép kích thước 400 - 700 μm thường được dùng nhất để gia công bề mặt trước khi phủ các hợp kim tự chảy.

Để phun các lớp kẽm với chiều dày không quá 0,20 mm, và các lớp nhôm chiều dày không quá 0,13 mm, có thể tiến hành gia công trước bề mặt bằng phun bột corun kích thước hạt 260 - 830 μm . Trong đó 40% số lượng hạt không phải qua rây kích thước lỗ 370 μm . Khi chiều dày lớp phủ lớn - dùng bột corun kích thước hạt 430 - 1400 μm , trong đó 40% số lượng hạt không phải qua rây với lỗ 700 μm . Đối với những vật liệu có độ cứng trên 30 HRC, nên dùng corun kích thước hạt 430 - 1400 μm . Áp suất không khí nén áp dụng cho phun hạt corun là 2,8 - 3,5 kG/cm^2 .

Đối với các chi tiết mỏng sử dụng corun hạt mịn, phun dưới áp suất thấp của không khí nén. Năng suất gia công chuẩn bị bề mặt bằng corun cao hơn so với bột thép. Tuy nhiên cần lưu ý rằng các hạt corun bị phá hủy nhẹ. Ở áp suất cao của không khí, sự phá hủy của corun xảy ra nhanh tới mức không phù hợp theo quan điểm kinh tế. Ngoài ra, trong nhiều trường hợp không thể nhận được độ sần sùi thích ứng của bề mặt gia công. Khi sử dụng lại corun cần rây và loại bỏ những hạt bé.

Sử dụng hạt cacbit silic để gia công bề mặt cho phun lớp phủ ceramic (gốm) có thể nhận được độ sần sùi cần thiết của bề mặt.

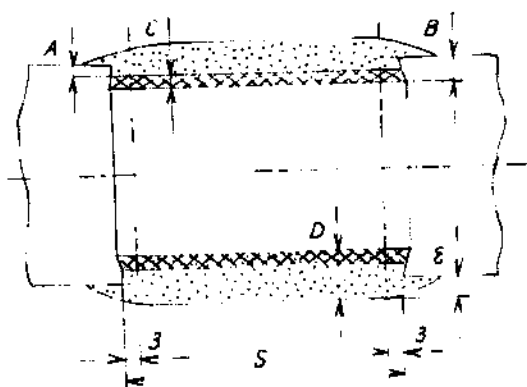
Trên bề mặt gia công bằng phương pháp phun vật liệu mài hình thành các vết lồi lõm cho phép nâng cao độ bám dính của lớp phun với vật liệu nền. Thông thường độ bám lớp phun tăng khi độ sần sùi bề mặt vật phun tăng.

Sự phun làm nhám bằng các vật liệu mài cũng cho phép loại bỏ các màng dầu mỡ có thể có trên bề mặt chi tiết. Tuy nhiên không nên sử dụng lại hạt mài đó để loại bỏ các oxit và làm sần sùi bề mặt. Các bề mặt sần sùi nhận được sau khi chuẩn bị bằng vật liệu mài chứa dầu mỡ, không đảm bảo cho lớp phun có độ bám dính tốt.

Sau khi gia công cần kiểm tra chất lượng bề mặt; bề mặt phải có độ sần sùi đồng đều. Thời gian giữa hai công đoạn làm sần sùi và phun cần phải ngắn nhất có thể, bởi nền sần sùi với diện tích bề mặt tăng lên, trở thành hoạt tính và dễ bị oxy hoá. Khoảng thời gian đó càng lớn độ bám dính của lớp phun với kim loại nền càng xấu. Cũng cần lưu ý rằng không khí nén dùng để gia công không chứa hơi nước, đặc biệt dầu mỡ.

Gia công cơ khí bề mặt

Trước khi phun phủ, bề mặt các chi tiết máy hình trụ, như trục, xylanh v.v... có thể được làm sùi sùi bằng phương pháp tiện ren, tiện rãnh, lăn nhám và các phương pháp khác. Sự chuẩn bị bề mặt như vậy là đặc biệt hiệu quả khi cần phun lớp dày hoặc khi lớp phun làm việc trong điều kiện tải trọng lớn. Phương pháp gia công cơ khí để chuẩn bị bề mặt không được áp dụng cho các vật lớn và có độ cứng cao, hoặc khi cần nhận được lớp phun chiều dày nhỏ. Ngoài ra phương pháp này cũng không được áp dụng cho những bề mặt lớn và những bề mặt có hình dạng phức tạp. Phương pháp gia công cơ khí để chuẩn bị bề mặt chỉ được ứng dụng trong các trường hợp vật phun để gia công cơ khí và có độ cứng bề mặt tương đối thấp.

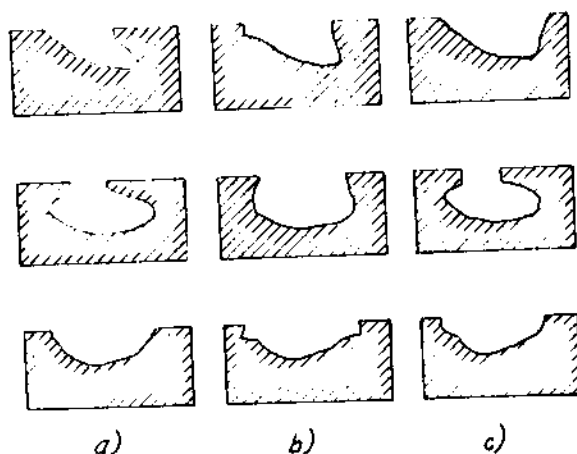


Hình 4.3. Xác định chiều sâu rãnh tiện:

- A- chiều sâu mài mòn của chi tiết;
- B- tổng chiều sâu cần tiện; C- chiều sâu danh nghĩa; D- chiều dày lớp phun;
- ε- lượng dư gia công cơ khí;
- S- chiều dài rãnh tiện.

Để phun phủ, bề mặt trục tròn xoay có thể tiện tới độ sâu tương ứng với chiều dày lớp phun (hình 4.3). Đại lượng chiều sâu các rãnh được dẫn trong bảng 4.1. Chiều dài rãnh trên trục cần lớn hơn chiều dài máng đệm 3 mm mỗi bên. Cuối rãnh nên tiện dạng nêm để tránh sự bong tróc lớp phủ ở hai đầu (hình 4.3).

Để phun sửa chữa khuyết tật cục bộ trên mặt chi tiết, rãnh tăng nhám được chuẩn bị như ở hình 4.4. Trên



Hình 4.4. Rãnh tiện trước khi phun:

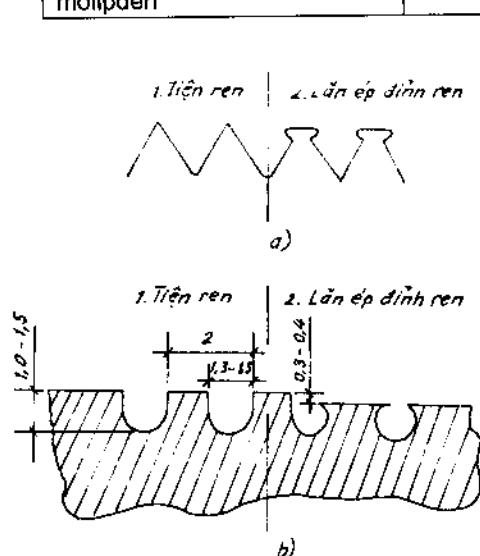
- a- hình dáng đầu tiên; b- hình dáng đúng;
- c- hình dáng sai.

hình 4.5a giới thiệu cách tiện ren trên trục tròn xoay. Các ví dụ chuẩn bị bề mặt ở mút cuối trục được trình bày trên hình 4.5b.

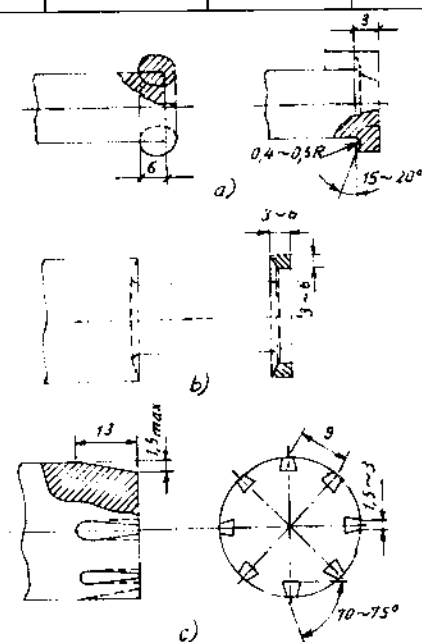
Sự phun phủ được tiến hành ngay sau khi tiện rãnh trên máy tiện và tiếp sau đó gia công cơ khí lớp phủ là hợp lý, nếu các công đoạn được thực hiện liên tục theo trình tự.

Bảng 4.1. Chiều sâu rãnh tiện chuẩn bị cho phun

Chi tiết gia công	Đường kính trục, mm				
	26	26 - 51	51 - 102	102 - 153	> 153
Các trục động cơ diesel, máy cán, pittông, máy bơm, máy nén và thiết bị khác đòi hỏi độ tin cậy cao	-	1,02	1,27	1,52	178
Các gối đỡ thông thường, ống lót và pittông máy bơm, các cơ cấu khác làm việc trong điều kiện bình thường	0,51	0,76	1,02	1,27	1,52
Trục lắp bánh răng, pittông và các bánh xe làm việc ở những nơi cần tăng kích thước lắp ráp và trong trường hợp này không phun lớp lót molipđen	0,25	0,25	0,51	0,51	0,51



Hình 4.5a. Tiện ren sẵn sùi và lăn ép đỉnh ren:
a) Ren tam giác; b) Ren tròn.



Hình 4.5b. Sự gia công ở mút cuối trục:
a- sự hàn vát và gia công cơ khí cho phun; b- trục cán nóng; c- phay rãnh.

Phun lớp lót molipđen

Phun lớp lót molipđen là phương pháp hiệu quả để nhận được bề mặt sản suì cho phun phủ. Khi phun molipđen bằng ngọn lửa, axetylen được sử dụng làm khí cháy. Các lớp molipđen là ổn định trên các bề mặt chi tiết gang, thép không gỉ, hợp kim crom–niken, hợp kim magie, phần lớn hợp kim nhôm v.v... Chúng bám dính tốt với nền. Chiều dày lớp phủ molipđen không lớn (0,05 – 0,13 μm).

Có thể tiến hành phun lớp molipđen trên bề mặt nhẵn và sạch. Tuy nhiên trước khi phun nên đánh bề mặt bằng giấy ráp thô. Nếu bề mặt được gia công cơ khí hoặc phun nhám bằng vật liệu mài thì lớp phủ sẽ có độ bám dính cao với nền. Trong trường hợp phải phun lớp phủ (trên lớp lót) với chiều dày trên 1,25 mm thì cần gia công nền bằng phương pháp cơ khí trước khi phun lót. Khi phun lớp lót molipđen trên các trục, để tránh sự bong tróc lớp phủ có thể xảy ra ở hai đầu, chiều rộng lớp phun lót phải lớn hơn chiều rộng phần trục cần phun phủ.

Lớp phun lót molipđen không được áp dụng cho thép thấm nitơ, đồng và hợp kim đồng.

Lớp phun lót molipđen trên các chi tiết làm việc ở nhiệt độ trên 300°C, dễ bị phá hủy và bong khỏi kim loại nền, bởi ở nhiệt độ đó xảy ra sự oxi hoá molipđen. Trong những trường hợp như vậy lớp lót được phun từ hợp kim 80% Ni - 20% Cr hoặc từ thép chống gỉ 16% Ni - 24% Cr.

Khi phun lớp phủ nhôm với chiều dày trên 0,20 mm, hoặc lớp phủ kẽm dày trên 0,25 mm, bề mặt chi tiết được gia công bằng phương pháp phun bột mài và được phun một lớp lót mỏng (~ 0,03 mm) từ thép cacbon với hàm lượng cacbon không quá 0,25%. Lớp lót như vậy cho phép nâng cao độ bám dính của lớp nhôm và kẽm với vật liệu nền.

Gai điện. Được ứng dụng theo ba phương pháp: a) tia lửa điện; b) hồ quang rung và c) anot cơ khí. Phương pháp gia công bề mặt bằng tia lửa điện thường được áp dụng trong trường hợp kim loại nền có độ cứng cao và không thể gia công bằng cơ khí hoặc phun hạt mài. Để gai điện trong trường hợp đó người ta sử dụng dây niken (khi nền là thép) hoặc dây nhôm (khi nền là nhôm). Dây thực hiện vai trò của các điện cực. Các điện cực đó nóng chảy nhờ hồ quang điện và được hàn vào mặt nền bằng các phần tử nhỏ, và tạo trên nó các chỗ gồ ghề không lớn (0,1 - 0,75 mm). Trước khi gia công bề mặt bằng tia lửa điện cần làm sạch bề mặt chi tiết bằng cách ngâm, rửa hoặc phương pháp khác. Nguồn điện để gia công có thể lấy từ các máy biến thế chuyên dùng với điện thế đầu ra max 9 V và dòng max 340 A, hoặc từ các máy hàn thông dụng.

Trên mặt gồ ghề hồ quang dễ xuất hiện hơn so với mặt mịn. Khi gia công mặt mịn có thể thu được kết quả tốt ở các giá trị dòng điện lớn hơn. Phương

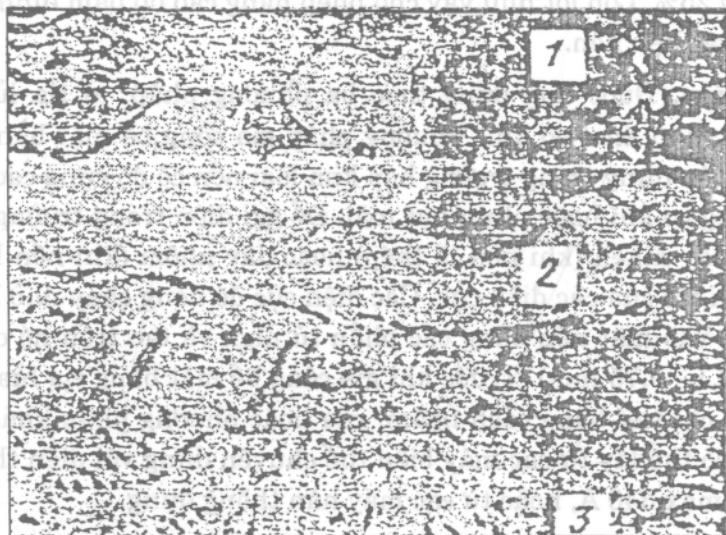
pháp này cho phép nhận được các bề mặt rất gồ ghề đảm bảo cho lớp phun có độ bám dính tốt với vật liệu cơ bản. Tuy nhiên phương pháp đó không được áp dụng cho trường hợp chi tiết phun cần phủ một lớp mỏng và đồng đều.

Nhược điểm của phương pháp gia công tia lửa điện là năng suất thấp. Năng suất gia công thường đạt là $0,19 \text{ m}^2/\text{h}$, và max - $0,37 \text{ m}^2/\text{h}$. Ngoài ra, khi gia công bằng phương pháp này, trên bề mặt chi tiết hình thành các hốc nhỏ do sự nóng chảy của dây điện cực dưới tác dụng của hồ quang; kết quả độ bền mỏi của chi tiết ít nhiều bị giảm.

Mặt nền sau khi gia công tia lửa điện và lớp phun trên mặt nền đó được mô tả trên các hình 4.6 và 4.7.



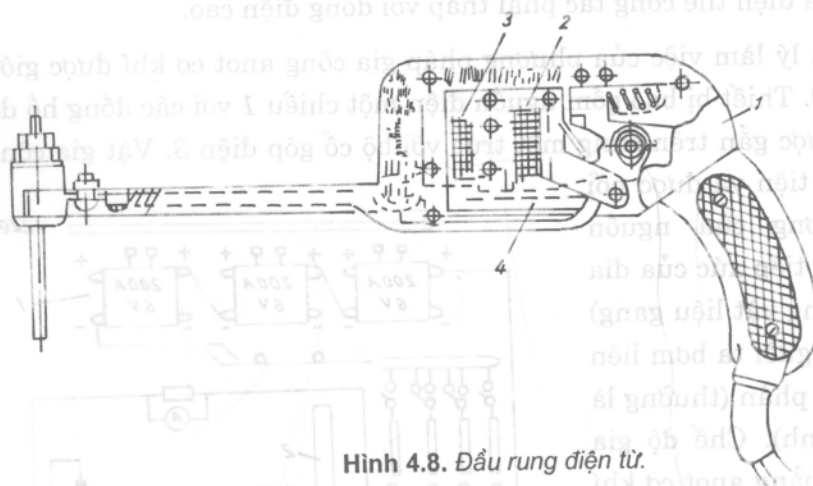
Hình 4.6. Mặt nền sau khi gia công tia lửa điện, x 18.



Hình 4.7. Lớp phun trên mặt nền gia công bằng tia lửa điện, x 20:

1- lớp phủ ; 2- lớp lót niken; 3- nền.

Gai điện bằng phương pháp hồ quang rung được thực hiện trên đầu rung điện từ (hình 4.8). Trong hỗn hợp 1 người ta gắn lõi điện từ 3 với cuộn cảm 2 và phần ứng 4. Ở phía cuối tấm dao động của phần ứng gắn điện cực. Khi làm việc, tấm này dao động với tần số khoảng 100 lần/s làm cho điện cực dao động với cùng tần số. Kết quả sau mỗi dao động điện cực chạm mặt nền một lần tạo trên đó một vết nhô. Giá trị phần nhô có thể thay đổi theo chế độ công tác của đầu rung. Khi điện thế công tác là 30 – 35 V, chiều cao phần nhô dao động từ 0,1 đến 1,0 mm. Với dòng điện 100 – 120 A phần nhô có chiều cao 3 – 4 mm.



Hình 4.8. Đầu rung điện từ.

Các điện cực dùng trong đầu rung điện từ có thể là dây thép hoặc graphit. Điện cực dây có đường kính từ 2 - 5 mm được làm từ thép công cụ (CD70, CD80, CD100). Điện cực graphit được dùng để gia công bề mặt có độ cứng cao (thép tôi, hoặc gang). Điện cực graphit có ký hiệu T₂, T₆, UG₄, UG₆, EG₁₄... Chế độ gia công bề mặt bằng hồ quang rung xem ở bảng 4.2.

Bảng 4.2. Chế độ làm sản sùi bằng hồ quang rung

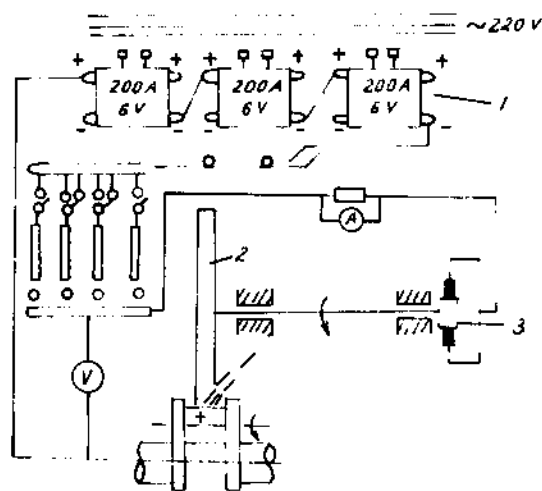
Chế độ	Vật liệu nền	
	Thép	Gang
Điện áp hồ quang	20 - 25	30 - 35
Cường độ dòng điện, A	50 - 70	100 - 120
Tốc độ quay của chi tiết, m/ph	5 - 25	5 - 25
Tốc độ di chuyển của điện cực, mm/vg	0,5 - 2,5	0,5 - 2,5
Làm mát	Nước	Nước
Vật liệu điện cực	Graphit	Graphit

Nguồn điện dùng cho gai điện hồ quang rung có thể là biến thế hàn hoặc máy hàn một chiều.

Tất cả các bề mặt sau khi gia công bằng gai điện đều phải được phun cát thạch anh để làm sạch muội than và bám bẩn khác. Độ bám của lớp phun với nền cũng được cải thiện đáng kể nhờ diện tích mặt tiếp xúc giữa lớp phun và nền tăng.

Phương pháp anot cơ khí được dùng để gia công bề mặt các chi tiết có độ cứng cao (qua nhiệt luyện hoặc xementit hoá). Nguồn điện dùng cho phương pháp này lấy từ máy hàn một chiều hoặc chỉnh lưu hàn. Yêu cầu cơ bản đối với nguồn điện là điện thế công tác phải thấp với dòng điện cao.

Nguyên lý làm việc của phương pháp gia công anot cơ khí được giới thiệu trên hình 4.9. Thiết bị bao gồm nguồn điện một chiều 1 với các đồng hồ đo điện, đĩa anot 2 được gắn trên cùng một trục với bộ cổ góp điện 3. Vật gia công được gá trên máy tiện và được nối với cực dương của nguồn điện. Tại chỗ tiếp xúc của đĩa anot (làm bằng vật liệu gang) với chi tiết, người ta bơm liên tục chất điện phân (thường là nước thủy tinh). Chế độ gia công bề mặt bằng anot cơ khí như sau: cường độ dòng điện: 100 – 130 A; điện thế 20 – 22 V; điện trở (mặt tiếp xúc) 0,18 – 0,2 Ω ; tốc độ vòng 17 – 20 mm/s; tốc độ quay của trục 40 – 50 vòng/ph; lưu lượng chất điện phân 10 – 12 l/ph.



Hình 4.9. Sơ đồ nguyên lý phương pháp gia công anot cơ khí.

Chiều sâu của vết nhám gia công bằng phương pháp anot cơ khí đạt 50 – 100 μm . Độ bám dính của lớp phun với nền tăng 3 đến 4 lần so với khi gia công bề mặt bằng phun cát thạch anh.

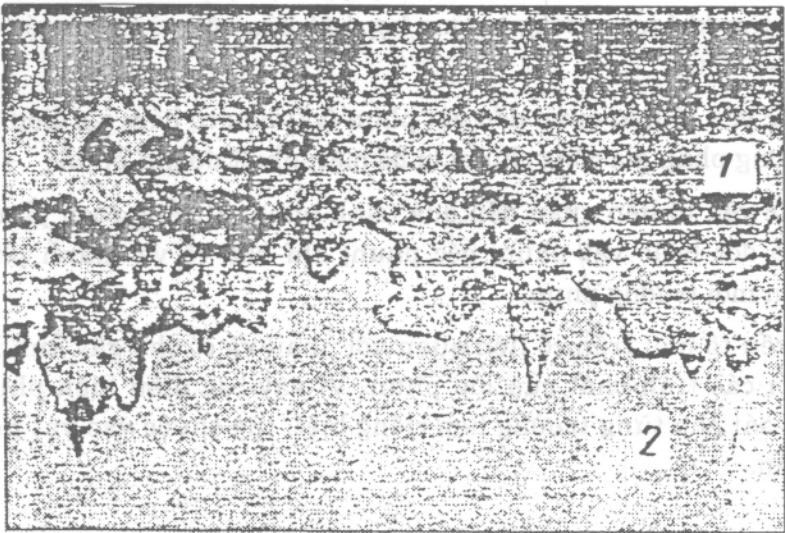
Gia công hoá học

Để làm sâu sùi bề mặt kim loại bằng phương pháp hoá học người ta ứng dụng sự tẩm thực ở các tinh thể và các chất tạp giữa tinh thể của kim loại đó. Kết quả tẩm thực (đôi khi còn gọi là tẩm thực chọn lựa) tạo nên vô số vết lõm trên bề mặt chi tiết, đảm bảo cho lớp phun có độ bám dính cao với nền. Bảng 4.3 giới thiệu một số dung dịch để tẩm thực các vật liệu trước khi phun.

Sự tẩy thực để tạo sẵn sùi bề mặt trước khi phun không được áp dụng cho vật liệu có cấu trúc hạt mịn. Trong trường hợp này cần ủ vật liệu để tăng kích thước hạt trước khi tiến hành tẩy thực.

Bảng 4.3. Dung dịch dùng để tẩy thực bề mặt trước khi phun

Vật liệu	Thành phần dung dịch	Thời gian gia công
Đồng	$(20\% \text{H}_2\text{SO}_4) \times 1 + (10\% \text{HNO}_3) \times 3$	70 giờ
Gang	15% HNO_3	16 ph
Thép cán nguội	7% HNO_3	25 ph
Thép chống gỉ 316	$(40\% \text{HNO}_3) \times 2 + (20\% \text{HCl}) \times 3$	10 ph
Magie với chất độn 7% Zn, 3% Th	2% NH_4NO_2	4 giờ



Hình 4.10. Lớp phun từ dioxit ziriconi trên bề mặt gia công trước bằng tẩy thực hoá học, x 250:
1- lớp phun; 2- nền - thép chống gỉ.

Nhược điểm của phương pháp chuẩn bị hoá học bề mặt là, sau khi tẩy thực, trong các vết hốc của bề mặt có thể tồn tại dung dịch tẩy thực dẫn đến sự phá hủy của lớp phủ trong thời gian làm việc. Hình 4.10 giới thiệu lớp ZrO_2 được phun trên thép chống gỉ 316 (AISI) sau khi tẩy thực bề mặt.

4.2. PHUN

Mỗi phương pháp phun có những đặc điểm và chế độ công nghệ riêng, được xác định bởi đặc điểm kết cấu của máy phun, kiểu và hình dạng vật liệu phun, kích thước và tính chất của vật phun, cũng như các yêu cầu đặt ra cho lớp phủ. Đối với các phương pháp phun khác nhau có thể nêu dưới đây các yếu tố chung ảnh hưởng đến các tính chất của các lớp phủ nhận được và các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của quá trình.

a) Các yếu tố liên quan đến nguồn năng lượng nhiệt cho phun: loại khí cháy; lượng oxy trong hỗn hợp; sự tiêu hao khí cháy và oxy - nếu là nguồn năng lượng hoá học; công suất yêu cầu, loại khí công tác và lượng khí tiêu thụ - nếu là nguồn điện.

b) Các yếu tố liên quan đến vật liệu phun: thành phần; tính chất vật lý; hình dạng và kích thước hạt trong trường hợp vật liệu hạt; đường kính - trong trường hợp vật liệu dây và thanh.

c) Các yếu tố liên quan đến sự cấp vật liệu phun: năng suất cấp; loại và lượng tiêu thụ khí tải - trong trường hợp vật liệu bột; vị trí và góc cấp vật liệu phun vào mỏ đốt.

d) Các yếu tố liên quan đến vật phun (vật liệu cơ bản, vật liệu nền): thành phần; phương pháp gia công chuẩn bị bề mặt; nhiệt độ khi phun.

e) Các yếu tố liên quan đến quá trình phun: khoảng cách phun; tốc độ di chuyển mỏ đốt hoặc vật phun; góc phun; khí bảo vệ và thành phần của nó; thành phần môi trường phun.

Các yếu tố nêu trên có liên quan với nhau và có thể gây ảnh hưởng tổng hợp đối với các tính chất của lớp phun. Vì vậy các điều kiện phun phủ cần được khảo sát cho từng trường hợp riêng biệt, tùy thuộc vào vật liệu phun và vật liệu nền.

4.2.1. PHUN NGỌN LỬA KHÍ VÀ PHUN NỔ

Công nghệ phun dây ngọn lửa khí

Công nghệ phun dây ngọn lửa khí được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghiệp. Công nghệ này phải đáp ứng các yêu cầu sau:

Không khí nén dùng để phun phải khô và không chứa dầu mỡ. Áp suất khí nén phải trên $3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Trước khi phun cần quan sát kỹ bề mặt. Nếu quan sát thấy trên bề mặt có vết ẩm, màng oxit hoặc các chất bẩn khác thì phải gia công lại bề mặt bằng

phương pháp phun vật liệu mài. Lớp đầu tiên được phun trong thời gian không quá 4 giờ kể từ khi làm sạch bề mặt. Lớp kết thúc để đạt chiều dày cần thiết được tiến hành không quá 8 giờ sau khi gia công bề mặt.

Sự bật mủ đốt và đưa nó vào chế độ công tác phải được thực hiện bên ngoài mặt phun. Khoảng cách phun (tính từ miệng mủ đốt tới bề mặt vật phun) thường là 75 – 250 mm. Chọn khoảng cách phun phụ thuộc vào vật liệu phun và đường kính dây, cũng như các tính chất của lớp phun. Khi khoảng cách phun quá nhỏ có thể xuất hiện nguy cơ biến dạng của chi tiết phun do tác dụng của ứng suất nhiệt. Khi khoảng cách phun quá lớn, nhiệt độ các phần tử bay giảm; lớp phủ xốp và có độ bám dính với nền thấp, có thể dẫn đến sự bong tróc lớp phủ khỏi kim loại nền.

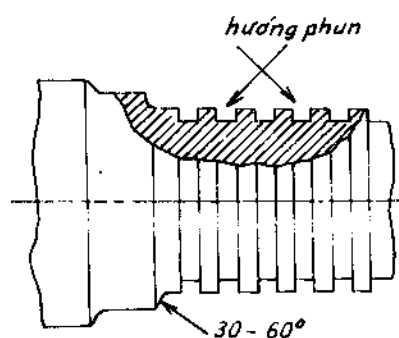
Khi phun bột gồm khoảng cách phun là 150 – 200 mm, còn khi phun thanh – khoảng 75 mm.

Khi phun với góc 90° các phần tử phun bị biến dạng lớn nhất. Trong trường hợp không thể đảm bảo được góc phun đó thì lớp phun nhận được bị giảm chất lượng. Góc nghiêng cho phép của mủ đốt (góc phun) khi phun là 45° .

Không được phun với góc thẳng ở hai phía của rãnh tiện làm sần sùi bề mặt. Trước hết phải phun với góc nghiêng của mủ đốt thay đổi từ từ trong khoảng $30 - 60^\circ$. Sau khi phun đến đầy được khoảng $1/4 - 1/2$ chiều sâu của rãnh thì tiếp tục phun đến đầy rãnh với góc nghiêng thay đổi lúc về phía này lúc về phía kia khoảng 45° . Ví dụ của sự phun như vậy được mô tả trên hình 4.11.

**Bảng 4.4. Tốc độ cấp dây tối ưu
khi phun dây molipđen
ngọn lửa khí**

Đường kính dây, mm	Tốc độ cấp dây, m/ph
1,5	0,7
2,3	0,6
3,2	0,5



Hình 4.11. Sự phun trên trục tiện rãnh.

Khi phun không được sử dụng tốc độ cấp dây quá nhỏ hoặc quá lớn. Tốc độ cấp dây danh nghĩa được xác định cho từng loại vật liệu phun. Chẳng hạn tốc độ cấp dây danh nghĩa khi phun molipđen dưới áp suất không khí nén $3,5 \text{ kg/cm}^2$

phụ thuộc vào đường kính dây (bảng 4.4). Ở những tốc độ cấp dây nhỏ hơn, kích thước các hạt phun giảm và chúng nguội nhanh trong thời gian chuyển động từ mỏ đốt tới mặt nền. Vì vậy năng lượng nhiệt của các hạt va chạm với mặt nền nhỏ hơn, kết quả độ bám dính của lớp phun với nền giảm. Khi tăng tốc độ cấp dây quá nhiều, chiều dài đoạn dây nóng chảy tăng, làm oxi hoá dây trong quá trình nóng chảy, tăng kích thước hạt và cuối cùng làm giảm chất lượng lớp phun. Tốc độ cấp dây thép khi phun lớn hơn khoảng 3 lần so với dây molipđen.

Khi phun, chế độ công tác của mỏ đốt, tốc độ di chuyển và khoảng cách phun phải được giữ không đổi. Thông thường tốc độ di chuyển của mỏ đốt hoặc nền khi phun trên mặt phẳng là 10 hoá 26 m/ph, bước phun 6,4 hoá 12,7 mm. Khi phun mặt trụ bước phun 1,6 hoá 6,4 mm/vg.

Khi nền bị quá nhiệt, độ bám của lớp phun với nền giảm. Vì vậy nhiệt độ của bề mặt chi tiết khi phun không được vượt quá 260°C. Để kiểm tra nhiệt độ của nền có thể dùng chỉ thị màu dán ngay gần chỗ phun của chi tiết. Để ngăn ngừa sự quá nhiệt khi phun có thể làm nguội chi tiết phun bằng không khí.

Khi nhiệt độ chi tiết thấp hơn 10°C thì không nên tiến hành công việc phun bởi lớp phun có thể bị bong. Trong trường hợp đó cần đốt nóng chi tiết tới nhiệt độ 120 hoá 150°C trước khi phun.

Cần lưu ý rằng, trên mặt nền xảy ra sự co ngót của lớp phun. Trong bảng 4.5 giới thiệu độ co ngót của các vật liệu phun thường dùng nhất. Khi lớp phun có chiều dày lớn, dưới tác dụng của ứng suất phát sinh bởi sự co ngót của vật liệu phun, vùng tiếp xúc của lớp phun với nền có thể bị phá hủy, gây nên sự bong tróc của nó. Khi phun mặt trong của ống với vật liệu phun có độ co ngót lớn, lớp phun dễ bị bong. Vì vậy cần phun với các lớp chiều dày nhỏ. Một trong những biện pháp ngăn ngừa bong tróc của lớp phủ là đốt nóng trước vật phun tới nhiệt độ thích hợp.

Bảng 4.5. Sự co ngót của vật liệu phun

Kim loại đen		Kim loại màu	
Tên vật liệu	Độ co ngót, %	Tên vật liệu	Độ co ngót, %
Thép cacbon (0,1% C)	0,008	Nhôm sạch	0,0068
Thép cacbon (0,25% C)	0,006	Nhôm chứa 4 – 6% Si	0,0057
Thép cacbon (0,8% C)	0,0014	Đồng thau - nhôm	0,0055
Thép chống gỉ 304	0,012	Đồng thau - mangan	0,009
Thép chống gỉ 420	0,0018	Đồng thau - photpho	0,010
-		Molipđen	0,003
-		Kẽm	0,010

Sự phun một số vật liệu phun kéo theo sự xuất hiện co ngót lớn của lớp phủ. Chẳng hạn khi phun các lớp dày từ thép austenit chống gỉ, hiện tượng bong tróc của lớp phun thường xuyên xảy ra do co ngót lớn. Trong những trường hợp như vậy cần phun lớp lót từ thép mactenxit chống gỉ rồi tiếp tục phun lớp thép austenit tới độ dày yêu cầu.

Các lớp phun từ thép mactenxit chống gỉ có độ bám dính cao với kim loại nền và các tính chất cơ học tốt. Chúng có thể được ứng dụng để phục hồi các chi tiết bị hư hỏng nghiêm trọng, chẳng hạn trục máy bơm ly tâm. Sau khi gia công bề mặt vùng hư hỏng, người ta phun lớp lót dày 3,18 mm từ thép chống gỉ 420, tiếp đó lớp phủ từ thép chống gỉ 316 và gia công kết thúc.

Chiều dày tối đa của lớp phun gồm cả lượng dư gia công sau khi phun. Điều đó cần được tính đến khi xác định chiều dày lớp phun. Trong bảng 4.6 giới thiệu chiều dày tối thiểu cho phép của lớp phun trên mục phun phủ. Các số liệu dẫn trong bảng là phù hợp nhất với rất nhiều trường hợp phun phủ. Tại các đoạn trục không cần gia công sau khi phun, lớp phun có chiều dày ~ 0,13 mm cho tất cả các trục, không phụ thuộc vào đường kính của chúng.

Bảng 4.6. Chiều dày tối thiểu của lớp phun khi phun phục hồi các trục

Đường kính trục, mm	< 26	26 - 51	51 - 72	76 - 102	102 - 127	127 - 153	> 153
Chiều dày lớp phun, mm	0,25	0,38	0,51	0,61	0,76	0,89	1,02

Chiều dày lớp phun phụ thuộc nhiều vào phương pháp gia công bề mặt trước khi phun. Sự phay hoặc tiện rãnh trên bề mặt cho phép phun các lớp dày hơn so với khi bề mặt được làm sẵn sùi bằng phun bột mài hoặc phun lớp lót molipden.

Các hợp kim tự chảy có hệ số nở dài cao ($14 \div 16 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$). Vì vậy sau khi phun, sự co ngót của lớp phun có thể gây hiện tượng "rộp" cục bộ giữa lớp phun và nền. Trong quá trình tự chảy các chỗ "rộp" đó bị oxi hoá và không xảy ra sự hàn giữa lớp phun và kim loại nền. Sự phun cần được tiến hành ở nhiệt độ đốt nóng sơ bộ bề mặt trên 93°C . Để ngăn ngừa sự oxi hoá bề mặt vật liệu nền cần duy trì nhiệt độ 260 hoặc 310°C trong quá trình phun.

Lớp phun từ hợp kim tự chảy là rất giòn. Độ co ngót của nó ~20%. Điều đó cần được lưu ý và phải phun lớp dày hơn so với yêu cầu.

Các vấn đề khảo sát trên đây liên quan đến công nghệ phun tay. Khi đầu phun hoặc chi tiết phun di chuyển tự động, quá trình phun ổn định hơn và lớp phun nhận được đồng đều hơn.

Phun nổ

Chủ yếu được ứng dụng để phun các lớp gốm. Công nghệ phun nổ cơ bản giống công nghệ phun ngọn lửa khí đã khảo sát ở trên.

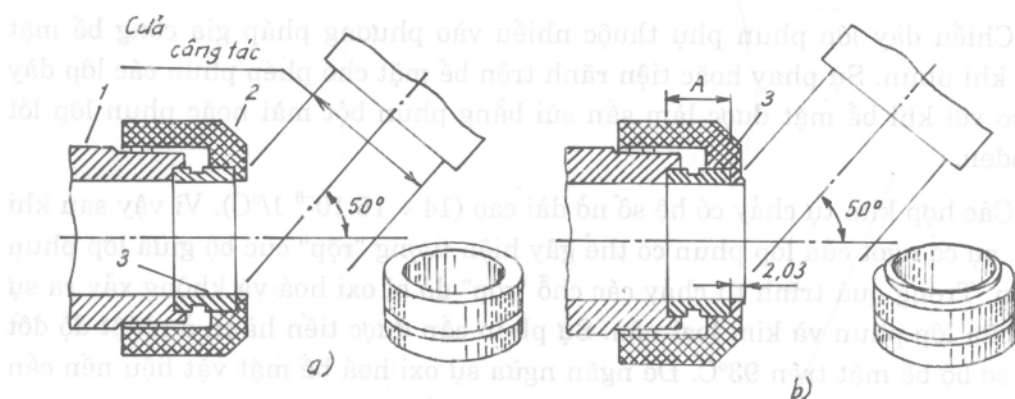
Khoảng cách phun 50 – 100 mm. Nhiệt độ trong buồng nổ đạt tới 3000°C. Nhiệt độ nền trong nhiều trường hợp không quá 200°C. Khi cần làm nguội chi tiết phun người ta sử dụng luồng không khí nén hướng vào bề mặt của nó.

Những chỗ không cần phun được che bằng các tấm chắn. Thông thường các tấm chắn được làm từ bản latun dày 0,13 mm. Chúng dễ uốn và áp sát tốt với bề mặt, đồng thời chịu được sự va đập và ăn mòn mạnh của các hạt phun.

Chi tiết phun thông thường được gá trên đồ gá cho phép xoay theo những góc độ khác nhau so với buồng nổ của máy phun.

Các kích thước tối đa của các bề mặt phun nổ như sau:

- mặt trụ dài – với đường kính 5,1 – 711 mm, chiều dài 1220 mm;
- mặt trụ ngắn – với đường kính 5,1 – 1423 mm, chiều dài 142 mm;
- mặt trụ trong – đối với các ống hở hai đầu có đường kính trong trên 9,5 mm, có thể phun mặt trong với chiều sâu bằng đường kính;
- các mặt phẳng thẳng góc – 710 x 1830 mm;
- mặt tròn đường kính 6,1 – 1423 mm.



Hình 4.12. Đồ gá phun mặt trong của vành:

1- đồ gá quay; 2- nền; 3- mặt phun;

A- chiều dài đoạn cần phun.

Hình 4.12 giới thiệu một ví dụ về công nghệ phun nổ. Mặt trong của vành 2 được phun phủ một lớp cacbit vonfram dày 0,20 mm. Để tiện lợi cho quá trình

phun, vành được gá trên đồ gá quay 1. Khi phun, tại mép ngoài của vành xuất hiện các vết nứt nhỏ. Để loại trừ các vết nứt của lớp phun người ta chế tạo một vòng đệm công nghệ cùng đường kính vành và chiều dài khoảng 2 mm. Sau khi phun vòng đệm công nghệ được cắt bỏ bằng phương pháp mài và lớp phun được gia công tới độ dày 0,102 mm. Như vậy, bằng một giải pháp đơn giản có thể nhận được lớp phun đảm bảo chất lượng. Các giải pháp như vậy có thể áp dụng cho các phương pháp phun khác nhau.

4.2.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHUN ĐIỆN

Phun hồ quang dây

Các dây điện cực của vật liệu phun được cấp theo các ống dẫn hướng của mỏ đốt dưới điện thế. Khi các điện cực chạm nhau hồ quang xuất hiện giữa các đầu mút dây. Ở điện thế thấp không quá 15 V, giữa các mút điện cực chỉ tích tụ những giọt kim loại nóng chảy. Khi điện thế 15 – 25 V hồ quang xuất hiện với tính ổn định kém và ngắt quãng. Ở điện thế cao hơn, hồ quang trở nên ổn định và liên tục. Các kết quả tốt nhất nhận được khi chiều dài hồ quang ~0,8 mm và cột hồ quang nhỏ.

Trong máy phun điện, góc giữa các dây điện cực thường là 35 - 60°. Khi góc đó lớn hơn 60°, quá trình phun trở nên nhạy với sự thay đổi các điều kiện phun và không ổn định. Khi chế độ phun được điều chỉnh thích hợp, mút anốt có dạng phát triển và tạo giọt kim loại nóng chảy; catot có dạng nén.

Chế độ công tác của máy phun điện cho các vật liệu phun khác nhau được giới thiệu trong các bảng 4.7 và 4.8.

Bảng 4.7. Chế độ phun hồ quang dây (dòng điện xoay chiều, áp suất không khí nén 5 kG/cm²)

Vật liệu dây phun	Đường kính dây, mm	Điện thế, V	Cường độ, A	Năng suất, kg/h
Thép cacbon (0,1% C)	1,6	28	160	3
Kẽm	2,0	28	100	6
Nhôm	2,0	24	75	2
Đồng thau	2,0	28	130	5,5
Đồng	1,6	24	90	3
Latun	1,6	30	190	5

Bảng 4.8. Chế độ phun hồ quang dây (dòng điện một chiều, áp suất không khí nén 5 kG/cm²)

Vật liệu dây phun	Đường kính dây, mm	Điện thế, V	Cường độ, A	Năng suất, kg/h
Thép cacbon (0,1% C)	1,6	35	185	8,5
Kẽm	2,0	35	85	13

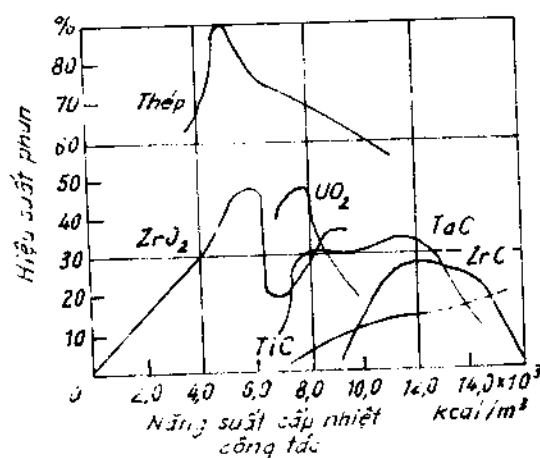
Khi phun với dòng điện xoay chiều, quá trình phun không ổn định và tiếng ồn lớn. Khi sử dụng dòng điện một chiều, dây điện cực đóng vai trò anốt nóng chảy với tốc độ cao hơn 50% so với catốt (về lý thuyết, 66% năng lượng nhiệt của hồ quang phát ra trên anốt). Nghĩa là tốc độ cấp dây anốt phải nhanh hơn catốt. Tuy nhiên trong thực tế không có khả năng cấp các dây với tốc độ khác nhau. Vì vậy các dây được cấp với cùng một tốc độ.

Điều quan trọng nhất khi phun là điều chỉnh đúng cường độ dòng điện. Nó cho phép cân bằng tốc độ cấp dây với tốc độ nóng chảy của chúng và đảm bảo chiều dài không đổi của hồ quang. Khoảng cách phun thông thường là 75 - 150 mm.

Phun hồ quang plasma

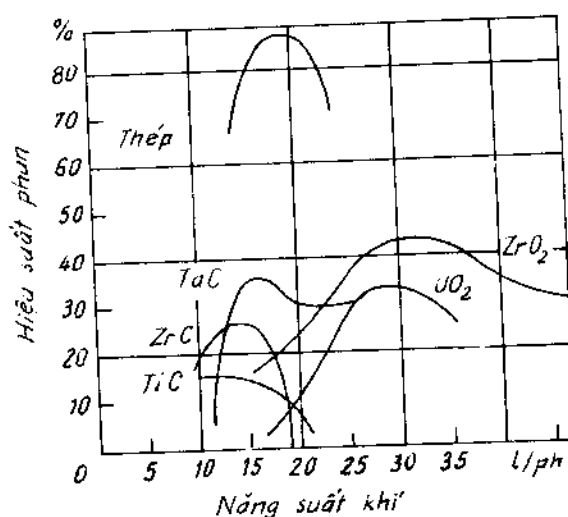
Một trong những vấn đề quan trọng của công nghệ phun plasma là việc chọn khí công tác. Trong thực tế hỗn hợp khí nitơ với 5 - 10% khí hydro được ứng dụng phổ biến. Khí đó hầu như không tương tác với vật liệu phun, giá thành hạ và cấp nhiệt tốt cho vật liệu bột. Tuy nhiên, có những vật liệu tham gia các phản ứng bất lợi với nitơ. Khi phun những vật liệu như vậy có thể sử dụng hỗn hợp khí argon với 5 - 10% khí hydro. Trong nhiều trường hợp người ta sử dụng khí argon sạch. Ngày nay quá trình công nghệ phun plasma dùng khí công tác argon đã được nghiên cứu đầy đủ nhất.

Các chế độ phun plasma đã được nghiên cứu cho các vật liệu phun và vật liệu nền được giới thiệu trong bảng 4.9. Trên hình 4.13 giới thiệu hiệu quả phun phụ thuộc năng suất cấp khí công tác khi sử dụng các loại bột phun khác nhau và công suất nguồn điện khác nhau. Hình 4.14 chỉ sự phụ thuộc của hiệu quả phun đối với năng lượng của tia plasma. Sự thay đổi độ xốp của lớp phun phụ thuộc năng suất cấp khí công tác (hình 4.15).



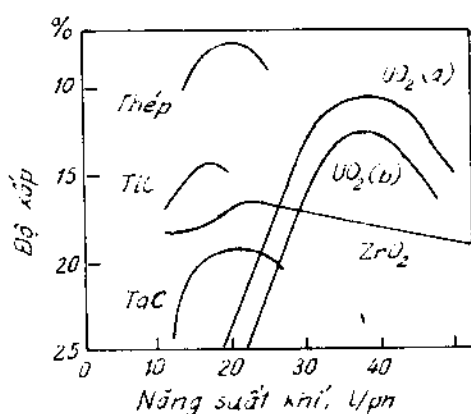
Hình 4.13. Ảnh hưởng của năng suất cấp nhiệt khí công tắc (Ar) đối với hiệu suất phun. Khoảng cách phun 76 - 102 mm; tốc độ di chuyển của nền 914 - 1829 mm/ph:

Vật liệu	Công suất vào, kW	Lượng bột, g/ph
UO ₂	23	60
ZrO ₂	15	25
TiC	19	14,5
TaC	19,5	14,4
Thép	10	12,7
ZrC	17,5	11,2



Hình 4.14. Ảnh hưởng của năng lượng tia plasma đối với hiệu suất phun. Khoảng cách phun 76 - 102 mm; tốc độ di chuyển của nền 914 - 1829 mm/ph:

Vật liệu	Công suất vào, kW	Lượng bột, g/ph
UO ₂	23	30
ZrO ₂	15	25
TiC	19	14,5
TaC	19,5	18,2
Thép	10	12,7
ZrC	17,5	11,2



Hình 4.15. Ảnh hưởng của năng suất cấp khí công tác đối với độ xấp lớp phun.
Khoảng cách phun 76 - 102 mm;
tốc độ di chuyển của nền 1140 - 1829 mm/ph;

Vật liệu	Công suất vào, kW	Lượng bột, g/ph
UO ₂ (a)	25,5	60
UO ₂ (b)	24	60
ZrO ₂	15	25
TiC	19	14,5
TaC	19,5	14,4
Thép	10	12,7

Bảng 4.9. Vật liệu để nghiên cứu các yếu tố của quá trình phun plasma

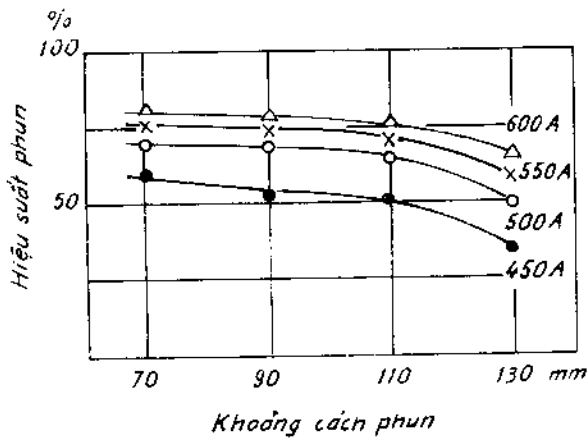
Vật liệu	Thành phần hoá học	Kích thước hạt, μm	Vật liệu nền
ZrO ₂	Nền ZrO ₂ , 5% CaO	43 - 104	Thép chống gỉ 304, thép cacbon thấp, nhôm
UO ₂	88,2% U, còn lại O	38 - 74	"
TiC	Nền Ti, 19,03% C, 0,4% C tự do. Tạp chất 0,45%	5 - 147	Beri
ZrC	84 - 87Zr, 10 - 12% C, 0,5 - 0,78% N	12 - 74	"
TaC	Nền Ta 6,25% C; 0,01% C tự do. Tạp chất 0,32%	12 - 74	"
TiN	75 - 77% Ti, 18-19% N 1 - 2% C	12 - 74	"
Hợp kim 4340	Nền Fe, 0,42% C, 0,66% Mn, 0,99% Cr, 1,83% Ni, 0,27% Mo	43 - 74	Nhôm

Từ các nghiên cứu được tiến hành có thể rút ra kết luận rằng, khi tăng khoảng cách phun (trong phạm vi 63 – 200 mm) và năng suất cấp bột (trong phạm vi 7 - 40 g/ph) cho tất cả vật liệu phun, hiệu quả phun giảm.

Sự phụ thuộc của hiệu quả phun đối với khoảng cách phun được biểu diễn trên hình 4.16. Các số liệu đó nhận được khi điện thế phun 26 – 28 V với cường độ hồ quang thay đổi. Lượng khí công tác (Ar) duy trì ổn định và bằng 30 l/ph; tốc độ di chuyển nền 50 – 80 cm/s, lượng bột tiêu thụ 7 – 10 g/ph. Vật liệu phun – oxit nhôm.

Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm nói trên cho phép xác lập biểu đồ ảnh hưởng của các thông số phun đối với hiệu quả của quá trình phun (hình 4.17). Bảng 4.10 giới thiệu chế độ phun của một số vật liệu khi nghiên cứu công nghệ phun plasma.

Để nhận được năng suất phun cao cần ứng dụng khoảng cách phun nhỏ. Tuy nhiên cần lưu ý rằng, trong trường hợp đó kim loại nền bị quá nhiệt. Vì vậy khi phun vật liệu dây nên để khoảng cách phun 75 - 150 mm, và khi phun vật liệu gốm 75 - 100 mm.

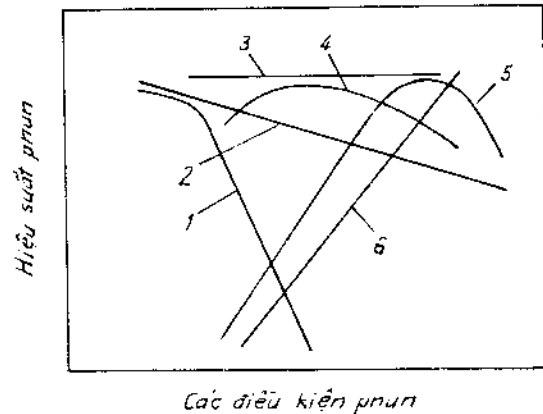


Hình 4.16.
Ảnh hưởng của khoảng cách
phun đối với hiệu suất phun.
Vật liệu phun oxit nhôm.

Các lớp phun dày cần được phun thành nhiều lớp, với chiều dày mỗi lớp không quá 0,25 mm.

Công suất của các súng phun plasma thông thường là 20 - 40 kW, trong đó khoảng 40% công suất dùng để làm lạnh súng phun. Vì vậy thực tế công suất súng phun được cấp trực tiếp cho sự phun chỉ chiếm khoảng 60% công suất danh nghĩa.

Thông thường không cần đốt nóng sơ bộ vật liệu nền trước khi phun. Song trong một số trường hợp sự đốt nóng vật nền vẫn được ứng dụng nhằm loại bỏ độ ẩm khỏi mặt nền và tăng độ bám dính



Hình 4.17. Sự phụ thuộc của hiệu suất phun
đối với điều kiện phun:

- 1- khoảng cách phun; 2- lượng bột tiêu thụ;
- 3- tốc độ di chuyển của nền; 4- lượng khí tải bột;
- 5- lượng khí công tác; 6- công suất vào.

của lớp phun với nền. Có thể sử dụng mỏ đốt plasma để đốt nóng sơ bộ. Nhiệt độ đốt nóng sơ bộ vật nền không được vượt quá 200°C.

Khi phun plasma cần đặc biệt chú ý đến việc cấp bột đều đặn và liên tục vào mỏ đốt. Khi cấp bột không đều chiều dày lớp phun sẽ thay đổi.

**Bảng 4.10. Chế độ phun plasma của một số vật liệu.
Súng phun PLASMADYNE SG-1, khí công tác argon**

Vật liệu phun	Cường độ dòng điện, A	Điện áp hồ quang, V	Lượng khí công tác, l/ph	Lượng khí tải, l/ph	Kích thước hạt, μm
1	2	3	4	5	6
Al_2O_3	450	30	37,5	14	44
Al	175	25	25	7	74
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	400	35	55	14	44
B	750	29	30	13	44
B_4C	725	29	30	18	63
Latun	150	28	37,5	9	63
Đồng thau	300	28	32,5	9	63
Cr-Ni-B	300	30	37,5	8	44
Cr	500	30	37,5	9	63
CrB_2	400	28	30	12	63
Cr_3C_2	250	29	37,5	11	63
Co	400	29	30	10	63
Cu	500	32	50	10	44
Gd_2O_3	500	28	30	10	63
Au	250	28	30	12	63
Fe	300	28	30	8	44
MgO	750	30	30	9	44
Mo	450	29	30	10	63
MoSi_2	400	26	22,5	9	63
MoS_2	400	30	30	8	44
Monen	450	29	30	10	44
Ni	650	29	30	14	63
Ni-Cr (nicrom)	300	29	30	13	63
Thép không gỉ 320	400	30	30	10	44

Tiếp bảng 4.10

1	2	3	4	5	6
Thép không gỉ 347	400	28	30	11	63
Thép không gỉ 410	400	28	30	11	63
Ta	550	29	30	10	63
TaC	750	26	25	8	44
Hợp kim titan	500	26	30	8	44
TiC	725	27	25	8	63
TiB ₂	550	27	30	10	44
TiO ₂	750	27	17,5	10	44
TiSi ₂	400	30	37,5	9	63
TiN	500	29	37,5	11	44
W	550	27	30	9	44
WC	525	25	30	7	63
WC + CO	500	25	30	10	63
Y ₂ O ₃	550	28	30	10	63
Zn	200	32	55	9	63
ZrO ₂	600	32	50	12	44
ZrB ₂	650	27	27,5	11	63
ZrC	725	27	30	9	63

Phun cảm ứng tần số cao

Phun cảm ứng tần số được tiến hành theo các thông số công tác sau: tần số 250 - 500 kHz; công suất yêu cầu 18 - 20 kW; áp suất không khí nén tải các phần tử dây phun nóng chảy 2 - 5 kG/cm².

Lượng dây nhôm tiêu thụ là 3,6 kg/h, khi đường kính dây 3,2 mm và tần số công tác của đầu phun 400 Hz. Trong trường hợp phun dây thép, lượng dây tiêu thụ lớn hơn và bằng 5 - 7 kg/h.

Trong môi trường trung tính, có thể phun canxi, uran, niobi, titan và các vật liệu oxi hoá mạnh khác. Argon thường được sử dụng làm khí trung tính.

4.3. GIA CÔNG CÁC LỚP PHUN

Lớp phun nhận được sau khi phun là khá xốp. Trong một số trường hợp có thể tận dụng độ xốp đó một cách hiệu quả. Tuy nhiên các lớp phủ chặt có ứng

dụng rộng rãi nhất. Có thể điền đầy các lỗ xộp của lớp phun bằng cách phủ lên nó lớp sơn, tẩm lớp phun bằng các thành phần đặc biệt hoặc làm nóng chảy lại nếu lớp phun nhận được từ các hợp kim tự chảy. Để cải thiện các tính chất cơ học và độ bền nhiệt của lớp phun có thể tiến hành nhiệt luyện nó.

4.3.1. SƠN TẨM LỚP PHUN

Sự phủ lớp sơn trên lớp phun nhằm nâng cao tính chống gỉ của lớp phun đó trên kim loại đen. Chẳng hạn, nếu thép được bảo vệ khỏi gỉ bằng cách phun nhôm hoặc kẽm làm việc trong dung dịch xâm thực thì dung dịch đó sẽ xâm nhập vào lớp phun qua các lỗ xộp hoặc các vết nứt.

Nhôm và kẽm có khuynh hướng bị ion hoá cao hơn sắt. Dưới tác dụng của các phản ứng điện hoá chúng bị hoà tan và bảo vệ sắt khỏi gỉ. Các oxit tạo thành nói chung là những chất không hoà tan và tồn tại trên bề mặt, lấp kín các lỗ khuyết trong lớp phun. Kết quả của quá trình tự làm chặt đó làm chậm sự hoà tan của nhôm hoặc kẽm và nhờ vậy sắt được bảo vệ khỏi gỉ. Tuy nhiên, dưới tác dụng của dung dịch ăn mòn hoặc của các lực vật lý, các oxit không hoà tan của lớp phun có thể bị tách khỏi nó, dẫn đến sự phá hủy dần lớp phun và cuối cùng làm biến mất nó hoàn toàn.

Nếu lớp phun được phủ một lớp sơn thì nó sẽ lấp kín các lỗ rỗ trên bề mặt của nó và ngăn chặn sự xâm nhập của môi trường xâm thực tới bề mặt chi tiết, đồng thời làm chậm quá trình tách khỏi lớp phun của các oxit hình thành. Kết quả bề mặt chi tiết (kim loại đen) sẽ được bảo vệ trong thời gian dài hơn.

Độ bám dính cao của các lớp phun nhôm và kẽm cho phép sử dụng chúng làm lớp lót cho sự phủ tiếp các lớp sơn bảo vệ. Chiều dày lớp phun thường bằng 0,05 - 0,2 mm.

Để sơn có thể lấp kín các vết nứt và lỗ rỗ trong lớp phun nó phải tẩm ướt bề mặt lớp phun, phải có độ nhớt thấp và thẩm thấu sâu vào lớp phun, cũng như phải chứa một lượng lớn các thành phần cứng. Việc lấp kín các lỗ rỗ của lớp phun ở độ sâu lớn là đặc biệt quan trọng trong trường hợp sử dụng các chi tiết phun trong hệ thống dẫn nước, nhằm ngăn chặn dầu rò rỉ qua các lỗ xộp trong lớp phun và có thể phá hủy nó. Khi cần lấp kín các lỗ rỗ trong toàn bộ lớp phun tới ranh giới phân cách với nền, cần tiến hành tẩm lớp phun trong môi trường chân không.

Mặt lớp phun trước khi sơn phải sạch và khô. Nếu trên bề mặt lớp phun có dầu mỡ thì cần rửa bằng dung dịch hoà tan thích hợp. Sau khi chất hoà tan bay hơi hết có thể tiến hành sơn. Dụng cụ để sơn có thể là chổi quét sơn hoặc súng phun sơn.

Có thể sử dụng sơn clovinyl hoặc các loại sơn trên nền nhựa epoxy. Thông thường người ta dùng nhựa epoxy để sơn các lớp phun từ nhôm và kẽm làm việc trong các môi trường nước mặn và nước lợ.

Để tẩm các lớp phun gốm khi sử dụng chúng ở nhiệt độ thấp người ta dùng phenol lỏng. Trong trường hợp nhiệt độ 100 - 290°C các lớp phun được tẩm bằng nhựa epoxy hoặc nhựa phenol.

Sự tẩm tiến hành ngay sau khi phun để tận dụng nhiệt của lớp phun. Nếu lớp phun nguội nhanh và không đủ nhiệt thì phải đốt nóng nó và duy trì nhiệt độ tẩm khoảng 95°C.

4.3.2. LÀM NÓNG CHẢY LẠI LỚP PHUN

Thông thường các hợp kim tự chảy là hợp kim nền niken hoặc coban chứa trên 1,5% bo hoặc silic. Bảng 4.11 cho thấy bo và silic có ái lực với axit mạnh hơn so với các kim loại tham gia vào thành phần các hợp kim này, tới nhiệt độ 1000 - 1100°C thì xảy ra hiện tượng làm nóng chảy lại chúng, và bo hoặc silic chuyển thành B_2O_3 và SiO_2 . Các oxit kim loại tạo thành trong lớp phun hoà tan cùng với sự hình thành các xỉ dạng thủy tinh và trôi trên bề mặt lớp phun nóng chảy. Sự gia công như vậy, ngoài việc loại bỏ các lỗ rỗ trong lớp phun, cho phép làm nóng chảy lại một lớp mỏng trên mặt nền và hình thành một vùng chuyển tiếp trên ranh giới phân chia nền - lớp phủ, tạo bởi hợp kim của lớp phun và kim loại nền. Kết quả độ bám của lớp phun với nền tăng đáng kể. Các lớp phun được gia công bằng phương pháp làm nóng chảy lại có cấu trúc đặc trưng bởi dung dịch rắn niken - crom và các liên kết kim loại có độ cứng cao.

Sự làm nóng chảy lại có thể thực hiện bằng mỏ khí đốt trong lò, hoặc bằng dòng điện tần số cao.

Bảng 4.11. Năng lượng tự do hình thành các oxit ΔF , kcal/g nguyên tử axit

227°C		727°C		1227°C		1727°C	
Kim loại	ΔF	Kim loại	ΔF	Kim loại	ΔF	Kim loại	ΔF
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	+0,06	Cu	-23,3	Cd	-14,4	Na	-7,9
Hg	-8,8	Pb	-28,7	Cu	-15,2	Cu	-10,7
Cu	-31,5	Ni	-35,0	Pb	-18,7	Ni	-13,0
C	-37,1	Cd	-37,7	Ni	-24,2	Zn	-15,0
Pb	-40,4	Co	-38,8	Co	-29,5	Cu	-19,9
Ni	-46,1	Fe	-47,8	Na	-38,6	Fe	-33,8

Tiếp bảng 4.11

1	2	3	4	5	6	7	8
Co	-47,9	C	-47,9	Zn	-38,9	Cr	-49,1
Cd	-50,4	Zn	-61,4	Fe	-40,0	Mn	-55,1
Fe	-55,5	Na	-65,5	C	-58,3	U	-59,6
Zn	-71,3	Cr	-69,7	Cr	-59,5	V	-60,5
Cr	-81,6	Mn	-74,5	Mn	65,6	Si	-61,9
Na	-83,0	V	-79,0	V	-69,5	B	-65,0
Mn	-83,1	B	-83,1	B	-73,1	C	-68,5
V	-89,0	Si	-83,1	Si	-73,1	Ti	-70,1
B	-91,2	Ti	-91,1	Ti	-60,5	Mg	-76,1
Si	-94,0	Al	-108,2	Li	-92,0	Al	-82,0
Ti	-101,2	U	-109,0	Al	-95,1	Ba	-86,0
U	-119,1	Li	-110,2	U	-98,8	Ca	-95,5
Al	-120,7	Ba	-110,5	Ba	-99,0	Be	-96,6
Ba	-121,5	Mg	-117,7	Mg	-101,3	-	-96,6
Li	-127,7	Be	-119,6	Be	-108,3		-
Mg	-130,8	Ca	-126,0	Ca	-113,3		
Be	-131,3	-	-	-	-		
Ca	-138,2	-	-	-	-		

Làm nóng chảy lại bằng mỏ khí đốt

Làm nóng chảy lại bằng mỏ khí đốt là phương pháp được sử dụng rộng rãi. Mỏ đốt có nhiều miệng đốt (đầu búp) trong đó chất oxi hoá là oxi và chất cháy là axetylen hoặc propan. Sự đốt nóng thực hiện bằng ngọn lửa trung tính hoặc hoàn nguyên. Sự làm nóng chảy lại được tiến hành sau khi đốt nóng sơ bộ toàn phần chi tiết. Khi dẫn nhiệt vào quá mạnh lớp phun có thể bị phá hủy nhanh và bong khỏi nền. Nếu cứ tiếp tục cấp nhiệt đốt nóng trong trường hợp như vậy thì, dưới tác dụng của oxi không khí bề mặt nền sẽ bị oxi hoá nhanh tạo nên những chỗ không có liên kết tốt của kim loại nền và lớp nóng chảy lại. Sự làm nóng chảy lại lớp phun nên tiến hành ngay sau khi phun, như vậy là vừa kinh tế, vừa ngăn ngừa sự bong tróc của lớp phun.

Khi làm nóng chảy lại cần lưu ý để nhiệt độ đốt nóng lớp phun không quá cao. Trong trường hợp ngược lại lớp phun có thể bị chảy và chiều dày của nó sẽ không đồng đều. Ngoài ra, độ cứng lớp phun có thể giảm và lớp phun có cấu trúc không thuận lợi.

Đối với các chi tiết hình trụ, việc làm nóng chảy lại lớp phun nên tiến hành trên máy tiện. Nó cho phép chi tiết quay với tốc độ đồng đều và mở đốt di chuyển đều hoà nhờ được gá trên bàn xe dao.

Làm nóng chảy lại trong lò

Sự làm nóng chảy lại lớp phun có thể tiến hành trong các lò với môi trường hoàn nguyên tạo bởi các khí khi đốt than củi hoặc trong các lò với môi trường trung tính tạo bởi khí hydro hoặc nitơ. Khi đốt nóng lâu, các tính chất lớp phun có thể bị giảm do các thành phần kim loại nền có thể khuếch tán vào nó.

Sự đốt nóng cảm ứng tần số cao

Chủ yếu được sử dụng trong sản xuất hàng loạt các chi tiết có hình dạng đơn giản. Các điều kiện làm nóng chảy lại lớp phun bao gồm thời gian đốt nóng, công suất yêu cầu và hình dạng cuộn cảm.

Các hợp kim tự nóng chảy có tính dẻo tương đối thấp và hệ số nở nhiệt cao. Vì vậy sau khi làm nóng chảy lại và làm nguội có thể xuất hiện các vết nứt. Để ngăn ngừa vết nứt, sự làm nguội chi tiết nên tiến hành trong các điều kiện cách nhiệt: phủ amian, cát nóng v.v...

Để loại trừ các vết nứt khi làm nóng chảy lại lớp phun trên thép cacbon 0,25 - 0,4% C, cần gia nhiệt trước lớp phun tới 250 - 370°C và làm nguội chậm sau khi làm nóng chảy.

Các vết nứt rất dễ xuất hiện khi làm nóng chảy lại các lớp phun hợp kim tự chảy trên thép hợp kim có tính tôi cao và làm nguội trong không khí. Vì vậy, để ngăn ngừa sự hình thành vết nứt cần ram đẳng nhiệt trên cơ sở sử dụng biểu đồ biến đổi austenit cho mỗi mác thép.

Đối với thép chống gỉ SUS44 cần thời gian dài hơn cho sự biến đổi austenit thành ferit và mactenxit. Vì vậy tốt hơn là không tiến hành làm nóng chảy lại lớp phun.

Không được phun các lớp phun hợp kim tự chảy trên các thép chứa lượng lớn lưu huỳnh và chì, bởi vì khi làm nóng chảy lại các nguyên tố này xâm nhập vào lớp phun làm giòn nó.

Thép chống gỉ SUS38 chứa 0,1 - 0,3% Al. Hàm lượng nhôm như vậy không ảnh hưởng xấu đến các tính chất của lớp nóng chảy lại. Tuy nhiên, khi hàm lượng nhôm cao hơn 0,5%, hoặc hàm lượng titan cao hơn 1%, sự hoàn nguyên các oxit trên mặt nền trở nên khó khăn và độ thấm của vật liệu lớp phun trên nền xấu đi.

4.4. GIA CÔNG CƠ KHÍ SAU KHI PHUN

Trong nhiều trường hợp không nhất thiết phải giữ chiều dày lớp phun một cách quá chính xác. Khi cần nhận được lớp phun có bề mặt sạch với các kích thước chính xác thì khi phun phải để lượng dư gia công cơ khí. Có hai phương pháp cơ bản để gia công cơ khí lớp phun, đó là tiện và mài.

Gia công các lớp phun từ thép cacbon và thép chống gỉ

Để gia công cơ khí các lớp phun từ thép cacbon và thép chống gỉ có thể dùng phương pháp tiện. Dao tiện có thể chế tạo từ các hợp kim cứng, như BK3, BK6, T15K6... Cho tới nay vẫn chưa có các số liệu chính xác về tốc độ cắt, lượng chạy dao và dạng hình học của dụng cụ cắt. Các số liệu giới thiệu dưới đây là để tham khảo:

* Kích thước hình học của dao tiện: góc trước $\gamma = 7^\circ$; góc sau $\alpha = 12^\circ$; góc nghiêng chính $\phi = 60^\circ$; góc nghiêng phụ $\phi_1 = 12^\circ$; góc nâng $\lambda = 0$; bán kính mũi dao $r = 1,5 \div 2,5 \text{ mm}$.

* Chế độ cắt xem ở bảng 4.12.

Bảng 4.12. Tốc độ cắt v và lượng chạy dao s cho các lớp phun

Vật liệu phun	Dao thép gió		Dao hợp kim BK6	
	$v, \text{ m/ph}$	$s, \text{ mm/vg}$	$v, \text{ m/ph}$	$s, \text{ mm/vg}$
Thép cacbon thấp và thép hợp kim thấp	15,24 - 30,48	0,08 - 0,13	15,24 - 30,18	0,08 - 0,13
Thép cacbon và thép chống gỉ	-	-	9,15 - 12,18	0,08 - 0,10
Latun, đồng vàng, niken, đồng, monen	30,48 - 45,72	0,08 - 0,13	76,2 - 106,7	0,05 - 0,5
Thiếc, chì, kẽm, nhôm; babit	45,72 - 60,96	0,08 - 0,18	76,2 - 106,7	0,05 - 0,10

Có thể mài khô hoặc mài nước các lớp phun. Mài nước ưu việt hơn nếu dung dịch làm nguội không xâm nhập vào các lỗ rỗng của lớp phun. Sự mài sâu (kể cả khô và nước) có thể làm xuất hiện các vết nứt trên mặt mài. Vì vậy, để nhận được bề mặt tốt cần chọn đúng đá mài và chế độ mài. Thông thường để mài các lớp phun, đá mài phải có cấu trúc hạt tương đối thô và độ liên kết của các hạt không lớn. Sự gia công tinh phải tiến hành ở chiều sâu mài rất nhỏ.

Sau khi gia công tinh bề mặt lớp phun phải có ánh mờ và chứa các lỗ rỗ nhỏ li ti. Nếu bề mặt quá sáng bóng và không có các lỗ rỗ nhỏ thì sự mài không đúng chế độ.

Chế độ mài có thể áp dụng như sau: tốc độ dài của đá 25 – 30 m/s; tốc độ dài của chi tiết 10 – 25 m/ph; chiều sâu mài 0,015 – 0,03 mm; loại đá E40CM2; dung dịch làm nguội emunxi. Nếu cần thiết phải làm chặt lớp phun và lấp đầy các lỗ rỗ bằng các vật liệu làm chặt, thì phải tiến hành trước khi mài. Các vật liệu làm chặt ngăn không cho hạt mài xâm nhập vào các lỗ rỗ của lớp phun. Nếu các lỗ rỗ của lớp phun không được lấp đầy thì sau khi mài phải rửa lớp phun và loại bỏ các hạt mài rơi vào nó.

Gia công các lớp phun từ hợp kim tự nóng chảy

Có nhiều lớp phun hợp kim tự nóng chảy có thể gia công được. Nói chung sự gia công tiến hành bằng phương pháp mài. Thông thường đá mài có độ liên kết trung bình và kết cấu hạt cacbit bo màu xanh.

Gia công các lớp phun gốm

Khi gia công tinh các lớp phun gốm người ta sử dụng phương pháp mài. Đá mài được làm từ cacbit bo màu xanh. Để tránh sự tạo thành các vết nứt tế vi trong lớp phun cần tiến hành mài với chiều sâu mài 0,025 mm và tốc độ dài của đá mài 25 – 30 m/s.

CHƯƠNG 5

ĐẶC ĐIỂM CỦA CÁC QUÁ TRÌNH PHUN

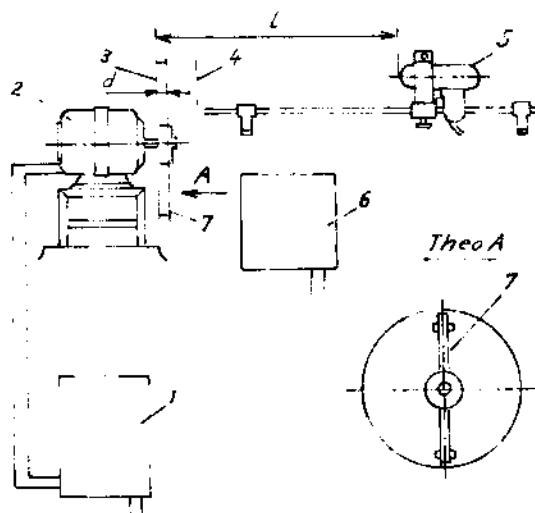
Để phun phủ người ta sử dụng nhiều nguồn năng lượng nhiệt khác nhau để nung nóng và làm chảy vật liệu phun. Thanh và dây nóng chảy tạo thành các phần tử dưới dạng giọt, bột cũng nóng chảy hoặc ở trạng thái gần với nóng chảy. Các phần tử nóng chảy chuyển động với tốc độ cao, va đập vào nền tạo thành lớp phủ với các tính chất rất khác nhau.

Để hiểu được các quá trình xảy ra khi phun, cần nghiên cứu các đặc điểm của sự nung nóng các phần tử vật liệu phun, sự chuyển động của chúng từ mỏ đốt đến vật liệu nền và va đập với nó, cấu trúc vùng chuyển tiếp giữa lớp phun và nền, và mối quan hệ giữa các hạt phun. Các quá trình đó chịu ảnh hưởng của các yếu tố sau: phương pháp và công nghệ phun, kích thước và hình dạng hạt của bột phun, đường kính dây hoặc thanh phun, mật độ, nhiệt độ riêng, độ dẫn nhiệt, mức độ nóng chảy lại, các phản ứng hoá học ở nhiệt độ cao của vật liệu phun và hoạt tính hoá học của chúng đối với vật liệu nền. Dưới đây sẽ khảo sát một số đặc điểm cơ bản của các quá trình phun.

5.1. TỐC ĐỘ CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC HẠT KHI PHUN

Khi phun bột bằng ngọn lửa khí, phun nổ và phun plasma, vật liệu bột được cấp vào mỏ đốt bị phân tán ra và chuyển động với tốc độ rất cao nhờ lượng khí nén nhiệt độ cao, va đập và bám vào mặt nền. Khi phun dây và thanh bằng ngọn lửa khí, cũng như khi phun hồ quang điện và cảm ứng tần số cao, dây hoặc thanh đầu tiên bị nung nóng và chảy, sau đó dưới dạng các hạt nóng chảy, bị dòng khí tốc độ cao thổi vào mặt nền. Khi va chạm với mặt nền, các hạt phun bám vào bề mặt gỗ ghề được tạo trước khi phun. Để nhận được độ bám dính tốt các hạt phun phải có tốc độ cao khi va chạm với nền.

Có nhiều phương pháp xác định tốc độ chuyển động của hạt phun. Dưới đây giới thiệu một trong các phương pháp đó [11].



Hình 5.1. Sơ đồ thiết bị đo tốc độ hạt phun:

- 1- cơ cấu điều chỉnh tốc độ; 2- động cơ điện một chiều; 3- đĩa Φ 406,5 mm;
4- màn; 5- đầu phun; 6- máy chớp sáng; 7- tấm kim loại;
d- khoảng cách giữa đĩa và tấm kim loại; l- khoảng cách phun.

Trên đĩa 3 gắn tấm kim loại 7 với khe hở d (hình 5.1) che khuất một phần đĩa khi phun (góc phun là 90° so với đĩa). Khi đĩa quay trong quá trình phun, tấm kim loại (đường kính nhỏ hơn đĩa) và đoạn không khuất của đĩa sẽ chuyển dịch một góc nào đó và theo đại lượng của nó có thể xác định tốc độ trung bình của phần tử hạt bay ở gần mặt phun:

$$V_{ph} = \frac{2 \pi R S d}{D} ,$$

ở đây V_{ph} – tốc độ trung bình của phần tử; R - khoảng cách từ tâm đĩa đến điểm trên đoạn không khuất mà tại đó tiến hành đo tốc độ phần tử; S – tốc độ quay của đĩa; d – khoảng cách giữa đĩa và tấm kim loại ; D – khoảng cách giữa tâm của tấm kim loại và tâm đoạn đĩa không phun.

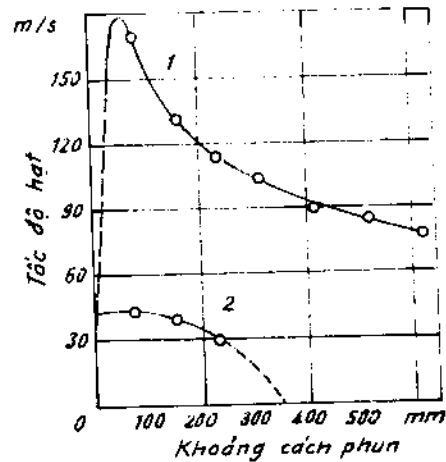
Trên hình 5.2 giới thiệu biểu đồ tốc độ bay của các phần tử phụ thuộc khoảng cách phun khi phun thanh và phun bột oxit nhôm bằng ngọn lửa khí đốt. Điều kiện phun thanh: vật liệu phun thanh từ oxit nhôm đường kính 3,2 mm; tốc độ cấp vật liệu phun 165 mm/ph (3,4 g/ph); áp suất khí oxi 1,68 kG/cm²; áp suất khí axetylen 1,1 kG/cm²; áp suất không khí nén 5,6 kG/cm². Điều kiện phun bột: kích thước hạt (oxit nhôm) 13,4 μ m; năng suất cấp bột 29 g/ph; áp suất khí oxi 1,8 kG/cm²; áp suất khí axetylen 1,1 kG/cm².

Tốc độ trung bình của các phần tử khí phun ngọn lửa khí với dây đồng và kẽm ở khoảng cách phun 100 mm là 120 và 140 m/s [27]. Khi phun dây ngọn lửa khí, trong đó dùng không khí nén để tải các phần tử kim loại nóng chảy từ mút dây tới mặt nền, có ý nghĩa lớn hơn so với khi phun bột ngọn lửa khí.

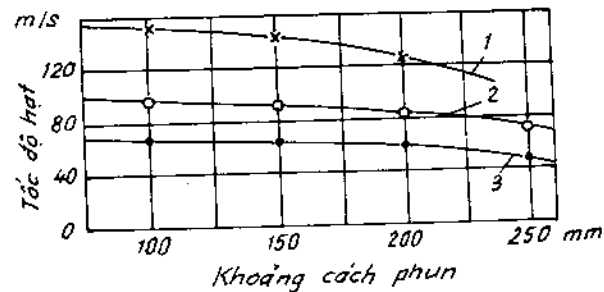
Khi phun nổ, tốc độ khí trong buồng nổ rất lớn và bằng khoảng 4000 m/s, còn tốc độ các phần tử phun đạt tới 800 m/s [21]. Khi phun hồ quang điện với dây thép cacbon thấp, tốc độ các phần tử vào khoảng 100 m/s [21].

Tốc độ bay trung bình của các phần tử khí phun plasma với bột oxit nhôm, oxit molipđen và hợp kim niken ở những khoảng cách phun khác nhau được giới thiệu trên biểu đồ (hình 5.3).

Khi phun plasma bột oxit nhôm, tốc độ bay của các phần tử nhỏ hơn so với khi phun thanh ngọn lửa khí. Khi phun bột ngọn lửa khí, tốc độ chuyển động của các phần tử nhỏ hơn nhiều.



Hình 5.2. Sự thay đổi tốc độ bay của hạt khi phun oxit nhôm ngọn lửa khí: 1- thanh; 2- bột.

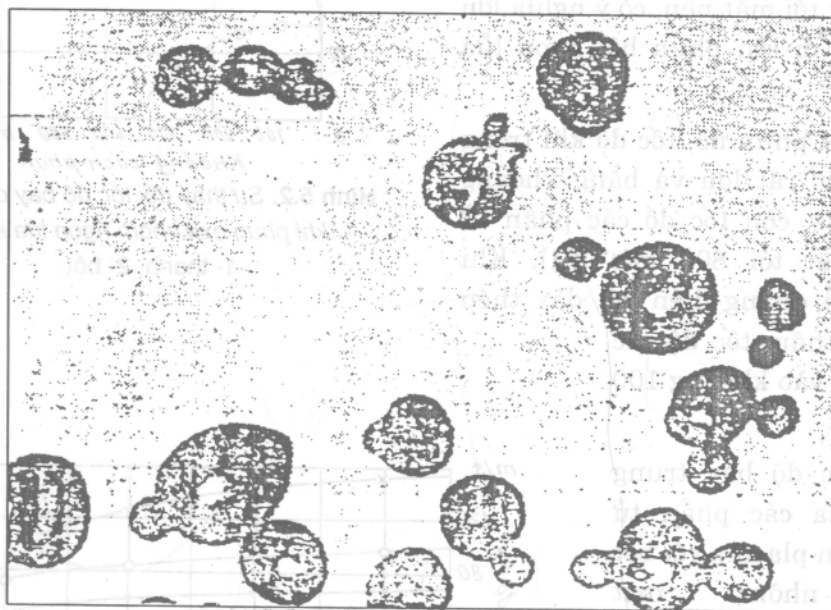


Hình 5.3. Tốc độ bay của các phần tử khi phun plasma các bột oxit nhôm (1), molipđen (2) và hợp kim niken tự chảy (3). Cường độ dòng điện công tác 450 A; lượng khí công tác (argon) 30 l/ph.

5.2. NHIỆT ĐỘ CỦA CÁC HẠT PHUN

Khi phun dây và thanh bằng ngọn lửa khí, hồ quang điện, plasma và dòng cảm ứng tần số cao, vật liệu dây và thanh được cấp vào mỏ đốt và nóng chảy tạo

thành các hạt bay tới nền. Các phần tử (hạt) hình thành khi phun dây có dạng hình cầu (hình 5.4). Trên hình 5.4 giới thiệu các phần tử molipđen hình thành khi phun dây molipđen ngọn lửa khí vào nước. Tại thời điểm va chạm với mặt nền các phần tử phun có nhiệt độ rất cao. Trên hình 5.5 thấy rõ, khi phun molipđen trên kính ở khoảng cách 100 mm, các phần tử phun bị biến dạng mạnh. Cấu trúc dendrit của các hạt cho phép khẳng định rằng, tại thời điểm va chạm chúng ở trạng thái nóng chảy.



Hình 5.4. Các phần tử molipđen nhận được khi phun dây molipđen bằng ngọn lửa khí vào nước.

Tại thời điểm va chạm với nền của phần tử bay với tốc độ lớn, sự biến dạng của nó phát sinh nhiệt làm tăng nhiệt độ của phần tử. Tốc độ va chạm với nền của các phần tử vật liệu phun khác nhau, trong đó xảy ra sự làm nóng chảy của dây do kết quả của sự biến đổi động năng thành nhiệt năng, có thể xác định từ biểu thức sau:

$$\frac{p_h v_h^2}{2g \cdot 473} = p_h \{c (T_{nc} - 70) + s\} , \quad (5.1)$$

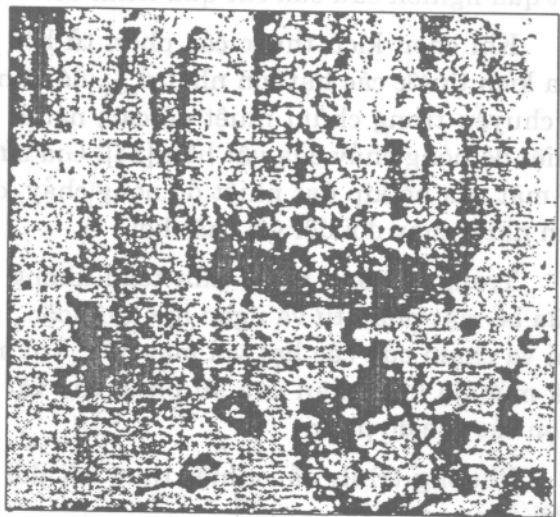
ở đây p_h - khối lượng của phần tử, g ; v_h - tốc độ bay của phần tử, m/s ; g - gia tốc trọng trường, 980 cm/s² ; c - nhiệt riêng của vật liệu phun, cal/g°C ; T_{nc} - nhiệt độ nóng chảy của vật liệu phun, °C ; s - nhiệt ẩn nóng chảy của vật liệu phun, cal/g.

Để nhiệt độ của các phần tử phun từ 70°C tăng lên nhiệt độ nóng chảy khi chúng va đập vào bề mặt vật phun, tốc độ tại thời điểm va chạm theo biểu thức

đã dẫn (5.1) của các phần tử thiếc, kẽm, đồng, chì và nhôm tương ứng phải là 337, 763, 1046, 446 và 1274 m/s [21].

Tuy nhiên khi phun, tốc độ bay của các phần tử không vượt quá 100 - 200 m/s, điều đó không cho phép tính đến sự tăng nhiệt độ đáng kể của chúng tại thời điểm va chạm với nền. Ví dụ khi các phần tử molipđen có nhiệt độ 70°C (nhiệt riêng của molipđen 0,061 cal/g°C) va chạm với mặt nền với tốc độ chuyển động 100 m/s, sự tăng nhiệt độ tính theo biểu thức (5.1) sẽ là ~45°C.

Người ta đã tính toán nhiệt độ trung bình của các phần tử tại thời điểm va chạm với mặt nền khi phun dây kẽm, nhôm, đồng, niken, sắt và molipđen bằng ngọn lửa khí. Trong các tính toán người ta bỏ qua sự tăng nhiệt độ của các phần tử nhờ sự biến đổi động năng thành nhiệt năng. Bảng 5.1 giới thiệu nhiệt độ trung bình của các phần tử phun khí va chạm với mặt nền. Từ các số liệu (bảng 5.1) thấy rõ, nhiệt độ trung bình của các phần tử phun tại thời điểm va chạm với mặt nền gần bằng nhiệt độ nóng chảy của vật liệu phun.



Hình 5.5. Các phần tử molipđen được phun vào kính.

Bảng 5.1. Nhiệt độ trung bình T_{tb} của các phần tử phun

Vật liệu phun	Nhiệt độ nóng chảy, °C	Năng suất phun, g/s	T_{tb} , °C
Cu	1083	0,366	1083
Cu	1083	0,386	1083
Mo	2625	0,252	2625
Mo	2625	0,297	2390
Al	659	0,216	659
Al	659	0,243	659
Fe	1530	0,177	1530
Fe	1530	0,195	1370
Ni	1452	0,305	1452
Ni	1452	0,231	1200
Zn	420	0,863	420
Zn	420	0,651	420

Các quá trình tương tác nhiệt của các phần tử phun với dòng plasma, ngọn lửa khí hoặc các sản phẩm nổ rất phức tạp, cho tới nay chưa có đủ số liệu về các kết quả nghiên cứu của các quá trình đó.

Khi chọn kích thước các phần tử bột phun người ta lấy giá trị gần đúng của kích thước các hạt lớn nhất $d_{\max}$, đó là những hạt nóng chảy trong thời gian di chuyển trong chùm nhiệt độ cao; nghĩa là nhiệt độ trong tâm hạt bằng 0,9 nhiệt độ nóng chảy của vật liệu [14]. Giả sử rằng, phần tử hình cầu và nhiệt độ bề mặt của nó kịp đạt nhiệt độ nóng chảy, $d_{\max}$ có thể xác định từ phương trình dẫn nhiệt thay đổi đối với chất hơi.

Trong phương pháp tính toán không khảo sát các vấn đề trao đổi nhiệt giữa bề mặt phần tử và ngọn lửa khí hoặc tia plasma, và cả các vấn đề xảy ra khi va chạm của các hạt với mặt nền. Tuy nhiên các giá trị $d_{\max}$ cho phép đánh giá mức độ khó khăn của sự phun các vật liệu khác nhau và tiện lợi cho việc chọn các chế độ phun.

Phương trình dẫn nhiệt thay đổi đối với mặt cầu cứng có thể biểu diễn dưới dạng sau đây:

$$\frac{T_{nc} - T_r}{T_{nc} - T_1} = \Phi_1(Bi, Fo) = \Phi_1\left(\frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda}, \frac{a \cdot \theta}{r_0^2}\right) \quad (5.2)$$

ở đây T_{nc} - nhiệt độ nóng chảy của phần tử phun; T_r - nhiệt độ ở bán kính r của phần tử hình cầu (tại tâm $r = 0$, trên mặt phần tử $r = r_0$); T_1 - nhiệt độ đầu của phần tử; a - độ dẫn nhiệt; θ - thời gian đốt nóng, s; Bi - tiêu chuẩn Bio ($Bi = \frac{a \cdot r_0}{\lambda}$); α - hệ số tỏa nhiệt; Fo - số Phuri ($Fo = \frac{a \cdot \theta}{r_0^2}$).

Giả sử thời gian bay của phần tử phun trong ngọn lửa khí hay chùm plasma là 10^{-4} s, nhiệt độ ở tâm phần tử là $0,9T_{nc}$ và $1/Bi$ xấp xỉ bằng 0,1. Theo biểu đồ Garoni [11] số Fo là khoảng 0,3. Trong trường hợp đó có thể xác định đại lượng $d_{\max}$ theo biểu thức:

$$d_{\max} = 2 \left(\frac{a \cdot \theta}{0,3} \right)^{1/2} \quad (5.3)$$

Trong bảng 5.2 giới thiệu các giá trị $d_{\max}$ của một số vật liệu phun có độ chặt và tính chất nhiệt khác nhau. Giá trị $d_{\max}$ của vật liệu càng lớn thì càng dễ tiến hành phun nó.

Thông thường kích thước các hạt của bột dùng để phun là 44 – 74 μm . Các số liệu trong bảng 5.2 cho thấy các giá trị tính toán $d_{\max}$ của các hạt nằm trong giới hạn đó.

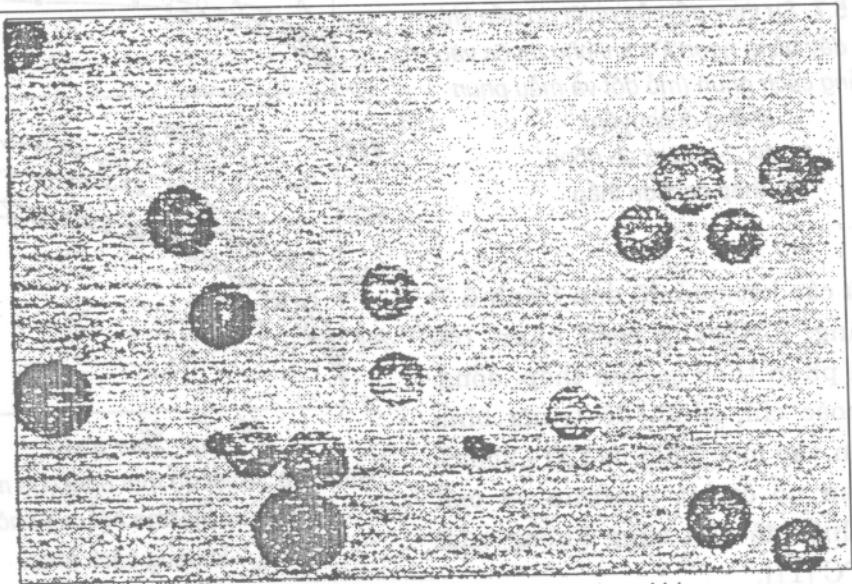
Trên hình 5.6 thấy rõ rằng khi phun bột oxit nhôm vào nước bằng ngọn lửa khí, các phần tử có dạng hình cầu. Điều đó chứng tỏ trong khi bay chúng ở trạng thái hoà tan.

Bảng 5.2. Đặc tính của các loại bột dùng cho phun plasma

Vật liệu bột	a, cm ² /s	c (T _{nc} - T _i), cal/g	d _{max}	Mức độ phức tạp của sự phun**
ZrO ₂	0,005	430	26	5
UO ₂	0,025	214	58	4
TiO ₂	0,04	645	72	3
TaC	0,09	115	110	1
ZrC	0,05	525	82	3
TiN	0,07	556	96	2
B ₄ C	0,06	109	90	2
4340	0,08	195	104	1
304	0,05	226	82	3
W	0,63	111	280	1

*d_{max} - đường kính lớn nhất của hạt, trong đó thời gian bay của nó trong tia plasma bằng 10⁻⁴ s, nhiệt độ ở tâm hạt ≈ 0,9T_{nc}.

** ở mức độ phức tạp 1, tương ứng với d_{max}, phạm vi chế độ phun rộng; ở mức độ 5 - chế độ phun hạn chế.



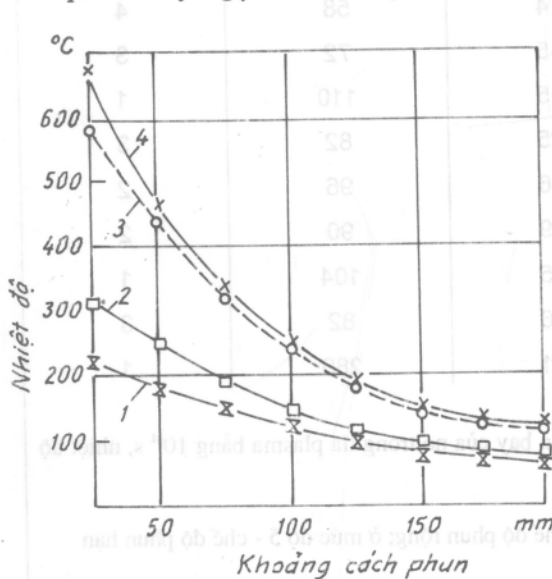
Hình 5.6. Các phần tử oxit nhôm nhận được khi phun bột nhôm vào nước bằng ngọn lửa khí.

5.3. NHIỆT ĐỘ CỦA VẬT LIỆU NỀN

Nhiệt độ bề mặt của chi tiết phun có ảnh hưởng lớn đến các điều kiện hình thành và tính chất của lớp phun.

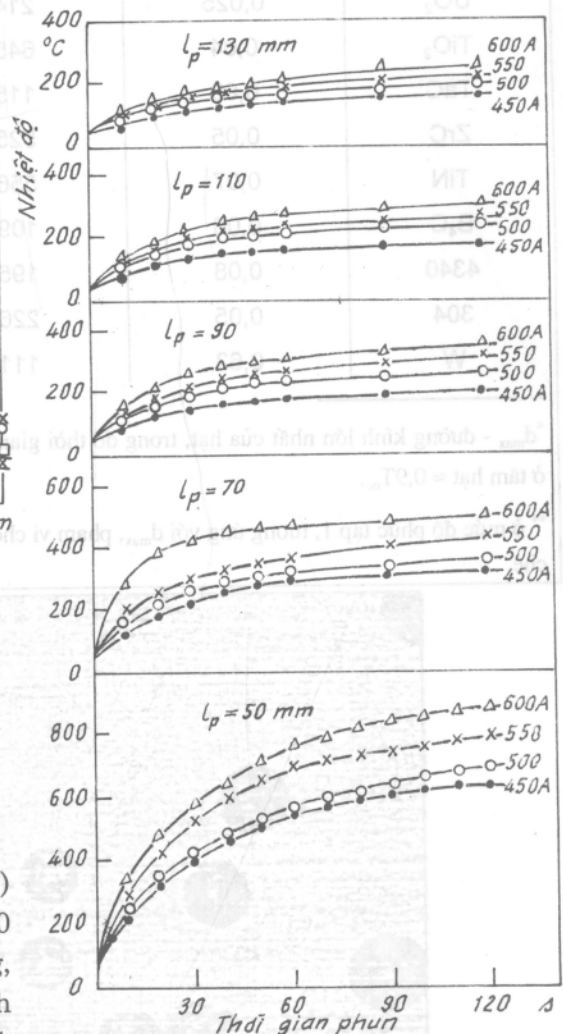
Khoảng cách phun thông thường là 100 mm cho hầu hết các phương pháp phun. Trong quá trình phun, các phần tử tạo lớp phun đốt nóng vật nền, trong đó tốc độ tăng nhiệt độ của nó phụ thuộc vào năng lượng nhiệt của nguồn cấp, các điều kiện phun và vật liệu phun.

Trên hình 5.7 giới thiệu các kết quả đo nhiệt độ trung bình của mặt nền khi phun dây ngọn lửa khí, phụ thuộc vào khoảng cách phun [5].



Hình 5.7. Sự thay đổi của nhiệt độ nền khi phun dây bằng ngọn lửa khí phụ thuộc vào khoảng cách phun (mở đốt và mẫu phun không di chuyển):
1- chì; 2- nhôm; 3- đồng;
4- thép cacbon thấp.

Từ các kết quả đã dẫn (hình 5.7) thấy rằng, ở khoảng cách phun 100 mm khi phun thép cacbon thấp, đồng, nhôm hoặc chì, nhiệt độ trung bình khi phun vào một điểm là 120 - 250°C. Khi phun nổ cacbit vonfram và oxit nhôm nhiệt độ nền cũng không vượt quá 200°C [11].



Hình 5.8. Nhiệt độ mặt dưới của mẫu thép khi phun plasma bột oxit nhôm:
 l_p - khoảng cách phun.

Trên hình 5.8 giới thiệu các kết quả đo nhiệt độ mặt dưới của mẫu khi phun plasma bột oxit nhôm sau 2 ph từ khi bắt đầu phun. Sự phun tiến hành trên mẫu thép cacbon thấp; kích thước 4,5 x 100 x 100 mm.

Ở khoảng cách phun 50 mm sự thay đổi nhiệt độ xảy ra rất nhanh. Sau 2 ph tính từ lúc phun ở dòng điện 600 A, nhiệt độ nền đạt 880°C, còn ở dòng điện 450 A - khoảng 620°C.

Ở khoảng cách phun 110 mm nhiệt độ nền ở dòng điện 600 A là khoảng 310°C, còn ở dòng 450 A – không quá 200°C.

Sự tăng khá cao của nhiệt độ nền có thể dẫn đến sự biến dạng của nó hoặc sự hình thành các oxit trên bề mặt vật liệu làm giảm độ thấm thấu của mặt nền khi các phần tử phun va chạm với nó, kết quả làm giảm độ bám dính của lớp phun với nền [1].

5.4. TƯƠNG TÁC CỦA VẬT LIỆU PHUN VỚI DÒNG NHIỆT ĐỘ CAO

Trong tất cả các phương pháp phun, các phần tử phun bị đốt nóng tới nhiệt độ nóng chảy hoặc gần tới nhiệt độ đó. Các phần tử phun chuyển động trong các môi trường khác nhau. Khi phun ngọn lửa khí, hồ quang điện hoặc cảm ứng tần số cao, các giọt kim loại từ đầu mút dây điện cực bị thổi bởi luồng không khí nén và chuyển động tới bề mặt vật phun. Vì vậy các phần tử phun chuyển động trong môi trường không khí. Kết quả chúng liên tục tương tác với oxi và nitơ.

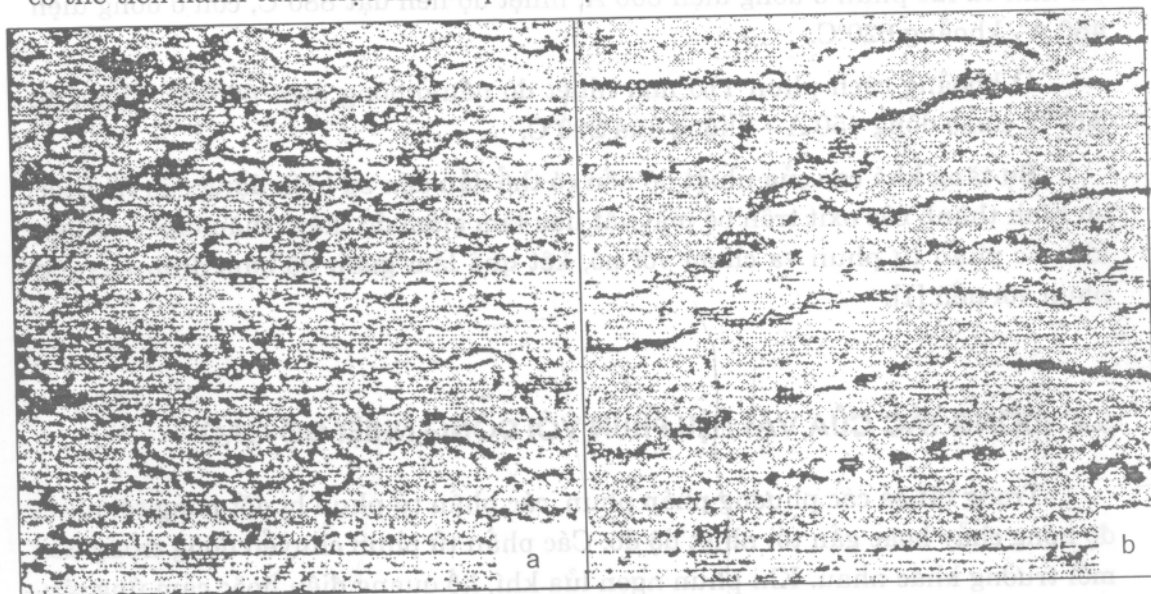
Khi phun plasma, khí công tác thường dùng là nitơ; sau khi được cấp vào miệng đốt và tiếp tục di chuyển vào tia plasma, các phần tử phun bị đốt nóng rất nhanh trong môi trường nitơ sạch hoặc môi trường có chứa lượng lớn nitơ. Kết quả các phần tử phun có thể tương tác với nitơ.

Về sự tồn tại trong khoảng thời gian ngắn của các phần tử trong ngọn lửa khí hoặc tia plasma, một số nhà nghiên cứu cho rằng, vật liệu phun hầu như không tương tác với môi trường xung quanh. Tuy nhiên trong thực tế sự oxi hoá của các phần tử là đáng kể.

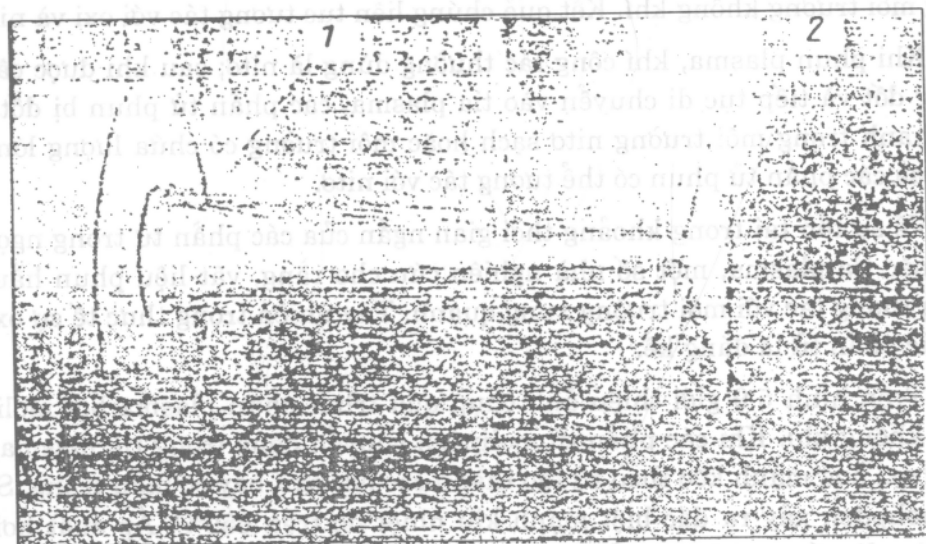
Trên hình 5.9 giới thiệu ảnh chụp quá trình phun plasma bột molipden trong không khí. Khi các phần tử molipden chuyển động trong tia plasma, kim loại bị oxi hoá mạnh kéo theo sự tạo thành các hạt oxit bay có màu trắng. Sự oxi hoá molipden xảy ra đặc biệt mạnh khi nhiệt độ trên 650°C. Áp suất hơi oxit molipden là rất cao; chúng dễ dàng bay hơi.

Khi phun các kim loại và hợp kim khác, trên bề mặt các phần tử cũng xảy ra các phản ứng oxi hoá. Tốc độ của các phản ứng được xác định bởi độ bền nhiệt của vật liệu.

Sự có mặt của các oxit trong các lớp phun từ kim loại và hợp kim không phải lúc nào cũng có thể dễ dàng xác định. Nói chung để phân tích kim loại học các oxit, các mẫu sau khi mài không được tẩy thực, bởi khi đánh bóng hạt mài có thể che khuất các phần tử oxit chứa trong lớp phun. Trong một số trường hợp có thể tiến hành tẩy thực nhẹ để phát hiện các oxit.



Hình 5.9. Sự phun plasma molipđen trong không khí:
1- tia plasma ; 2- nền.



Hình 5.10. Cấu trúc vi mô của lớp phun đồng:

a - sau khi phun; b- sau khi nhiệt luyện trong chân không
(các vùng đen là oxit đồng).

Lượng oxi chứa trong các lớp phun bằng đồng có thể được xác định một cách chính xác, bởi vì khi phân tích kim loại học các oxit ở trong các lớp phun đó dễ dàng được phát hiện. Trên hình 5.10a giới thiệu cấu trúc vi mô của lớp phun đồng trong đó các oxit đồng Cu_2O hiện rõ giữa các lớp kim loại (màu trắng). Nếu đem ủ lớp phun đó trong chân không thì các oxit sẽ có cấu trúc tinh thể và cấu trúc vi mô của lớp phun sẽ lộ rõ hơn (hình 5.10b) [11].

Trong bảng 5.3 giới thiệu sự thay đổi hàm lượng oxi trong các lớp phun đồng phụ thuộc vào khoảng cách phun. Sự phun tiến hành bằng các mỏ đốt sản xuất tại Anh, Pháp và Mỹ [11]. Từ các kết quả đã dẫn thấy rằng, hàm lượng oxi trong lớp phun phụ thuộc nhiều vào máy phun và điều kiện phun.

Bảng 5.3. Hàm lượng oxi trong lớp phun đồng phụ thuộc vào khoảng cách phun, %

Khoảng cách phun, mm	Metan + oxi		Axetylen + oxi		
	Máy Anh	Máy Pháp	Máy Anh	Máy Pháp	Máy Mỹ
25,4	0,79	0,35	0,32	0,33	-
50,8	0,80	0,40	0,56	0,46	0,74
76,2	0,90	0,54	0,54	0,65	0,90
101,6	1,10	0,60	0,61	0,76	1,03
127,0	1,15	0,69	0,69	0,75	1,12
152,4	1,08	0,66	0,66	0,72	1,04
177,8	0,95	-	-	-	1,06
203,2	0,91	-	-	-	1,27
228,6	0,75	-	-	-	-

Sự oxi hoá của kẽm không ảnh hưởng nhiều đến chất lượng của các lớp phun. Tuy nhiên một lượng thừa của các oxit trong các lớp phun nhôm khi gia công nhiệt sau khi phun có thể ngăn cản sự khuếch tán của nhôm trong nền thép. Khi phun các lớp oxit nhôm, sự tăng khoảng cách phun dẫn đến sự tăng hàm lượng các oxit trong lớp phun.

Khi phun hồ quang điện một lượng lớn các oxit cũng hình thành trong các lớp phun. Khi phun dây thép cacbon chứa 0,14% C, lượng oxit và nitrit chứa trong lớp phun tương ứng là 10,5% và 1,5%.

Trong lớp đồng phun bằng plasma có nhiều oxit xuất hiện dưới dạngitecti [1]. Khi phun plasma vật liệu vonfram nền graphit có thể xuất hiện các oxit vonfram (WO_3 , WO_4 , W_2O) và nitrit của nó (W_2N , W_3N_2 ; WN ; W_2N_3 , WN_2). Người ta cho rằng trên mặt nền khi làm nguội các phần tử vonfram có thể xuất hiện các oxitnitrit [11].

Khi phun thành phần vật liệu phun có thể thay đổi. Bảng 5.4 giới thiệu sự thay đổi của hàm lượng cacbon trong các lớp phun ngọn lửa khí từ các dây thép cacbon. Trong mọi trường hợp hàm lượng cacbon trong kim loại phun giảm. Khi phun hồ quang điện vật liệu phun bị đốt nóng tới nhiệt độ rất cao làm thay đổi đáng kể thành phần hoá học của nó. Trong bảng 5.5 giới thiệu thành phần lớp phun từ thép cacbon chứa 0,14% C, và trong bảng 5.6 - sự thay đổi hàm lượng cacbon trong các lớp phun hồ quang điện từ thép cacbon. Trong mọi trường hợp hàm lượng cacbon trong các lớp phun giảm đáng kể.

Bảng 5.4. Sự thay đổi hàm lượng cacbon trong thép khi phun dây bằng ngọn lửa khí

Hàm lượng cacbon, %		Tỉ lệ % cacbon giảm sau khi phun	Chế độ phun
trong vật liệu phun	trong lớp phun		
0,91	0,88	3,3	Áp suất không khí nén 2,5 kG/cm ² ;
0,69	0,65	5,8	Áp suất oxi 3,0 - 3,5 kG/cm ² ;
0,30	0,30	0	Áp suất axetylen 1,0 kG/cm ² ;
0,07	0,05	28,57	Khoảng cách phun 150 mm

Bảng 5.5. Thành phần hoá học của lớp phun hồ quang từ dây thép cacbon, %

Vật liệu	C	Mn	S	P	Oxit	Nitrit
Trước khi phun	0,14	0,50	0,020	0,032	vết	vết
Lớp phun	0,08	0,30	0,014	0,026	10,5	1,5
Sự giảm thành phần các nguyên tố sau khi phun, %	42,86	40,0	30,0	18,75	-	-

Bảng 5.6. Sự thay đổi hàm lượng cacbon trong thép khi phun hồ quang điện

Hàm lượng cacbon, %		Tỉ lệ % cacbon giảm sau khi phun	Chế độ phun
trong vật liệu phun	trong lớp phun		
0,91	0,39	57	Áp suất không khí nén 3,5 G/cm ² ; Điện thế 22 V; khoảng cách phun 150 mm; đường kính dây 1,6 mm
0,69	0,16	77	
0,30	0,13	57	
0,07	0,04	43	

Bảng 5.7. Sự thay đổi hàm lượng crom, silic và mangan trong thép khi phun dây bằng ngọn lửa khí và hồ quang điện

Hàm lượng các nguyên tố trong vật liệu phun, %	Hàm lượng các nguyên tố trong lớp phun, %		Sự thay đổi hàm lượng các nguyên tố sau khi phun, %	
	Phun ngọn lửa khí	Phun hồ quang	Phun ngọn lửa khí	Phun hồ quang
<i>Mangan</i>				
0,41	0,35	0,30	14,63	26,83
0,50	0,48	0,36	4,0	28,0
0,52	0,46	0,36	11,54	30,77
0,60	0,55	0,45	8,33	25,0
<i>Silic</i>				
0,23	0,20	0,14	15,0	30,0
0,23	0,21	0,14	10,0	30,0
0,27*	0,27	0,22	0	18,52
<i>Crom</i>				
1,18	1,12	1,12	0,5	0,5

* Thép chứa 1,18 Cr.

Bảng 5.8. Sự thay đổi hàm lượng cacbon và mangan trong thép khi phun cảm ứng tần số cao

Vật liệu	Hàm lượng, %	
	C	Mn
Trước khi phun	0,45	0,65
Lớp phun	0,42 - 0,43	0,59 - 0,61

Sự thay đổi hàm lượng crom, silic và mangan trong thép khi phun dây bằng ngọn lửa khí và hồ quang điện được giới thiệu trong bảng 5.7. Khi phun hồ quang điện hàm lượng các nguyên tố này trong lớp phun giảm đáng kể.

Sự thay đổi hàm lượng cacbon và mangan trong lớp phun nhận được khi phun cảm ứng tần số cao (bảng 5.8). Các số liệu cho thấy khi phun không xảy ra sự thay đổi đáng kể thành phần vật liệu đầu vào.

Bảng 5.9 giới thiệu sự thay đổi thành phần hoá học của các hợp kim niken khi phun plasma (khí công tác là argon). Sự phun tiến hành ở những giá trị

cường độ dòng điện khác nhau. Trong quá trình phun thành phần hoá học của các nguyên tố hầu như không thay đổi. Một số vật liệu sau khi phun có thể thay đổi nhiệt độ kết tinh do kết quả của các biến đổi pha xảy ra khi đốt nóng tới nhiệt độ cao và làm nguội nhanh của các phần tử phun. Khi phun thanh hoặc bột oxit nhôm α bằng ngọn lửa khí, lớp phun nhận được chứa oxit nhôm γ là chủ yếu. Khi giữ ở nhiệt độ 1250°C trong thời gian 2 giờ và làm nguội chậm, phần lớn vật liệu lớp phun biến đổi thành oxit nhôm α ổn định, trong đó oxit nhôm γ được giữ dưới dạng chất tạp.

Khi phun plasma nitrit titan TiN trong môi trường argon xảy ra sự phân chia từng phần của nó và trong lớp phun xuất hiện α -Ti. Hình dáng bên ngoài của lớp phun từ nitrit titan là tốt, song vật liệu bị oxi hoá mạnh.

Khi phun cacbit titan TiC và cacbit tantan TaC rất nhạy cảm với oxi. Nếu môi trường phun chứa 1% oxi thì hàm lượng cacbon trong lớp phun từ cacbit titan sẽ giảm từ 20,7 xuống 17,8%. Vì vậy, khi cần giữ lượng cacbon yêu cầu trong lớp phun, cần tiến hành phun trong môi trường được kiểm soát với lượng oxi không quá 0,1%. Khi phun cacbit tantan trong môi trường chứa trên 0,1% oxi không thể tránh được sự tổn thất cacbon trong vật liệu.

Bảng 5.9. Sự thay đổi thành phần hoá học của các hợp kim niken và nicrom khi phun bột plasma (khí công tác là argon)

Vật liệu	Thành phần hoá học, %						Nguyên tố khác
	Ni	Cr	Si	Fe	B	C	
Hợp kim nicrom	78,0	19,7	1,15	-	-	-	Fe, Mo
Lớp phun nicrom được phun ở dòng:							
400 A	76,9	19,4	1,13	-	-	-	-
500 A	77,3	19,4	1,12	-	-	-	-
600 A	77,0	19,2	1,05	-	-	-	-
700 A	76,7	19,4	1,06	-	-	-	-
Hợp kim niken	nền	14,4	4,79	3,15	3,02	0,65	Co
Lớp phun niken được phun ở dòng:							
400 A	72,7	14,7	4,79	3,50	2,91	0,70	-
500 A	72,9	14,7	4,78	3,49	2,00	0,69	-
600 A	72,7	14,7	4,65	3,47	2,86	0,66	-
700 A	72,8	14,7	4,67	3,46	2,83	0,62	-

5.5. SỰ HÌNH THÀNH LỚP PHUN

Trong quá trình phun lớp phun được hình thành từ các phần tử nóng chảy riêng lẻ hoặc gần với trạng thái nóng chảy. Các phần tử đó chuyển động với tốc độ cao và va chạm với bề mặt vật liệu cơ bản, hình thành trên đó một lớp vật liệu phun. Nhiệt độ vật liệu nền (cơ bản) thường cao hơn nhiệt độ phòng khoảng 200°C.

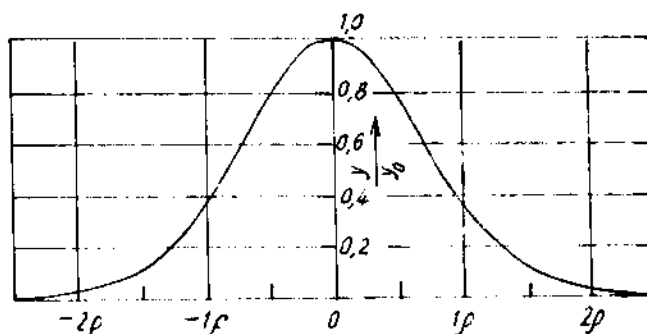
Có thể coi rằng, chùm các hạt phun tạo thành một hình côn mà chiều rộng của nó khi phun bột phát triển từ miệng mỏ đốt, còn khi phun thanh hoặc dây tại điểm nóng chảy của thanh (hoặc dây) được cấp. Trên mặt nền các phần tử phun tạo vệt phun dưới dạng hình tròn. Người ta cho rằng, nói chung sự phân tán của các hạt theo đường kính hình tròn tuân theo định luật Gauss. Nếu tiến hành phun vào một điểm trên nền phẳng theo hướng vuông góc với bề mặt của nó trong thời gian dt , thì sự thay đổi chiều dày của lớp phun dy phụ thuộc vào khoảng cách từ tâm hình tròn có thể biểu diễn dưới dạng biểu thức sau:

$$dy = y_0 e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (5.4)$$

ở đây y_0 - tốc độ phát triển của lớp phun tại tâm hình tròn; σ - sai số tiêu chuẩn có thể thay thế bằng bán kính phân cách $\rho = \sqrt{2}\sigma$. Trong trường hợp đó có thể viết:

$$dy = y_0 e^{-\frac{r^2}{\rho^2}} dt \quad (5.5)$$

Trong các tọa độ cách tâm ở khoảng ρ và 2ρ , chiều dày lớp phun tương ứng là 36,8% và 1,8% chiều dày ở tâm lớp phun (hình 5.11). Đại lượng ρ phụ thuộc vào hình dáng miệng mỏ đốt, áp suất không khí nén, khoảng cách phun và các điều kiện khác. Ở các mỏ đốt sản xuất công nghiệp đại lượng này bằng 10 - 15 mm.



Hình 5.11. Mô hình phân tán chiều dày lớp phun.

Có nhiều lý thuyết về sự hình thành lớp phun.

Lý thuyết của Pospisil – Sehyl;

Lý thuyết của Shoop;

Lý thuyết của Shenk;

Lý thuyết của Karg, Katch, Reininger...

Lý thuyết của Pospisil – Sehyl

Lớp phun kim loại xuất hiện là do các giọt kim loại lỏng bị phun bởi một dòng khí nén với tốc độ rất cao (trung bình khoảng 200 m/s). Các giọt này bị phá vỡ thành rất nhiều hạt nhỏ với dạng đặc trưng bởi kim loại của nó. Theo bản chất có thể chia chúng thành hai nhóm: a) Các kim loại mà oxit của chúng khi phun ở thể lỏng luôn tạo thành những hạt có dạng hình cầu; và b) Các kim loại mà oxit của chúng khi phun ở thể rắn sẽ tạo thành những hạt có dạng không đồng đều (đa cạnh).

Dạng của các hạt khi bay hoàn toàn không thay đổi mà chủ yếu bị oxi hoá. Sự oxi hoá kim loại thực chất xảy ra ngay từ thời điểm làm nóng chảy dây phun. Quá trình oxi hoá trở nên mạnh mẽ khi kim loại nóng chảy bay trong dòng khí dưới dạng các phân tử nhỏ. Nghĩa là khi các giọt kim loại nóng chảy bị tách thành các hạt nhỏ thì cũng là lúc bề mặt của chúng bắt đầu tăng màng oxit. Số lượng các oxit nhiều hay ít là nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng lớp phun.

Từ các thực nghiệm Pospisil – Sehyl rút ra kết luận rằng, các phân tử kim loại trong thời điểm va chạm với mặt nền là chất lỏng.

Lý thuyết của Shoop

Shoop cho rằng, động năng của các phân tử kim loại khi bay được cung cấp bởi dòng khí nén, vì vậy khi va chạm với mặt nền thực tế có sự thay đổi nhiệt. Thực nghiệm đã xác định rằng, những giọt kim loại khi bay khỏi miệng mỏ đốt bắt đầu nguội và đông đặc rất nhanh do tác dụng của dòng khí nén. Trong thời điểm va chạm với nền chúng bị biến dạng dẻo, do vậy chúng liên kết với nhau thành những lớp liên kết.

Theo Shenk thì, nhiệt độ của các hạt phun phải cao hơn nhiệt độ nóng chảy của chúng, vì vậy có thể xảy ra sự liên kết hàn giữa các hạt.

Theo Karg, Katch và Reininger thì, những hạt kim loại bị nguội và đông đặc là do tác dụng của các nguồn động năng của khí nén. Mặt khác, trong quá trình bay từ miệng mỏ đốt các hạt đã ở trạng thái nguội, do vậy sẽ không xảy ra hiện tượng biến dạng dẻo.

Trên cơ sở phân tích các lý thuyết đã dẫn có thể mô tả cơ chế hình thành lớp phun như sau.

Pha đầu của quá trình phun kim loại đặc trưng bởi sự nóng chảy của đầu dây phun. Pha thứ hai là sự tách các giọt kim loại từ đầu dây thành các phần tử kim loại. Tiếp đó là quá trình bay của các phần tử và va chạm với mặt nền tạo thành lớp phun bằng mối liên kết của chúng với kim loại cơ bản.

Sự chảy và phân tán kim loại phun

Khi phun hồ quang dây, đầu tiên xảy ra sự tiếp xúc của hai đầu dây kim loại (điện cực). Sự đoản mạch gây tác dụng nung nóng đáng kể kim loại ở vị trí tiếp xúc. Kim loại được nung nóng tới nhiệt độ cao hơn nhiệt độ nóng chảy của chúng, làm xuất hiện giọt kim loại phủ trên mặt điện cực. Giữa kim loại nóng chảy và môi trường xảy ra quá trình khuếch tán và tương tác lý hoá với nhau, như ứng suất bề mặt, nội năng, nhiệt độ và hệ số dẫn nhiệt, khả năng co rút... gây ảnh hưởng đến cấu trúc và các tính chất khác của giọt kim loại.

Sự lớn lên của giọt kim loại trên các đầu dây tồn tại cho đến khi lực động học của dòng không khí nén lớn hơn ứng suất bề mặt của kim loại lỏng làm tách giọt kim loại. Giọt kim loại dưới áp lực của dòng không khí nén bị tách thành nhiều hạt nhỏ tạo thành tia phun kim loại.

Quá trình bay của các hạt

Toàn bộ quá trình bay của các hạt từ lúc hình thành giọt kim loại đến thời điểm va chạm với mặt nền xảy ra rất ngắn (khoảng 0,002 - 0,008 giây). Trong quá trình bay của các hạt chủ yếu chỉ xảy ra hiện tượng oxi hóa. Vì vậy các phần tử vật liệu phun bị bao bọc bởi một lớp oxit. Lớp này lớn lên theo khoảng cách bay của các hạt.

Các phần tử kim loại bay trong luồng không khí nén với tốc độ rất lớn. Chúng chịu ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố, biểu thị ở những phản ứng không đồng nhất.

Sự hình thành lớp phun

Quá trình hình thành lớp phun là tương đối phức tạp. Trên cơ sở thực nghiệm người ta xác định rằng, các phần tử kim loại trong thời điểm va chạm với mặt nền ở trạng thái lỏng và bị biến dạng rất lớn.

Để hiểu được sự hình thành lớp phun cần chú ý tới các hiện tượng xảy ra khi các phần tử kim loại phun va chạm với mặt nền. Có hai vấn đề cần được khảo sát: a) động năng của các phần tử và b) sự biến dạng của các phần tử khi va đập.

Năng lượng của các phần tử phun khi va chạm với mặt nền được xác định bởi khối lượng của nó và tốc độ tức thời:

$$E_k = 1,2mv^2.$$

Bởi vậy các phần tử có độ lớn khác nhau sẽ có động năng khác nhau (khi chúng có cùng một tốc độ). Tốc độ bay của các phần tử là yếu tố chính để quyết định sự biến dạng của chúng. Arnold đã tính toán tốc độ cần thiết cho một vài kim loại phun khi va chạm với mặt nền theo phương trình:

$$\frac{mv^2}{2 \times 427} = C(t_2 - t_1) + S, \quad (5.6)$$

ở đây $m = G/g$. Khi $G = 1$ g thì tốc độ cần thiết cho sự tan vỡ khi va chạm là:

$$v = 91\sqrt{C}(t_2 - t_1) + S, \quad (5.7)$$

ở đây m - khối lượng của phần tử phun, g;

v - tốc độ của phần tử phun khi va chạm, m/s;

C - tỉ nhiệt, $\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$;

t_1 - nhiệt độ của phần tử phun tại thời điểm va chạm với mặt nền, °C ;

t_2 - nhiệt độ chảy của phần tử phun, °C ;

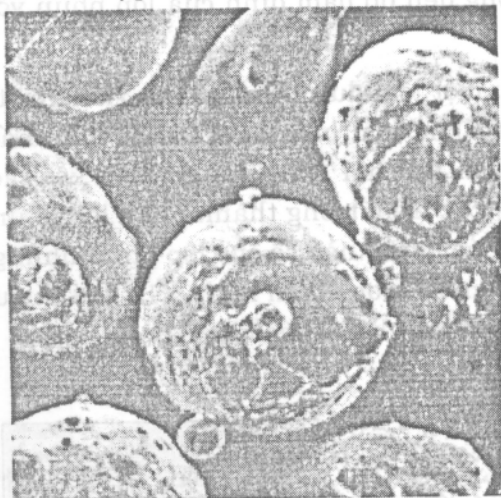
S - ẩn nhiệt, cal.

Lớp oxit trên bề mặt các phần tử phun có ảnh hưởng rất lớn đối với khả năng biến dạng của chúng khi va chạm với mặt nền. Điều cần khẳng định là, tại thời điểm va chạm với mặt nền lớp oxit phải ở trạng thái lỏng. Như vậy trong trường hợp này không thể giữ được sự biến dạng của các phần tử mà ngược lại, ở các phần tử có vỏ cứng, khả năng biến dạng của chúng chủ yếu được quyết định bởi lớp vỏ bọc này.

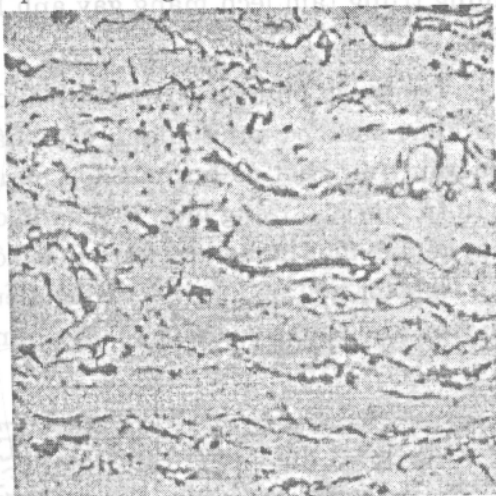
Khả năng biến dạng của phần tử thép với màng mỏng oxit ở trạng thái lỏng phụ thuộc vào sự biến dạng của các phần tử trước nó. Khả năng đó không kết thúc ngay mà còn tiếp diễn do tác dụng của các phần tử sau, giống như tác dụng của quá trình rèn. Sự biến dạng của các phần tử phun xảy ra rất nhanh. Bởi vậy khi các phần tử sau va chạm với các phần tử trước thì các phần tử trước hãy còn ở trạng thái lỏng hoặc trạng thái sệt, do đó giữa chúng dễ dàng xảy ra sự liên kết với nhau.

5.6. CẤU TRÚC CỦA LỚP PHUN

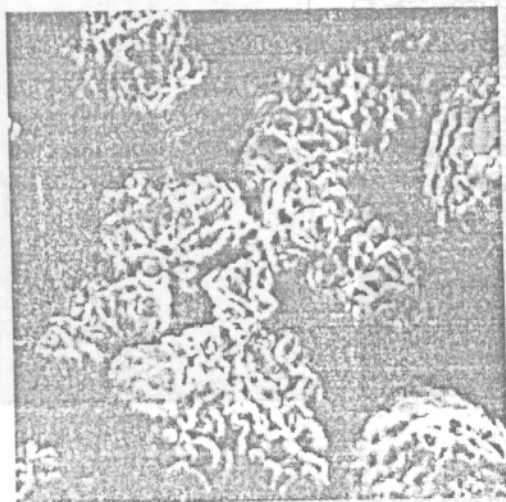
Lớp phun kim loại có cấu trúc khác hẳn so với vật liệu ban đầu (hình 5.11) [47]. Đặc trưng cơ bản của cấu trúc này là những phiến kim loại với chiều dài 0,1 - 0,2 mm và dày 0,005 - 0,01 mm. Các phần tử này có độ biến dạng khác nhau và bị phân cách với nhau bằng một lớp oxit mỏng với chiều dày 0,001 mm.



Original Magnification: 500X

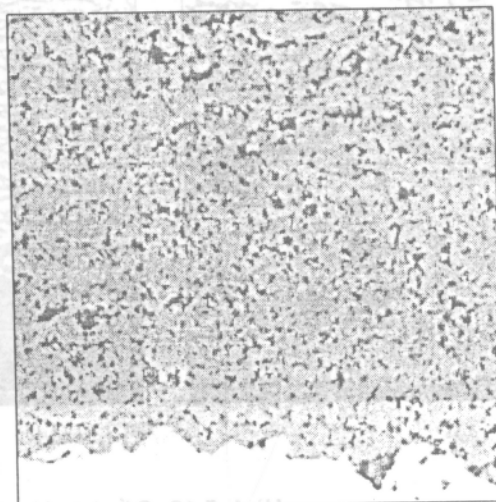


Original Magnification: 500X



Original Magnification: 500X

a)



Original Magnification: 200X

b)

Hình 5.11. Cấu trúc kim loại vật liệu phun và lớp phun:

a- vật liệu phun (bột Ni-164-2-ảnh trên và bột ZRO-182-ảnh dưới);

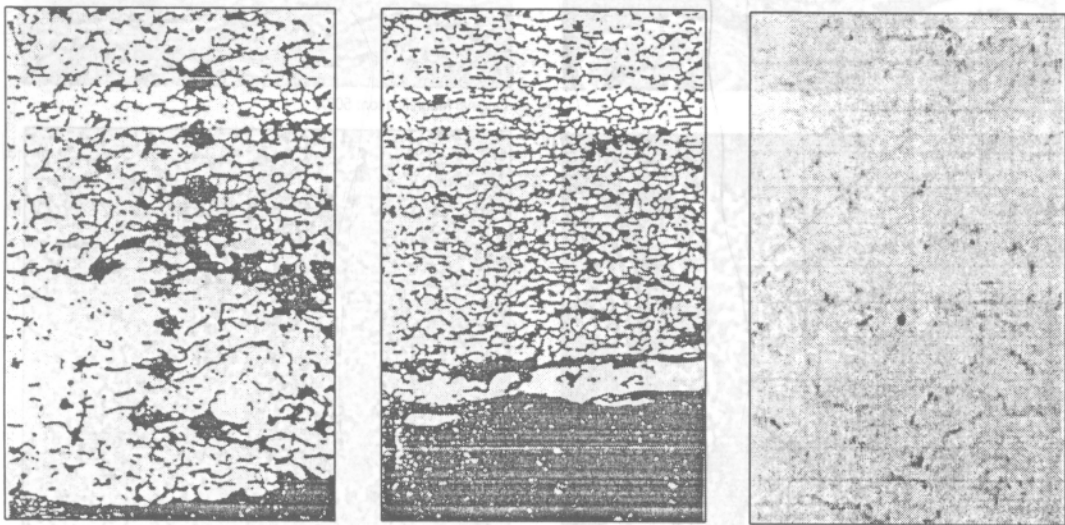
b- lớp phun bột Ni-164-2-ảnh trên và bột ZRO-182-ảnh dưới).

Cấu trúc của lớp phun đặc trưng cho cấu trúc nguội đột ngột. Ở lớp phun thép cacbon (có hàm lượng cacbon cao) thường có cấu trúc mactenxit cho đến cấu trúc bainit. Ngoài những phần tử nền này, lớp phun còn chứa các phần tử

nhỏ không biến dạng. Những phần tử này khi va chạm với mặt nền đang ở trạng thái rắn.

Sự nguội lạnh của các phần tử xảy ra rất nhanh và chúng bị tác động rất lớn của tốc độ nguội. Vì vậy, trong cấu trúc, ngoài dung dịch đặc Fe – C còn có dung dịch đặc của Fe – oxit. Kết quả, khi đông đặc trong mạng sẽ xuất hiện những trung tâm lệch mạng gây ảnh hưởng đến độ bám dính của lớp phun với nền.

Trong lớp phun thép có hai loại oxit: một loại được hình thành riêng biệt; loại khác bao bọc xung quanh các phần tử kim loại biến dạng. Loại thứ nhất làm xấu tính chất cơ học của lớp phun; loại thứ hai đóng vai trò liên kết các phần tử kim loại riêng biệt. Bên cạnh cấu trúc trên, trong thành phần lớp phun phải kể đến một lượng khá lớn các lỗ xốp. Các lỗ xốp này sẽ cho lớp phun những tính chất tốt nếu nó làm việc trong điều kiện bôi trơn. Trên hình 5.12 giới thiệu cấu trúc kim tương của một số lớp phun từ các vật liệu khác nhau.



Hình 5.12. Cấu trúc kim tương của một số lớp phun:

a- vật liệu phun PG-NA-01-200; b- vật liệu phun PS-124BK-01-200;

c- vật liệu phun W-121.

CHƯƠNG 6

CÁC TÍNH CHẤT CỦA LỚP PHUN

6.1. ĐỘ BẨM CỦA LỚP PHUN

Độ bám dính của lớp phun với kim loại nền là một trong những yếu tố quan trọng nhất được nhiều nhà khoa học nghiên cứu. Có nhiều luận điểm được đưa ra. Dưới đây giới thiệu một số trong những luận điểm đó.

6.1.1. LỰC BẨM CỦA KIM LOẠI LỎNG TRÊN NỀN CHẤT RẮN

Giả thiết rằng, kim loại phun khi va chạm với mặt nền đang ở trạng thái lỏng; lúc đó sẽ xuất hiện hiện tượng bám dính của một giọt lỏng trên bề mặt của chất rắn nhờ các lực căng giữa bề mặt và môi trường xung quanh nó.

Nếu gọi α_{12} là lực căng giữa giọt lỏng và chất rắn; α_{23} là lực căng giữa giọt lỏng và không khí; α_{13} là lực căng giữa chất rắn và không khí; θ là góc căng giữa giọt lỏng và chất rắn (hình 6.1), thì để giọt lỏng giữ được ở trạng thái cân bằng phải thỏa mãn biểu thức sau:

$$\alpha_{13} = \alpha_{12} + \alpha_{23} \cos \theta \quad (6.1)$$

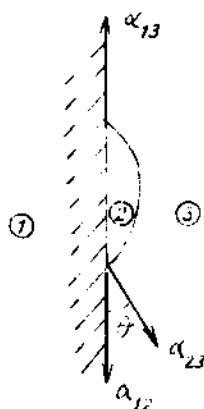
suy ra:

$$\cos \theta = \frac{\alpha_{13} - \alpha_{12}}{\alpha_{23}} \quad (6.2)$$

Góc θ phụ thuộc vào bản chất của ba thể của hạt phun (lỏng, sệt, rắn); nó thay đổi theo trạng thái và độ sạch của bề mặt. Nếu góc căng của thể rắn và thể khí lớn hơn so với thể lỏng thì $0 < \theta < 90^\circ$.

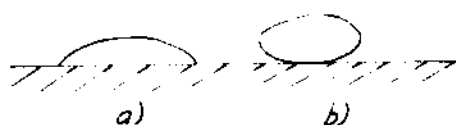
Khi $\theta > 0$ giọt lỏng có dạng cụp vào (hình 6.2a) và khi đó giọt lỏng dính ướt trên bề mặt chất rắn.

Khi $\theta > 90^\circ$ tức là $\alpha_{13} > \alpha_{12}$, giọt lỏng có dạng cong ra (hình 6.2b). Trong trường hợp này giọt lỏng không dính ướt chất rắn.



Hình 6.1. Sự bám dính của giọt lỏng trên vật rắn:

1- chất rắn; 2- chất lỏng; 3- không khí.



Hình 6.2. Hình dáng giọt lỏng:

a- dạng cụp vào ; b- dạng cong ra.

Vì góc θ không lớn nên có thể coi $\cos\theta \sim 1$, lúc đó:

$$|\alpha_{13} - \alpha_{12}| \leq \alpha_{23} \quad (6.3)$$

Đây là điều kiện dính ướt trên mặt nhẵn.

Đối với bề mặt làm nhám cần tính đến hệ số nhám K . Hệ số này là tỉ lệ giữa diện tích mặt nhám S_n và diện tích mặt nhẵn S_ϕ : $K = S_n/S_\phi$.

Từ biểu thức (6.1) ta có:

$$K.\alpha_{13} = K.\alpha_{12} + \alpha_{23} \cos\theta \quad (6.4)$$

Khi đó θ có giá trị là θ_1 :

$$K.\alpha_{13} = K.\alpha_{12} + \alpha_{23} \cos\theta_1 \quad (6.5)$$

Từ biểu thức (6.2) suy ra:

$$\alpha_{13} - \alpha_{12} = \alpha_{23} \cos\theta \quad (6.6)$$

$$\text{Do đó} \quad \alpha_{23} \cos\theta = \frac{\alpha_{23} \cos\theta_1}{K} \text{ hay } \cos\theta_1 = K \cos\theta \quad (6.7)$$

Khi $\theta_1 < \theta$ thì $K < 1$, lúc đó độ dính ướt kém hơn;

Khi $\theta_1 > \theta$ thì $K > 1$, lúc đó độ dính ướt tốt hơn.

Do bề mặt được làm nhám nên diện tích dính ướt tăng lên K lần, nghĩa là K luôn luôn lớn hơn 1 và góc θ nhỏ hơn nên tạo điều kiện tăng độ bám dính.

6.1.2. LIÊN KẾT KIM LOẠI

Khi hai kim loại tiếp xúc với nhau, dưới ảnh hưởng của các yếu tố nhiệt động, các nguyên tử của chúng khuếch tán vào mạng của nhau tạo thành vùng chuyển tiếp. Đó là dung dịch rắn của chúng. Khi đó giữa chúng hình thành mối liên kết kim loại. Mối liên kết này phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ tiếp xúc và trạng thái bề mặt của kim loại.

Qua rất nhiều quá trình nghiên cứu và thực nghiệm, các nhà nghiên cứu đã kết luận rằng độ bám dính của lớp phun với kim loại nền là sự liên kết tổng hợp của các liên kết sau:

Liên kết bằng sự hàn hoặc hàn tế vi;

Liên kết bằng các phản ứng hoá học;

Liên kết bằng lực cơ rút kim loại khi kết tinh;

Liên kết bằng độ bám cơ học.

Độ bám cơ học được biểu thị như sự giữ chặt các phần tử kim loại va chạm với mặt nền ở những chỗ nhấp nhô. Độ bám này là yếu tố quan trọng đối với toàn bộ giá trị độ bám của lớp phun.

Khi các bề mặt không được làm sạch khỏi dầu mỡ, oxit và bám bẩn khác, hoặc có độ nhấp nhô khác nhau thì sự liên kết hoá học hoặc cơ học của các phần tử phun cũng khác nhau. Trong những điều kiện thích hợp và hình thái không gian của bề mặt thích hợp, ở một vài kim loại có thể đạt được sự hàn ở từng điểm giữa kim loại nền và các phần tử phun.

Trong quá trình nghiên cứu độ bám của lớp phun với vật liệu nền, N. N. Rukalin đã chứng minh rằng ở từng vùng của bề mặt có thể chia làm ba giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1 tạo nên một mặt tiếp xúc, nghĩa là tạo nên sự dịch lại gần nhau của các nguyên tử kim loại đến một khoảng cách đủ để có tác dụng hóa học;

Giai đoạn 2 là tác dụng hoá học của các nguyên tử gần nhau dẫn đến sự hình thành mối liên kết hoá học bền vững;

Giai đoạn 3 là quá trình phục hồi (kết tinh lại, khuếch tán tạo pha mới v.v...) xảy ra tiếp theo, có thể làm tăng hoặc giảm độ bền của mối liên kết.

Hai giai đoạn đầu biểu thị sự biến đổi bề mặt; giai đoạn 3 – sự thay đổi tính chất bên trong. Để tạo được liên kết bền vững giữa lớp phun với vật liệu

nên thì phải thực hiện tốt hai giai đoạn đầu, còn sự khuếch tán không nhất thiết phải thực hiện ở giai đoạn 3 vì giai đoạn này thường là kết quả của sự gia công nóng ở nhiệt độ cao (hoặc ủ sau khi phun).

6.1.3. LỰC VANDERVAN

Khi một phân tử hay một nguyên tử va vào bề mặt kim loại thì giữa chúng có lực liên kết Vandervan. Lực này tạo bởi tác dụng tương hỗ giữa hai momen lưỡng cực của hai nguyên tử hay phân tử. Khi trọng tâm điện tích của điện tử, do bị thăng giáng, không trùng với tâm điện tích của hạt nhân thì lúc đó nguyên tử trở thành một momen lưỡng cực. Giá trị và hướng của momen thay đổi theo thời gian và giá trị trung bình theo thời gian bằng 0. Nếu một phân tử hay nguyên tử có momen lưỡng cực rơi vào trường của nguyên tử khác cũng có momen lưỡng cực thì giữa chúng có lực tác dụng. Theo Debai thì năng lượng trao đổi của chúng là:

$$E_w = - \frac{2}{3} \frac{\mu_{12} \mu_{22}}{r_0^6} \cdot \frac{1}{KT} \quad (6.8)$$

ở đây μ_{12}, μ_{22} – momen lưỡng cực;

r_0 - khoảng cách giữa hai nguyên tử;

T - nhiệt độ.

Nhưng khi nguyên tử hay phân tử tác dụng với bề mặt kim loại thì năng lượng trao đổi rất khó xác định bởi vì các nguyên tử kim loại nằm trong mạng liên kết với các nguyên tử khác.

Công thức tính năng lượng trao đổi ở trên ứng với mặt kim loại đồng nhất. Thực tế cho thấy lực liên kết của những nguyên tử nằm ở chỗ lõm cao hơn so với những nguyên tử nằm trên bề mặt, nghĩa là các nguyên tử ở vị trí càng sâu thì lực liên kết càng lớn. Các nguyên tử ở các đỉnh nhấp nhô có lực liên kết nhỏ nhất. Điều này có thể giải thích là các nguyên tử nằm ở chỗ lõm có thể liên kết với nhiều nguyên tử nằm trong mạng tinh thể hơn, do đó có lực liên kết lớn hơn. Đó là lý do tại sao độ gồ ghề bề mặt có tác dụng làm tăng độ bám dính của lớp phun với kim loại nền.

6.1.4. NHỮNG YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ BĂM

Do đặc điểm của quá trình phun kim loại, độ bám dính của lớp phun với nền chủ yếu là độ bám cơ học. Vì vậy nó chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố. Những yếu tố chính là: độ co rút của kim loại khi nguội, trạng thái bề mặt vật nền, cơ cấu hình thành lớp phun và các yếu tố khác.

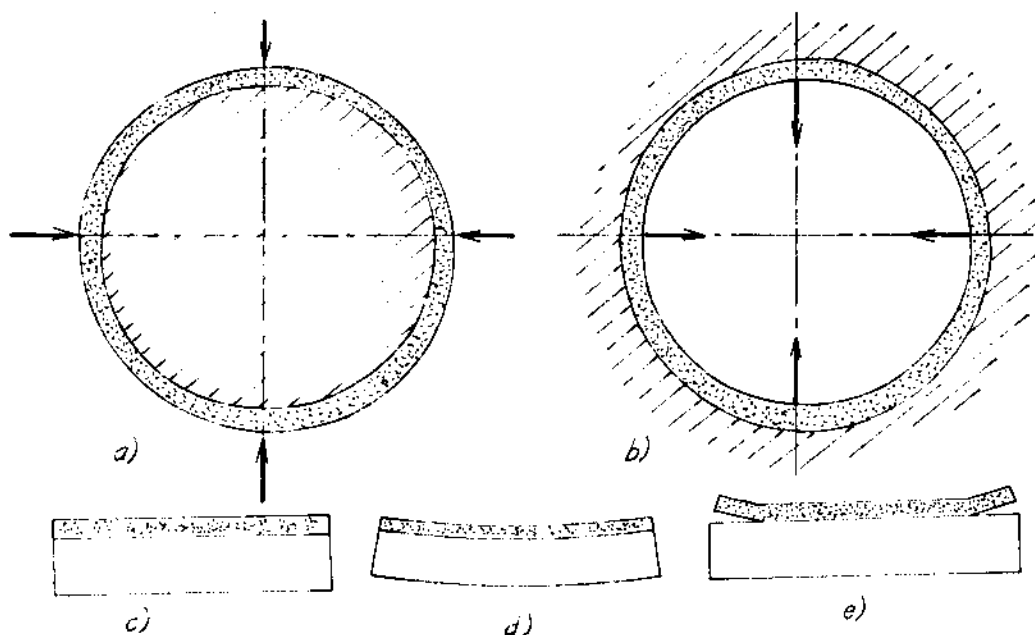
Lực co rút kim loại

Lực co rút kim loại có ảnh hưởng đáng kể đến độ bám dính của lớp phun với vật liệu nền. Những phần tử phun sau khi va chạm với mặt nền sẽ nguội dần và kèm theo là sự xuất hiện ứng suất do sự co rút của lớp phun. Ứng suất này có thể làm tăng hoặc giảm độ bám dính của lớp phun với vật liệu nền.

Đối với những chi tiết hình trụ (thí dụ các loại trục) lực sinh ra do sự co rút của lớp phun là nội lực nên rất yếu và không ảnh hưởng nhiều đến độ bám dính của lớp phun. Trường hợp phun với lớp dày và kim loại phun có độ co rút lớn (thí dụ thép 0,1% C) có thể dẫn tới hiện tượng nứt dọc trên lớp phun.

Nội lực sinh ra do sự co rút có ảnh hưởng xấu đến độ bám dính của lớp phun (hình 6.3b). Trong trường hợp này sự co rút tác dụng theo hướng tâm có thể gây ra sự tách rời lớp phun khỏi mặt nền. Để khắc phục hiện tượng này có thể áp dụng nhiều biện pháp như đốt nóng sơ bộ vật phun; làm nguội chậm lớp phun; phun với lớp mỏng 0,05 - 0,1 mm và ứng với mỗi lớp phải làm nguội chậm. Trong trường hợp phun mặt ngoài (hình 6.3a) ứng suất gây bởi nội lực không có ảnh hưởng xấu đối với độ bám của lớp phun.

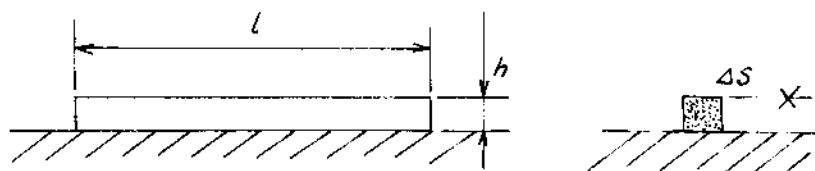
Khi phun trên bề mặt phẳng, ứng suất sinh ra do sự co rút của kim loại phun có thể dẫn đến sự biến dạng kim loại nền hoặc làm bong lớp phun (hình 6.3c, d, e).



Hình 6.3. Ứng suất trong lớp phun:

a- lớp phun trên mặt trụ; b- lớp phun ở mặt trong hình trụ;
c, d, e- lớp phun trên mặt phẳng.

Để minh chứng cho điều trình bày trên ta hãy xét một phần tử nhỏ của lớp phun AB, có chiều dài l , chiều cao h và tiết diện ΔS . Có thể coi đây là một thanh được gắn trên đường thẳng AB (hình 6.4).



Hình 6.4. Mô hình tính toán phần tử phun.

Giả thiết nhiệt độ của phần tử tại thời điểm va chạm là t_2 , nhiệt độ của môi trường xung quanh là t_3 . Ứng suất sinh ra trong lớp phun là:

$$\sigma = \alpha_t (t_2 - t_3) E, \text{ N/m}^2 \quad (6.9)$$

ở đây α_t - hệ số dẫn nở nhiệt của kim loại phun, $1/^\circ\text{C}$;

E - môđun đàn hồi của kim loại phun, N/m^2 .

Những biến dạng tiếp theo có thể bỏ qua vì lớp phun có chiều dày nhỏ so với mặt nền. Do đó sự co ngắn của lớp phun sẽ là:

$$\Delta l = \alpha_t l (t_2 - t_3). \quad (6.10)$$

Do có sự co ngắn của Δl nên trong lớp phun sẽ sinh ra ứng suất kéo:

$$\sigma = \frac{E \cdot \Delta l}{l}, \text{ N/m}^2 \quad (6.11)$$

và lực tách lớp phun (theo các mép) khỏi bề mặt chi tiết là:

$$P = \sigma \cdot \Delta S, \text{ N} \quad (6.12)$$

Thay các giá trị trên vào biểu thức (6.12) ta có:

$$P = \alpha_t (t_2 - t_3) \cdot E \cdot \Delta S, \text{ N} \quad (6.13)$$

Từ biểu thức (6.13) ta thấy, khi tăng nhiệt độ của các phần tử trước lúc va chạm thì ứng lực có xu hướng làm tách lớp phun ra khỏi vật nền sẽ tăng.

Trạng thái mặt nền

Hoạt tính của bề mặt là yếu tố có ảnh hưởng lớn đến độ bám dính của lớp phun với vật liệu cơ bản. Hoạt tính bề mặt được đánh giá bằng trạng thái vật lý và năng lượng của bề mặt.

Nguyên tử trong kim loại ở trường hợp lý tưởng được bố trí ở trong mạng và dao động xung quanh vị trí của nó. Nhưng nếu xét về vị trí, các nguyên tử trên bề mặt khác với các nguyên tử ở phía trong. Những nguyên tử ở trên bề mặt có năng lượng thoát lớn hơn so với những nguyên tử ở trong. Do sự không đồng đều về năng lượng nên xuất hiện ứng suất bề mặt ảnh hưởng đến sự phát sinh và tồn tại của ứng suất của các lớp xung quanh. Ngoài ra các nguyên tử bề mặt có những đặc điểm khác với các nguyên tử bên trong bởi chúng có mối liên kết với các nguyên tử và phân tử ngoại lai.

Những đặc điểm nêu trên cho thấy, năng lượng toàn phần của các phân tử bề mặt sẽ tham gia vào các phản ứng với các nguyên tử của môi trường gần kề với bề mặt (chẳng hạn lớp phủ). Nguyên nhân là trên bề mặt năng lượng cũng không đồng đều; những vùng có năng lượng thấp và cao khác nhau phát sinh sự chênh lệch về năng lượng với hoạt tính khác nhau. Vùng năng lượng cao có hoạt tính cao hơn và tự phản ứng với môi trường. Sau đó tùy theo loại môi trường và tính chất lý hoá của vật liệu nền có thể sinh ra sự hấp thụ, sự bám dính và các phản ứng hoá học khác.

Những vùng khác nhau về năng lượng không chỉ xuất hiện ở trong cấu trúc vĩ mô mà ngay cả trong các nguyên tử. Năng lượng của một số nguyên tử tụ tập trên bề mặt có thể là cao và trong những điều kiện nhất định sẽ rời khỏi bề mặt. Năng lượng cần thiết để tách một nguyên tử từ mạng của nó gọi là năng lượng thoát hay là năng lượng hoạt tính tách rời của nguyên tử.

Biến dạng dẻo của mạng có ảnh hưởng đến sự tăng hoạt tính, bởi vì trong phạm vi mở rộng biến dạng dẻo có thể tích lũy điện năng. Những vùng giàu năng lượng điện thường nằm ở những chỗ khuyết tật của mạng tinh thể.

Các khuyết tật trong mạng bao gồm: a- khuyết tật điểm (chỗ rỗng trong mạng, các nguyên tử bị thay thế); b- khuyết tật đường (lệch mạng đường, lệch mạng xoắn); c- khuyết tật mặt (biên giới mặt, biên giới hạt, biên giới song tinh); d- khuyết tật ba chiều (các lỗ ngoài hoặc trong bề mặt, khe hở tế vi, lỗ xốp).

Sự chuẩn bị bề mặt

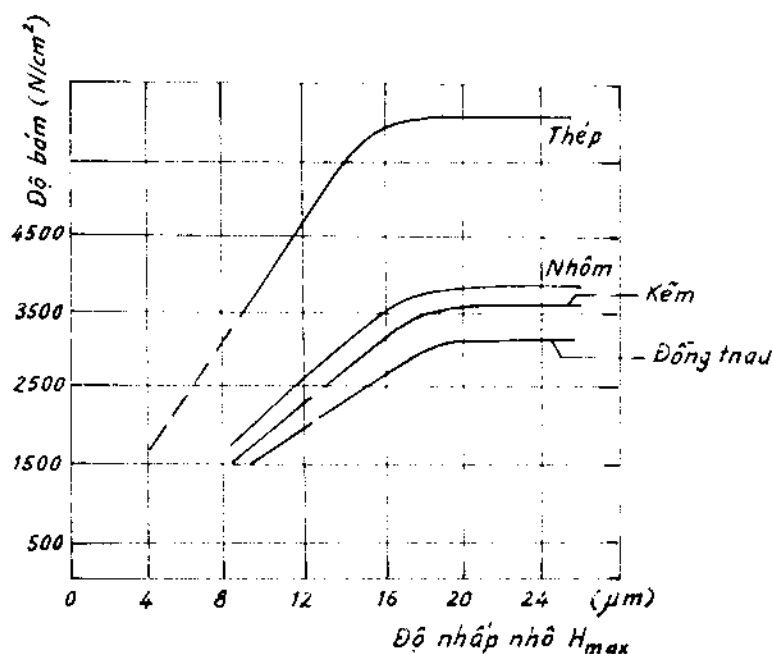
Chất lượng bề mặt là yếu tố quyết định độ bám dính của lớp phun với mặt nền. Công việc chuẩn bị bề mặt bao gồm làm sạch dầu mỡ và tạo nhấp nhô bề mặt. Có nhiều phương pháp chuẩn bị bề mặt (mục 4.1).

Sự chuẩn bị bề mặt bằng phương pháp ngâm có tác dụng nâng cao hoạt tính của bề mặt, trong đó sự thay đổi hình dạng hình học chỉ đóng vai trò thứ yếu. Khi ngâm, trên bề mặt chỉ tiết hình thành một lớp màng mỏng cho phép giữ được hoạt tính cao của bề mặt trong thời gian dài, tạo điều kiện cho các điện tử dễ thoát ra ngoài nhờ công thoát của chúng giảm.

Hoạt tính là bản chất lý hoá cho nên trong một số trường hợp có ảnh hưởng tới độ bám của lớp phun. Độ bám ở đây được tạo bởi tác dụng tương hỗ giữa các phân tử bằng lực liên kết Vandervan.

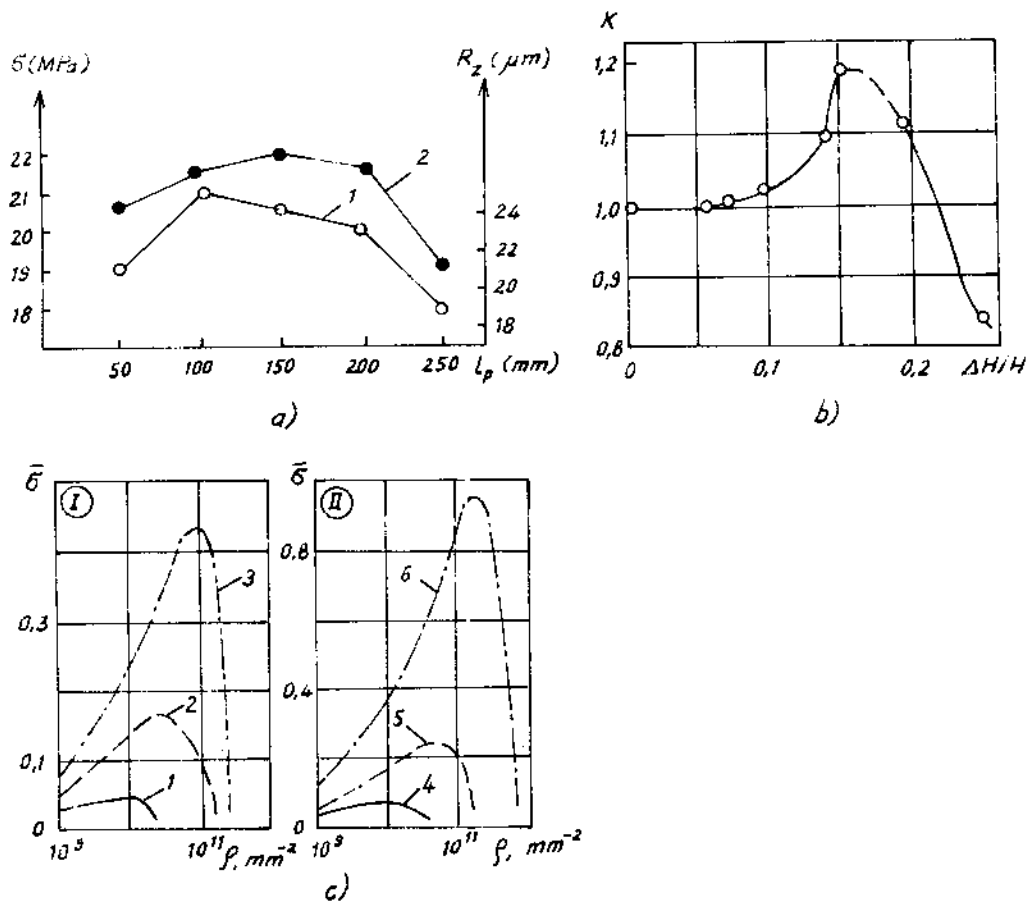
Phương pháp cơ học để chuẩn bị bề mặt như phun cát, phun bi, có tác dụng nâng cao năng lượng điện trên bề mặt và cả ở những lớp dưới bề mặt. Hoạt tính bề mặt được chuẩn bị bằng phương pháp cơ học giảm dần theo thời gian bởi bề mặt chịu tác dụng trực tiếp của môi trường xung quanh làm giảm năng lượng tự do của các phân tử bề mặt.

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ bám dính của lớp phun với vật liệu nền tăng cùng với sự tăng của độ nhấp nhô bề mặt nhưng cũng chỉ đến một phạm vi giới hạn nhất định (hình 6.5).



Hình 6.5. Quan hệ giữa độ bám và độ nhấp nhô bề mặt.

Nhiều tác giả cho rằng sự tạo nhám bề mặt bằng phương pháp cơ học cho phép nâng cao hoạt tính bề mặt, tạo độ nhấp nhô R_z , tạo biến dạng dẻo $\Delta\epsilon$, độ biến cứng $\Delta H/H$ và mật độ lệch mạng $\rho - \rho_0$. Đồng thời độ nhấp nhô có ảnh hưởng trực tiếp và lớn nhất đối với độ bám của lớp phun (hình 6.6a), trong khi đó độ biến cứng và độ lệch mạng cũng có ảnh hưởng đáng kể (hình 6.6b, c).



Hình 6.6. a- ảnh hưởng của khoảng cách phun và độ nhấp nhô;
b- ảnh hưởng của độ biến cứng; c- ảnh hưởng của độ lệch mạng;
I - bột niken, nền thép; II - bột oxit nhôm, nền thép.

Bảng 6.1 giới thiệu độ bám của các lớp phun plasma từ các vật liệu phun khác nhau [11].

Bảng 6.1. Độ bám của các lớp phun plasma.

Lớp phun	Kim loại nền	Khoảng cách phun, mm	Độ xốp tương đối, %	Độ bám, kG/mm ²	a _K , kG.m/cm ²
Beri	Thép	25,4	89,6	2,11***	-
Oxit beri	Beri	31,8	-	0,22**	-
Cacbit titan	"	50,8	89	0,67**	> 1,66*
Cacbit tantan	"	76,2	91	0,64**	> 1,66*
Cacbit tantan	+	50,8	91	0,65**	> 1,66**
Cacbit titan	"	76,2	91	0,12**	> 1,66*
Cacbit ziriconi	"	76,2	80	-	-
Nitrit titan	"	76,2	-	-	-

* Tróc khỏi nền.; ** Phá hủy trong lớp phun; *** Phá hủy tại vùng chuyển tiếp.

6.1.5. PHƯƠNG PHÁP THỬ ĐỘ BẮM

Trong thực tế các lớp phun được phủ trên bề mặt các chi tiết và kết cấu với một hoặc hai loại vật liệu phun khác nhau. Lớp phun với một loại vật liệu phun được ứng dụng để phục hồi các kích thước thiếu hụt hoặc phục hồi các chi tiết mài mòn. Một số kết cấu cũng được phun bảo vệ với một lớp phun cùng một loại vật liệu.

Các chi tiết và kết cấu làm việc trong những điều kiện đặc biệt, như trong các môi trường ăn mòn, xâm thực, nhiệt độ cao v.v... được phun hai lớp với hai loại vật liệu phun khác nhau. Lớp phun thứ nhất được thực hiện trực tiếp trên bề mặt chi tiết phun, nhằm tăng cường độ bám chung của lớp phun và bảo vệ mặt nền, gọi là lớp lót. Lớp thứ hai được phun lên lớp lót để bảo vệ chi tiết khỏi tác dụng trực tiếp với môi trường công tác, gọi là lớp phủ. Vì vậy có hai nhóm phương pháp thử được áp dụng cho hai trường hợp phun khác nhau.

Các phương pháp thử nhất dùng để thử độ bám dính của lớp phun với vật liệu nền, bao gồm độ bám pháp tuyến và độ bám tiếp tuyến. Nhóm các phương pháp thử hai dùng để thử độ bám giữa lớp lót và lớp phủ - được gọi là độ bám liên kết.

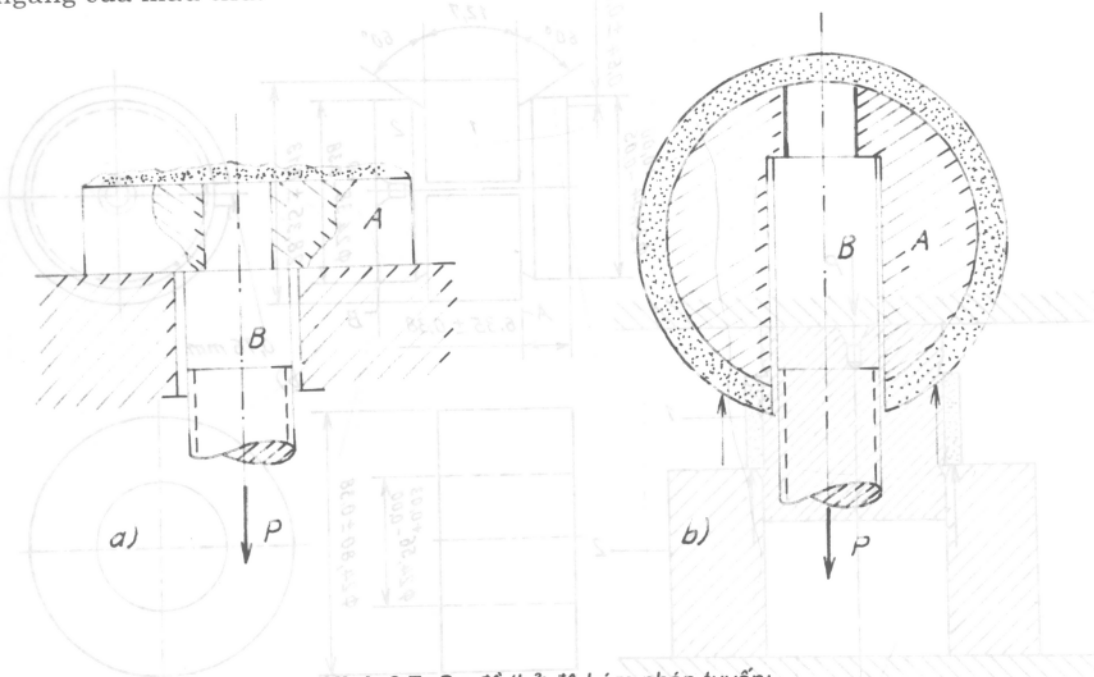
Độ bám pháp tuyến

Mẫu thử độ bám lớp phun trên mặt phẳng theo phương pháp tuyến (hình 6.7a) gồm nền A có khoan lỗ chính tâm trong đó lắp trục nhỏ B với chế độ lắp sát trượt. Hai chi tiết A và B được lắp với nhau sao cho các mặt được phun nằm

trên cùng một mặt phẳng. Sau khi chuẩn bị, bề mặt mẫu được phun một lớp với chiều dày 1 - 1,5 mm. Mẫu được gá và kéo theo chiều xuống dưới.

Tỉ số giữa lực kéo đứt và diện tích mặt thử đặc trưng cho độ bám của lớp phun với nền theo phương pháp tuyến.

Trong trường hợp cần thử độ bám lớp phun trên mặt trụ thì sử dụng phương pháp theo sơ đồ ở hình 6.7b. Trụ A được khoan một lỗ để lắp mẫu thử B. Các điều kiện lắp ráp và chuẩn bị mẫu giống khi thử trên mặt phẳng. Độ bám lớp phun được xác định bởi tỉ số giữa lực kéo đứt và diện tích tiết diện ngang của mẫu thử.



Hình 6.7. Sơ đồ thử độ bám pháp tuyến:
a- mẫu phẳng ; b- mẫu hình trụ.

Nhược điểm của phương pháp trên là ở chỗ, cho dù sự lắp ráp của mẫu thử và nền có độ chính xác cao thì giữa chúng vẫn hình thành một khoảng tự do của lớp phun, là nơi tập trung ứng suất, dẫn đến sự phá hủy lớp phun ở những giá trị thấp hơn của tải trọng. Vì vậy phương pháp xác định độ bám nói trên cho các giá trị thấp hơn so với thực tế.

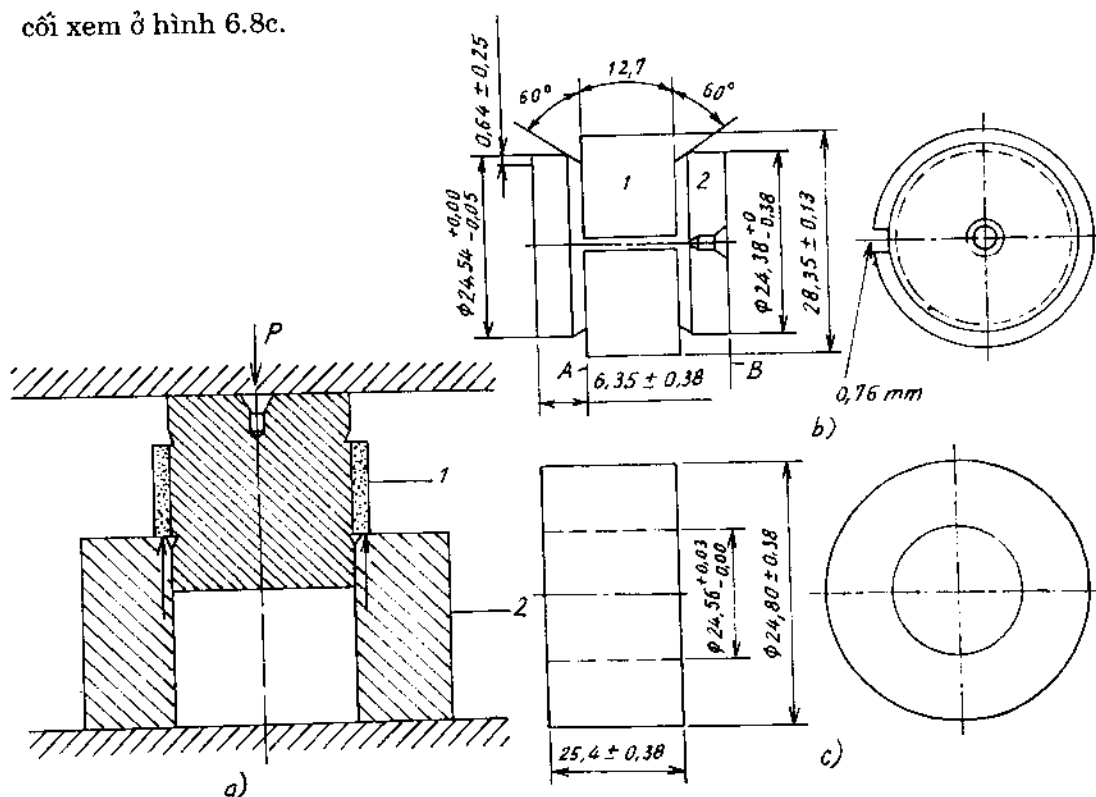
Độ bám tiếp tuyến

Sơ đồ nguyên lý thử độ bám tiếp tuyến được giới thiệu trên hình 6.8a, và kích thước mẫu thử - hình 6.8b.

Lớp phun được thực hiện trên phần giữa của mẫu hình trụ A. Sau khi tiện hai đầu lớp phun theo kích thước thí nghiệm (hình 6.8b) phần không phun của mẫu được lắp vào khuôn cối. Dưới tác dụng của lực nén lớp phun bị bong khỏi mặt nền. Độ bám tiếp tuyến được xác định bởi tỉ số giữa lực kéo đứt và diện tích vành khăn của mặt trong lớp phun.

Để loại trừ ứng suất nhiệt, trước khi thử độ bám, lớp phun được xẻ một rãnh song song với trục hình trụ với chiều sâu bằng chiều dày lớp phun.

Khuôn cối được làm từ thép chống gỉ, độ cứng 60 HRC. Kích thước khuôn cối xem ở hình 6.8c.



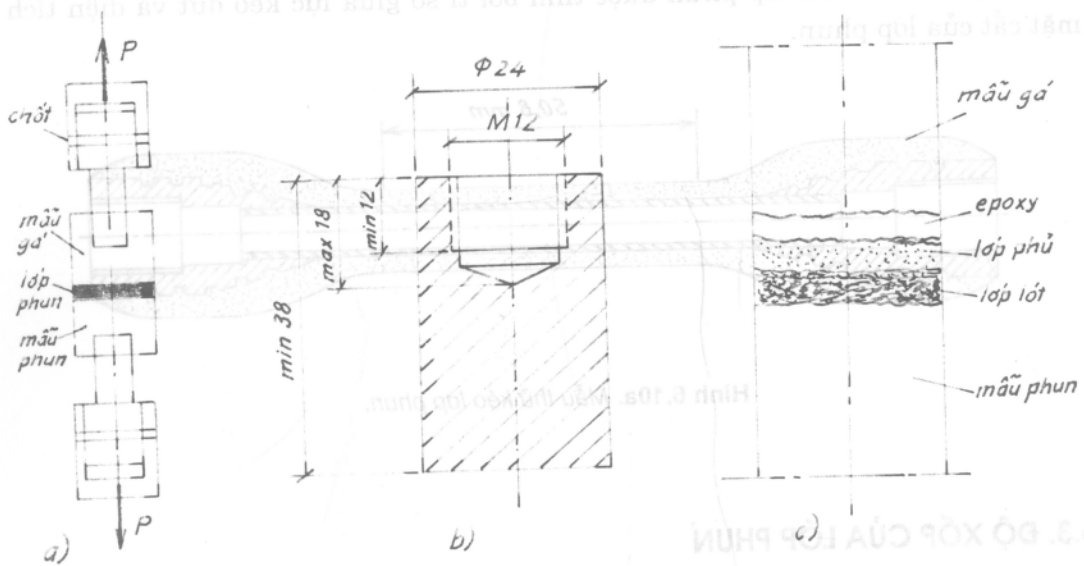
Hình 6.8. a - sơ đồ thử độ bám tiếp tuyến;
b- kích thước mẫu thử; c- kích thước khuôn cối.
1- lớp phun; 2- nền. Các mặt A và B phải song song với nhau
và vuông góc với trục tâm.

Độ bám liên kết giữa hai lớp

Trong các tài liệu tham khảo các phương pháp thử độ bám liên kết (độ bám giữa hai lớp phun với nhau – Cohesion Strength of Spray Coatings) chưa được giới thiệu. Tuy nhiên phương pháp này đã được giới thiệu khá đầy đủ trong "Phương pháp thử tiêu chuẩn độ bám liên kết của các lớp phun" [25].

Sơ đồ thử độ bám liên kết của hai lớp phun được giới thiệu trên hình 6.9a và kích thước mẫu thử ở hình 6.9b. Mỗi bộ mẫu thử gồm một mẫu nền trên đó phun lớp vật liệu thử và một mẫu gá với cùng kích thước và vật liệu. Cả hai mẫu đều hình trụ với đường kính 23 - 25 mm và chiều dài không nhỏ hơn 38 mm.

Vật liệu mẫu tốt nhất được chọn đúng với vật liệu của chi tiết hoặc kết cấu sử dụng. Trong trường hợp không có đúng vật liệu thì mẫu nền được chế tạo từ thép SAE 1018 hoặc 1020.



Hình 6.9. a- sơ đồ thử độ bám liên kết; b- kích thước mẫu thử; c- sơ đồ chuẩn bị mẫu sau khi phun.

Sau khi bề mặt mẫu nền được làm sạch và phun cát làm nhám, tiến hành phun lớp thử với chiều dày (lớp lót + lớp phủ) không dưới 0,38 mm. Nếu cần gia công cơ khí sau khi phun thì lượng dư gia công phải 0,13 mm. Sai số chênh lệch về chiều dày lớp phun không quá 0,025 mm.

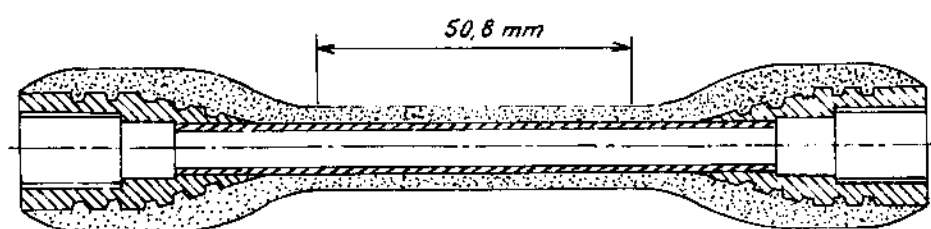
Mẫu nền sau khi gia công cơ khí được gắn đồng trục với mẫu gá bằng nhựa epoxy để thử kéo. Độ bám liên kết của hai lớp phun (lớp lót và lớp phủ) đặc trưng bởi tỉ số giữa lực kéo đứt và diện tích mặt phun.

Bằng phương pháp này có thể thử độ bám pháp tuyến của lớp phun với mặt nền. đương nhiên trong mọi trường hợp, nhựa epoxy phải có độ bám cao hơn độ bám lớp phun.

6.2. ĐỘ BỀN KÉO CỦA LỚP PHUN

Mẫu thí nghiệm độ bền kéo của lớp phun được giới thiệu trên hình 6.10a [8]. Mẫu được làm từ ống thép có đường kính trong 5,5 mm, chiều dài 127 mm và chiều dày 1 mm; ở hai đầu có chiều dày lớn với lỗ ren để gá khi thử. Mẫu được gá quay và phun lớp vật liệu thử với chiều dày 3,2 mm. Sau khi phun mẫu được gia công cơ khí tới kích thước yêu cầu. Phần giữa của mẫu được tiện sâu xuống 0,05 mm để khi thử kéo mẫu bị phá hủy ở đoạn này.

Độ bền kéo của lớp phun được tính bởi tỉ số giữa lực kéo đứt và diện tích mặt cắt của lớp phun.



Hình 6.10a. Mẫu thử kéo lớp phun.

6.3. ĐỘ XỐP CỦA LỚP PHUN

Các lớp phun bằng mọi vật liệu từ bột, dây hoặc thanh đều xốp. Sự xuất hiện xốp trong lớp phun có thể mang lại hiệu quả tốt và nâng cao độ bền mòn cho lớp phun nếu chi tiết phun làm việc trong điều kiện được bôi trơn. Tuy nhiên, khi các lớp phun được sử dụng để chống gỉ hoặc trong các trường hợp tương tự thì các khí xâm thực hoặc các chất lỏng có thể thấm qua các lỗ xốp tới bề mặt kim loại nền và làm giảm khả năng làm việc của chi tiết.

Độ chặt của lớp phun ρ luôn nhỏ hơn độ chặt của vật liệu phun và có thể tính từ biểu thức sau đây:

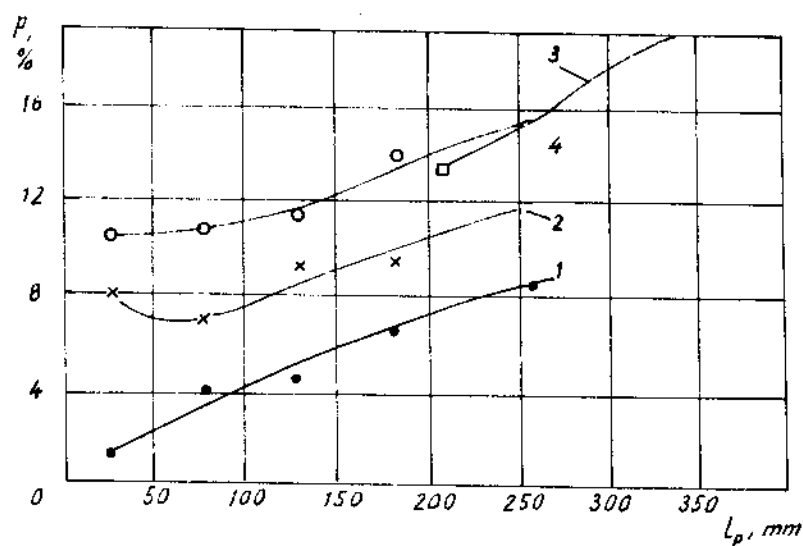
$$p = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho} \right) \cdot 100 \quad (6.14)$$

ở đây ρ_o - độ chặt lý thuyết của lớp phun; p - độ xốp tương đối, %.

Đôi khi dưới khái niệm "xốp" người ta hiểu đó là tỉ số giữa độ chặt của lớp phun và độ chặt của vật liệu phun.

Bảng 6.2 cho độ chặt của các lớp phun từ các kim loại và hợp kim khác nhau nhận được bằng trung bình cộng của rất nhiều số liệu thí nghiệm đã tiến hành [8]. Các lớp phun được thực hiện bằng phương pháp phun dây ngọn lửa khí. Độ chặt của lớp phun phụ thuộc nhiều vào các điều kiện phun.

Trên hình 6.10b giới thiệu ảnh hưởng của khoảng cách phun đối với độ xốp của các lớp phun kềm bằng ngọn lửa khí [8]. Độ xốp tăng theo khoảng cách phun và khi phun các vật liệu khác nhau. Khi tăng khoảng cách phun không những chỉ xảy ra sự giảm nhiệt độ của các phần tử ở thời điểm va chạm với nền mà còn sự giảm tốc độ của chúng, kết quả độ xốp của lớp phun thay đổi. Ở những khoảng cách phun không lớn, tương ứng với sự tạo thành lớp phun chặt, độ xốp nhỏ, có thể xảy ra sự quá nhiệt và biến dạng của nền. Ngoài ra, khi phun ở khoảng cách nhỏ có thể khó nhận được lớp phun có bề mặt bằng phẳng.



Hình 6.10b. Sự phụ thuộc của độ xốp p đối với khoảng cách phun L_p .

Phun kềm bằng ngọn lửa khí:

1- phun dây, khí than đá ; 2- phun dây, khí axetylen;

3- phun bột; 4- phun hợp kim tự chảy.

Khi phun vật liệu bột độ chặt của lớp phun tăng khi giảm năng suất cấp bột và giảm tốc độ di chuyển của mỏ đốt.

Trong bảng 6.3 giới thiệu độ chặt và độ xốp của các lớp phun gốm nhận được bằng phun thanh ngọn lửa khí [1].

Bảng 6.2. Độ chặt của các lớp phun từ các kim loại và hợp kim

Vật liệu	ρ , g/cm ³	Vật liệu	ρ , g/cm ³
Nhôm	2,35	Molipđen	9,05
Silumin (12,5% Si)	2,32	Niken	7,58
Hợp kim Al + 5% Mg	2,32	Nicrom	7,28
Latun (60 - 40)	7,38	Đồng photpho	7,45
Đồng vàng (6% Sn)	7,65	Bạc	9,00
Hợp kim Al + Cd	2,37	Thép cacbon	6,77
Đồng	7,56	Thép hợp kim thấp (1% Cr)	6,84
Thiếc	10,00	Thép chống gỉ 304	6,98
Magie	1,52	Chì	6,83
		Kẽm	5,35

**Bảng 6.3. Độ chặt và độ xốp của các lớp phun gồm
khí phun thành bằng ngọn lửa khí**

Vật liệu phun	Thành phần, %	ρ , g/cm ³	p, %
Oxit nhôm	Al ₂ O ₃ - 98,6	3,3	8
Điôxit ziriconi	ZrO ₂ + HfO ₂ + CaO	5,2	8
Ziriconi	ZrO ₂ -65 + SiO ₂ -34	3,8	8
Oxit crom	Cr ₂ O ₃ -85	4,6	4
Oxit magie	MgO-98 + Al ₂ O ₃	3,3	6

Khi phun nổ cacbit vonfram với 15% coban, cacbit crom với 15% nicrom và nhôm, các lớp phun nhận được có độ xốp rất thấp (0,5 - 1%) [2]. Phương pháp phun cảm ứng tần số cao ở các điều kiện bình thường cho phép nhận được các lớp phun từ thép cacbon (0,45 - 0,65% C) với độ chặt trên 6,8 g/cm³.

Các lớp phun từ oxit nhôm và điôxit ziriconi phun bằng plasma thông thường có độ xốp 10 - 15%. Các lớp phun với độ xốp thấp hơn có thể nhận được khi phun các vật liệu đặc biệt và chế độ phun công suất lớn hơn.

Các lớp phun plasma từ hợp kim tự chảy nền niken có thể có độ xốp nhỏ hơn 2%. Trong bảng 6.5 giới thiệu độ chặt tương đối của các lớp phun plasma. Khi phun plasma, năng suất cấp bột có ảnh hưởng đáng kể đến độ xốp của lớp phun (hình 4.15).

Độ chặt tương đối cũng chịu ảnh hưởng của kích thước hạt phun và gia công nhiệt sau khi phun. Khi kích thước hạt tăng độ chặt tương đối của lớp phun giảm. Để nâng cao độ chặt tương đối và cải thiện các tính chất cơ học của lớp phun có thể tiến hành thiêu kết lớp phun trong lò với môi trường khí hydro. Trong bảng 6.4 giới thiệu sự thay đổi của độ chặt lớp phun thuộc vào nhiệt độ gia công nhiệt, và trong bảng 6.5 – sự thay đổi của độ chặt và các tính chất cơ học của lớp phun sau khi thiêu kết.

Bảng 6.4. Ảnh hưởng của gia công nhiệt đối với độ chặt tương đối của lớp phun bột vonfram

Kích thước hạt, μm	Độ chặt sau khi phun, %	Nhiệt độ gia công nhiệt, °C				
		1700	1800	2000	2200	2400
8	82,8	84,5	92,6	95,0	94,9	-
44	82,5	-	89,5	89,8	90,6	92,6
44 - 63	81,4	82,5	87,0	86,3	87,9	89,4

Bảng 6.5. Tính chất của lớp phun bột plasma trước và sau khi thiêu kết

Trạng thái lớp phun	Độ chặt tương đối, %	Đặc tính cấu trúc	HV, kG/mm ²	Tính rền
Sau khi phun	86	theo lớp	250	xấu
Sau khi thiêu kết	93	hạt	300	tốt

Phương pháp đo độ xốp

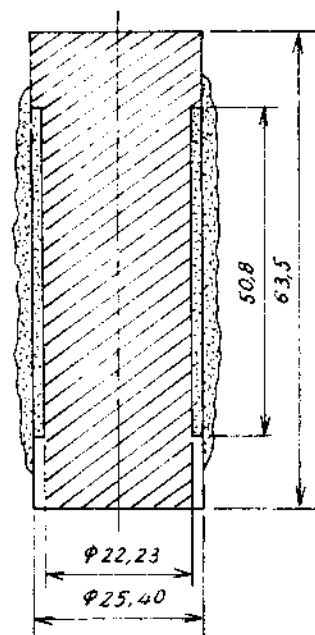
Độ xốp lớp phun có thể đo bằng phương pháp cân thủy tĩnh hoặc cân trực tiếp.

Theo phương pháp thứ nhất lớp phun được tách khỏi nền, sấy khô và phủ một lớp mỏng sáp, sau đó treo trên một sợi dây kim loại mảnh và cân trong không khí và nước tinh khiết. Độ xốp lớp phun p (%) được xác định theo công thức:

$$p = 1 - \left(\frac{\frac{W_z}{\rho_z}}{W - W' - \frac{W_c}{\rho_c} \rho_w - \frac{W_v}{\rho_v} \rho_w} \right) \cdot 100 \quad (6.15)$$

ở đây ρ_z - độ chặt của vật liệu phun; ρ_w - độ chặt của nước chất; ρ_c - độ chặt của dây treo mẫu; ρ_v - độ chặt của sấp; W_z - khối lượng của mẫu trong không khí; W_c - khối lượng của phần dây kim loại trong nước; W_v - khối lượng của sấp bám trên mẫu phun; W - khối lượng tổng của mẫu, dây kim loại và sấp trong không khí; W' - khối lượng mẫu phủ sấp và treo trên dây ở trong nước.

Để đo độ xốp bằng cân trực tiếp có thể chuẩn bị mẫu đo theo sơ đồ ở hình 6.10c. Mẫu được tiện rãnh để phun. Sau khi phun lớp phun được mài chính xác tới kích thước lớn của mẫu hình trụ. Biết các kích thước của nên có thể xác định được thể tích lớp phun. Sau khi mài, mẫu được cân để xác định khối lượng lớp phun. Biết khối lượng và thể tích lớp phun có thể tính độ xốp của nó, nếu biết được độ chặt của vật liệu phun [20].



Hình 6.10c. Mẫu để xác định độ xốp theo phương pháp cân trực tiếp.

6.4. ĐỘ CỨNG CỦA LỚP PHUN

Khi phun các vật liệu khác nhau có thể nhận được các lớp phun có độ cứng khác nhau. Độ cứng lớp phun phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trước hết là phương pháp phun và khi phun cùng một phương pháp - các điều kiện phun (chế độ công tác của đầu phun, khoảng cách phun, các tính chất nhiệt lý của vật liệu nền và nhiệt độ của nó khi phun, các tính chất của vật liệu phun, tốc độ cấp vật liệu phun, tốc độ di chuyển của đầu phun hay nền v.v...). Điều này được giải thích bởi những ảnh hưởng lớn của phương pháp phun và các điều kiện phun đối với các tính chất của lớp phun, như cấu trúc, số lượng và kích thước rỗ, các chất tạp, các liên kết khác v.v...

Các phương pháp sử dụng để đo độ cứng lớp phun cho các kết quả khác nhau bởi các đại lượng đo chịu ảnh hưởng của trạng thái xốp của lớp phun. Khi đo độ cứng tế vi theo Vicker có thể xác định được độ cứng từng hạt riêng lẻ trong lớp phun. Chẳng hạn độ cứng tế vi của hạt chứa trong thành phần lớp phun từ thép cacbon cao là 67 HRC, trong khi đó độ cứng trung bình của lớp phủ này là 38 – 40 HRC.

Thông thường độ cứng các hạt tạo thành lớp phun cao hơn độ cứng vật liệu phun, vì vậy lớp phun có độ chịu mòn tốt. Bảng 6.6 giới thiệu độ cứng tế vi của vật liệu trước và sau khi phun [11]. Độ cứng trung bình của các lớp phun từ kim loại và hợp kim được sử dụng rộng rãi nhất xem ở bảng 6.7.

Bảng 6.6. Độ cứng tế vi của các lớp phun ngọn lửa khí (theo Knup, tải trọng 50 G)

Vật liệu	Dây trước khi phun	Lớp phun
Nhôm đồng thau	229	408
Molipđen	404	1535
Monen	338	326
Thép 1010	307	445
Thép 1025	370	504
Thép 1080	398	664
Thép chống gỉ 304	360	381
Thép chống gỉ 432	372	757

Bảng 6.7. Độ cứng của các lớp phun khác nhau (Phun dây ngọn lửa khí)

Vật liệu lớp phun	Độ cứng Rockwell	
	Thang	Chỉ số độ cứng
Nhôm	H	72
Silumin (5% Si)	B	64
Nhôm đồng thau	B	92
Đồng thau	B	64
Thép cacbon thấp	B	90
Thép cacbon	B	95
Thép cacbon cao	C	39
Thép chống gỉ 420	C	35
Thép chống gỉ 304	B	84
Kẽm	H	46

Độ cứng của các lớp phun plasma từ các vật liệu phun khác nhau được giới thiệu trong bảng 6.8. Trong bảng 6.9 cho độ cứng của các lớp phun nổ.

Sự thay đổi độ cứng và hàm lượng cacbon trong các lớp phun ngọn lửa khí và hồ quang điện phụ thuộc vào hàm lượng cacbon trong dây phun (hình 6.11a). Các lớp phun ngọn lửa khí có độ cứng cao hơn so với phun hồ quang, bởi vì khi phun hồ quang lượng cacbon trong vật liệu phun giảm đáng kể (xem mục 5.4).

Khi phun cảm ứng tần số cao các chế độ phun cũng ảnh hưởng lớn đến độ cứng lớp phun nhận được. Hình 6.11b chỉ sự thay đổi của độ cứng lớp phun từ thép cacbon (0,45% C) phụ thuộc khoảng cách phun; áp suất không khí nén khi phun 4 kG/cm². Độ cứng cao nhất nhận được ở khoảng cách phun 100 mm và bằng 400 HB. Hàm lượng các nguyên tố cacbon và mangan trong dây phun tương ứng là 0,45% và 0,65%, trong khi đó hàm lượng của chúng trong lớp phun tương ứng là 0,42 – 0,43% và 0,59 – 0,61%. Điều đó chứng tỏ thành phần hoá học của thép trong khi phun không thay đổi đáng kể.

Bảng 6.8. Độ cứng các lớp phun plasma

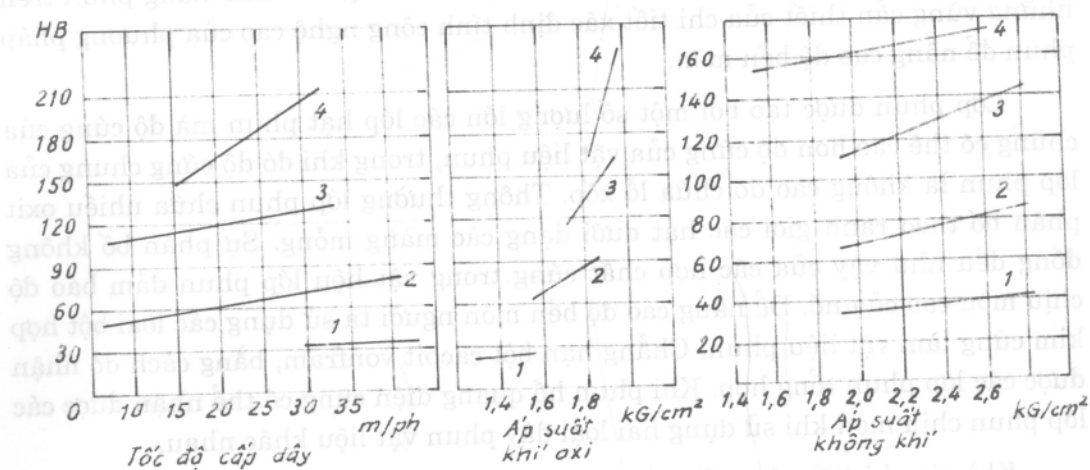
Vật liệu phun	Độ cứng Rockwell		Độ cứng tế vi theo Knap, kG/mm ² (tải trọng 50 G)	Độ xốp, %
	Thang	Chỉ số độ cứng		
Nhôm	H	50	58	8
Đồng	B	65	142	19
Tantan	A	65	1585	15
Molipđen	C	34	-	11
Vonfram	A	50	500 - 700	14,5
Điôxit ziriconi	B	96	-	9
Oxit nhôm	C	55	1636*	17

* Tải trọng 200 G.

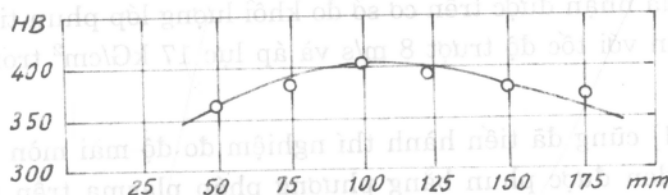
Bảng 6.9. Độ cứng các lớp phun nổ

Vật liệu phun	Thành phần	Độ cứng Vicker, kG/mm ² (tải trọng 300 G)
LW-1	WC + 9% Co	1300
LW-1 N°30	WC + 13% Co	1150
LW-1 N°40	WC + 15% Co	1050
LW-5	25% WC+15% Ni+W-Cr	1075
LC-1	85% Cr ₃ C ₂ + Ni-15% Cr	800
LC-1B	75% Cr ₃ C ₂ + Ni-25% Cr	700
LC-5	80% Cr ₂ O ₃ + 20% Al ₂ O ₃	925
LA-2	99% Al ₂ O ₃	1100
LA-7	60% Al ₂ O ₃ + 40% TiO ₂	950

Khi phun cảm ứng tần số cao với dây thép cacbon (0,45% C), độ cứng lớp phun tăng theo áp suất không khí nén. Ở áp suất không khí nén 2 kG/cm² độ cứng lớp phun chỉ đạt 300 HB; khi áp suất 5 kG/cm² độ cứng lớp phun lên tới 420 HB. Độ cứng lớp phun cũng tăng cùng với sự tăng của hàm lượng cacbon trong dây phun.



Hình 6.11a. Độ cứng Vicker (tải trọng 1,0 kG) của các lớp phun dây ngọn lửa khí (1) và phun hồ quang (2).



Hình 6.11b. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp phun cảm ứng tần số cao đối với khoảng cách phun.

6.5. TÍNH CHỐNG MÒN VÀ ĐẶC TÍNH MA SÁT CỦA LỚP PHUN

Độ bền mòn cao của các lớp phun có ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật. Việc sử dụng các lớp phun cho phép sản xuất các chi tiết máy và kết cấu quan trọng từ các thép xây dựng bình thường bằng cách phun trên bề mặt công tác của chúng những vật liệu chịu mòn đặc biệt. Sự đốt nóng không lớn và sự biến dạng nhỏ của vật liệu nền trong quá trình phun, cũng như khả năng phun trên những vùng cần thiết của chi tiết xác định tính công nghệ cao của phương pháp phun để nâng cao độ bền mòn.

Lớp phun được tạo bởi một số lượng lớn các hạt phun mà độ cứng của chúng có thể cao hơn độ cứng của vật liệu phun, trong khi đó độ cứng chung của lớp phun là không cao do chứa lỗ xốp. Thông thường lớp phun chứa nhiều oxit phân bố theo ranh giới các hạt dưới dạng các màng mỏng. Sự phân bố không đồng đều như vậy của các hợp chất cứng trong vật liệu lớp phun đảm bảo độ chịu mòn cao của nó. Để nâng cao độ bền mòn người ta sử dụng các loại bột hợp kim cứng làm vật liệu phun. Chẳng hạn bột cacbit vonfram, bằng cách đó nhận được các lớp phun tổng hợp. Khi phun hồ quang điện cũng có thể nhận được các lớp phun chịu mòn khi sử dụng hai loại dây phun vật liệu khác nhau.

Khi các chi tiết phun làm việc trong các điều kiện bôi trơn, các lỗ rỗ của lớp phun chứa đầy mỡ và đóng vai trò các rãnh bôi trơn.

6.5.1. TÍNH CHỐNG MÒN CỦA LỚP PHUN

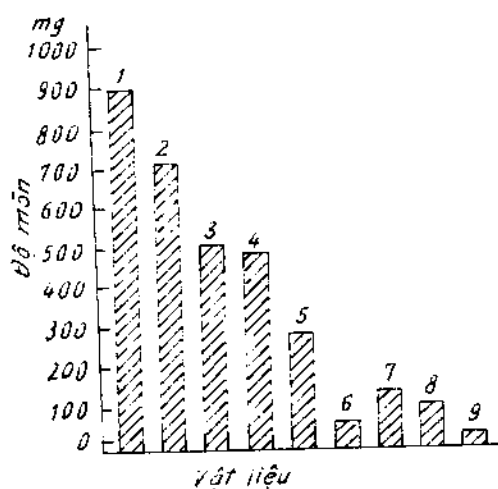
Khi phun các lớp chống mòn người ta sử dụng các vật liệu khác nhau, các thép cacbon và thép mactenxit chống gỉ, molipđen, hợp kim tự chảy với các loại vật liệu bột cứng, các loại vật liệu gốm (oxit nhôm, oxit crom) v.v... Tùy thuộc vào các tính chất của vật liệu nền và các điều kiện công tác của các bề mặt làm việc của chi tiết có thể tạo các lớp phun từ đồng photpho và các vật liệu khác.

Tính chống mòn của các vật liệu phun khác nhau được giới thiệu trên hình 6.12. Các kết quả nhận được trên cơ sở đo khối lượng lớp phun tiêu hao khi thí nghiệm mài mòn với tốc độ trượt 8 m/s và áp lực 17 kG/cm² trong thời gian 1 phút [11].

Tác giả [11] cũng đã tiến hành thí nghiệm đo độ mài mòn tương đối của lớp phun molipđen được phun bằng phương pháp plasma trên máy thử mòn nhanh kiểu SL-04. Thép dụng cụ với độ cứng HRC 63 được dùng làm mẫu thí nghiệm so sánh. Các kết quả thí nghiệm cho thấy, độ bền mòn của lớp phun molipđen trong phạm vi tốc độ trượt thấp cao hơn nhiều so với thép dụng cụ (hình 6.13).

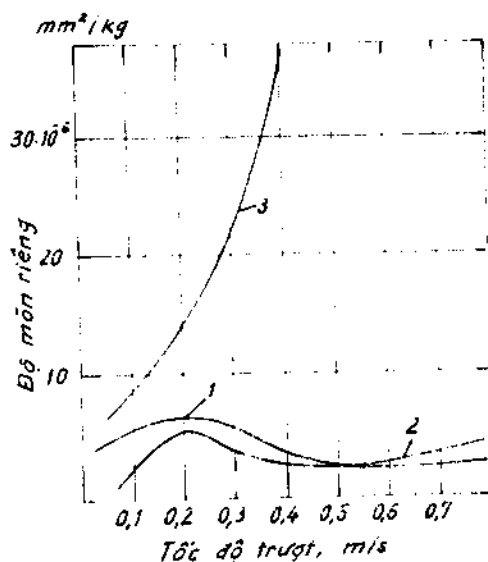
Gia công nhiệt lớp phun molipđen (ủ trong argon ở nhiệt độ 800°C trong thời gian 1 giờ) làm giảm đáng kể tính chống mòn của nó mặc dầu độ chặt tăng và độ xốp giảm (hình 6.13). Độ mòn của lớp phun molipđen gia công nhiệt tăng là do độ cứng của nó giảm xuống 170 kG/mm² (đơn vị Knup).

Khi làm việc trong các điều kiện ma sát có mỡ bôi trơn, molipđen có ái lực hoá học với lưu huỳnh, liên kết với lưu huỳnh tách ra từ mỡ tạo thành disunfit molipđen MoS₂ có đặc tính bôi trơn tốt. Ngoài ra mỡ lấp đầy các lỗ xốp trong lớp phun. Vì vậy lớp phun molipđen trên bề mặt làm việc của chi tiết có thể nâng cao khả năng làm việc của nó dưới tác dụng của tải trọng lớn.



Hình 6.12. Độ bền mòn của các hợp kim khác nhau:

1- thép cacbon thấp; 2- thép chống gỉ molipđen 18-8; 3- thép crom molipđen; 4- stelit № 66; 5- stelit № 33; 6- stelit № 11; 7- Konmonoi № 4; 8- Konmonoi № 5; Konmonoi № 6.



Hình 6.13. Ảnh hưởng của gia công nhiệt đối với độ bền mòn của các lớp phun plasma:

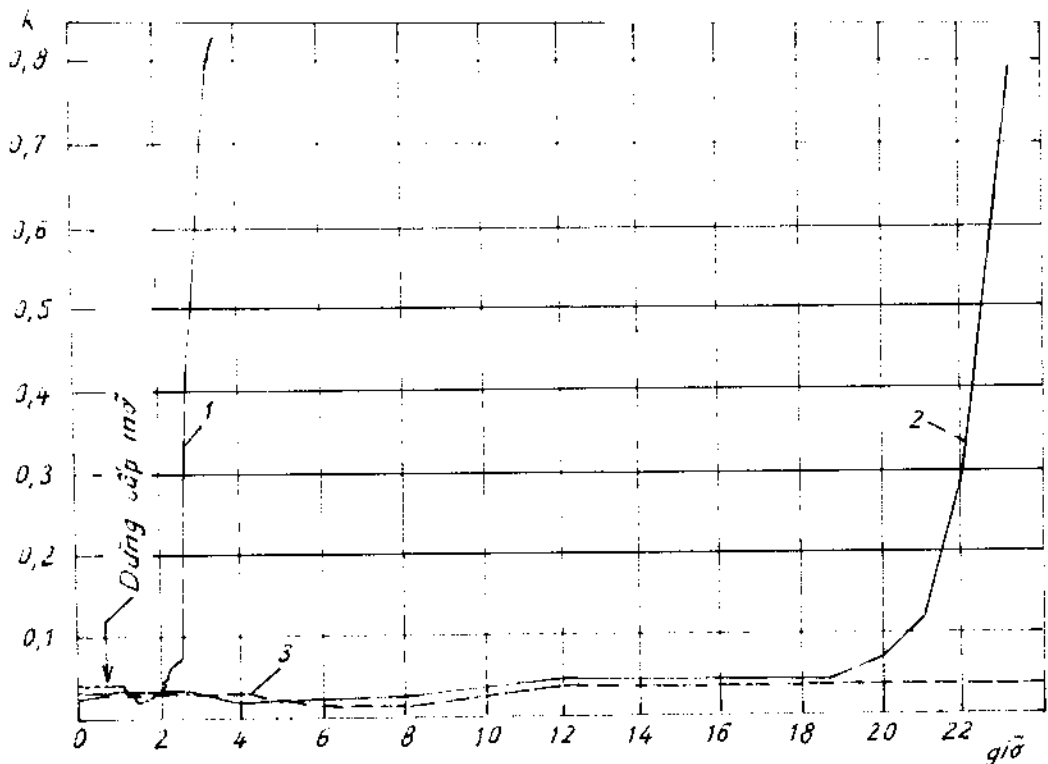
1- thép dụng cụ SKS-2; 2- lớp phun molipđen không gia công nhiệt; 3- lớp phun molipđen gia công nhiệt.

A. Khaxui [11] cũng đã tiến hành thí nghiệm mài mòn trong điều kiện ma sát khô trên các mẫu phun từ hợp kim niken chứa 50% cacbit vonfram. Các thí nghiệm được tiến hành cả trên các lớp phun không và có gia công nhiệt (làm nóng chảy lại ở 1000°C) sau khi phun. Các lớp phun nhận được khi phun ở dòng 600 A có độ bền mòn cao hơn so với khi phun ở dòng 400 A. Khi phun ở dòng cao hơn, cacbit vonfram dưới dạng hạt mịn phân bố đồng đều hơn trong vật liệu lớp phun. Các lớp phun được làm nóng chảy lại có độ bền mòn cao hơn, và cao hơn nhiều so với độ bền mòn của thép dụng cụ.

6.5.2. ĐẶC TÍNH MA SÁT

Các lớp phun thép

Trên hình 6.14 giới thiệu biểu đồ thay đổi các hệ số ma sát của trục thép tôi và trục thép được phun phủ một lớp thép làm việc trong điều kiện không bôi trơn trên các gối đỡ babit. Tốc độ trượt là 79,4 m/ph, áp lực 21,09 kG/cm² [11]. Sau khi ngừng cấp chất bôi trơn, trục thép tôi tiếp tục làm việc được khoảng 2 – 2,5 giờ thì màng mỡ bị phá hủy, dẫn đến sự tăng nhanh hệ số ma sát và xuất hiện sự kẹt ở gối đỡ. Trong khi đó trục phun tiếp tục làm việc ổn định cho tới 22,5 giờ, sau đó mới thấy hiện tượng kẹt ở gối đỡ và hệ số ma sát tăng dần. Khi dùng chất bôi trơn là mỡ graphit thậm chí khi trục phun làm việc được 190 giờ tính từ thời điểm ngừng cấp mỡ, vẫn chưa có hiện tượng kẹt trục. Trong bảng 6.10 giới thiệu các hệ số ma sát phụ thuộc áp lực của trục phun trong gối babit. Các thí nghiệm tiến hành ở tốc độ trượt 2,3 m/s.



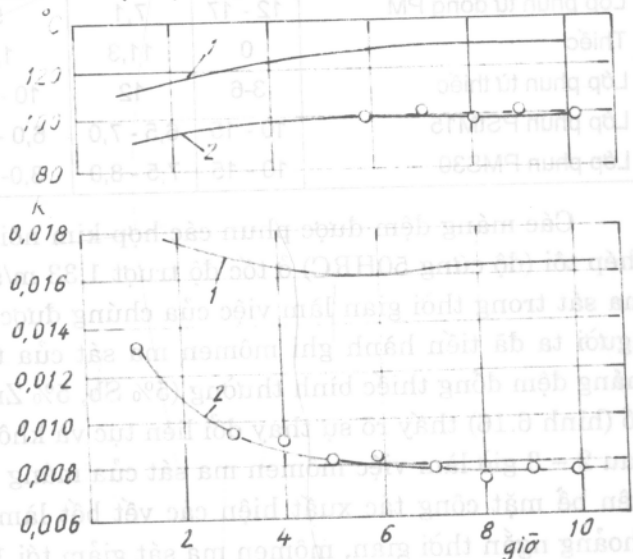
Hình 6.14. Sự thay đổi hệ số ma sát k trong gối đỡ babit với trục thép tôi và trục thép phun sau khi dừng cấp mỡ:

- 1- thép tôi + mỡ bôi trơn bình thường; 2- lớp phun thép + mỡ bôi trơn bình thường;
- 3- lớp phun thép + mỡ bôi trơn graphit.

Sự thay đổi hệ số ma sát và nhiệt độ trong thời gian làm việc của cặp đồng thiếc - lớp phun thép cacbon với 0,45% C (nhận được bằng phun cảm ứng tần số cao) được biểu diễn trên hình 6.15. Các mẫu thí nghiệm để so sánh được làm từ thép cùng loại nhưng không phun. Thí nghiệm được tiến hành với mỡ bôi trơn ở tốc độ trượt 7,14 m/s và áp lực 100 kG/cm². Sau thời gian thử 3 - 4 giờ hệ số ma sát của lớp phun là 0,0075 - 0,009, còn thép không phun - cao hơn hai lần; nhiệt độ lớp phun 100°C, trong khi đó nhiệt độ thép không phun lên tới 120°C.

Bảng 6.10. Hệ số ma sát của cặp thép phun - babit ở các tải trọng khác nhau

Tải trọng, kG/mm ²	Hệ số ma sát
0,25	0,0402
0,32	0,0067
0,46	0,0104
0,53	0,0125
0,70	0,0182
0,88	0,0176
1,05	0,0166
1,23	0,0159
1,41	0,0148



Hình 6.15. Sự thay đổi hệ số ma sát k và nhiệt độ của cặp đồng thiếc - lớp phun thép và nền thép không phun phụ thuộc thời gian thử nghiệm:
1- nền thép không phun; 2- lớp phun thép.

Các lớp phun đồng thiếc và đồng thép

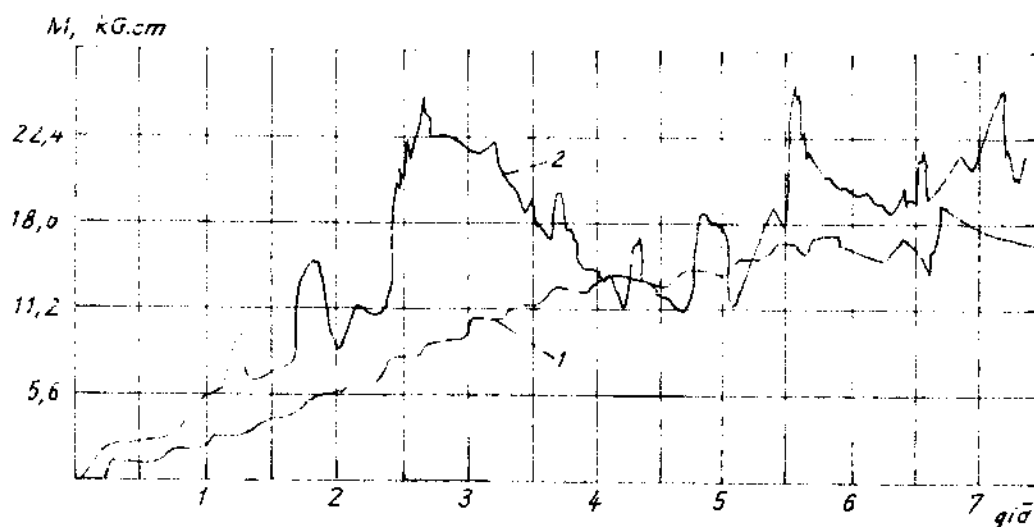
Khi phun hồ quang bằng các điện cực từ hai kim loại khác nhau hình thành lớp phun từ các hợp kim kết hợp. Để nhận được thành phần xác định của hợp kim kết hợp, khi phun phải ứng dụng các tốc độ cấp dây khác nhau.

Các hợp kim kết hợp có thể được nhận trên cơ sở các liên kết chì - thiếc, đồng - nhôm, đồng - thép v.v... Các thí nghiệm đo hệ số ma sát đã được tiến hành cho các lớp phun từ các hợp kim kết hợp PMS30 (70% Cu, 30% Pb) và PStM15 (15% đồng, 85% thép). Tính chất của các lớp phun và vật liệu nguyên thủy của chúng xem ở bảng 6.11.

Bảng 6.11. Tính chất của các lớp phun từ hợp kim PStM15 và PMS30, và các thành phần nguyên thủy của chúng

Vật liệu	p, %	ρ , g/cm ³	E.10 ³ , kG/mm ²	σ^B , kG/mm ²	HB, kG/mm ²	δ , %
Thép cacbon (0,1% C)	0	7,8	20	46	124	24
Lớp phun từ thép cacbon PSt	12 - 15	6,1	7	10 - 13	140 - 220	nhỏ
Đồng	0	8,9	10	22	45	30
Lớp phun từ đồng PM	12 - 17	7,1	5	3,6 - 7,0	40 - 60	1,0
Thiếc	0	11,3	1,6	2	3	50 - 60
Lớp phun từ thiếc	3-6	12	10 - 7,0	1	25 - 35	2-5
Lớp phun PStM15	10 - 15	6,5 - 7,0	6,0 - 6,5	10 - 12	120 - 150	1,0
Lớp phun PMS30	10 - 15	7,5 - 8,0	3,0 - 5,0	3,5 - 5,0	35 - 45	3,0

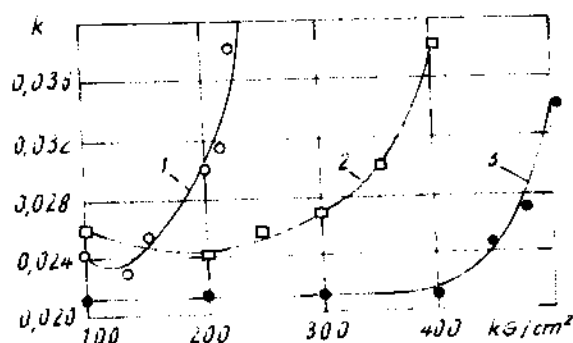
Các máng đệm được phun các hợp kim nói trên làm việc theo cặp với trục thép tôi (độ cứng 50HRC) ở tốc độ trượt 1,33 m/s bôi trơn bằng mỡ. Các mômen ma sát trong thời gian làm việc của chúng được ghi lại (hình 6.16). Để so sánh người ta đã tiến hành ghi mômen ma sát của trục thép tôi làm việc cùng với máng đệm đồng thiếc bình thường (5% Sb, 5% Zn, 4% Pb, còn lại đồng). Từ biểu đồ (hình 6.16) thấy rõ sự thay đổi liên tục và không đều hoà của mômen ma sát. Sau 2 - 3 giờ làm việc mômen ma sát của máng đệm đồng thiếc là 25 kG.cm và trên bề mặt công tác xuất hiện các vết nứt làm hỏng máng đệm. Sau đó một khoảng ngắn thời gian, mômen ma sát giảm tới 11,2 kG.cm, rồi lại tăng nhanh. Ở máng đệm với lớp phun PMS30 không có những thay đổi đột ngột như vậy



Hình 6.16. Sự thay đổi mômen ma sát M khi trục thép tôi quay trong máng đệm với lớp phun PMS30:
1- lớp phun PMS30; 2- đồng thiếc.

của mômen ma sát và mômen ma sát luôn có giá trị thấp hơn. Cuối thời gian thí nghiệm nhiệt độ máng đệm đồng thiếc là 90°C , và nhiệt độ máng đệm với lớp phun PMS30 là 45°C .

Trên hình 6.17 trình bày ảnh hưởng của tải trọng đối với hệ số ma sát trong máng đệm đồng thiếc và máng đệm với lớp phun hợp kim kết hợp. Thí nghiệm tiến hành trong điều kiện bôi trơn tốt và ở tốc độ trượt 3 m/s . Đối với máng đệm đồng thiếc, sự tăng tải trọng làm tăng nhanh hệ số ma sát, và thực tế giá trị tới hạn của tải trọng là khoảng 200 kG/cm^2 . Ở những giá trị tải trọng và thời gian công tác lớn hơn xuất hiện sự bết trên cặp trục – máng đệm. Đối với các máng đệm được phun các lớp hợp kim PStM15 và PM50, các tải trọng khi các hệ số ma sát bằng nhau là 350 và 400 kG/cm^2 , nghĩa là cao hơn giá trị tải trọng tới hạn của máng đồng thiếc 1,75 đến 2,5 lần.



Hình 6.17. Sự phụ thuộc của hệ số ma sát k đối với tải trọng trong máng đồng thiếc (1), máng phun hợp kim PStM15 (2) và máng phun hợp kim PMS30 (3).

6.6. TÍNH CHỊU NÓNG VÀ ĐẶC TÍNH CÁCH NHIỆT CỦA LỚP PHUN

Các lớp phun chịu nóng và cách nhiệt có cấu trúc khác nhau. Để nâng cao tính chịu nóng cần phun các lớp chặt, có độ dẫn nhiệt tốt để giải tỏa dòng nhiệt tác dụng lên bề mặt lớp phun. Môi trường bao bọc không được thấm qua các lớp phun như vậy. Ngược lại, để nhận được lớp phun cách nhiệt tốt cần phun các lớp xốp, có tính dẫn nhiệt thấp. Môi trường bao bọc có thể xuyên qua lớp phun tới mặt nền. Kết quả có thể xảy ra sự oxi hoá hoặc gỉ ở vùng chuyển tiếp giữa lớp phun và nền, và phá hủy sự liên kết của chúng, điều này cần được lưu ý khi phun. Trước khi phủ lên chi tiết lớp chịu nóng (bằng mạ hoặc phun) cần phủ một lớp lót từ các vật liệu cho phép nhận được các lớp phủ chặt và có tính chống gỉ tốt. Để nhận được các lớp phun bền nhiệt và cách nhiệt tốt cần ứng dụng các vật liệu khó chảy, ổn định ở các nhiệt độ cao. Đó là điều đặc biệt quan trọng khi phun các lớp chịu nóng.

Để công tác trong các điều kiện nhiệt độ biến động thường xuyên, cần ứng dụng các lớp phun xốp. Để cải thiện các đặc tính cách nhiệt có thể tăng chiều dày lớp phun. Tuy nhiên điều đó dẫn đến sự tăng ứng suất dư trong lớp phun. Vì vậy sự tăng chiều dày lớp phun có thể làm giảm độ bám dính của nó với nền. Ngoài ra, lớp phun dày có thể tách khỏi nền do tác dụng của biến dạng nhiệt xuất hiện khi nung nóng hai vật (lớp phun và nền) có hệ số nở nhiệt khác nhau.

Thông thường các lớp phun chịu nóng và cách nhiệt có chiều dày 0,1 – 1,0 mm.

6.6.1. TÍNH CHỊU NÓNG

Các thông số cơ bản xác định tính chịu nóng của lớp phun bao gồm nhiệt độ nóng chảy của vật liệu, độ chặt (hoặc độ xốp) và độ thấm khí. Thành phần và nhiệt độ của môi trường làm việc của lớp phun có thể rất khác nhau.

Để phun các lớp chịu nóng cần sử dụng các vật liệu hợp kim và gốm. Trong số những vật liệu chịu nóng trước hết cần kể đến các vật liệu khó chảy như vonfram và molipđen, các hợp kim nền niken và coban, các oxit như oxit nhôm và đioxit ziriconi v.v... Ngoài ra, để nhận được các lớp phun chịu nóng có thể ứng dụng các loại cacbit kim loại khác nhau và các liên kết của bo và silic. Các lớp phun chịu nóng từ các kim loại có độ bền cao đối với tác dụng của các tải trọng biến đổi nhiệt. Ở các lớp phun đó ít xảy ra hiện tượng tróc và chảy loang của kim loại phun. Tuy nhiên lớp phun dễ bị tác dụng oxi hoá của môi trường. Các lớp phun oxit khó chảy chịu được tác dụng của các dòng khí nhiệt độ cao. Sự nở nhiệt của các vật liệu đó thấp hơn các kim loại, vì vậy lớp phun có thể dễ tách khỏi vật liệu nền.

Để ngăn chặn sự xâm nhập của môi trường bao bọc vào lớp phun, các lớp phun chịu nóng làm việc ở nhiệt độ tương đối thấp được gia công bằng những vật liệu có độ chặt đặc biệt cao. Đối với những lớp phun làm việc ở nhiệt độ cao không có các vật liệu làm tăng độ chặt của chúng. Vì vậy, để đạt được mục đích này, người ta ứng dụng những biện pháp công nghệ đặc biệt.

Phun ngọn lửa khí

W. E. Billard [11] đã tiến hành thí nghiệm độ chịu nóng của các lớp phun từ các vật liệu khác nhau. Các mẫu thí nghiệm được phun bằng ngọn lửa khí, sau đó đốt nóng bằng mỏ đốt oxi – axetylen và đo thời gian mà tại đó xuất hiện lỗ thủng trên lớp phun. Các kết quả thí nghiệm xem ở bảng 6.12. Chiều dày lớp phun 0,3 – 0,4 mm. Các lớp phun bột cho kết quả tốt. Trong nhiều trường hợp, khi đốt nóng, lớp phun bị bong khỏi nền, giữa chúng hình thành khe hở không khí. Đây có thể là do sự xâm nhập của oxi từ không khí và oxi hoá mặt nền, và do cả sự khác nhau lớn trong các hệ số nở nhiệt của nền và lớp phun.

Bảng 6.12. Thời gian chịu cháy của các lớp phun chống cháy

Nền	Lớp phun	Thời gian, s
Thép cacbon	Không phun	11 - 13
	Phun bột oxit nhôm	27 - 80
	Phun bột oxit nhôm + thủy tinh	27 - 72
	Phun bột oxit nhôm + oxit crom	27 - 57
	Phun thanh oxit nhôm + oxit crom	26 - 62
Thép chống gỉ	Phun bột oxit nhôm	23 - 35
	Phun thanh oxit nhôm + oxit crom	51 - 87

Phun plasma

Để ngăn ngừa sự bong của lớp phun khỏi kim loại nền khi nung nóng và nâng cao khả năng chịu nóng của lớp phun gồm có thể sử dụng có hiệu quả lớp phun lót từ các vật liệu chống oxi hoá cho phép nhận các lớp phun chặt (ít xốp). Các mẫu thử tính chịu nóng của lớp phun được chế tạo từ thép tấm cacbon thấp [11]. Lớp phun trên mẫu thực hiện bằng phương pháp plasma. Vật liệu phun là đioxit ziriconi và hỗn hợp oxit nhôm và oxit titan. Các thí nghiệm mẫu phun được tiến hành trong tia plasma, nhiệt độ tại điểm đốt nóng 2200 – 2300°C. Các kết quả thí nghiệm cho thấy: trên nền không phun (mẫu để so sánh), lỗ xuất hiện sau 34 s. Đối với các mẫu phun oxit nhôm + oxit titan (2,5%) và các mẫu phun đioxit ziriconi, thời gian hình thành lỗ tương ứng là 115 và 210 s.

Đối với các mẫu được phun lót lớp dày 0,1 mm từ nicrom, sau đó phun phủ lớp hỗn hợp oxit nhôm + oxit titan và đioxit ziriconi, kết quả thí nghiệm cho thấy: trong trường hợp thứ nhất (lớp phun hỗn hợp oxit nhôm + oxit titan), để hình thành lỗ trong kim loại nền cần thời gian 140 s; trong trường hợp thứ hai, lớp phủ đioxit ziriconi sau thời gian 1200 s vẫn bảo vệ được nền, điều đó chứng tỏ tính chịu nóng tốt của nó.

Từ các kết quả thí nghiệm đã tiến hành có thể kết luận, ảnh hưởng của lớp phun lót là rất lớn; nhiệt độ nóng chảy của vật liệu phun cũng có ảnh hưởng lớn đối với tính chịu nóng của lớp phun. Lớp phun từ đioxit ziriconi (nhiệt độ nóng chảy 2700°C) có tính chịu nóng cao hơn lớp phun từ hỗn hợp oxit nhôm + oxit titan (nhiệt độ nóng chảy 2000°C). Sự phun lớp lót nicrom nâng cao đáng kể tính chịu biến động nhiệt của lớp phun.

Phun nhiều lớp

Nếu kết hợp phun các oxit với phun kim loại thì có thể nhận được các lớp phun chặt với tính chống oxi hoá cao.

Khi chọn vật liệu cho các động cơ tên lửa, người ta đã tiến hành thí nghiệm các mẫu với các lớp bảo vệ ở dòng khí tốc độ cao ở 2700°C. Các mẫu thí nghiệm được phun các lớp từ silicít crom, molipđen (giữ được nhiệt độ 2480°C), amiăng phủ silicon, và một số vật liệu khác. Sự phun được tiến hành bằng ngọn lửa khí. Lớp phun gồm sáu lớp molipđen (chiều dày trung bình mỗi lớp 0,05 mm) và năm lớp oxit nhôm (chiều dày trung bình mỗi lớp 0,18 mm). Các lớp phun xen kẽ với nhau. Chiều dày tổng của tất cả các lớp là 1,27 mm. Chiều dày nền từ thép chống gỉ 17-7 là 1,80 mm. Kết quả thí nghiệm cho thấy, lớp bề mặt molipđen bị xói lở ít; lớp thứ hai từ oxit nhôm hầu như không bị phá hủy; hiện tượng bong tróc lớp phun không xảy ra.

Phun hỗn hợp

Sự phun hỗn hợp là một trong những phương pháp nhận các lớp phun chặt, chứa ít rỗ và có tính chịu nóng cao.

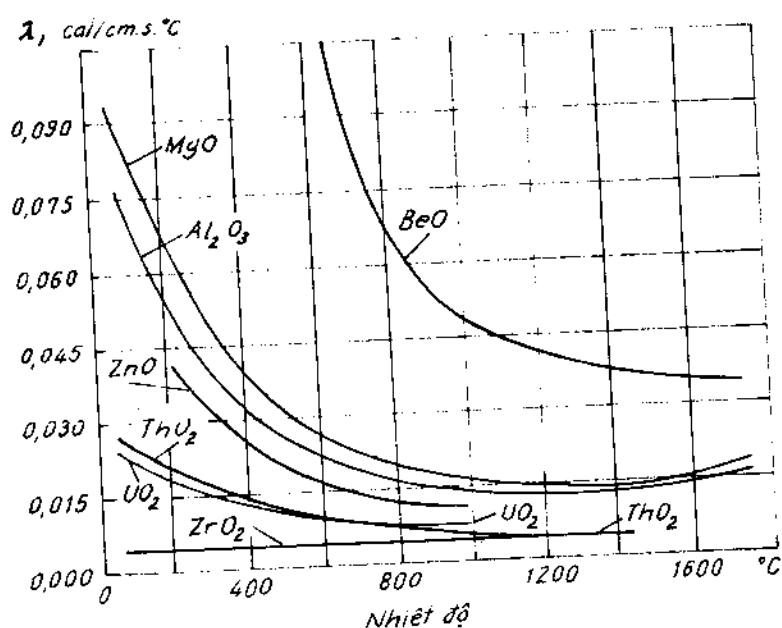
Độ chặt của lớp phun có được là nhờ chất lượng máy phun và quá trình công nghệ phun trong môi trường được kiểm soát, và cả sự ứng dụng phương pháp phun plasma, phun với sự cấp bột cùng với khí tạo plasma, phun ở áp suất thấp.

Có nhiều ví dụ về sự ứng dụng các vật liệu hỗn hợp (composite) để nhận được các lớp phun chặt. Trong lớp phun ngọn lửa khí từ oxit nhôm hoặc đioxit ziriconi chứa một lượng lớn lỗ xốp. Nếu trộn vào oxit nhôm hoặc đioxit ziriconi 20 - 40% bột thủy tinh và sản xuất các thanh phun rồi đem sử dụng chúng để phun ngọn lửa khí, thì có thể nhận được lớp phun có độ chặt cao (độ xốp 1 - 2%).

6.6.2. ĐẶC TÍNH CÁCH NHIỆT

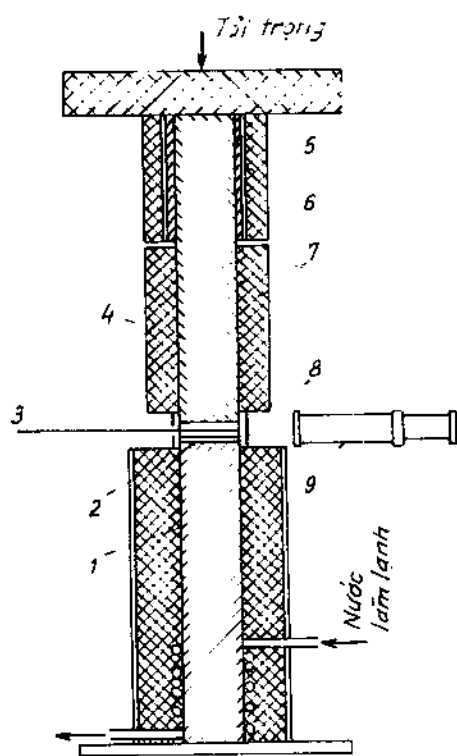
Các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến các tính chất của lớp phun là độ dẫn nhiệt của vật liệu phun; số lượng và độ lớn của lỗ xốp và oxit, dạng của chúng; chiều dày lớp phun và cấu trúc ở vùng chuyển tiếp. Khi độ xốp tăng các tính chất bảo vệ nhiệt được cải thiện. Tuy nhiên như đã nói ở trên, tính chịu nóng xấu đi. Khi tăng chiều dày lớp phun các tính chất bảo vệ nhiệt được cải thiện, song độ bám dính của nó với nền lại giảm. Sự kết hợp tối ưu của các tính chất đó được xác định bởi phạm vi sử dụng của lớp phun.

Các vật liệu để tạo các lớp phun bảo vệ nhiệt hiệu quả nhất là gốm và chất gốm kim loại. Trên hình 6.18 giới thiệu tính dẫn nhiệt của các vật liệu khi có cấu trúc kết tinh (đã chuyển đổi sang % độ xốp) ở nhiệt độ cao. Từ hình thấy rõ, sự khác nhau về độ dẫn nhiệt của các vật liệu gốm ở nhiệt độ cao là không lớn. Vì vậy khi chọn các lớp phun gốm cách nhiệt không cần thiết phải lưu ý nhiều đến độ dẫn nhiệt của gốm. Điều quan trọng nhất là tính ổn định hoá học của chúng.



Hình 6.18. Độ dẫn nhiệt λ của các oxit (đã chuyển đổi sang % độ xốp).

Tính dẫn nhiệt của lớp phun và vùng chuyển tiếp giữa nó và nền được xác định bằng nhiều phương pháp. Một trong những phương pháp đó như sau [11]. Đầu lõi đồng nhôm 1 (hình 6.19) được phun một lớp vật liệu gốm 2. Giữa lõi thép 4 có cùng đường kính với lõi đồng nhôm người ta đặt para nhiệt 3. Đoạn cuối lõi đồng thiếc nhôm được quấn lò xo đốt nóng. Để đo nhiệt độ ở nhiều điểm khác nhau của lõi người ta gắn các para nhiệt 7. Độ dẫn nhiệt được xác định theo sự phân bố nhiệt độ. Kết quả đo nhiệt độ trên các đoạn khác nhau được biểu diễn trên hình 6.20. Lõi thép tôi được làm từ thép cacbon với hàm lượng cacbon 0,75%. Chiều dày lớp phun 4,3 mm.



Hình 6.19. Thiết bị đo độ dẫn nhiệt của lớp phun:

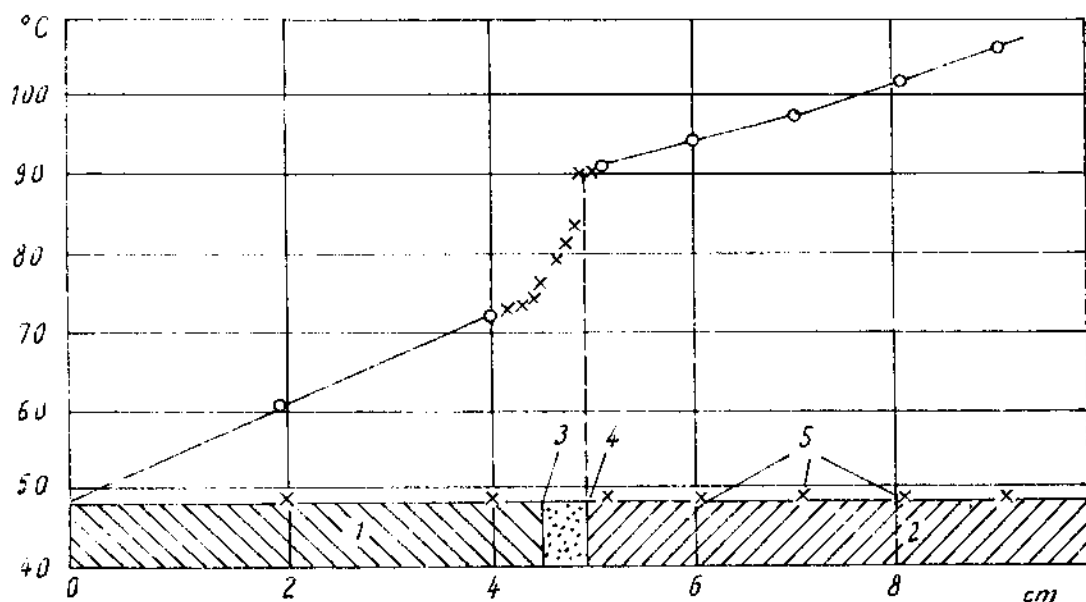
- 1- lõi đồng nhôm; 2- lớp phun;
3- para nhiệt; 4- lõi thép;
5- tấm cách nhiệt; 6- lò xo;
7- para nhiệt; 8- tấm đệm;
9- dụng cụ đo.

Bằng phương pháp này có thể đo gradien nhiệt độ trong lớp phun và xác định sự gián đoạn nhiệt độ trên ranh giới lớp phun – nền. Trở kháng tiếp xúc và độ dẫn nhiệt của các lớp phun từ thép cacbon được giới thiệu trong bảng 6.13.

Bảng 6.13. Trở kháng tiếp xúc và độ dẫn nhiệt của các lớp phun ngọn lửa khí từ thép cacbon

Mẫu	Nhiệt độ trung bình của mẫu, °C	Độ dẫn nhiệt, cal/cm.s.°C	Trở kháng tiếp xúc trên ranh giới lớp phủ-nền, cm
Nền là đồng thanh nhôm, lớp phun dày 4,3 mm	80	0,018	2,0
Nền là đồng thanh nhôm, lớp phun dày 4,3 mm	170	0,019	2,4
Nền là đồng thanh nhôm, lớp phun tấm mỡ dày 4,3 mm	170	0,020	1,7
Nền là hợp kim nhôm RR50, lớp phun dày 5,3 mm	80	0,015	0,63

* Tương ứng với chiều dài mẫu đồng thiếc nhôm (λ - 0,17 cal/cm.s.°C), có trở kháng nhiệt bằng trở kháng tiếp xúc trên ranh giới phân chia lớp phun - nền.



Hình 6.20. Sự phân bố nhiệt độ trong các lớp và lớp phun khi đo độ dẫn nhiệt:

1- thép ; 2- đồng thiếc nhôm; 3- biên giới tiếp xúc của mặt lớp phun và thép;

4- vùng chuyển tiếp giữa lớp phun và đồng thiếc nhôm; 5- para nhiệt.

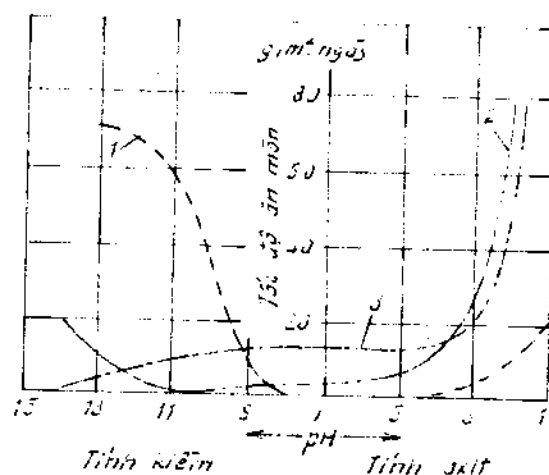
6.7. ĐỘ BỀN ĂN MÒN CỦA LỚP PHUN

Độ bền ăn mòn của lớp phun trình bày sau đây nói chung được khảo sát trên quan điểm hiệu quả bảo vệ kim loại đen khỏi ăn mòn.

Nếu lớp phun chặt và hoàn toàn phủ kín nền không cho môi trường xâm thực thấm qua thì cần nghiên cứu độ bền ăn mòn của bản thân lớp phun. Tuy nhiên, nếu trong lớp phun có lỗ xộp hoặc sự hư hỏng có thể hình thành trong quá trình khai thác thì cần khảo sát sự bảo vệ khỏi ăn mòn trên cơ sở các phản ứng điện hoá xuất hiện giữa lớp phun và nền trong môi trường xâm thực đó. Các vật liệu điển hình được sử dụng để bảo vệ kim loại đen khỏi ăn mòn là nhôm và kẽm. Trên hình 6.21 biểu diễn tốc độ ăn mòn của nhôm, kẽm và sắt trong các dung dịch nước ở các pH khác nhau. Từ hình thấy rõ, kẽm có độ bền ăn mòn tốt ở pH 5 ÷ 12, còn nhôm – ở pH 4,8 [11].

Nếu thế năng của lớp phun đối với thép là dương thì khi môi trường xâm thực thấm qua lớp phun tới mặt nền thì nền sẽ là anot và được bảo vệ điện hoá. Trong trường hợp ngược lại, nền sẽ bị ăn mòn tăng tốc. Như vậy để bảo vệ thép

nên chọn vật liệu phun giữ vai trò cực âm đối với thép. Kẽm là vật liệu cho lớp phun âm tính điển hình khi được phun trên thép. Nhôm đối với thép có thể vừa là anot, vừa là catot. Điều đó phụ thuộc vào thành phần môi trường xâm thực. Khi ăn mòn điện hoá, lượng kim loại bị ăn mòn trên một đơn vị thời gian thường không đổi, vì vậy độ bền ăn mòn của lớp phun tỉ lệ thuận với chiều dày của nó.



Hình 6.21. Tính chống gỉ của kẽm và nhôm:
1- nhôm; 2- kẽm; 3- sắt.

Các lớp phun kẽm và nhôm bảo vệ điện hoá thép khỏi ăn mòn. Thông thường các lớp kẽm bảo vệ tốt bề mặt, là nơi môi trường không khí chứa nhiều hơi ẩm và muối. Các lớp nhôm công tác tốt hơn trong môi trường công nghiệp. Các thí nghiệm ăn mòn của các lớp phun kẽm, nhôm và hợp kim nhôm kẽm trên mẫu thép (trong thời gian 7 năm) cho thấy, các lớp phun nhôm có độ bền ăn mòn thấp hơn ở các vùng gần biển, còn các lớp kẽm không bảo vệ ăn mòn tốt ở các vùng công nghiệp. Các mẫu thép được phun hợp kim nhôm kẽm thực tế không thay đổi trạng thái và chất lượng. Các kết quả tốt nhất nhận được từ các hợp kim 60% Al - 40% Zn và 40% Al - 60% Zn [1].

Tuy nhiên có những ý kiến trái ngược với những số liệu đã dẫn trên đây. Chẳng hạn trong các công trình nghiên cứu [3] các kết quả nghiên cứu nhiều năm các lớp phun nhôm và kẽm trong môi trường ven biển cho thấy các lớp phun nhôm bảo vệ rất tốt khỏi ăn mòn. Các lớp phun được phủ trên tấm thép cacbon thấp kích thước 10 x 152 x 3,2 mm (các mẫu ngâm trong nước biển có kích thước 102 x 304 x 3,2 mm). Trước khi phun các mẫu thí nghiệm được gia công bề mặt, sau khi phun – sơn phủ. Phương pháp phun được sử dụng là phun ngọn lửa khí. Dây phun nhôm và kẽm làm vật liệu phun có đường kính 3,2 mm (độ sạch của dây nhôm trên 99,0% và kẽm trên 99,9%). Trong môi trường nước biển các mẫu thí nghiệm được đặt thẳng đứng, còn trong không khí - nghiêng một góc 30°. Các điều kiện chuẩn bị mẫu xem ở bảng 6.14. Các thí nghiệm được tiến hành trong thời gian 10 năm. Kết quả như sau:

6.7.1. THÍ NGHIỆM TRONG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ

Các lớp phun nhôm không sơn

Trên tất cả các mẫu thí nghiệm ở nhiều nơi, kim loại nền không bị tác dụng ăn mòn. Tuy nhiên trên bề mặt các mẫu xuất hiện các sản phẩm gỉ. Ở những mẫu thí nghiệm trong các điều kiện bình thường hoặc trong môi trường chứa lượng gia tăng các hơi ẩm và muối, các sản phẩm gỉ có màu trắng. Khi thí nghiệm trong môi trường công nghiệp, trên bề mặt lớp phun hình thành các sản phẩm gỉ màu nâu sáng và màu đen. Trên các mẫu đặt sát bờ biển, lớp phun bị ăn mòn dưới dạng các lỗ thủng đường kính 1,6 đến 4,8 mm (chiều dày lớp phun 0,15 - 0,38 mm). Các lỗ thủng này xuất hiện là do kết quả của ăn mòn cục bộ ăn sâu vào lớp phun.

Các lớp phun nhôm có sơn phủ

Tất cả các mẫu thí nghiệm ở mọi nơi đều cho kết quả tốt. Những mẫu sơn hai nước bằng sơn aluvynyl cho kết quả tốt hơn so với sơn một nước. Hầu hết mặt dưới của các mẫu đều giữ được màu sáng. Ở mặt trên từng chỗ xuất hiện các vết, nhiều nhất là ở các mẫu sơn một nước.

Các lớp phun kẽm không sơn

Các mẫu với chiều dày lớp phun trên 0,15 mm hầu như không bị ăn mòn. Ở các mẫu với chiều dày lớp phun 0,08 mm, trên 60 - 80% diện tích mặt trên xuất hiện vết gỉ. Điều đó chứng tỏ sự cần thiết phải sơn các lớp kẽm. Ở những vùng môi trường trong sạch hoặc ở những vùng gần biển các sản phẩm ăn mòn có màu sáng, còn ở những vùng môi trường bị ô nhiễm - màu xám.

Bảng 6.14. Điều kiện chuẩn bị các mẫu thí nghiệm trong nước biển

Mẫu với lớp phun nhôm				Mẫu với lớp phun kẽm			
Nº Mẫu	Gia công trước	Chiều dày lớp phun, mm	Loại sơn	Nº mẫu	Gia công trước	Chiều dày lớp phun, mm	Loại sơn
1	Phun lớp lót sau khi phun cát thạch anh hạt thô	0,08	WP+CV(1)	1	Phun lớp lót sau khi phun cát thạch anh hạt thô	0,08	CR(1)
2		0,08	WP+CV(2)	2		0,08	CR(2)
3		0,15	-	3		0,15	-
4		0,15	WP+CV(1)	4		0,15	CR(1)
5		0,15	WP+CV(2)	5		0,15	CR(2)
6		0,23	-	6		0,23	-

Bảng 6.14 (tiếp theo)

7	Phun lớp lót sau	0,23	WP+CV(1)	7	Phun lớp lót	0,23	CR(1)
8	khí phun cát	0,23	WP+CV(2)	8	sau khi phun	0,23	CR(2)
9	thạch anh hạt	0,23	-	9	cát thạch anh	0,30	-
10	thô	0,30	WP+CV(1)	10	hạt thô	0,30	CR(1)
11		0,30	WP+CV(2)	11		0,30	CR(2)
12	Phun cát thạch	0,46	-	12	Phun cát thạch	0,23	-
13	anh hạt thô	0,23	WP+CV(1)	13	anh hạt thô	0,23	CR(1)
14		0,23	WP+CV(2)	14		0,23	CR(2)
15	Phun cát thạch	0,23	-	15	Phun cát thạch	0,23	-
16	anh hạt mịn	0,23	WP+CV(1)	16	anh hạt mịn	0,23	CR(1)
17		0,23	WP+CV(2)	17		0,23	CR(2)
18	Phun bi thép	0,23	-	18	Phun mặt sắt	0,23	-
19		0,23	WP+CV(1)	19		0,23	CR(1)
20		0,23	WP+CV(2)	20		0,23	CR(2)
21	Phun lớp lót sau	0,23	-	21	Phun lớp lót	0,23	-
22	khí phun cát	0,23	WP+CV(1)	22	sau khi phun	0,23	CR(1)
23	thạch anh hạt	0,23	WP+CV(2)	23	cát thạch anh	0,23	CR(2)
	mịn				hạt mịn		
24	Phun lớp lót sau	0,23	-	24	Phun lớp lót		-
25	khí phun bi thép	0,23	WP+CV(1)	25	sau khi phun		CR(1)
26		0,23	WP+CV(2)	26	bi thép		CR(2)

Các số trong dấu ngoặc: 1 - một lớp; 2 - hai lớp.

Các lớp phun kẽm có sơn phủ

Không bị thay đổi trạng thái bề mặt. Tại những chỗ lớp sơn bị tróc xuất hiện các sản phẩm ăn mòn kẽm màu trắng.

6.7.2. THÍ NGHIỆM TRONG NƯỚC BIỂN

Các lớp phun nhôm

Trên tất cả các mẫu có và không sơn phủ không phát hiện các vết hỏng. Hình dáng bên ngoài của các mẫu sơn phủ giống trước khi đem thí nghiệm.

Các lớp phun kẽm

Hầu hết ở tất cả các mẫu với chiều dày lớp phun kẽm 0,08 và 0,15 mm và thậm chí với chiều dày lớp phun 0,23 mm, các lớp phun bị hỏng và bị phá hủy từng phần.

Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm có thể rút ra kết luận rằng, các lớp phun nhôm có tính chịu ăn mòn tốt hơn ở cả trong nước biển và các môi trường không khí khác.

Các hợp kim crom và thép chống gỉ có tính chịu ăn mòn rất tốt. Tuy nhiên khi phun các lớp từ các hợp kim và thép đó trên thép bình thường thì các lớp phun là anot, và nếu môi trường xâm thực xâm nhập qua chúng thì kim loại nền sẽ bị ăn mòn rất nhanh. Vì vậy để nhận được các lớp phun bảo vệ chịu ăn mòn trên các thép bình thường cần phun các lớp chặt bằng cách ứng dụng các hợp kim tự chảy, làm nóng chảy lại các lớp phun, hoặc các phương pháp khác. Đồng thời cần tiến hành nghiên cứu sự tương tác của lớp phun với môi trường ăn mòn.

6.8. ỨNG SUẤT DƯ TRONG LỚP PHUN

Trong quá trình hình thành lớp phun, các phần tử chuyển động bị đốt nóng tới nhiệt độ cao dần dần tạo thành các lớp trên nền hoặc trên các phần tử đã nguội. Khi phun nhiệt độ mặt nền không tăng đáng kể, vì vậy các phần tử phun sau khi va đập bị nguội và co rút nhiều hơn kim loại nền. Kết quả ở nhiệt độ bình thường ở trong lớp phun xuất hiện ứng suất dư nén hoặc kéo.

Khi phun trên nền chiều dày không lớn, ứng suất dư xuất hiện trong lớp phun có thể làm biến dạng nó. Trong trường hợp vật liệu nền đủ cứng và lớp phun có chiều dày lớn, ứng suất dư có thể dẫn đến sự hình thành các vết nứt trong lớp phun hoặc sự tách lớp phun khỏi nền. Người ta cho rằng, ứng suất dư còn gây ảnh hưởng đối với các tính chất cơ học và hoá học của lớp phun. Tuy nhiên tính chất của ảnh hưởng này chưa được nghiên cứu đầy đủ.

6.8.1. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT DƯ

Xác định ứng suất dư theo đường cong của mẫu thẳng

Trên một bản thép dài, hẹp và mỏng người ta phun một lớp. Dưới tác dụng của ứng suất dư trong lớp phun bản thép bị biến dạng theo hình vòng cung. Người ta đo bán kính đường cong để xác định ứng suất dư trong lớp phun.

Thông thường ứng suất dư phân bố không đều theo tiết diện lớp phun. Tuy nhiên khi xác định ứng suất người ta giả thiết rằng chúng phân bố đều, nghĩa là tìm giá trị trung bình của các ứng suất dư. Để dẫn được các mối liên quan mà theo đó có thể tìm được ứng suất dư người ta đưa ra những giả thiết sau đây [11].

1) Lớp phun liên kết lý tưởng với nền, giữa lớp phun và nền không xuất hiện sự trộn lẫn;

2) Tiết diện lớp phun và nền (mẫu) khi chúng liên kết với nhau cũng như khi chúng tách ra giữ được mặt phẳng vuông góc với trục mẫu;

3) Chiều dài trục tâm của lớp phun khi nó liên kết với nền bằng một đơn vị (hình 6.22);

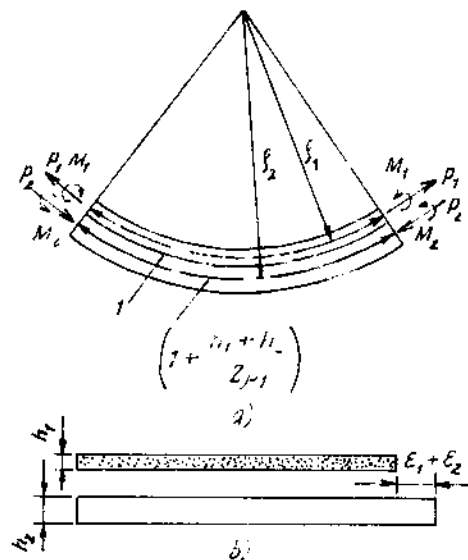
4) Khi lớp phun tách khỏi nền và được giải phóng khỏi ứng suất dư, biến dạng của lớp phun và nền có giá trị tương ứng là ε_1 và ε_2 (hình 6.22);

Ở đây ký hiệu E_1, E_2 - các môđun đàn hồi dọc của lớp phun và nền; $E_1 J_1, E_2 J_2$ - độ cứng vững khi uốn của lớp phun và nền; h_1, h_2 - chiều dày của lớp phun và nền; ρ_1, ρ_2 - bán kính cong của lớp phun và nền; P_1, P_2 - lực theo phương dọc trục của lớp phun và nền; M_1, M_2 - mômen uốn của lớp phun và nền; μ - hệ số Poisson của lớp phun và nền; J_1, J_2 - mômen quán tính dọc trục của lớp phun và nền.

Đại lượng biến dạng toàn phần của mẫu khi lớp phun tách khỏi nền và giải phóng khỏi ứng suất dư là $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$. Trong trường hợp đó biến dạng của lớp phun có thể được viết:

$$\varepsilon_1 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \frac{h_2 E_2}{h_1 E_1 + h_2 E_2} \quad (6.16)$$

Lúc đó ứng suất dư trong lớp phun σ_r có thể biểu diễn dưới dạng:



Hình 6.22. Mẫu để xác định ứng suất dư trước (a) và sau khi tách (b) của lớp phun khỏi nền.

$$\sigma_r = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \frac{h_2 E_2}{h_1 E_1 + h_2 E_2} E_1 \quad (6.17)$$

ở đây

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = & \frac{P_1}{bh_1 E_1} + \frac{P_2}{bh_2 E_2} \left(1 + \frac{h_1 + h_2}{2\rho_1} \right) + \\ & + \frac{h_1}{2\rho_1} + \frac{h_2}{2\rho_2} \left(1 + \frac{h_1 + h_2}{2\rho_1} \right) \end{aligned} \quad (6.18)$$

Do $|P_1| = |P_2|$ nên có thể nhận chúng bằng P và viết:

$$M_1 + M_2 = \frac{P}{2} (h_1 + h_2) \quad ; \quad M_1 = \frac{E_1 J_1}{\rho_1} \quad ; \quad M_2 = \frac{E_2 J_2}{\rho_2} \quad (6.19)$$

Nếu cho rằng $\rho_1 \approx \rho_2 = \rho$ và $\rho_1, \rho_2 \gg h_1, h_2$ thì phương trình (6.18) có thể viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = & \frac{h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2}{6\rho h_1 E_1 (h_1 + h_2)} + \frac{h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2}{6\rho h_2 E_2 (h_1 + h_2)} + \\ & + \frac{h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2}{12\rho^2 h_2 E_2} + \frac{h_1 + h_2}{2\rho} \end{aligned} \quad (6.20)$$

Từ các phương trình (6.17) và (6.20) có thể nhận được:

$$\begin{aligned} \sigma_r = & \left[\frac{h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2}{6\rho h_1 (h_1 + h_2)} + \frac{E_1 (h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2)}{12\rho^2 (h_1 E_1 + h_2 E_2)} + \right. \\ & \left. + \frac{E_1 E_2 h_2 (h_1 + h_2)}{2\rho (h_1 E_1 + h_2 E_2)} \right] \cdot \frac{1}{1 - \mu^2} \end{aligned} \quad (6.21)$$

trong đó E_1 và E_2 được thay bởi $\frac{E_1}{1 - \mu^2}$ và $\frac{E_2}{1 - \mu^2}$ tương ứng.

Nếu cho rằng, đối với lớp phun và nền hệ số Poatxông μ bằng 0,3, và bằng thực nghiệm xác định được môđun đàn hồi dọc E_1, E_2 , chiều dày lớp phun và nền h_1, h_2 và bán kính cong của mẫu ρ , thì theo biểu thức (6.21) có thể tìm được giá trị trung bình của ứng suất dư trong lớp phun.

Ngoài phương trình nhận được ở trên để đánh giá ứng suất dư trong lớp phun có thể sử dụng các biểu thức tính toán do Stoni và Brenner - Sendorov xác lập cho các lớp phủ điện hoá.

Biểu thức Stoni:

$$\sigma_r = \frac{E_2 h_2^2}{6\rho h_1};$$

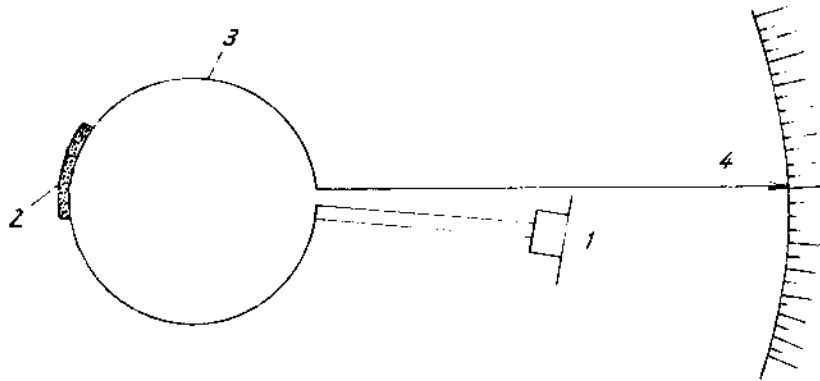
Biểu thức Brenner – Senderov:

$$\sigma_r = \frac{E_2 h_2}{6\rho h_1} \left(h_2 + R^{\frac{5}{4}} h_1 \right),$$

ở đây σ_r - ứng suất dư; E_2 - môđun đàn hồi dọc của nền; h_1, h_2 - chiều dày lớp phủ và nền; ρ - bán kính cong của mẫu; R - tỉ số của môđun đàn hồi dọc của lớp phủ và môđun đàn hồi dọc của nền.

Biểu thức Stoni được áp dụng cho các lớp phủ mỏng.

Xác định ứng suất dư theo sự thay đổi đường cong của mẫu vành khuyên khi phun

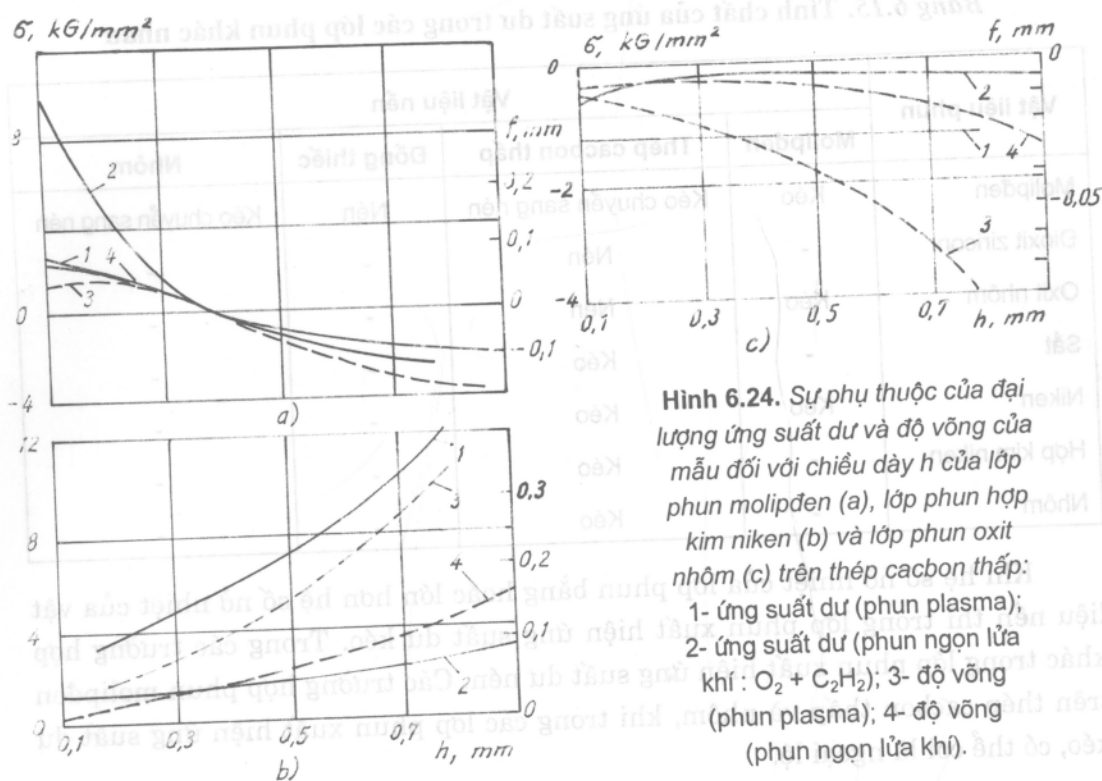


Hình 6.23. Xác định ứng suất dư theo sự biến dạng của vành khuyên:
1- phần cố định; 2- lớp phun; 3- vành khuyên; 4- kim chỉ độ lệch.

Trong phương pháp này người ta ứng dụng nguyên tắc đã giả thiết trước đây. Trên đoạn 2 của vành khuyên 3 người ta phun một lớp (hình 6.23). Dưới tác dụng của ứng suất dư xuất hiện trong lớp phun xảy ra sự thay đổi của đường cong vành khuyên. Theo sự thay đổi có thể xác định đại lượng của ứng suất dư.

6.8.2. ỨNG SUẤT DƯ TRONG CÁC LỚP PHUN

Trên hình 6.24 giới thiệu các kết quả đo các ứng suất dư trung bình trong các lớp phun chiều dày khác nhau. Sự đo tiến hành trên các mẫu kích thước 1,5 x 10 x 130 mm từ thép cacbon thấp trên đó phun các lớp phun từ molipđen, hợp kim niken và oxit nhôm. Để đo người ta sử dụng phương pháp xác định đại lượng ứng suất dư theo đường cong của mẫu thẳng.



Hình 6.24. Sự phụ thuộc của đại lượng ứng suất dư và độ võng của mẫu đối với chiều dày h của lớp phun molipđen (a), lớp phun hợp kim niken (b) và lớp phun oxit nhôm (c) trên thép cacbon thấp:
 1- ứng suất dư (phun plasma); 2- ứng suất dư (phun ngọn lửa khí: $O_2 + C_2H_2$); 3- độ võng (phun plasma); 4- độ võng (phun ngọn lửa khí).

Trong các lớp phun molipđen chiều dày nhỏ xuất hiện ứng suất kéo. Khi tăng chiều dày lớp phun, ứng suất dư giảm, và khi chiều dày lớp phun 0,35 – 0,4 mm, ứng suất dư bằng 0. Khi tiếp tục tăng chiều dày thì trong lớp phun xuất hiện ứng suất nén và tăng dần cùng với chiều dày lớp phun. Trong các lớp phun chiều dày nhỏ phun bằng dây – ngọn lửa khí, xuất hiện ứng suất kéo rất lớn so với các lớp phun plasma.

Khi phun hợp kim niken, trong tất cả các lớp phun xuất hiện ứng suất dư kéo và tăng dần cùng với chiều dày lớp phun. Trong các lớp phun plasma, ứng suất dư có giá trị lớp hơn so với các lớp phun bột ngọn lửa khí. Ví dụ, khi chiều dày lớp phun 0,5 mm đại lượng ứng suất dư là 7,0 kG/mm².

Khi phun plasma oxit nhôm trong lớp phun xuất hiện ứng suất dư nén, có các giá trị hầu như không đổi và không phụ thuộc vào chiều dày lớp phun. Các ứng suất đó bằng 1,0 – 1,5 kG/mm². Trong các lớp phun oxit nhôm ngọn lửa khí, xuất hiện ứng suất dư nén 0,2 – 0,7 kG/mm².

Tính chất của ứng suất dư trong các lớp phun khác nhau trên vật liệu nền khác nhau được giới thiệu trong bảng 6.15.

Bảng 6.15. Tính chất của ứng suất dư trong các lớp phun khác nhau

Vật liệu phun	Vật liệu nền			
	Molipđen	Thép cacbon thấp	Đồng thiếc	Nhôm
Molipđen	Kéo	Kéo chuyển sang nén	Nén	Kéo chuyển sang nén
Điôxít ziriconi	-	Nén	-	-
Oxit nhôm	Kéo	Nén	-	-
Sắt	-	Kéo	-	-
Niken	Kéo	Kéo	-	-
Hợp kim niken	-	Kéo	-	-
Nhôm	-	Kéo	-	-

Khi hệ số nở nhiệt của lớp phun bằng hoặc lớn hơn hệ số nở nhiệt của vật liệu nền thì trong lớp phun xuất hiện ứng suất dư kéo. Trong các trường hợp khác trong lớp phun xuất hiện ứng suất dư nén. Các trường hợp phun molipđen trên thép cacbon thấp và nhôm, khi trong các lớp phun xuất hiện ứng suất dư kéo, có thể coi là ngoại lệ.

Cho tới nay nguyên nhân của sự xuất hiện ứng suất dư trong các lớp phun chưa được làm sáng tỏ. Tuy nhiên trong các thí nghiệm trình bày trên có thể ứng dụng tính quy luật của sự xuất hiện các ứng suất vào thực tế.

Một số kết quả đo môđun đàn hồi dọc của các lớp phun plasma và ngọn lửa khí được dẫn trong bảng 6.16.

Bảng 6.16. Môđun đàn hồi dọc của các lớp phun, kG/mm²

Vật liệu lớp phun	Lớp phun plasma	Lớp phun ngọn lửa oxi-axetylen	Vật liệu nguyên thủy
Molipđen	$\frac{6,98}{6,77 - 7,09} \cdot 10^3$	$\frac{8,11}{8,03 - 8,13} \cdot 10^3$	$3,29 \cdot 10^{4*}$

Bảng 6.16 tiếp theo

Hợp kim niken	$\frac{8,11}{7,81 - 8,04} \cdot 10^3$	$\frac{4,67}{4,64 - 7,74} \cdot 10^3$	-
Oxit nhôm	$\frac{2,90}{2,84 - 3,10} \cdot 10^3$	$\frac{2,20}{2,20 - 2,30} \cdot 10^3$	$2,10 \div 3,91 \cdot 10^{4**}$
Điôxit ziriconi	$\frac{1,07}{1,06 - 1,08} \cdot 10^3$	-	$9,87 \cdot 10^{3**}$
Nhôm	$\frac{9,95}{9,86 - 10,75} \cdot 10^2$	$\frac{4,50}{4,25 - 4,72} \cdot 10^3$	$6,30 \cdot 10^{3*}$
Niken	$\frac{8,05}{7,67 - 8,40} \cdot 10^5$	-	$2,10 \cdot 10^{4*}$
Sắt	$\frac{2,70}{2,65 - 2,78} \cdot 10^3$	-	$2,00 \cdot 10^{4*}$

* ASM : Metals, Handbook, 1961.

** The American Ceramic Society: Refractory Ceramic for Aerospace, 1964.

6.9. ĐỘ BỀN MỎI CỦA CÁC CHI TIẾT PHUN

Ảnh hưởng của lớp phun đối với độ bền mỏi của chi tiết máy là một đặc tính quan trọng đòi hỏi sự nghiên cứu đặc biệt. Thậm chí khi phun các lớp phun từ cùng một vật liệu nhưng ở những điều kiện phun và phương pháp chuẩn bị bề mặt nền khác nhau, ảnh hưởng của lớp phun đối với độ bền mỏi của chi tiết sẽ khác nhau. Nếu trong lớp phun xuất hiện ứng suất dư nén thì thông thường độ bền mỏi khi uốn được cải thiện.

Các phương pháp chuẩn bị bề mặt vật nền trước khi phun có ảnh hưởng lớn đối với độ bền mỏi của chi tiết được phun. Dưới đây khảo sát một số kết quả của quá trình nghiên cứu ảnh hưởng của việc chuẩn bị bề mặt trước khi phun [11].

6.9.1. CÁC LỚP PHUN NHÔM

Các nghiên cứu về độ bền mỏi uốn khi quay của các mẫu thép cacbon (0,5% C, độ bền kéo $101,9 \text{ kG/mm}^2$) với lớp phun dây nhôm ngọn lửa khí chiều

dày 50 μm cho thấy giới hạn bền mỗi của chúng là 40,6 kG/mm^2 , trong khi đó độ bền mỗi của các mẫu không phun là 38,7 kG/mm^2 . Như vậy, do kết quả của sự phun, giới hạn bền mỗi tăng khoảng 5%.

Giới hạn bền mỗi của các mẫu phun nhôm khi thử mẫu trong môi trường phun dung dịch muối ăn bằng 30,7 kG/mm^2 . Từ đó có thể kết luận, lớp phun đó không phải là vật liệu bảo vệ trong môi trường muối ăn.

Giới hạn bền mỗi của ống thép 4130 (0,3% C) đường kính 11,1 mm, chiều dày thành 2,46 mm sau khi gia nhiệt đạt 45,0 kG/mm^2 . Sau khi phun nhôm với chiều dày lớp phun 50 μm giới hạn bền mỗi giảm còn 40,1 kG/mm^2 .

Để xác định ảnh hưởng của sự gia công trước đối với độ bền mỗi người ta đã tiến hành phun tạo nhám các mẫu trước bằng cát thạch anh. Kết quả cho thấy giới hạn bền mỗi của ống phun 45,0 kG/mm^2 , nghĩa là bằng giới hạn bền mỗi của ống nhiệt luyện.

6.9.2. CÁC LỚP PHUN THÉP

Trong bảng 6.17 giới thiệu các kết quả thí nghiệm mỗi của mẫu thép SAE 1035 (0,35% C ram) được phun dây thép cacbon (0,4% C) bằng ngọn lửa khí. Trên bề mặt mẫu đường kính 44,5 mm được làm nhám bằng phun bột mài người ta phun một lớp thép dày, sau đó gia công tiện và mài tới đường kính 50,8 mm. Thí nghiệm bền mỗi uốn được tiến hành khi tốc độ quay 1400 – 2100 vòng/ph . Kết quả cho thấy độ bền mỗi giảm 7%.

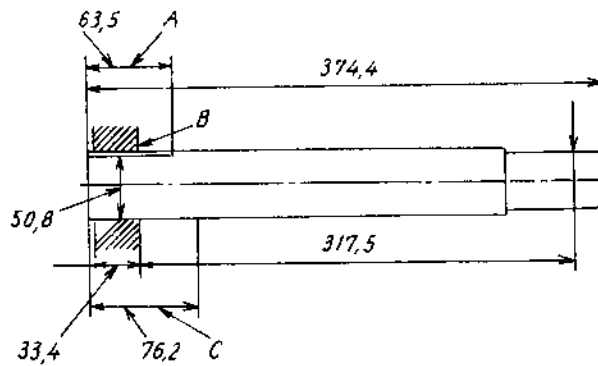
Bảng 6.17. Kết quả thí nghiệm mỗi uốn của mẫu tiêu chuẩn và mẫu phun lớp thép cacbon

Loại mẫu	σ_{-1} , kG/mm^2	Sự thay đổi tương đối của giới hạn bền mỗi, %
Tiêu chuẩn	~21,09	100
Mẫu phun	~19,68	93

Người ta cũng đã tiến hành thí nghiệm mỗi uốn các mẫu phun và không phun khi quay với tải trọng "console". Thép làm mẫu SAE 1045 (0,45% C, ram); đường kính mẫu 50,80 mm. Các mẫu phun được gia công bề mặt trước bằng phương pháp tiện rãnh với chiều sâu 0,64 mm. Phun bằng ngọn lửa khí. Vật liệu phun là thép cacbon (1,2% C). Mẫu phun được gia công tới đường kính 50,8 mm, bằng đường kính mẫu tiêu chuẩn (không phun). Kết quả thí nghiệm mỗi uốn xem ở bảng 6.18 và kích thước cơ bản của mẫu xem ở hình 6.25.

Bảng 6.18. Giới hạn độ bền mỏi của các mẫu thử uốn khi quay với tải trọng "console"

Loại mẫu	Ứng suất khi xuất hiện vết nứt, kG/mm ²	σ_{-1} , kG/mm ²	Sự thay đổi tương đối của giới hạn bền mỏi, %
Tiêu chuẩn	5,62	9,14	100
Mẫu phun	14,76	14,76	162
Mẫu tôi	17,58	31,64	321



Hình 6.25. Mẫu thí nghiệm mỏi uốn khi quay với tải trọng "console":
A- đoạn tôi; B- đoạn tải "console"; C- đoạn phun.

Khi lập bảng về ứng suất xuất hiện các vết nứt mỗi người ta nhận các giá trị nhỏ nhất của ứng suất uốn mà tại đó vết nứt nhỏ xuất hiện trên mặt mẫu thí nghiệm chưa phá hủy nó. Ở các mẫu phun ứng suất xuất hiện các vết nứt mỏi và giới hạn độ bền mỏi cao hơn so với mẫu không phun tương ứng là 2,62 và 1,62 lần. Điều này chứng tỏ sự phun cho phép nâng cao đáng kể độ bền mỏi của trục phun chịu tải trọng "console" (dầm chìa).

Các kết quả nghiên cứu trên đây và các kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả khác đã chứng minh rằng, khi ứng dụng đúng vật liệu và công nghệ phun có thể nâng cao độ bền mỏi thậm chí cả khi độ bền mỏi của lớp phun không khác nhiều so với độ bền mỏi của nền.

Trên các mẫu thép niken cacbon thấp ram người ta đã tiến hành thí nghiệm ảnh hưởng của các phương pháp gia công trước khi phun đối với độ bền mỏi. Thành phần hoá học và tính chất cơ học của các mẫu xem ở bảng 6.19 và 6.20. Sự phun dây thép cacbon (0,4% C) được thực hiện bằng mỏ đốt ngọn lửa khí. Các mẫu phun được kẹp chặt "console" và thí nghiệm mỏi uốn với tốc độ quay 1450 vg/ph. Các thí nghiệm được tiến hành cho các phương pháp chuẩn bị bề mặt sau đây:

- a) phun bi thép (kích thước hạt 400 - 840 μm , áp suất không khí nén 7 kG/cm^2 , thời gian phun 5 ph, khoảng cách phun 51 mm);
- b) tiện ren (bước 1,5 mm, chiều sâu ren 0,64 mm);
- c) tiện rãnh (bước 1,5 mm, chiều sâu 0,64 mm, chiều rộng đỉnh 0,51 mm);
- d) lăn nhám;
- e) gia công tia lửa điện bằng điện cực niken (chiều cao gồ ghề 0,51 mm).

Bảng 6.19. Thành phần hoá học của các mẫu thí nghiệm mới

Mác thép	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
AFS	0,21	0,51	0,23	0,03	2,84	0,05	0,15
AFT	0,26	0,52	0,23	0,02	2,99	0,02	0,14

Bảng 6.20. Tính chất cơ học của các mẫu thí nghiệm mới

Mác thép	σ_B , kG/mm^2	σ_c , kG/mm^2	δ , %	δ , %	HB, kG/mm^2
AFS*	74,0	51,4	24,0	58	223
AFT*	74,5	57,9	24,5	58	215

* ủ ở 870°C và ram ở 650°C; ** Biến dạng dư 0,1%; *** Trên chiều dài đoạn đo 50,8 mm.

Đường kính mẫu tại chỗ phá hủy 13,41 mm, chiều dày lớp phun 0,76 mm. Kết quả thí nghiệm xem ở bảng 6.21. Đối với tất cả các phương pháp gia công mẫu trước khi phun, giới hạn độ bền mỗi của các mẫu phun thấp hơn nhiều so với giới hạn độ bền mỗi của các mẫu tiêu chuẩn (không phun). Đặc biệt độ bền mỗi giảm nhiều khi các mẫu được chuẩn bị bề mặt trước khi phun bằng lăn nhám và gọt điện. Độ bền mỗi giảm ít nhất ở các mẫu gia công trước bằng phun mặt sắt. Độ bền mỗi của các mẫu gia công trước bề mặt nhưng không phun không khác nhiều so với độ bền mỗi của các mẫu phun. Sự giảm độ bền mỗi chủ yếu gây bởi gia công trước bề mặt các mẫu.

Các kết quả thí nghiệm mỗi "console" (bảng 6.22) nói chung không khác khi thí nghiệm mỗi uốn quay.

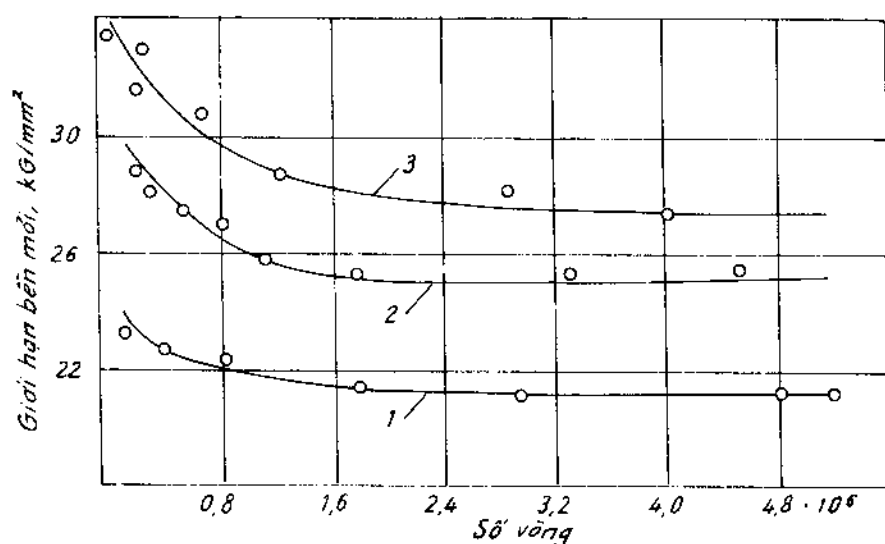
**Bảng 6.21. Giới hạn độ bền mỗi σ_{-1} của các mẫu từ thép AFS
với lớp phun thép cacbon (0,4% C)**

Phương pháp chuẩn bị bề mặt mẫu	σ_{-1} , kG/mm ²	Sự thay đổi tương đối của giới hạn bền mỗi, %
Mài	36,56	100,0
Phun bột sắt	26,36	72,2
Phun bột sắt và phun đắp	27,07	74,4
Tiện ren	17,22	47,0
Tiện ren và phun đắp	20,04	55,0
Tiện rãnh	10,55	29,0
Tiện rãnh và phun đắp	11,60	31,8
Gia công tia lửa điện (gại điện)	11,25	30,9
Gại điện và phun đắp	13,71	37,6

**Bảng 6.22. Giới hạn độ bền mỗi "console" τ_{-1} của các mẫu
từ thép AFS với lớp phun thép cacbon (0,4% C)**

Phương pháp chuẩn bị bề mặt mẫu	τ_{-1} , kG/mm ²	Sự thay đổi tương đối của giới hạn bền mỗi, %
Mài	25,31	100,0
Phun bột sắt	17,93	71,0
Phun bột sắt và phun đắp	22,85	90,5
Tiện ren	9,49	37,9
Tiện ren và phun đắp	11,60	46,0
Tiện rãnh	9,49	37,5
Tiện rãnh và phun đắp	13,01	51,5
Gại điện	10,90	43,0
Gại điện và phun đắp	13,36	53,0

Các kết quả thí nghiệm mỗi trên các mẫu phun thép cacbon (0,4% C) bằng dòng điện cảm ứng tần số cao, với sự chuẩn bị bề mặt trước bằng lăn nhám, ở khoảng cách phun 100 mm và áp suất không khí nén 4 kG/cm², trái ngược với các kết quả thí nghiệm đã dẫn. Các kết quả thí nghiệm các mẫu không phun nhưng có gia công trước bề mặt, và các mẫu phun so với mẫu chuẩn, được giới thiệu trên hình 6.26. Các mẫu phun có độ bền mỗi cao nhất và cao hơn độ bền mỗi của mẫu chuẩn 30 – 35%.



Hình 6.26. Kết quả thử mỗi của các mẫu thép phun bằng dòng điện cảm ứng tần số cao:
1- mẫu tiêu chuẩn; 2- mẫu lăn nhám bề mặt; 3- mẫu phun.

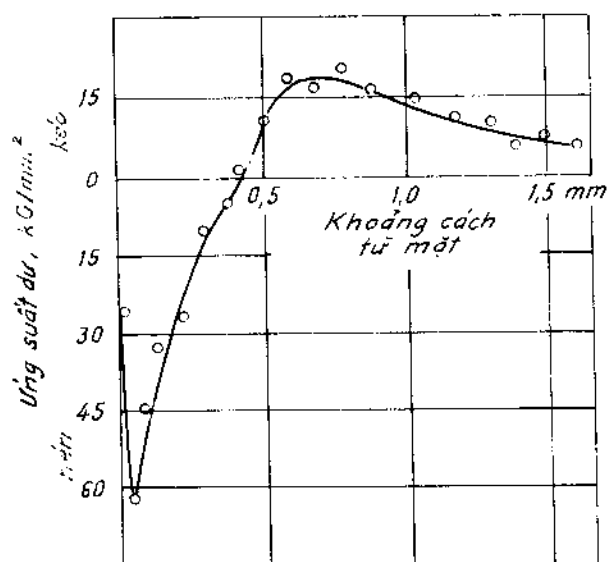
6.9.3. CÁC LỚP PHUN MOLIPĐEN

Để nghiên cứu ảnh hưởng của lớp phun molipđen đối với độ bền mỗi người ta sử dụng các vật liệu sau đây làm vật liệu nền: thép cacbon En 3a, thép crom molipđen En 24 và thép chống gỉ 18-8 (En 58B). Độ bền kéo của thép En 24 phụ thuộc vào gia công nhiệt. Các mẫu thí nghiệm gồm ba loại: mài gia công trước bằng phun bi thép (kích thước hạt 840 μm , áp suất không khí nén 3,2 kG/cm², khoảng cách phun 305 mm, thời gian phun 15 s) và phun kim loại. Phun bằng ngọn lửa khí. Dây phun molipđen đường kính 1,3 mm. Sau khi phun, mài tới chiều dày lớp phun 0,5 mm. Độ bền mỗi được xác định bằng thử uốn quay với tần số 2850 vg/ph. Kết quả thử xem ở bảng 6.23.

Đối với tất cả các vật liệu nền đã khảo sát, các mẫu mài và phun có độ bền mỗi thấp hơn so với các mẫu không phun (tiêu chuẩn). Độ bền mỗi của các mẫu gia công trước bằng phun bi thép thực tế chỉ thấp hơn mấy phần trăm so với độ bền mỗi của các mẫu tiêu chuẩn. Điều đó chứng tỏ, sự phun bi thép trước và sau đó phun kim loại không làm giảm đáng kể độ bền mỗi. Kết hợp các kết quả nghiên cứu đã tiến hành với các kết quả thí nghiệm xem mục 6.9.2) trong đó sự chuẩn bị mặt nền ở chế độ "cứng" (áp suất không khí nén 7,0 kG/cm², khoảng cách tới mặt nền 51 mm, thời gian gia công 5 ph), có thể kết luận rằng, phương pháp và mức độ chuẩn bị bề mặt có thể ảnh hưởng đến độ bền mỗi của vật liệu.

Sau khi quan sát các vết nứt nhỏ và vết gãy nhỏ của các mẫu phun molipđen dưới kính hiển vi, tác giả [13] kết luận: một trong những nguyên nhân cơ bản của sự phá hủy nhỏ của các mẫu phun molipđen là sự xuất hiện ứng suất tập trung trong pha mactenxit hình thành dưới dạng lớp mỏng trên bề mặt mẫu khi phun. Do kết quả của các chuyển biến mactenxit trong vùng này các ứng suất cục bộ xuất hiện. Vì vậy độ bền nhỏ của các mẫu mài và phun lớp molipđen giảm đáng kể. Lớp bề mặt được phun bi

thép có ứng suất dư nén rất cao (hình 6.27); chúng có thể điều tiết (compensate) ứng suất cục bộ hình thành khi biến đổi pha trên bề mặt vật nền trong quá trình phun. Sự gia công bề mặt trước khi phun bằng phương pháp phun bi thép có thể ứng dụng để ngăn ngừa sự giảm độ bền nhỏ khi phun các lớp molipđen.



Hình 6.27. Ứng suất dư trên mặt nền sau khi phun bột kim loại.

Bảng 6.23. Giới hạn độ bền nhỏ của các mẫu phun molipđen

Nền	Phương pháp chuẩn bị bề mặt mẫu	σ_{-1} kg/mm ²	Sự thay đổi tương đối của giới hạn bền nhỏ, %
En 3A	Mài	25,2	100
	Mài và phun lớp dày 0,51 mm	20,1	80
	Phun bột sắt	25,2	100
	Phun bột sắt và phun lớp dày 0,51 mm	25,2	100
En 58B	Mài	25,7	100
	Mài và phun lớp dày 0,51 mm	24,4	91,5
En 24(a)	Mài	44,1	100
	Mài và phun lớp dày 0,51 mm	26,7	60,5
	Phun bột sắt	43,3	98,4
	Phun bi thép và phun lớp dày 0,51 mm	40,9	92,5
En 24(c)	Mài	62,1	100
	Mài và phun lớp dày 0,51 mm	24,4	39,3
	Phun bột sắt	60,6	97,6
	Phun bột sắt và phun lớp dày 0,51 mm	58,2	93,6

CHƯƠNG 7

ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ PHUN TRONG BẢO VỆ VÀ PHỤC HỒI

Trong số các nguồn nhiệt để phun người ta thường sử dụng ngọn lửa khí trên nền oxi – khí đốt, và hồ quang điện. Tuy nhiên khi phun bằng ngọn lửa khí không thể nhận được các lớp phun từ các vật liệu có nhiệt độ nóng chảy cao hơn nhiệt độ của ngọn lửa khí đốt.

Khi phun hồ quang điện vật liệu phun phải ở dạng dây và có độ dẫn điện tốt. Phương pháp này không cho phép phun vật liệu bột.

Vào những năm cuối thập kỷ 50 thế kỷ trước xuất hiện các phương pháp phun mới – phun nổ và phun plasma. Bên cạnh sự cải tiến và hiện đại hoá thiết bị phun hiện có, người ta đã cho ra đời những kết cấu cho phép phun những vật liệu cứng nhất, không phụ thuộc vào phương pháp cấp vật liệu (thanh, dây, bột) của chúng.

Các lớp phun đã được ứng dụng để cung cấp cho các bề mặt công tác của chi tiết và kết cấu những đặc tính như chống mài mòn, chống nóng, chống ăn mòn, bền nhiệt, cách nhiệt và cách điện v.v...

Các chi tiết và kết cấu xây dựng vỏ tàu, bồn chứa, các sản phẩm hoá học và các sản phẩm khác được phun phủ một lớp bảo vệ chống ăn mòn. Các chi tiết máy mài mòn và ăn mòn hoá học trong quá trình sử dụng được phục hồi bằng phun với các vật liệu khác nhau.

Để phun bảo vệ người ta sử dụng vật liệu kẽm và nhôm. Các lớp phun kẽm và nhôm có độ bền chống ăn mòn và chống oxi hoá tốt. Các lớp phun kẽm (chiều dày 0,08 – 0,38 mm) thường dùng để bảo vệ thép trong môi trường không khí, cả trong môi trường nước mặn và nước lợ. Đó là các lớp phun trên các kết cấu thép, cầu, bể chứa, tàu thủy, bồn nước, đường ống, thiết bị khai thác mỏ, máy bơm v.v...

Các lớp phun nhôm (chiều dày 0,13 – 0,51 mm) dùng để bảo vệ thép trong các môi trường bình thường và công nghiệp, kể cả môi trường nước biển, ở nhiệt độ thường và nhiệt độ cao. Các lớp nhôm được phun trên bồn chứa để bảo vệ nước, các kết cấu làm việc trong các vùng công nghiệp, thiết bị công nghiệp thực phẩm, buồng đốt, vỏ tàu thủy v.v...

Bảng 7.1 liệt kê các số liệu về ứng dụng công nghệ phun phủ của hãng "Metco". Trong bảng chủ yếu khảo sát những vật liệu đặc biệt có khả năng ứng dụng rộng rãi để phun phủ trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

7.1. PHUN BẢO VỆ

7.1.1. CÁC CHI TIẾT LÀM VIỆC TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC LỢ VÀ NƯỚC BIỂN

Các hệ thống cửa phai (cánh cổng), dàn khoan dầu khí, tấm chắn sóng, dàn khoan v.v... là những chi tiết làm việc trong các môi trường nước ngọt, nước lợ và nước mặn. Các chi tiết và kết cấu đó làm từ thép cacbon và được phủ một lớp bảo vệ để làm việc lâu dài trong các môi trường ăn mòn và xâm thực.

Hệ thống cửa phai

Cổng Lân (Thái Bình) với diện tích bề mặt trên 2000 m² đã được phủ một lớp bảo vệ. Lớp bảo vệ gồm hai lớp thành phần: lớp trong là lớp phun kẽm; lớp ngoài – epoxy.

Trước khi phun bề mặt cánh cổng được làm sạch khỏi han gỉ và lớp phủ cũ. Tiếp đó phun cát thạch anh hạt thô. Bề mặt sau khi phun phải sáng bóng. Công nghệ phun kẽm được tiến hành ngay sau khi chuẩn bị xong bề mặt. Vật liệu phun là dây kẽm đường kính 2 mm. Súng phun cầm tay EM-14M của Nga. Chế độ phun: cường độ dòng điện 100 – 120 A; điện áp hồ quang 26 – 28 V; khoảng cách phun 100 – 120 mm, áp suất không khí nén 5 kG/cm². Chiều dày lớp phun 100 – 150 μm. Sau khi phun kẽm tiếp tục phun nhựa epoxy bằng súng phun sơn. Chiều dày lớp epoxy khoảng 0,8 – 1,0 mm.

Hệ thống chắn sóng–

Dàn khoan dầu khí Vũng Tàu làm việc trong điều kiện khá khắc nghiệt của nước mặn và sóng biển. Trên 20000 m² bề mặt của hệ thống đã được phun bảo vệ bằng phương pháp phun hồ quang dây. Máy phun EM-6 và súng phun EM-14M (của Nga) đã được sử dụng để phun. Chiều dày lớp phun là 100 – 120 μm. Vật liệu phun là dây nhôm đường kính 2 mm. Chế độ phun: cường độ dòng điện 75 – 100 A; điện áp hồ quang 22 – 24 V; khoảng cách phun 80 – 100 mm; áp suất không khí nén 4 – 4,5 kG/cm².

Bảng 7.1. Những ví dụ ứng dụng của công nghệ phun phủ

TT	Vật liệu phun	Phương pháp phun	Cấu trúc	Độ xốp	Độ bám với nền	Ví dụ ứng dụng, đặc tính
1	2	3	4	5	6	7
1	Crom	A*, B*	Trung bình	Trung bình	Rất cao	Gối đỡ làm việc ở nhiệt độ thấp và trung bình; lớp phun chống gỉ
2	Coban	A, C*	Mịn	Thấp	"	Các lớp phun chặt, khả năng chống xâm thực cao; hỗn hợp với gốm (dùng trong các lớp phun gốm)
3	Niken (hạt thô)	A, B	Trung bình	Trung bình	Tương đối cao	Các lớp phun chống gỉ; lớp lót trong các lớp phun gốm (ngăn ngừa tác dụng oxy hoá)
4	Niken (hạt mịn)	C	Mịn	Thấp	"	Các lớp phun bền mòn; hỗn hợp với gốm (dùng trong các lớp phun gốm)
5	Cacbit crom (hạt thô)	A	"	Trung bình	"	Các lớp phun bền mòn
6	Cacbit crom (hạt mịn)	C	"	Thấp	"	Các lớp phun bền mòn làm việc ở nhiệt độ cao; hỗn hợp với bột kim loại (cermet)
7	60% cacbit crom + coban	A, C	"	"	Rất cao	Các lớp phun bền mòn (đặc biệt đối với nhôm và kim loại màu)
8	Cacbit vonfram + 12% coban	A	"	"	Cao	Các lớp phun bền mòn
9	Oxit kim loại đất hiếm	A, B	Mịn	Trung bình	Cao	Các lớp phun cách nhiệt
10	Oxit titan	A, B	"	Rất thấp	Rất cao	Các lớp phun độ chặt cao, cứng, bền mòn; độ bám dính rất cao với nền; có thể sử dụng trong các hỗn hợp với các bột kim loại và gốm (để nâng cao các tính chất vật lý của lớp phun)
11	Điôxit ziriconi (ổn định hoá CaO)	A, B	"	Thấp	Tương đối cao	Bảo vệ nhiệt (trong vật lý nguyên tử)

Tiếp bảng 7.1

1	2	3	4	5	6	7
12	Silicat zirconi (hoặc ziriconi)	A, B	Trung bình	Trung bình	Rất cao	Bảo vệ nhiệt
13	Magie ziriconi	A, B	Mịn	Thấp	"	Bảo vệ nhiệt; các lớp phun không thấm kim loại
14	Ziriconat canxi	A, B	"	"	Cao	Bảo vệ nhiệt; các lớp phun không thấm kim loại; độ chặt cao, độ cứng và bền mòn cao
15	40% Co + ZrO ₂	A, B	"	"	Rất cao	Các lớp phun cermet nhiệt độ cao, có độ cứng, độ bền mòn và độ bền biến đổi nhiệt cao; bảo vệ nền khỏi bị oxy hoá
16	40% Ni + Al ₂ O ₃	A, B	Mịn	Thấp	Rất cao	Chống biến đổi nhiệt cao, giữ được nhiệt độ cao
17	50% TiO ₂ + Al ₂ O ₃	A, B	"	Rất thấp	"	Lớp phun cứng, bền mòn, bám dính rất cao với nền
18	Cacbit vonfram	A	"	Thấp	Tương đối cao	Tính chống ăn mòn cao đối với các dòng khí (đầu tên lửa)
19	Vonfram hạt mịn + hợp kim tự chảy	A	Trung bình	Rất thấp	Rất cao	Lớp phun chặt bền mòn (không cần làm nóng chảy lại sau khi phun)
20	Thép chống gỉ	C	Mịn	"	"	Lớp phun chặt, có thể gia công cắt gọt, dùng để sửa chữa các chi tiết đồng, chì, thép chống gỉ v.v...
21	Nicrom (80% Ni + 20% Cr)	C	"	"	"	Lớp phun bền nhiệt, chống gỉ, dễ gia công cơ khí
22	Titanat bari	A, B	"	"	"	Lớp phun cách ly
23	Oxit crom	A	-	"	Tương đối cao	Lớp phun bền nhiệt và bền mòn
24	30% aluminut niken + oxit nhôm	A, B	"	Thấp	Cao	Lớp phun cermet chặt, cách nhiệt, chống biến đổi nhiệt
25	70% aluminut niken + oxit nhôm	A, B	Trung bình	Thấp	Rất cao	"

Tiếp bảng 7.1

1	2	3	4	5	6	7
26	35% aluminít niken + đioxít zirconi	A, B	Mịn	"	Cao	"
27	65% aluminít niken + đioxít zirconi	A, B	Trung bình	"	Rất cao	"
28	Niobi	A	Mịn	Trung bình	Tự nóng chảy trên thép chống gỉ	Lớp phun nhẹ, chặt, bền mòn, có nhiệt độ nóng chảy cao
29	Đisilicít molipđen (MoSi ₂)	A	"	"	Tương đối	Lớp phun chống kiềm, ở nhiệt độ cao (phun trên graphít)
30	Spinen (MgAl ₂ O ₄)	A, B	"	Thấp	Cao	Lớp phun cách ly, chống ăn mòn tốt
31	Bo (kết tinh)	A	"	"	Rất cao	Lớp phun rất chặt, chịu nhiệt (ở môi trường kiềm)
32	Silicít bo (B ₂ Si)	A	"	"	"	Lớp phun bảo vệ graphít
33	Silicít crom (Cr ₃ Si ₂)	A, B	"	"	"	Lớp phun rất chặt, chống axit và bền mòn
34	Chỉ	A	Trung bình	Rất thấp	"	Lớp phun tiếp xúc điện
35	Cacbit vonfram + hợp kim tự nóng chảy	A	Mịn	"	Tự nóng chảy trên thép không gỉ	Lớp phun mỏng bền mòn, dễ gia công
36	Zirconat ytri	A	"	"	Tương đối cao	Lớp phun rất chặt, cứng, dạng kính
37	Bạc	C	Mịn	Rất thấp	Rất cao	Lớp phun tiếp xúc điện
38	Platin	C	"	"	Cao	Lớp phun chống gỉ, chất dẫn, tiếp điểm làm việc ở nhiệt độ cao
39	Sắt	A	-	-	Tương đối cao	Lớp phun từ tính
40	Cacbit niken (NiC)	B	Mịn	Rất thấp	Cao	Lớp phun rất chặt, cứng, nhiệt độ nóng chảy cao, dùng trong môi trường kiềm ở nhiệt độ cao; không được sử dụng trong môi trường hoàn nguyên
41	Titanat bari	A, B	"	"	Rất cao	Lớp phun lưỡng điện (dielectric)

* A - phun plasma; B - phun ngọn lửa khí (ngọn lửa axetylen); C - phun ngọn lửa khí (ngọn lửa hydro).

Công nghệ chuẩn bị bề mặt hệ thống chắn sóng trước khi phun giống như chuẩn bị cho hệ thống cửa phai.

Bề mặt sau khi phun nhôm được phủ một lớp epoxy dày 2 – 2,5 mm.

Hệ thống cửa phai và hệ thống chắn sóng đã làm việc trong môi trường nước lợ (cửa phai) và nước biển (chắn sóng) trong suốt thời gian trên 15 năm vẫn giữ được trạng thái bề mặt tốt.

7.1.2. CÁC CHI TIẾT TRONG MÔI TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ CAO

Cánh tuabin khí và ống vòi voi

Là những ví dụ điển hình của các chi tiết làm việc trong điều kiện nặng nhọc ở nhiệt độ cao. Nhiệt độ làm việc của tuabin khí và của ống vòi voi (ống chuyển tiếp – transition piece) có thể lên tới 1150°C. Để chịu đựng được các điều kiện tải trọng nặng và nhiệt độ cao như vậy, ngoài việc các chi tiết được chế tạo từ các hợp kim "siêu cao" crom – niken, chúng còn được phủ một lớp bảo vệ chống ăn mòn, xâm thực và chống nhiệt độ cao. Phương pháp phun plasma hoặc phun ngọn lửa khí thường được ứng dụng trong trường hợp này. Lớp phun được tạo từ hai thành phần: a) lớp lót để tăng độ bám dính với nền và bảo vệ mặt nền không cho môi trường xâm nhập vào và b) lớp phủ để chống nhiệt độ cao của môi trường. Lớp lót thông thường được phun từ bột niken có chứa một số thành phần khác như crom, nhôm, ytri với hàm lượng tổng 30 – 35%. Lớp phủ từ bột dioxit ziriconi chứa 7 – 9% oxit ytri. Tổng chiều dày hai lớp ~500 – 600 µm, trong đó lớp lót ~350 – 450 µm, còn lại là lớp phủ.

Các lớp phun bảo vệ như vậy có thể cho phép các chi tiết máy tuabin khí làm việc trong ~25000 giờ công tác.

Trong ngành hàng không và vũ trụ rất nhiều chi tiết làm việc trong điều kiện hết sức khắc nghiệt và nhiệt độ cao, như vòi phun của các động cơ phản lực và tên lửa, các chi tiết của động cơ máy bay v.v... đều phải được phun phủ những lớp vật liệu đặc biệt để bảo vệ chúng trong quá trình công tác.

Vòi phun của động cơ tên lửa

Được phun bảo vệ bởi lớp phun từ oxit nhôm [26]. Phương pháp phun được sử dụng là phun ngọn lửa khí với vật liệu phun là thanh nhôm. Vỏ hình côn của vòi phun động cơ phản lực được bảo vệ bằng lớp phun từ oxit nhôm và dioxit ziriconi [26]. Phía trong gần miệng vòi phun được phun cacbit vonfram. Lớp phun cacbit vonfram chịu được tác dụng ăn mòn của các sản phẩm khí cháy chuyển động với tốc độ cao và nhiệt độ lên tới 3315°C. Tuổi thọ của vòi phun

được phun bảo vệ cao hơn 100 lần so với tuổi thọ của vòi phun không có lớp phun bảo vệ [26].

Các chi tiết của động cơ máy bay

Được phun phủ với nhiều vật liệu phun khác nhau để nâng cao độ bền mòn, độ bền chống nóng và độ bền ăn mòn. Các lớp phun như vậy vừa đóng vai trò bảo vệ, vừa đóng vai trò phục hồi các chi tiết và kết cấu trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

7.2. PHUN PHỤC HỒI

Các chi tiết máy trong quá trình làm việc bị hư hỏng và mài mòn, dẫn đến mất khả năng làm việc hoặc làm giảm công suất của máy. Có nhiều dạng hư hỏng của các chi tiết máy. Có thể phân loại theo nhóm như sau:

a) Dạng nứt, mẻ, nứt rạn (như ở block máy, bánh răng, bu lông công tác v. v...). Dạng khuyết tật này có thể phục hồi bằng hàn;

b) Dạng gãy (như ở trục cơ và các loại trục khác). Dạng này có thể phục hồi bằng hàn;

c) Dạng mài mòn và ăn mòn, là dạng phổ biến nhất ở các chi tiết làm việc trong các điều kiện nặng nhọc như: mài mòn, va đập mạnh, nhiệt độ cao; môi trường hoá học, môi trường xâm thực v.v... Có thể nêu lên một số chi tiết máy của dạng này:

- 1) Các chi tiết làm việc trong điều kiện nặng nhọc và mài mòn: trục khuỷu (trục cơ), bandage (gờ) bánh xe tàu hỏa, lưỡi gạt máy ủi, ốc xe xích, bánh tỳ xe xích, tang trống xe tăng v.v... Các chi tiết này phần lớn được phục hồi bằng hàn đắp; riêng trục khuỷu có thể phục hồi bằng hàn đắp phun phủ hoặc mạ điện;
- 2) Các chi tiết làm việc trong điều kiện va đập mạnh: hàm nhai đá, me khoan đá, khuôn rèn đập, đầu búa v.v... chỉ có thể được phục hồi bằng hàn;
- 3) Các chi tiết làm việc trong điều kiện va đập nhẹ ở nhiệt độ bình thường và cao, trong môi trường xâm thực (khí, nước) và môi trường ăn mòn hoá học có thể phục hồi bằng phun phủ bao gồm: các chi tiết động cơ phản lực, máy tuabin khí, máy bơm, các loại ốc, các loại gối đỡ v.v... Dưới đây giới thiệu một số chi tiết thuộc loại này đã được nghiên cứu phục hồi ở trong và ngoài nước.

7.2.1. CÁC CHI TIẾT MÁY BƠM

Trục máy bơm thủy lợi

Trục máy bơm thủy lợi công suất 3300 – 4000 m³/giờ sau nhiều năm công tác đã bị mài mòn. Đây là dạng trục thẳng dài 3,5 – 4,5 m, có đường kính ở những đoạn làm việc 220 – 230 mm. Trục làm bằng thép cacbon (0,45% C); ở những đoạn làm việc (dài khoảng 300 mm) được hàn hoặc phun một lớp thép chống gỉ.

Trước khi phun trục được tiện bóc hết lớp đắp cũ (nếu là trục phun khi chế tạo) hoặc tiện tròn hết vết mài mòn (nếu là trục hàn khi chế tạo). Tiếp đó tiện ren với chiều sâu ren 1,52 mm và bước ren 2,0 mm. Đường kính cổ trục sau khi tiện ren phải nhỏ hơn đường kính nguyên thủy (khi chế tạo mới) ít nhất là 2,5 mm (đo từ đỉnh ren). Trục được phun cát thạch anh hạt thô, tiếp đó phun phủ. Phương pháp phun được ứng dụng – hồ quang điện. Đường kính dây phun 2 mm, từ thép 18–8. Chế độ phun: điện áp 26 – 28 V; cường độ dòng điện 250 – 280 A; áp suất không khí nén 5 kG/cm². Trục được gá trên máy tiện, quay với tốc độ 15 – 20 vg/ph. Tốc độ di chuyển của máy phun (EM-6 gá trên bàn xe dao) 0,6 – 0,8 m/ph. Khoảng cách phun 80 – 100 mm. Lượng dư gia công cơ khí 0,5 mm một phía.

Trục sau khi phun được gia công bằng phương pháp tiện, độ bóng V5. Các trục đã làm việc được trên 20 năm và vẫn hoạt động bình thường.

Ống máy bơm làm việc trong nước

Với động cơ bị mòn và gỉ nhanh trên toàn bộ bề mặt. Để bảo vệ ống, mặt ngoài của nó được phun phủ hợp kim crom – niken tự chảy. Phun bằng ngọn lửa khí. Chiều dày lớp phun khoảng 1,0 mm. Sau khi phun và làm nóng chảy lại lớp phun được mài tới chiều dày 0,6 mm. Độ cứng lớp phun đạt 60 HRC. Ống nguyên thủy được chế tạo từ thép 45, bề mặt tôi cao tần và mạ crom. Sự phun hợp kim tự chảy so với mạ crom cho phép tăng thời gian công tác của ống lên 8 đến 10 lần [27].

Mặc dầu phun là quá trình tốn kém hơn mạ crom song giá thành chung của ống phục hồi bằng phương pháp phun thấp hơn 3 lần so với mạ crom. Ngoài ra điều quan trọng nữa là có thể nhận được các lớp phun chiều dày lớn.

Các hợp kim tự nóng chảy cũng được dùng làm vật liệu phun bảo vệ chống gỉ và chống mòn trên các chi tiết khác của máy bơm, như pittông, trục bơm v.v...

Pittông máy bơm

Pittông máy bơm có kích thước dài 508 mm, đường kính 152 mm được làm bằng hợp kim đồng chì nhôm. Đoạn mài mòn của pittông được tiện tròn và tiện

rãnh song song sâu 1,5 mm, bước 12,7 mm. Sau khi phun bi thép với độ hạt 1200 – 1400 μm , bề mặt đoạn pittông phục hồi được phun lớp lót molipden và phun lớp phủ đồng chì. Chiều dày lớp phun 3,2 mm. Phương pháp phun dây ngọn lửa khí [11].

Sự phục hồi pittông bằng phương pháp phun tiết kiệm được 56% so với thay mới, đồng thời rút ngắn được thời gian chờ đợi của máy [11].

7.2.2. CÁC CHI TIẾT ĐỘNG CƠ

Các chi tiết động cơ đốt trong

Các chi tiết động cơ đốt trong như trục khuỷu, pittông có thể phục hồi bằng phun kim loại. Bằng phương pháp phun "truyền thống", rất nhiều loại trục khuỷu thép và gang đã được phục hồi đạt kết quả tốt. Nơi đáng được ghi nhận các kết quả khả quan nhất là Viện Kỹ thuật Giao thông (nay là Viện Khoa học Công nghệ GTVT).

Công việc chuẩn bị bề mặt trước khi phun bao gồm: tiện hoặc mài các cổ trục sao để sau khi phun và gia công cơ khí chiều dày lớp phun đạt 0,25 – 1,02 mm tùy thuộc vào đường kính cổ trục (bảng 4.6); gia công tia lửa điện để tạo nhám bề mặt theo chế độ (bảng 4.2); và cuối cùng là phun cát làm sạch bề mặt (cỡ hạt trung bình).

Trục được phun bằng hồ quang dây. Chế độ phun: cường độ dòng điện 180 – 200 A; điện áp hồ quang 26 – 28 V; khoảng cách phun 100 – 150 mm (cho các cổ trục chính), 150 – 220 mm (cho cổ biên) hoặc hơn – tùy hành trình pittông. Áp suất không khí nén 5 – 5,5 kG/cm^2 . Dây phun thép cacbon (0,7 – 0,8% C) đường kính 1,6 – 1,8 mm. Số vòng quay của trục 25 – 35 vg/ph – tùy theo đường kính cổ trục.

Việc phun tiến hành từng lớp 0,1 – 0,15 mm, không để nhiệt độ bề mặt vượt quá 50 – 60°C. Trong trường hợp ngược lại có thể lớp phun bị tróc hoặc nứt ở các góc lượn cổ trục.

Để cho lớp phun có chiều dày đồng đều, trục phải được gá với độ lệch tâm không lớn (không quá ± 2 mm).

Sau khi phun trục được gia công cơ khí bằng phương pháp tiện, để lượng dư mài khoảng 0,05 – 0,10 mm.

Bằng phương pháp phun "truyền thống" nói trên, Viện Khoa học Công nghệ GTVT đã phục hồi được hàng trăm trục khuỷu động cơ ô tô từ xe con đến xe tải. Các trục khuỷu đã làm việc tốt; số km đường dài hoạt động của các xe lắp trục phục hồi không kém các xe lắp trục mới [41, 42, 43].

Các chi tiết động cơ phản lực

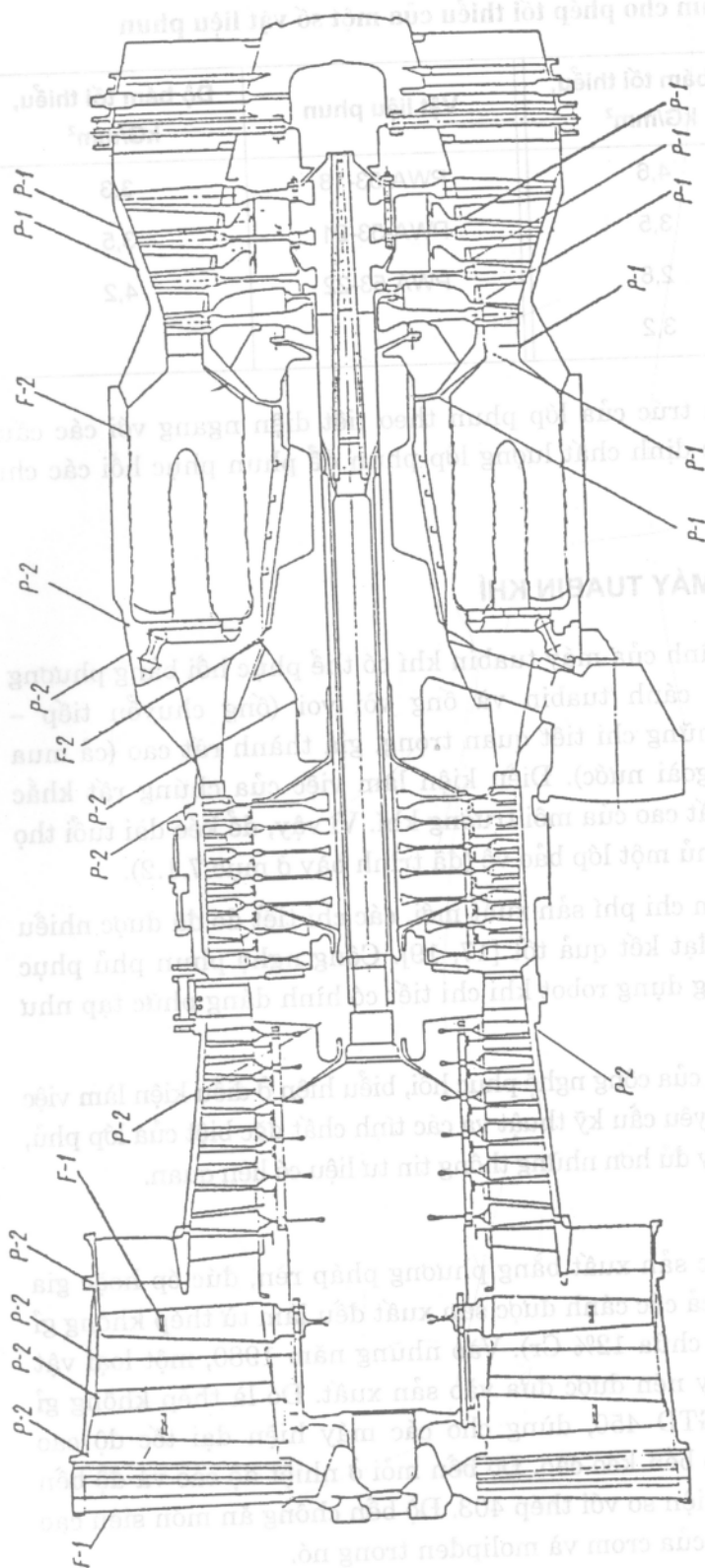
Được phun phục hồi với những vật liệu đa dạng nhất [11]. Công nghệ phun được ứng dụng rộng rãi để phục hồi các chi tiết mài mòn trong các kỳ sửa chữa đại tu động cơ. Các cánh quạt máy nén và các trục làm việc với gối đỡ được phun bằng phương pháp nổ từ bột cacbit vonfram chứa 30% coban. Chiều dày lớp phun 0,08 – 0,13 mm. Sau khi phun bề mặt được mài với độ bóng $\nabla 8$. Trên hình 7.1 mô tả động cơ tuabin phản lực và những chi tiết được phục hồi bằng phun phủ.

Trước khi phun các chi tiết người ta đã tiến hành thí nghiệm mẫu. Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm xác lập điều kiện và công nghệ phun để phun hàng loạt các chi tiết. Các mẫu thí nghiệm được tiến hành để kiểm tra độ bám dính của lớp phun với nền, độ uốn và cấu trúc vi mô theo tiêu chuẩn chất lượng của các lớp phun. Chiều dày lớp phun trên mẫu phải là 0,1 – 0,15 mm. Khi lớp phun có chiều dày nhỏ hơn, không thể phát hiện được sự phá hủy ở trên bề mặt thậm chí cả khi chất lượng lớp phun không đảm bảo. Điều đó dẫn đến những kết luận sai lầm.

Các kết quả thí nghiệm phụ thuộc nhiều vào các tính chất của vật liệu phun. Thậm chí kể cả các lớp phun có chất lượng sau khi thử vẫn xuất hiện các vết nứt. Chẳng hạn khi phun hợp kim PWA-53-32 lớp phun bị giòn và cứng; khi thử bị bong khỏi vật liệu nền.

Độ bám của lớp phun với nền được thử theo phương pháp kéo vuông góc (pháp tuyến – mục 6.1.5). Độ bám cho phép tối thiểu của một số vật liệu phun xem ở bảng 7.2. Thành phần của các vật liệu đó như sau:

- * PWA-53-2 : 88% cacbit vonfram + 12% coban;
- * PWA-53-7 : 75% cacbit crom CrC + 25% nicrom (80% Ni + 20% Cr);
- * PWA-53-14 : 28% Cr, 19,5% W, 5% Ni, 1% V, còn lại Co;
- * PWA-53-15 : nicrom (80% Ni + 20% Cr);
- * PWA-53-18 : 25,5% Cr, 10,5% Ni, 7,5% W, còn lại Co;
- * PWA-53-21 : 80% Ni + 20% Al;
- * PWA-53-22 : 50% (80% WC + 12% Co) + 35% (70% Ni + 16,5% Cr + 4% Fe + 4% Si + 3,5% B) + 15% (80% Ni + 20% Al).



Hình 7.1. Các vùng phun phục hồi trong động cơ phản lực DS-8:

Ký hiệu	Phương pháp phun	Vật liệu phun
P-1	Plasma	Hợp kim 75% Cr ₃ C ₂ - 25% (80% Ni - 20% Cr)
P-2	Plasma	80% Ni - 20% Al
F-1	Nổ	WC
F-2	Nổ	Cr ₃ C ₂

Bảng 7.2. Độ bám cho phép tối thiểu của một số vật liệu phun

Vật liệu phun	Độ bám tối thiểu, kG/mm ²	Vật liệu phun	Độ bám tối thiểu, kG/mm ²
PWA-53-2	4,6	PWA-53-18	3,3
PWA-53-7	3,5	PWA-53-21	3,5
PWA-53-14	2,8	PWA-53-22	4,2
PWA-53-15	3,2		

Kết hợp so sánh cấu trúc của lớp phun theo tiết diện ngang với các cấu trúc tiêu chuẩn có thể xác định chất lượng lớp phun để phun phục hồi các chi tiết động cơ phản lực.

7.2.3. CÁC CHI TIẾT MÁY TUABIN KHÍ

Những chi tiết điển hình của máy tuabin khí có thể phục hồi bằng phương pháp phun phủ bao gồm cánh tuabin và ống vòi vôi (ống chuyển tiếp – transition piece). Đây là những chi tiết quan trọng, giá thành rất cao (cả mua mới, cả được phục hồi ở ngoài nước). Điều kiện làm việc của chúng rất khắc nghiệt: áp suất cao, nhiệt rất cao của môi trường khí. Vì vậy, để kéo dài tuổi thọ của chúng, cần thiết phải phủ một lớp bảo vệ (đã trình bày ở mục 7.1.2).

Tuy nhiên, để tiết kiệm chi phí sản xuất mới, các chi tiết đó đã được nhiều nước nghiên cứu phục hồi đạt kết quả tốt [17, 19]. Công nghệ phun phủ phục hồi đã được tự động hoá (ứng dụng robot khi chi tiết có hình dáng phức tạp như ống vòi vôi).

Do tính chất quan trọng của công nghệ phục hồi, biểu hiện ở điều kiện làm việc của các chi tiết đòi hỏi những yêu cầu kỹ thuật và các tính chất đặc biệt của lớp phủ, trong mục này sẽ trình bày đầy đủ hơn những thông tin tư liệu có liên quan.

Vật liệu

Cánh máy nén khí được sản xuất bằng phương pháp rèn, đúc ép hoặc gia công cơ khí. Cho tới nay, tất cả các cánh được sản xuất đều làm từ thép không gỉ kiểu 403 hoặc 403Cb (cả hai chứa 12% Cr). Vào những năm 1980, một loại vật liệu mới để chế tạo cánh máy nén được đưa vào sản xuất. Đó là thép không gỉ mactenxit, biến cứng lạng GTD-450, dùng cho các máy hiện đại tốc độ cao (bảng 7.3). Vật liệu này có độ bền kéo cao. Độ bền mỏi ở nhiệt độ cao và độ bền mỏi chống gỉ cũng được cải thiện so với thép 403. Độ bền chống ăn mòn siêu cao có được là nhờ hàm lượng cao của crom và molipden trong nó.

Sự ăn mòn của máy nén là do hơi nước chứa muối và axit tụ lại trên cánh. Trong quá trình vận hành, hơi nước có thể có do mưa, do sử dụng các bộ phận làm lạnh bằng hơi, hoặc do sự đóng băng của không khí ẩm gia tốc ở cửa vào của máy nén. Hơi nước có thể có trong máy nén trong quá trình vận hành tới giữa tầng 5 và tầng 8, nơi nó trở nên đủ ẩm để ngăn chặn sự đóng băng. Khi tuabin không vận hành thì máy nén vẫn còn ướt nếu nhiệt độ kim loại thấp hơn điểm sương của môi trường xung quanh. (Điều này có thể xảy ra đối với những chi tiết ở trong môi trường ẩm). Tính chất hoá học của chất lỏng hơi nước đó ở trên cánh quyết định tính nghiêm trọng của hiện tượng ăn mòn.

Bảng 7.3. Các hợp kim nhiệt độ cao [19]

Vật liệu	Thành phần %										
	Cr	Ni	Co	Fe	W	Mo	Ti	Al	Cb	C	B
Buồng đốt											
SS309	23	13	-	Nén	-	-	-	-	-	0,10	-
HAST	22	Nén	1,5	1,9	0,7	9	-	-	-	0,07	0,005
N-263	20	Nén	20	0,4	-	6	2,1	0,4	-	0,06	-
HA-188	22	22	Nén	1,5	14,0	-	-	-	-	0,05	0,01
Cánh máy nén											
12	12	-	-	Nén	-	-	-	-	-	0,11	-
AISI 403	12	-	-	Nén	-	-	-	-	0,2	0,15	-
AISI 403Cb	15,5	6,3	-	Nén	-	0,8	-	-	-	0,03	-
GTD-450											

Vào những năm đầu thập kỷ 60 thế kỷ trước, lần đầu tiên GE (General Electric) tiến hành thí nghiệm rỗ hoa (pitting) trên thép 403 ngâm trong dầu bởi rất nhiều máy đã bị ăn mòn thành lỗ và hỏng cánh máy nén. Nói chung thời gian vận hành của các máy này nằm trong khoảng 20000 đến 60000 giờ. Kết quả thí nghiệm cho phép ứng dụng lớp phủ NiCd cho tất cả các cánh máy nén trong các tầng "ướt" (thường tới tầng thứ 8). Tuy nhiên do yêu cầu ngày càng khắt khe của các máy nén khí, lớp phủ đó được GE thay thế bằng một lớp phủ mới, đó là lớp phủ có tên gọi GECC-1 đã được đăng ký bằng sáng chế độc quyền. Đây là lớp phủ bằng vật liệu nhôm. Trên lớp nhôm này được phủ một lớp vật liệu gốm. Lớp phủ kép này đã giữ được hơn 10000 giờ trong môi trường thí nghiệm và có độ bền chống gỉ và chống ăn mòn bằng hoặc tốt hơn các lớp phủ nhôm thông thường.

Các cánh của ba tầng động và tĩnh trong máy nén được làm từ thép GTD-450; năm tầng cánh tiếp theo được làm từ thép GTD-450 cho các máy hạng F và từ thép AISI 403 được phủ lớp GECC-1 hoặc 403 Cb cho các máy khác. Các cánh còn lại làm từ thép AISI 403 hoặc 403 Cb không phủ. Sự thay đổi đó cho phép các máy GE nhận được độ bền chống gỉ và chống ăn mòn tốt hơn, đồng thời loại trừ được cadimi từ môi trường công tác.

GTD-450 là thép không gỉ mactenxit biến cứng lắng với độ bền chống gỉ rất cao. Thực nghiệm cho thấy rằng GTD-450 trong môi trường axit và muối có tính chống rỗ hoa rất tốt. Tính chất này của GTD-450 bằng hoặc tốt hơn nhôm hoặc các lớp phủ NiCd ở trong môi trường tương tự. Thực tế công tác hơn 48000 giờ đã chứng minh độ bền chống gỉ rất tốt của thép GTD-450 không phủ lớp bảo vệ. Vì vậy, trong các máy khi có sự ăn mòn, nên sử dụng vật liệu 12% Cr phủ lớp GECC-1 hoặc GTD-450 không phủ để chế tạo cánh máy nén. Vật liệu GTD-450 không được phủ lớp bảo vệ bởi lớp phủ sẽ làm giảm độ bền mỏi [19].

Ống chuyển tiếp (ống vôi vôi – transition piece) tuy không có cấu tạo phức tạp nhưng đòi hỏi yêu cầu khắt khe về vật liệu. Vì vậy người ta đã tiến hành nghiên cứu từ rất sớm để chọn vật liệu thích hợp cho ống chuyển tiếp.

Đầu những năm 1950, ống chuyển tiếp được làm từ thép không gỉ AISI 309. Đầu những năm 1960, các hợp kim nền niken Hastelloy-X và RA-333 được dùng trong một số bộ phận giới hạn. Những hợp kim đó được tiêu chuẩn hoá cho ống chuyển tiếp từ 1970.

Những năm đầu 1980, một loại vật liệu mới – Nimonic 263, được đưa vào ứng dụng cho ống chuyển tiếp của các máy kiểu MS 7001 và MS 9001. Vật liệu này là hợp kim nền niken tăng bền lắng với độ bền cao hơn Hastelloy-X. Các ống chuyển tiếp Nimonic 263 vận hành tốt trên 25000 giờ của máy MS 7001. Vật liệu Nimonic 263 (N-263, bảng 7.3) được sử dụng trong các kiểu tuabin khí nhiệt độ cao hơn và sẽ được dùng trong các máy tốc độ cao [19].

Đầu những năm 1980, các lớp phun chống nhiệt (TBCs – Thermal Barrier Coatings) được ứng dụng cho ống chuyển tiếp của các kiểu tuabin khí nhiệt độ cao hơn và những máy tốc độ cao. Thực tế công tác hàng ngàn giờ đã chứng minh độ bền tốt của lớp phủ đó trên ống chuyển tiếp.

Lớp phủ

Vai trò của tất cả các lớp phủ là cung cấp cho bề mặt vật liệu sự dự trữ các nguyên tố tạo nên các lớp oxit bám dính tốt để bảo vệ vật liệu nền khỏi bị gỉ, oxy hoá và sự giảm độ bền. Các lớp phủ đầu tiên được áp dụng trong tuabin khí máy bay được nhận từ oxit nhôm khuếch tán (đầu những năm 1960). Nó được sử dụng trong tuabin khí tải trọng nặng nhưng không thích ứng được bởi các chất

tạp với khối lượng lớn và lưu lại lâu trong máy đó, làm tăng tốc hiện tượng gỉ nóng. Lượng chất tạp của dầu và không khí càng lớn thì thời gian công tác của vật liệu tuabin càng giảm. Ngoài gỉ nóng, khi nhiệt độ cháy của tuabin càng cao, thì sự oxi hoá ở nhiệt độ cao càng mạnh.

Gỉ nóng là dạng tấn công nhanh có liên quan tới chất tạp kiềm như natri và kali phản ứng với lưu huỳnh trong dầu tạo thành các sunfit lỏng. Sự có mặt chỉ vài phần triệu các chất tạp này trong dầu hoặc trong không khí là đủ để gây sự gỉ đó. Ngoài các kim loại kiềm như Na và K còn có các nguyên tố hoá học khác ảnh hưởng hoặc gây gỉ, như chì và vanadi.

Có hai dạng gỉ công nghiệp: dạng I – gỉ nóng nhiệt độ cao và dạng II – gỉ nóng nhiệt độ thấp. Gỉ ở nhiệt độ 816 – 927°C khi có mặt của sunfat natri (Na_2SO_4). Sunfat natri phát sinh trong quá trình cháy bởi phản ứng giữa natri, lưu huỳnh và oxi. Lưu huỳnh là chất tạp tự nhiên trong dầu.

Gỉ nóng nhiệt độ thấp là một cơ chế riêng biệt của tấn công gỉ. Sự tấn công đó có thể gia tăng khi có điều kiện. Nó xảy ra ở khoảng nhiệt độ 593 – 760°C dưới áp suất cục bộ tương đối lớn của SO_2 . Nó gây bởi các hợp chất otecti nóng chảy khi đốt cháy sunfat natri và một số thành phần hợp kim như niken và coban.

Sự oxi hoá kim loại xuất hiện khi các nguyên tử oxi kết hợp với các nguyên tử kim loại tạo thành các màng oxit. Nhiệt độ càng cao thì quá trình đó xảy ra càng nhanh tạo nên tiềm lực phá hủy kết cấu nếu vật liệu nền bị tiêu hao quá nhiều bởi các oxit đó.

Ở những nhiệt độ cao hơn 899°C có thể xảy ra sự oxi hoá tương đối mạnh trừ khi có vật cản sự khuếch tán của oxi trên mặt kim loại. Oxit nhôm (Al_2O_3) cung cấp vật cản ấy. Oxit nhôm sẽ hình thành trên bề mặt siêu hợp kim ở nhiệt độ cao nếu lượng nhôm của siêu hợp kim đó đủ lớn. Tuy nhiên, nhiều siêu hợp kim độ bền cao đang được sử dụng hiện nay không tạo được đủ các màng bảo vệ bởi vì các yêu cầu về thành phần để nhận được các tính chất khác, như độ bền cao và tính ổn định về luyện kim, không cho phép tối ưu hoá độ bền chống gỉ và chống oxi hoá của các siêu hợp kim.

Các lớp phủ bền nhiệt (TBCs – Thermal Barrier Coatings) được áp dụng cho các chi tiết và kết cấu được cấu thành từ hai lớp: lớp lót (lớp dưới) và lớp phủ (lớp trên). Tùy thuộc vào yêu cầu về chiều dày bảo vệ của các vật liệu, các lớp phủ được chia thành hai loại: loại A với chiều dày lớp lót 0,3556 mm + chiều dày lớp phủ 0,1016 mm và loại B – lớp lót 0,5080 mm + lớp phủ 0,0508 mm.

TBC, có những đặc tính sau:

- Chiều dày 0,379 – 0,633 mm;
- Cách ly – xốp;

- Phun plasma trong không khí;
- Hai lớp: lớp lót từ bột NiCrAlY và lớp phủ – ziriconi ổn định hoá bằng ytri.

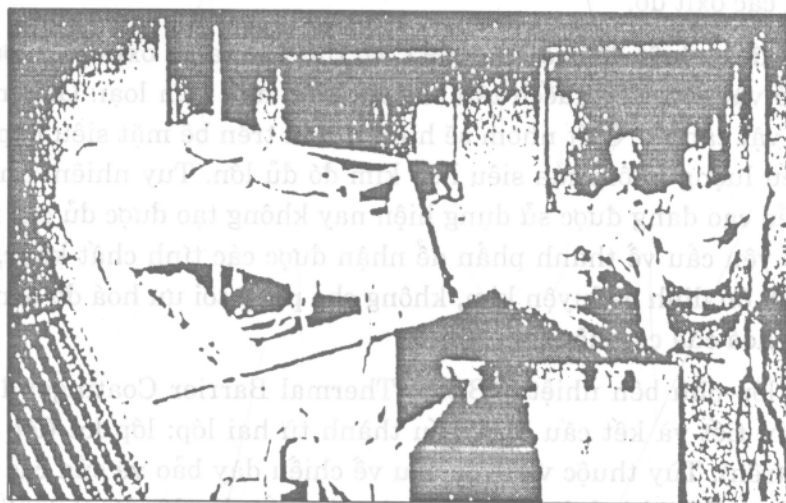
Tính ưu việt của lớp phủ:

- Giảm nhiệt độ kim loại của các phần tử làm lạnh. Mỗi 0,025 mm chiều dày lớp phủ giảm được 4,3 – 7,0°C;
- Chống gỉ, chống oxi hoá của môi trường và chống nhiệt độ cao.

** Công nghệ phục hồi*

Chưa có nhiều tài liệu về công nghệ phun bảo vệ (khi sản xuất mới) và phục hồi (khi hư hỏng) các chi tiết máy tuabin khí. Trong [17]. K. J. Pallos giới thiệu một số thông tin về phun lớp phủ trên bề mặt ống chuyển tiếp.

GE nhấn mạnh tầm quan trọng của phun robot các lớp phun cách nhiệt để đảm bảo chất lượng của chúng khi phục hồi ống vòi voi (ống chuyển tiếp) [17]. Khi phun tay người công nhân bị cản trở bởi mặt nạ bảo vệ nên không thể quan sát được gần các vị trí góc cạnh của chi tiết phun, do vậy khoảng cách phun và tốc độ di chuyển của mỏ đốt không đều, dẫn đến sự không đồng đều về chiều dày của lớp phun. Hình 7.2 giới thiệu robot phun phủ ống vòi voi trong quá trình làm việc.

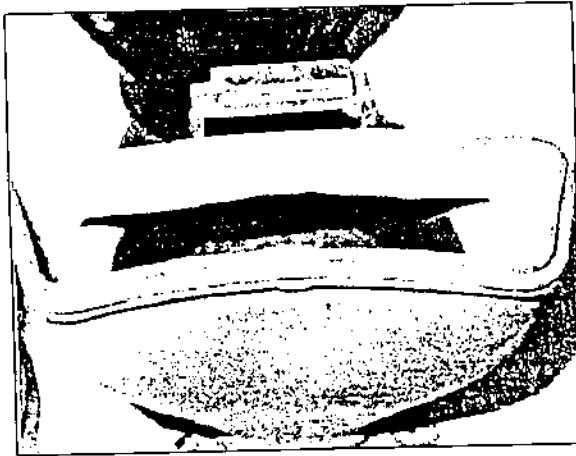


Hình 7.2. Robot phun lớp cách nhiệt trên ống vòi voi của máy MS 7001E.

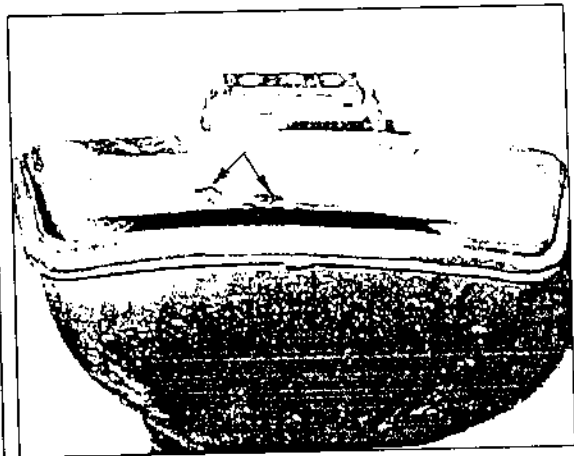
Sự đều đặn về chiều dày của lớp phun là yêu cầu cần thiết để đảm bảo thời gian công tác của ống vòi voi. Nếu sự khác nhau về chiều dày xuất hiện trong

khi phun tay thì khả năng phá vỡ lớp phun trong các chu kỳ nhiệt sẽ cao. Điều này thấy rõ trên các hình 7.3 và 7.4 khi thí nghiệm độ bền của các lớp phun bằng tay và robot trên ống vòi voi. Hình 7.2 mô tả ống vòi voi được phun robot. Lớp phun vẫn giữ được hình thái sau 8000 giờ thí nghiệm.

Hình 7.3 giới thiệu ống vòi voi được phun với cùng một loại vật liệu nhưng bằng phương pháp thủ công. Lớp phun đã bị phá vỡ (vết đen * đánh dấu trên ảnh) [17].



Hình 7.3. Ống vòi voi được phun robot lớp chống nhiệt (sau 8000 giờ làm việc).



Hình 7.4. Ống vòi voi được phun tay lớp chống nhiệt (sau 8000 giờ làm việc).

Viện nghiên cứu Cơ khí (Bộ Công nghiệp) cũng đã tiến hành nghiên cứu phục hồi ống vòi voi bằng phương pháp phun plasma trên máy phun plasma 3710 của Hãng Praxair (hình 3.10). Nhiều thí nghiệm đã được tiến hành để xác định tiêu chuẩn của lớp phun [48].

Mẫu thí nghiệm được làm từ thép X23H18C2 theo sơ đồ ở hình 6.7a. Các chỉ tiêu để đánh giá chất lượng lớp phun bao gồm độ bám, độ cứng và độ xốp.

Các mẫu trước khi phun được ngâm trong dung dịch hỗn hợp NaOH (20 g/l), Na_2CO_3 (50 g/l), Na_2SiO_3 (5 g/l) và NaPO_4 (50 g/l). Thời gian ngâm 2 – 2,5 h. Sau đó rửa bằng nước ở 40 – 50°C, sấy khô và phun tạo nhám bề mặt bằng bột oxit nhôm cỡ hạt G24. Phun bằng máy phun Thụy Điển có cơ cấu thu hồi hạt. Áp suất không khí nén 5 kG/cm²; khoảng cách phun 100 mm; góc phun 90°.

Vật liệu phun được chọn để phục hồi ống vòi voi là bột Ni-164-2 và bột ZRO-182 [47].

Bột Ni-164-2 là bột hợp kim NiCrAlY có dạng hình cầu (hình 5.11) với thành phần hoá học như sau: crom (Cr) 21 – 23%, nhôm (Al) 9 – 11%, Ytri (Y) 0,8 – 1,2%, niken (Ni) – nền. Nhiệt độ nóng chảy 2560 – 2610°C; độ chặt (mật độ) 3,74 g/cm³. Lớp phun bằng bột Ni-164-2 có độ cứng Rockwell 15 T là 75 (~ 60 RB) và độ bám tối thiểu là 2750 psi (~193,2 kG/cm²).

Bột hợp kim Ni-164-2 là hợp kim nền niken chứa nhôm, crom và ytri. Nó được sử dụng rất nhiều trong máy tuabin khí. Độ bền chống oxi hoá có được là nhờ crom và nhôm tạo nên một lớp màng kín trên mặt lớp phun. Màng này được bảo trì bởi ytri bổ sung. NiCrAlY được áp dụng tốt cho kim loại nền làm việc ở nhiệt độ 989°C với chiều dày lớp phun tới 0,381 mm.

Bột hợp kim Ni-164-2 được dùng để phun lớp lót.

Lớp phủ (lớp trên) được sử dụng bột ZRO-182 (hình 5.11).

Đây là bột hình bán cầu chứa 0,8% oxit ytri (Y₂O₃) ổn định hoá bởi đioxit ziriconi (ZrO₂) – nền. Nhiệt độ nóng chảy 2691°C ; độ chặt 1,83 g/cm³. Lớp phun bột ZRO-182 có độ cứng Rockwell 15N là 3500 psi (~30 – 40RC).

Sử dụng ytri thay cho canxi hoặc magie cho phép nâng cao độ bền và công dụng của bột ZRO-182. Lớp phun chặt và cứng, có độ bền nhiệt và độ bền ăn mòn rất cao.

Trên 100 mẫu thí nghiệm được tiến hành trên máy phun plasma SG-100 (Praxair Thermal SG-100 Spray System – hình 3.10). Các chế độ phun thay đổi trong phạm vi rộng rồi thu hẹp dần để chọn những chế độ thích hợp nhất cho phép nhận được các lớp phun có độ bám, độ cứng và độ xốp theo yêu cầu của các lớp phun từ bột Ni-164-2 và bột ZRO-184. Tiếp đó việc phun được tiến hành trên các ống vòi voi (loại không phục hồi được) theo các chế độ đã chọn khi thí nghiệm mẫu. Trước khi phun các ống vòi voi được đánh sạch hết lớp phun cũ bằng phương pháp mài, tiếp đó ngâm, rửa, sấy khô và phun tạo nhám bề mặt bằng oxit nhôm cỡ hạt G24.

Để kiểm tra chiều dày các lớp phun (lớp lót và lớp phủ), ở những vị trí khác nhau trên bề mặt phun được gắn các mẫu thép phẳng kích thước 20 x 10 x 3 mm. Các mẫu thép này trước khi phun được chuẩn bị bề mặt như đối với ống vòi voi.

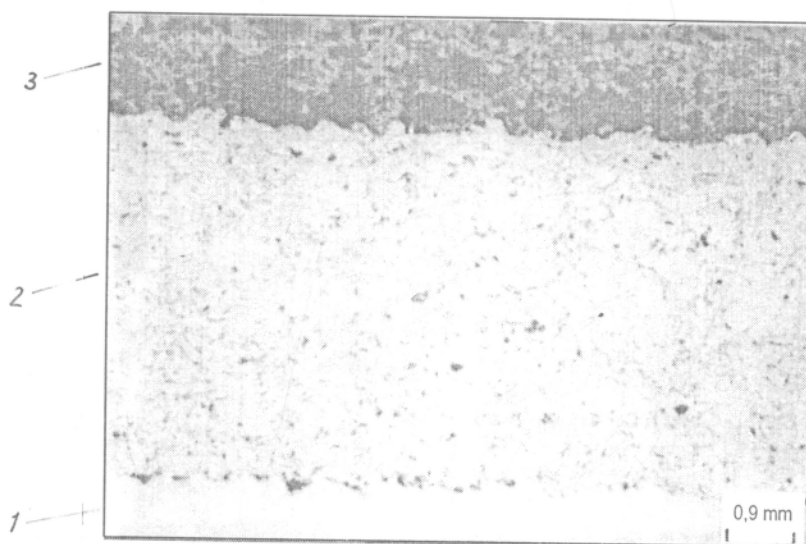
Các chế độ phun được chọn sau hai giai đoạn thí nghiệm ở bảng 7.4.

Hình 7.5 giới thiệu ống chuyển tiếp trong quá trình phun thí nghiệm. Hình 7.6 trình bày cấu trúc lớp phun của mẫu gắn trên bề mặt ống chuyển tiếp được phun cùng chế độ.

Hai ống chuyển tiếp (ống vòi voi) đã được phun phục hồi thử nghiệm bằng phương pháp phun tay hồ quang plasma theo chế độ (bảng 7.4). Các ống chuyển tiếp phục hồi đã được Công ty Điện Bà Rịa – Vũng Tàu nghiệm thu và đánh giá kết quả tốt.



Hình 7.5. Phun plasma trên ống chuyển tiếp.



Hình 7.6. Cấu trúc lớp phun chịu nhiệt trên mẫu thí nghiệm (x 100):
1- vật liệu nền; 2- lớp lót; 3- lớp phủ vật liệu Ni-164-2 (lớp lót) và ZRO-182 (lớp phủ).

Bảng 7.4. Điều kiện phun plasma phục hồi ống vôi vôi

Điều kiện phun	Lớp lót (bột Ni-164-2)	Lớp phủ (bột ZRO-182)
* Các thông số phun:		
• Điện áp hồ quang, V	38 - 40	38 - 40
• Cường độ dòng điện, A	780 - 800	450 - 480
• Tốc độ di chuyển súng phun, mm/s	8 - 10	8 - 10
• Khoảng cách phun, mm	76 - 102	76 - 102
• Năng suất cấp bột, g/ph	23 - 30	38 - 53
• Áp suất khí argon, kG/cm ²	3,6 - 3,8	2,9 - 3,1
• Áp suất khí heli, kG/cm ²	0,9 - 1,0	-
• Áp suất khí hydro, kG/cm ²	-	0,8 - 1,0
• Áp suất khí tải bột (Ar) kG/cm ²	2,1 - 2,3	2,1 - 2,3
* Nhiệt độ đốt nóng sơ bộ, °C	100 - 150	-
* Chiều dày lớp phun, mm	0,45 - 0,50	0,15 - 0,20

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Ballard W. E.* Metal Spraying and the Deposition of Ceramics and Plastics. Griffin, London, 1963.
2. *Birchon D.* Metalurgia. Dec. 1958.
3. *Bobrov C. V. and Privezentchev V. I.* Weld. Production, № 6, 1967.
4. *Doyle A. C. and Lambert J. W.* British Weld. Jour., Sept. 1963.
5. *Ekobori.* Teploperedatcha. Izd. Marudzen, 1960.
6. *Eric K.* Considerations When Burring Ash-Bearing Fuels in Heavy-Duty Gas Turbines. GE Power Generation GER-3764 A.
7. *Ingham H. S. and Shepard A. P.* Metallizing Handbook. METCO, 1959.
8. *Ingham H. S. and Shepard A. P.* Flame Spray Handbook. METCO, 1965.
9. *Jung Y. G.* Effect of Adsorbent Addition on Photocatalytic Property of Thermal Sprayed TiO_2 Coating. Kobe, Japan 2001.
10. *Kats N. V.* Metalizasia Razpyleniem. Mashinostroenie, Moscow, 1976.
11. *Khasui A.* Technica Napylenia. Mashinostroenie, Moscow 1975.
12. *Kobayashi A.* Enhancement of Graded Functionality of High Hardness Zirconia Composite Coatings by Gas Tunnel Type Plasma Spraying. Kobe, Japan, 2001.
13. *Matting A.* British weld. Jour. Sept. 1966.
14. *Mash D. R, Wear N. F, Walker D. L.* Jour of Metals, 1961.
15. *Morenop A. I. and Petrop A. V.* Welding Production, №2, 1967.
16. *Owa T.* Deposition of NiTi Intermetallic Coatings by Plasma Transferred Arc Surfacing Process. Kobe, Japan 2001.
17. *Pallos K. J.* Gas Turbine Repair Technology. GE. Power Systems, GER-3957 B.
18. *Sampson E. R.* Thermal Spraying.
19. *Sehilke P. W.* Advanced Gas Turbine Materials and Coatings. GE Power Systems, GER-3569F.
20. *Stetson A. R. and Hauck G. A.* Jour of Metals, July 1961.
21. *Taken Haganta.* Naniesienie Pokpyti Napyleniem. Izd. "Nikan Kore" 1964.

22. *Tomochika H.* Powders and Coating Layers NiTi Intermetallic Compound by the Method of Reactive Gas. Kobe, Japan 2001.
23. *AMS.* Welding Handbook, 1965.
24. *AMS.* Metals Handbook, 1964.
25. *ASTM.* Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings.
26. Materials in Design Engineering, Mid. Oct. 1966.
27. Spravotchnik po Napyleniu. Izd. "Nikan Kore", 1964.
28. Patent N^o: JP2002047551. Ceramic Coating Method Utilizing Water Plasma.
29. Patent N^o: JP2003034856. Thermal Spraying Method.
30. Patent N^o: JP2005179723. Method of Forming Sprayed Coating, and Device of Forming Sprayed Coating.
31. Patent N^o: US2001019781. Coating System for Providing Environmental Protection to a Metal Substrate, and Related Process.
32. Patent N^o: US2002164430. Process for Producing a Ceramic Thermal Barrier Layer for Gas Turbine Engine Component.
33. Patent N^o: US2003157363. Plasma Sprayed Thermal Bond Coat System.
34. Patent N^o: US2003203120. Method for Spray Coating and Rare Earth Oxide Powder Used Therefor.
35. Patent N^o: US2004005452. High Temperature Spray Dried Composite Abradable Powder for Combustion Spraying and Abradable Barrier Coating Produced Using Same.
36. Patent N^o: US2004219290. Method for Applying or Repairing Thermal Barrier Coatings.
37. Patent N^o: US2005129965. Plasma Injection Method
38. Patent N^o: US2005164027. High Temperature Abradable Coatings.
39. Patent N^o: US2005252450. Plasma Spray Method and Apparatus for Applying a Coating Utilizing Particle Kinetics.
40. *Hoàng Tùng.* Phun phủ và ứng dụng. NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 1993.
41. *Nguyễn Văn Thông.* Công nghệ phục hồi các chi tiết máy bằng thép. Báo cáo tổng kết KH và KT Đề tài 24-03-01, Hà Nội 1985.
42. *Nguyễn Văn Thông.* Công nghệ phục hồi các chi tiết máy bằng gang. Báo cáo tổng kết KH và KT Đề tài 34-01-01, Hà Nội 1990.
43. *Nguyễn Văn Thông.* Công nghệ phục hồi các chi tiết máy. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 1984.

44. Nguyễn Văn Thông. Tạp chí "Công nghiệp nặng" №: 2/92, 17/96.
45. Nguyễn Văn Thông. Tạp chí "Khoa học Kỹ thuật GTVT" №: 4/84, 3/86, 1/87, 3/87, 7/89.
46. Nguyễn Văn Thông. Tạp chí "Hoạt động khoa học". №: 11/93, 5/94, 2/97, 3/97.
47. Nguyễn Văn Thông, Uông Sĩ Áp. Về các lớp phun chịu nhiệt độ cao.
Tạp chí Công nghiệp №: 1/2006.
48. Nguyễn Văn Thông, Uông Sĩ Áp. Vài vấn đề về nghiên cứu công nghệ phun plasma phục hồi các chi tiết tuabin khí. Tạp chí Công nghiệp №: 2/2006.
49. Uông Sĩ Áp. Công nghệ phun phủ nhiệt để phục hồi các chi tiết làm việc trong điều kiện khắc nghiệt. Báo cáo tổng kết KH và KT đề tài KC-05-10, Hà Nội, 2005.

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Các ký hiệu	4
Chương 1. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHUN	5
1.1. Tổng quan và phân loại các phương pháp phun	5
1.1.1. Tổng quan	5
1.1.2. Phân loại các phương pháp phun	7
1.2. Phun ngọn lửa khí	8
1.3. Phun điện	12
1.4. So sánh đặc điểm công nghệ của phương pháp phun ngọn lửa khí và phun plasma	15
Chương 2. VẬT LIỆU PHUN	23
2.1. Dây phun	23
2.2. Bột phun	28
2.3. Thanh phun	42
Chương 3. THIẾT BỊ PHUN	45
3.1. Thiết bị phun ngọn lửa khí	45
3.2. Thiết bị phun điện	50
Chương 4. CÔNG NGHỆ PHUN	55
4.1. Chuẩn bị bề mặt chi tiết phun	55
4.1.1. Làm sạch chi tiết	55
4.1.2. Tạo nhám bề mặt	56
4.2. Phun	66
4.2.1. Phun ngọn lửa khí và phun nổ	66
4.2.2. Các phương pháp phun điện	71

4.3. Gia công các lớp phun	77
4.3.1. Sơn tẩm lớp phun	78
4.3.2. Làm nóng chảy lại lớp phun	79
4.4. Gia công cơ khí sau khi phun	82
Chương 5. ĐẶC ĐIỂM CỦA CÁC QUÁ TRÌNH PHUN	85
5.1. Tốc độ chuyển động của các hạt khi phun	85
5.2. Nhiệt độ của các hạt phun	87
5.3. Nhiệt độ của vật liệu nền	92
5.4. Tương tác của vật liệu phun với dòng nhiệt độ cao	93
5.5. Sự hình thành lớp phun	99
5.6. Cấu trúc của lớp phun	103
Chương 6. CÁC TÍNH CHẤT CỦA LỚP PHUN	105
6.1. Độ bám của lớp phun	105
6.1.1. Lực bám của kim loại lỏng trên nền chất rắn	105
6.1.2. Liên kết kim loại	107
6.1.3. Lực Vandervan	108
6.1.4. Những yếu tố ảnh hưởng đến độ bám	108
6.1.5. Các phương pháp thử độ bám	114
6.2. Độ bền kéo của lớp phun	118
6.3. Độ xốp của lớp phun	118
6.4. Độ cứng của lớp phun	122
6.5. Tính chống mòn và đặc tính ma sát của lớp phun	126
6.5.1. Tính chống mòn của lớp phun	126
6.5.2. Đặc tính ma sát	128
6.6. Tính chịu nóng và đặc tính cách nhiệt của lớp phun	131
6.6.1. Tính chịu nóng	132
6.6.2. Đặc tính cách nhiệt	134
6.7. Tính chống gỉ của lớp phun	137
6.7.1. Thí nghiệm trong môi trường không khí	139
6.7.2. Thí nghiệm trong nước biển	140
6.8. Ứng suất dư trong lớp phun	141
6.8.1. Phương pháp xác định ứng suất dư	141

6.8.2. Ứng suất dư trong các lớp phun	145
6.9. Độ bền mỏi của các chi tiết phun	147
6.9.1. Các lớp phun nhôm	147
6.9.2. Các lớp phun thép	148
6.9.3. Các lớp phun molipđen	152
Chương 7. ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ PHUN TRONG BẢO VỆ VÀ PHỤC HỒI	155
7.1. Phun bảo vệ	156
7.1.1. Các chi tiết trong môi trường nước lợ và nước biển	156
7.1.2. Các chi tiết trong môi trường nhiệt độ cao	160
7.2. Phun phục hồi	161
7.2.1. Các chi tiết máy bơm	162
7.2.2. Các chi tiết động cơ	163
7.2.3. Các chi tiết máy tuabin khí	166
TÀI LIỆU THAM KHẢO	175

CÔNG NGHỆ PHUN PHỦ BẢO VỆ VÀ PHỤC HỒI

Tác giả: TS. NGUYỄN VĂN THÔNG

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Biên tập và sửa bài:

Trình bày bìa:

PGS.TS. TÔ ĐĂNG HẢI

ThS. NGUYỄN HUY TIẾN

PHẠM VĂN

NGỌC LINH

HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo - Hà Nội

In 700 cuốn, khổ 19 x 27cm, tại Xưởng in NXB Văn hoá Dân tộc
Quyết định xuất bản số: 136-2006/CXB/360-06/KHKT ngày 12/4/2006
In xong và nộp lưu chiểu Quý III năm 2006.

206150



Giá: 36.000đ