

TS. NGUYỄN XUÂN TOÀN

CÔNG NGHỆ BÔI TRƠN

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA - HÀ NỘI

BÀI MỞ ĐẦU

TỔNG QUAN CÔNG NGHỆ BÔI TRƠN

1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN TRƯỚC THẾ KỶ 20

Hiện tượng ma sát đã được con người biết đến và sử dụng từ lâu đời. Sáng chế đầu tiên vào khoảng năm 4000 trước công nguyên là các thanh lăn và xe đẩy dùng chuyên chở các vật nặng. Trải qua nhiều thiên niên kỷ người ta đã cải tiến và bổ xung để các công cụ đó, tuy thô sơ nhưng tiện dụng và giảm nhẹ sức lao động cho con người.

Về mặt lý thuyết, phát minh đầu tiên thuộc về Leonard de Vinci (1452 - 1519) trên các hiệu ứng ma sát và khái niệm về hệ số ma sát. Những sơ đồ về nguyên lý nhằm giảm hệ số ma sát của ông vẫn mang tính thực tiễn cho đến ngày nay. Cuộc cách mạng khoa học lần thứ nhất (1500 - 1750) ghi nhận sự phát triển quan trọng của ngành ma sát học trong cơ khí, đáp ứng yêu cầu chế tạo trang thiết bị ngày càng phức tạp. Tiêu biểu trong thời kỳ này là các công trình của Bernard de Berlidor (1697 - 1761) về kỹ thuật dẫn hướng và nâng, của Euler (1707 - 1783) về tính toán hệ số góc ma sát, về hiệu ứng độ nhấp nhô bề mặt.

Công nghiệp phát triển với tốc độ ngày càng cao đã đẩy nhanh tốc độ nghiên cứu và ứng dụng về ma sát và bôi trơn. Vấn đề được đặt ra đầy đủ hơn trong công trình của Charles Augustin Coulomb (1736 - 1806): ma sát học đã kể đến tính chất vật liệu và hiệu ứng bôi trơn, mối quan hệ tải trọng và đặc tính tĩnh và động các cặp ma sát. Từ đó ma sát học ngày càng được nghiên cứu rộng và sâu hơn; có thể kể đến các công trình của G.A. Hirn (1815 - 1890), N.P. Petrov (1826 - 1920), B. Tower (1845 - 1904),... Trong lĩnh vực bôi trơn và cơ học ở giai đoạn này, nổi bật là các công trình về việc mô hình hoá các dòng chảy chất lỏng đơn giản của Stokes, hình thành phương trình tổng quát chuyển động của chất lỏng của L.H. Navier (1785 - 1836), luật chảy của J.M. Poiseuille (1799 - 1869). Và đặc biệt là phương trình tổng quát nổi tiếng trong bôi trơn thủy động được công bố năm 1886 bởi Osborne Reynolds (1842 - 1912).

Phương trình Reynolds đánh dấu bước phát triển nhảy vọt và nó là nền móng trong mọi nghiên cứu về bôi trơn cho đến hiện nay. Xuất phát từ phương trình Navier - Stokes và với các giả thiết về dòng chảy của màng dầu bôi trơn, dạng quen biết của nó là:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\mu \left[(U_0 + U_1) \frac{\partial h}{\partial x} + 2V_1 \right]$$

Lý thuyết của Reynolds đã được sử dụng rộng rãi bắt đầu từ thế kỷ 20 trong việc nghiên cứu các cơ hệ bôi trơn: các hệ thống ổ thủy động, bôi trơn thủy động đàn hồi, bôi trơn với các chế độ dòng chảy và vật liệu khác nhau. Hơn nữa nó còn thúc đẩy các lĩnh vực nghiên cứu liên quan đến kỹ thuật bôi trơn như hoá học, gia công cơ khí, phương pháp tính toán, ...

Quá trình nghiên cứu từ thế kỷ 20

Nghiên cứu về ma sát học (Tribology) là khoa học nhóm lại đồng thời các yếu tố của ba lĩnh vực khoa học: **Bôi trơn, ma sát và mài mòn**. Thực chất nó là nội dung nghiên cứu về các thành phần "sống", tức là các bộ phận tiếp xúc có chuyển động trong các máy móc và thiết bị công nghiệp.

Kỹ thuật bôi trơn như một ngành đầu tiên được nghiên cứu rất mạnh trong khoa học về ma sát học. Trước hết là các công trình về phương pháp giải phương trình Reynolds. Năm 1905, A.G. Michell (1870 - 1959) đã chỉ ra được sự giảm áp suất ở phần biên của màng dầu bôi trơn giữa hai tấm phẳng kích thước hữu hạn. Vào năm 1904 J.W. Sommerfield (1868 - 1951) đưa ra phương pháp giải bằng giải tích cho ổ dài vô hạn với điều kiện biên mang tên ông. Tuy nhiên do chưa tính đến sự gián đoạn của màng dầu nên áp suất ở vùng ra của màng dầu không thực tế (áp suất âm). Năm 1914, L.F. Gumbel (1874 - 1923) đã đề nghị bỏ qua miền áp suất âm ở trên khi tính ổ. Sau đó, năm 1923 H.B. Swift (1894 - 1960) đã xác định có vùng áp suất bão hòa của màng dầu và định ra điều kiện biên của Reynolds. Đó chính là cơ sở cho thuật toán giải số của Christopherson có từ năm 1941.

Bằng phương pháp tương tự điện, năm 1931, A. Kingsbury (1863 - 1943) đã trình bày phương pháp giải gần đúng phương trình Reynolds. Đối với ổ có chiều dài nhỏ so với đường kính, giải pháp bỏ qua gradien áp suất theo chu vi của F.W. Ocvirk (1913 - 1967) đã được đề ra năm 1953. Cuối cùng, giải tổng quát và trọn vẹn phương trình Reynolds dạng vi phân đạo hàm riêng người ta sử dụng phương pháp số; các phương pháp đầu tiên đã được trình bày bởi Cameron và Wood năm 1949 rồi đến Pincus, Raimondi và Boyd năm 1958. Đến nay, nhờ vào sự phát triển phi thường các công cụ tính toán nên các lời giải cho các kết cấu bôi trơn đã được giải quyết nhanh chóng.

Các hiệu ứng khác trong bôi trơn cũng được nghiên cứu cụ thể. Mặc dù hiệu ứng nhiệt được Kingsbury đề cập từ 1933, nhưng phải đến năm 1962 phương trình tổng quát nhiệt thủy động mới được viết ra lần đầu bởi D. Dowson. Tuy nhiên để tính nhiệt cho tất cả các trường hợp cho đến nay vẫn còn nội dung cần giải quyết.

Việc sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt thấp hay tăng tốc độ trượt trong bôi trơn thủy động sinh ra hiệu ứng làm thay đổi chế độ chảy của màng dầu. Các phân tích đầu tiên về bôi trơn với dòng chảy xoắn và rối thuộc về nghiên cứu của G.I. Taylor năm 1923. Công thức tính đến lực quán tính của màng dầu ở đây được trình bày bởi Slezkin và Targ năm 1946 và của D. Wilcock năm 1950. Trong bôi trơn lưu biến động, tính chất chảy của loại vật liệu này đã được đặc trưng bởi luật của Bingham từ đầu thế kỷ, những ứng dụng trong bôi trơn được ghi nhận trong các công trình của R. Powell và H. Eyring năm 1944 và A. Sisko năm 1958. Có rất nhiều công trình nghiên cứu về hiệu ứng trên chế độ chảy của màng dầu trong bôi trơn; nhưng do phương trình mô tả dạng phi tuyến, nên việc xem xét cơ hệ bôi trơn ở đây vẫn luôn là vấn đề thời sự.

Một dạng bôi trơn với các tính năng đặc biệt là bôi trơn thủy tĩnh và khí tĩnh, các bề mặt ma sát hoàn toàn bị tách rời, ngay ở trạng thái tĩnh, bởi màng chất lỏng có áp suất cao. Nó cho phép tăng độ chính xác và tin cậy của thiết bị. Năm 1917, L. Rayleigh đã giới thiệu

các tính toán đầu tiên về khả năng tải và mô men ma sát của một ổ trục bôi trơn thủy tĩnh. Tuy dạng bôi trơn này yêu cầu một phức hợp thiết bị thủy lực kèm theo, nhưng nó ngày càng ứng dụng phổ biến, đặc biệt với các ổ trục chịu tải lớn và đòi hỏi độ chính xác cao.

Trong trường hợp màng dầu bôi trơn có áp suất đủ lớn gây ra sự biến dạng các bề mặt ma sát, người ta có dạng bôi trơn thủy động đàn hồi. Ví dụ trong bôi trơn ổ lăn, ổ chịu tải lớn hay cặp bánh răng. Cơ sở nghiên cứu trong trường hợp này là lý thuyết của H. R.Hertz (1857 - 1894) với tiếp xúc chưa có chất bôi trơn và mô hình hoá dòng chảy trong tiếp xúc hẹp của Martin năm 1916. Nó được bổ xung bằng tính toán của Gatcombe và Grubin năm 1946. Cũng nhờ vào phương tiện tính toán số, song đây là dạng bôi trơn phức tạp, nên hiện nay còn tồn tại sự sai khác giữa lý thuyết và thực tế; và cơ sở của dạng bôi trơn này vẫn là mục đích của hàng loạt nghiên cứu.

Nhằm tổng quát hoá các nội dung nghiên cứu về bôi trơn, mới đây năm 1970, các kết quả nghiên cứu của M. Godet và cộng sự tại INSA Lyon (Pháp) với mô hình ba vật thể (trois corps) đặc trưng cho hai bề mặt ma sát, việc xác định các đặc tính của lớp vật liệu đó cho phép xác định đầy đủ hơn các thông số của toàn bộ vùng tiếp xúc.

2. PHÂN LOẠI CÁC DẠNG BÔI TRƠN

Nghiên cứu về kỹ thuật bôi trơn thực sự là một lĩnh vực rộng. Trước khi trình bày các nội dung nghiên cứu chúng tôi đưa ra ở đây các phân loại cơ bản về bôi trơn.

Theo dạng ma sát, ngoài ma sát khô được đề cập ở phần mòn – ma sát chúng ta có bôi trơn nửa ướt (thường gắn với việc cung cấp dầu mỡ định kỳ) và bôi trơn ướt.

Theo vật liệu bôi trơn có chất bôi trơn rắn (graphit hay bisulfure molybdène), chất bôi trơn lỏng (nước, dầu, mỡ) và chất bôi trơn khí.

Với bôi trơn ma sát ướt được nghiên cứu nhiều nhất có hai dạng chủ yếu là bôi trơn thủy động và bôi trơn thủy tĩnh.

Trong bôi trơn thủy động tùy theo số Reynolds $R = \rho Vh / \mu$ có bôi trơn tuyến tính, bôi trơn lưu biến động phi tuyến (thường đối với chất bôi trơn mỡ có R nhỏ hay độ nhớt cao) và bôi trơn rối (đối với chất bôi trơn là nước hay khí).

Bôi trơn ở áp lực cao sinh ra biến dạng của các bề mặt ma sát có bôi trơn thủy động đàn hồi (bôi trơn ổ lăn, ổ chịu tải lớn hay cặp bánh răng).

Ngoài ra để nâng cao một số đặc tính của kết cấu bôi trơn, có thể kể ra các hướng nghiên cứu quan trọng như bôi trơn dùng bạc tự lựa, bôi trơn với bề mặt bôi trơn không cứng tuyệt đối, trường hợp tải trọng thay đổi, ảnh hưởng của nhiệt độ, ...

Qua cách phân loại tương đối như trên có thể thấy rằng: nói chung một kết cấu bôi trơn thường là tổng hợp của các kiểu phân loại trên. do vậy, để tính toán một kết cấu bôi trơn cần phải giải quyết đồng thời nhiều bài toán liên quan.

Chương I

VẬT LIỆU BÔI TRƠN

1. DẦU GỐC TỪ DẦU GỐC KHOÁNG

1.1. Giới thiệu

Nguyên liệu chủ yếu để sản xuất ra dầu bôi trơn là các hydrocacbon tự nhiên và tổng hợp khác nhau. Dầu gốc từ dầu khoáng được sản xuất từ dầu mỏ bằng quá trình tinh chế chọn lọc. Bản chất của dầu thô và quá trình lọc dầu sẽ quyết định tính chất vật lý và hoá học của dầu gốc tạo thành.

1.2. Tính chất vật lý và hoá học của dầu gốc

Các phân đoạn dầu thô thích hợp cho sản xuất dầu gốc sẽ cho ra các sản phẩm có khoảng nhiệt độ sôi khác nhau nhờ quá trình chưng cất chân không. Chúng chứa các hydrocacbon sau:

- Parafin mạch thẳng và mạch nhánh,
- Hydrocacbon no đơn và đa vòng (nápten) có các cấu trúc vòng xyclohexan gắn với mạch nhánh parafin,
- Các hydrocacbon thơm đơn vòng và đa vòng chủ yếu chứa các mạch nhánh ankyl
- Các hợp chất chứa vòng nápten, vòng thơm và mạch nhánh trong cùng một phân tử,
- Các hợp chất hữu cơ có chứa các di nguyên tử, chủ yếu là các hợp chất chứa lưu huỳnh, nitơ và nhôm.

Bảng 1.1. Đặc tính vật lý và hoá học của các loại dầu khoáng khác nhau

Tính chất / thành phần hoá học	Dầu Parafin	Dầu neptan	Dầu Aromat
Độ nhớt ở 40 °C, mm ² /s	40	40	36
Độ nhớt ở 100 °C, mm ² /s	6,2	5,0	4,0
Chỉ số độ nhớt	100	0	-185
Tỷ trọng d 4 20	0,8628	0,9194	0,8926
Nhiệt độ chớp cháy, °C	229	174	160
Điểm anilin, °C	107	73	17
Nhiệt độ đông đặc, °C	-15	-30	-24
Phân tử lượng	440	330	246
Chỉ số khúc xạ	1,4755	1,5068	1,5503
Loại nguyên tử cacbon (phân tích cấu trúc nhóm)			
%CA	2	19	41
%CN	32	37	36
%CP	66	44	23

Các parafin mạch thẳng dài là loại sáp rắn nên hàm lượng của chúng trong dầu bôi trơn phải giảm tới mức nhỏ nhất. Mặt khác izoparafin (parafin mạch nhánh) lại là thành phần rất tốt trong dầu bôi trơn vì chúng có độ ổn định nhiệt và tính nhiệt tốt.