

MA SÁT VÀ BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG ÁP LỰC

PHẠM VĂN NGHỆ – NGUYỄN NHƯ HUYNH

MA SÁT VÀ BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG ÁP LỰC

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI - 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Trong các liên kết động, khâu, khớp của máy móc thiết bị, vấn đề ma sát, bôi trơn cần được hết sức coi trọng. Cơ sở khoa học của ma sát là khoa học nghiên cứu về sự tương tác giữa các bề mặt tiếp xúc trong các chuyển động tương đối giữa chúng. Việc nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm về cơ học bề mặt và cơ học tiếp xúc, nghiên cứu ảnh của ma sát đến quá trình mòn các bề mặt đó trong quá trình làm việc của máy móc, thiết bị là nhằm khắc phục sự mòn để nâng cao tuổi thọ của máy. Một khía cạnh khác, kỹ thuật ma sát còn được nghiên cứu làm giảm tiêu hao năng lượng (giảm lực ma sát) nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị.

Trong gia công áp lực, ma sát và bôi trơn có một vai trò rất quan trọng, nó ảnh hưởng trực tiếp và đáng kể đến mỗi quá trình biến dạng tạo hình kim loại; vừa có những ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình biến dạng. Việc nghiên cứu ma sát trong gia công áp lực nhằm mục đích góp phần tối ưu công nghệ, tìm ra những quy luật của ma sát có tác dụng tiêu cực hay tích cực đến khả năng biến dạng của vật, cũng qua đó có thể ứng dụng hiện tượng ma sát để điều khiển quá trình tạo hình, đồng thời làm giảm tiêu hao năng lượng. Nghiên cứu ma sát và bôi trơn trong gia công áp lực cũng là sự nghiên cứu về ma sát ngoài giữa dụng cụ gây biến dạng và vật biến dạng. Nghiên cứu ứng dụng chất bôi trơn, chế độ bôi trơn hợp lý để đạt hiệu quả cao trong mỗi trạng thái, mỗi trường hợp công nghệ khác nhau như trong gia công dập tấm, dập thể tích.

Ma sát ngoài là vấn đề rất được quan tâm nghiên cứu, các hiện tượng ma sát được giải thích bằng các quy luật vật lý diễn ra khi bôi trơn. Nghiên cứu ứng dụng các lý thuyết về ma sát ngoài của các vật rắn như một cơ sở khoa học. Song hiện tượng ma sát biến đổi dưới tác động của vô số yếu tố càng làm tăng lên tính phức tạp khi nghiên cứu hay giải thích một cơ chế ma sát tiếp xúc.

Phân tích ma sát và bôi trơn với 2 nguyên công công nghệ điển hình là dập vuốt sâu không biến mỏng thành trong khuôn cứng và quá trình chôn tự do, từ đó có thể áp dụng cho các nguyên công gia công áp lực khác.

Trên cơ sở thực nghiệm, sẽ cố gắng đưa ra cơ sở lý thuyết ma sát ướt trong dập tấm và dập khối là điều kiện không thể thiếu để tính toán các ngoại lực

khi phân tích các quá trình gia công kim loại bằng áp lực. Những kiến thức về ma sát và bôi trơn ảnh hưởng đến các quá trình dập tạo hình như các vấn đề về cơ chế ma sát, chế độ ma sát để từ đó xác định vị trí cần bôi trơn, chọn chất bôi trơn và sử dụng thiết bị có các thông số động học phù hợp với các nguyên công khác nhau trong các trạng thái khác nhau của quá trình là hết sức cần thiết và bổ ích cho các kỹ sư cơ khí làm việc trong lĩnh vực nghiên cứu và sản xuất cơ khí.

Giáo trình "***Ma sát và bôi trơn trong gia công áp lực***" đang được sử dụng cho đào tạo kỹ sư cơ khí - ngành Gia công áp lực. Phần chuyên sâu được sử dụng trong chương trình đào tạo cao học ngành Gia công áp lực. Cuốn sách này cần cho các kỹ sư cơ khí chế tạo máy, các nhà sản xuất cơ khí, lĩnh vực dập tạo hình (nóng và nguội) cũng như các nhà cung cấp chất bôi trơn sử dụng trong sản xuất cơ khí, gia công áp lực.

Trong quá trình biên soạn cuốn sách này, chúng tôi tham khảo nhiều tài liệu nước ngoài và những kiến thức thực tiễn song không tránh khỏi những thiếu sót, các tác giả rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các nhà chuyên môn, các độc giả:

CÁC TÁC GIẢ

CÁC KÝ HIỆU SỬ DỤNG TRONG SÁCH

- τ : lực ma sát riêng (ứng suất), MPa;
- E : môđun đàn hồi khi kéo, MPa;
- E_N : môđun đàn hồi khi nén, MPa;
- G : môđun đàn hồi cắt, MPa;
- f : hệ số Poisson;
- σ_{gh} : giới hạn tỉ lệ khi kéo, MPa;
- $\sigma_{0,2}$: giới hạn chảy qui ước khi kéo, MPa;
- σ_B : giới hạn độ bền khi kéo, MPa;
- S_K : trở lực phá huỷ thực khi kéo, MPa;
- δ : độ giãn dài tương đối khi kéo, %;
- ψ : độ co thắt tương đối sau khi đứt, %;
- $\sigma_{0,2}$: giới hạn chảy qui ước khi nén, MPa;
- σ_B : giới hạn độ bền khi nén, MPa;
- Δ : độ co tương đối khi nén, %;
- τ_c : trở lực cắt, MPa;
- ρ : khối lượng riêng, g/mm³;
- ε_{dd} : độ giãn dài đều;
- K : hệ số vuốt;
- E_B : môđun hóa bền, MPa;
- ε_{db} : biến dạng đàn hồi;
- c : hệ số dẫn nhiệt, cal/(cm.s.⁰C) ;
- C : nhiệt dung riêng, cal/(g.⁰C) ;
- σ_i : trở lực biến dạng hay ứng suất thực, MPa;
- q : áp suất, MPa;
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: ứng suất chính, MPa;
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: biến dạng chính;
- σ_i^p : cường độ ứng suất dẻo, MPa;
- ε_i : cường độ biến dạng;
- η : độ nhớt động lực, P (N.s/m²);
- μ : hệ số ma sát;
- A : công biến dạng, KG.m;
- a : công biến dạng riêng KG/mm²;
- p : áp suất thủy tĩnh, KG/cm²;
- s_0 : chiều dày bán thành phẩm dạng tấm, chiều dày thành chi tiết, mm;
- F : diện tích, mm²;
- V : thể tích, mm³;

- v : vận tốc (của chày, vành phôi, phôi v.v...) m/s;
- h : chiều dày lớp bôi trơn, mm;
- x, y, z : tọa độ Đề các;
- t_{kt} : nhiệt độ kết tinh lại, $^{\circ}\text{C}$;
- T_{nc} : nhiệt độ nóng chảy, $^{\circ}\text{C}$;
- T_{bd} : nhiệt độ biến dạng, $^{\circ}\text{C}$.

CÁC LOẠI MÔI TRƯỜNG

- H : rắn;
- E : đàn hồi;
- L : lỏng;
- G : khí;
- Ff : trường lực (MFf - từ trường, GFf - trọng trường);
- HE, EH : rắn - đàn hồi;
- HL, LH : rắn - lỏng;
- LG, GL : khí - lỏng;
- HG, GH : khí - rắn;
- EW, WE : đàn hồi - ướt;
- FH, HF : lực từ vật rắn tác động;
- FL, LF : lực từ vật chảy lỏng tác động;
- EG, GE : khí - đàn hồi;
- FG, GF : lực từ chất khí tác động;
- FE, EF : lực đàn hồi;
- HSPf : trường áp suất thủy tĩnh cao;
- p_0 : áp suất khí quyển;
- CD : biến dạng liên tiếp;
- SD : biến dạng đồng thời.

Chương I

PHÂN LOẠI CÁC QUÁ TRÌNH GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC VÀ VAI TRÒ CỦA MA SÁT NGOÀI

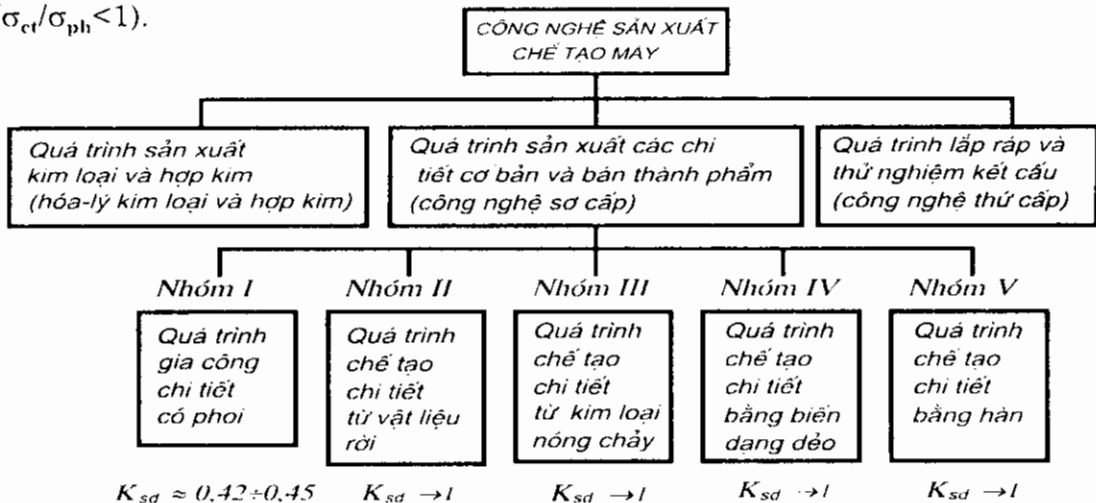
1.1 VỊ TRÍ CỦA GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC TRONG CÁC PHƯƠNG PHÁP BIẾN DẠNG KIM LOẠI VÀ HỢP KIM

Gia công kim loại bằng áp lực là môn khoa học ứng dụng các nghiên cứu lý thuyết, các qui luật vận động, các phương pháp và phương tiện tạo hình bán thành phẩm và các chi tiết kim loại, hợp kim nhờ biện pháp biến dạng dẻo (gia công không phoi).

Vị trí của quá trình biến dạng dẻo trong bảng phân loại các phương pháp công nghệ ban đầu được trình bày trong hình 1.1.

Nhóm I: Quá trình tạo hình chi tiết bằng cách loại bỏ vật liệu thừa từ khối nhất định để tạo cho phôi có hình dạng và đặc điểm cần thiết theo yêu cầu (bằng gia công cơ, hoặc xử lý bằng điện hoá, các phương pháp gia công bằng điện vật lý, bằng nấu chảy, bằng cách cho bay hơi v.v...). Cơ tính của chi tiết trong trường hợp này bằng hoặc thấp hơn cơ tính của bán thành phẩm ban đầu ($\sigma_{ct} \leq \sigma_{ph}$).

Nhóm II: Tạo hình chi tiết từ các phần tử rời rạc (ép chảy vật liệu dạng hạt, ép bột). Cơ tính của chi tiết khi đó gần bằng cơ tính của các phần tử rời ($\sigma_{ct}/\sigma_{ph} < 1$).



Hình 1.1. Phân loại nguyên lý những ứng dụng khoa học của công nghệ gia công và vị trí của gia công kim loại bằng áp lực
 K_{sd} : Hệ số sử dụng kim loại

Nhóm III: Tạo hình chi tiết từ kim loại nóng chảy. Cơ tính của chi tiết khi đó bằng hoặc thấp hơn cơ tính của bán thành phẩm ban đầu ($\sigma_{ct}/\sigma_{ph} \rightarrow 1$).

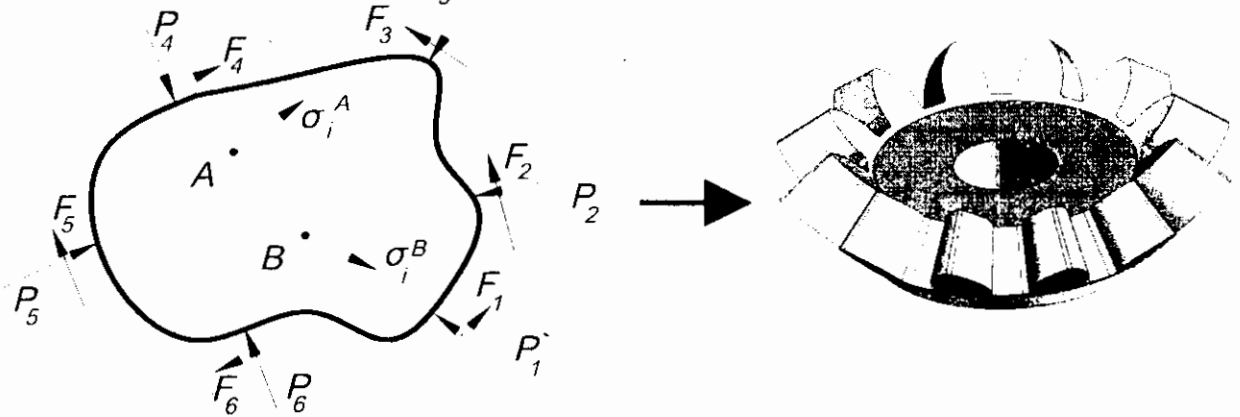
Nhóm IV: Quá trình tạo hình chi tiết trên cơ sở ứng dụng khả năng của kim loại và hợp kim trong điều kiện xác định không thuận nghịch. Thay đổi hình dạng phôi mà không làm phá hủy (gia công kim loại bằng biến dạng dẻo hay còn gọi là bằng áp lực). Cơ tính của vật liệu sau gia công được tăng lên ($\sigma_{ct}/\sigma_{ph} \geq 1$).

Nhóm V: Quá trình tạo hình chi tiết và cụm chi tiết có hình dạng phức tạp từ tổ hợp các phần tử cơ sở bằng phương pháp tạo liên kết giữa các phần tử (hàn, biến dạng dẻo), $\sigma_{ct}/\sigma_{ph} \rightarrow 1$.

Trong các quá trình trên, chỉ có các quá trình thuộc nhóm IV là tạo được sản phẩm có cơ tính lớn hơn cơ tính của phôi ban đầu.

1.2 KHÁI NIỆM VỀ QUÁ TRÌNH CƠ BẢN CỦA GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC. TÁC DỤNG CỦA MA SÁT TIẾP XÚC ĐỐI VỚI QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

Quá trình cơ bản của gia công kim loại bằng áp lực được hiểu là sơ đồ bố trí các ngoại lực tác dụng lên toàn bộ vật gia công sao cho đạt được sự biến dạng theo yêu cầu, đồng thời còn tạo cho sản phẩm những tính chất cơ-lý cần thiết (Hình 1.2). Khi đó dưới tác dụng của ngoại lực, ở các điểm khác nhau của vật biến dạng xuất hiện ứng suất với mức độ và phương chiều khác nhau khiến cho có sự dịch chuyển vật liệu theo yêu cầu. Sự biến dạng có thể đạt được tùy theo các sơ đồ tác dụng ngoại lực lên phôi được gia công. Tùy theo đặc tính và cường độ của lực tương tác giữa phôi và dụng cụ mà sự biến dạng cùng một nguyên công cũng có thể đạt được khác nhau. Theo từng điều kiện sản xuất cụ thể, hiển nhiên là quá trình nào hao phí năng lượng gia công ít nhất trong khi vẫn đảm bảo các điều kiện yêu cầu thì là quá trình hợp lý. *Quá trình tạo hình không thuận nghịch tiêu hao ít năng lượng nhất được coi là quá trình năng lượng tối ưu.*

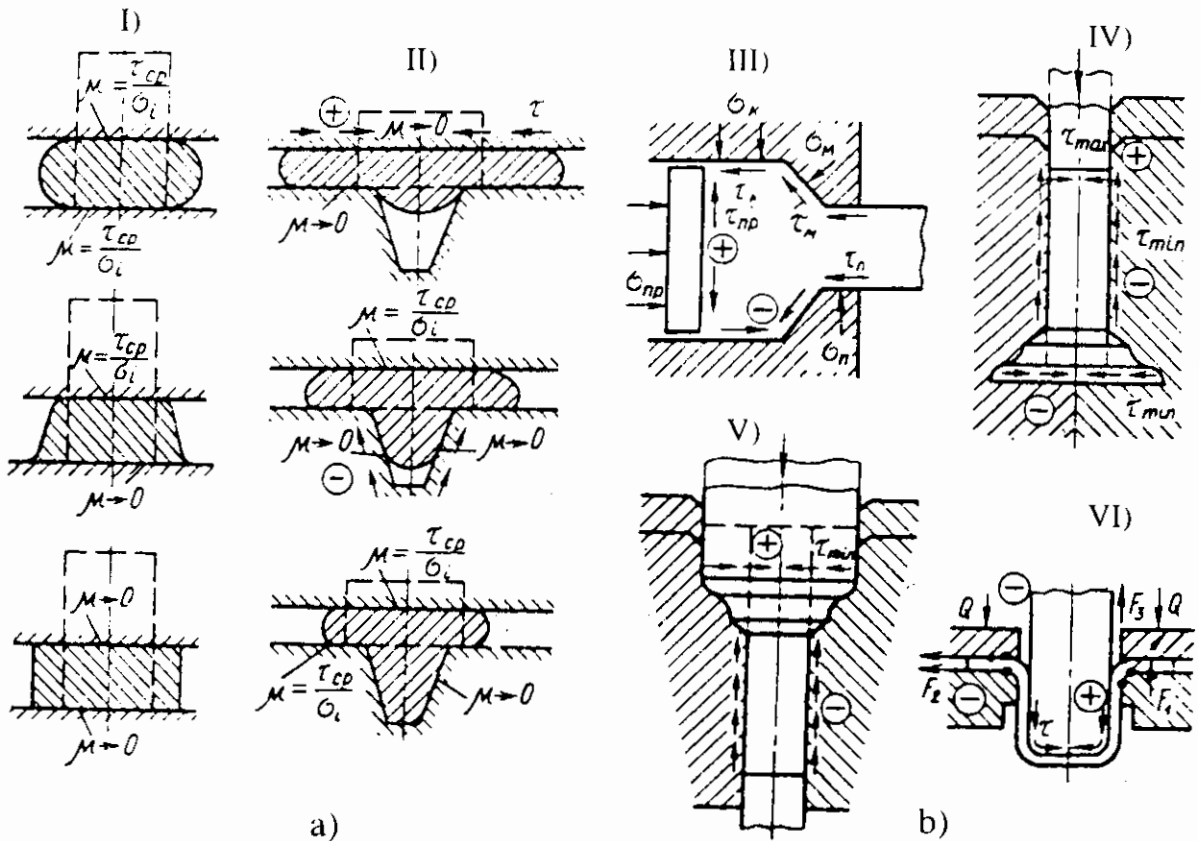


Hình 1.2. Sơ đồ quá trình gia công kim loại bằng áp lực
 P_i : Ngoại lực tác động; F_i : Lực ma sát tiếp xúc (gây ra bởi P_i)

Trong từng trường hợp cụ thể, luôn có một phương án biến dạng tối ưu, đó là quá trình duy nhất tối ưu về năng lượng, phụ thuộc vào biểu đồ bố trí các ngoại lực mà tạo ra một công thích hợp với nội lực bên trong. Hao phí năng lượng trong biến dạng dẻo E_{bdd} gồm hao phí năng lượng cho tạo hình hữu ích E_h , hao phí năng lượng cho sự biến dạng gây ra bởi quá trình biến dạng không tối ưu E_{kt} và hao phí năng lượng để thắng lực cản trên bề mặt tiếp xúc của vật liệu gia công với dụng cụ E_τ , tức là :

$$E_{bdd} = E_h + E_{kt} + E_\tau. \quad (1.1)$$

Hao phí năng lượng để thắng lực ma sát ngoài trong một số nguyên công gia công áp lực có thể chiếm đến 50% hay cao hơn trên tổng hao phí năng lượng cho biến dạng dẻo.



Hình 1.3. Một số nguyên công biến dạng dẻo thể tích và dập tấm (chỉ minh họa những lực ma sát tiếp xúc có lợi và có hại đến sự tạo hình yêu cầu)

a: I-Chồn và II-Dập vành; b: III,IV&V-ép chảy, VI: Dập vuốt sâu

σ_K, τ_K : ứng suất trên thành buồng ép; σ_{np}, τ_{np} : ứng suất trên thành đũa ép;

σ_m, τ_m : ứng suất trên mặt phẳng.

Tùy theo môi trường truyền động được sử dụng như cối hay chày gây ra lực tác động lên vật gia công (lông, đàn hồi, khí hay trường lực) mà ảnh hưởng của

phản lực ma sát lên các quá trình gia công có thể khác nhau. Hơn thế nữa, lực ma sát bên ngoài có thể làm thay đổi đáng kể hướng chảy của vật liệu, trường lực, trường vận tốc và làm tăng năng lượng biến dạng E_{bdd} do các yếu tố biến dạng không tối ưu E_{kt} . Nếu lực ma sát bên ngoài tác động lên vật bị biến dạng gây ra hao phí năng lượng biến dạng nhỏ nhất, gần bằng E_h thì quá trình biến dạng đó được coi là tối ưu.

Tuy nhiên nên phân biệt sự tối ưu hoá về năng lượng với qui trình công nghệ tối ưu. Trong mỗi tương quan với toàn bộ qui trình chế tạo chi tiết bằng biến dạng dẻo, với vô số (hay một số) phương án có thể coi là tối ưu, phương án tốt nhất chính là phương án hao tổn lao động ít nhất T_Σ :

$$T_\Sigma = T_{bdd} + T_{vl} + T_{hm} + T_{tb} + T_{nl} + T_{tg} \quad (1.2)$$

trong đó:

- T_{bdd} : là hao phí lao động cho tạo hình;
- T_{vl} : là hao phí lao động liên quan đến việc sử dụng nguyên liệu không hợp lý;
- T_{hm} : là hao phí liên quan đến việc ứng dụng thiết bị và dụng cụ bao gồm cả hao mòn do ma sát ngoài;
- T_{tb} : là hao phí lao động liên quan tới việc ứng dụng thiết bị.
- T_{nl} : là hao phí lao động, liên quan tới hao phí năng lượng cho biến dạng (E_{bdd}).
- T_{tg} : là hao phí lao động liên quan tới việc hao tổn các vật liệu trợ giúp, trong đó có vật liệu bôi trơn kỹ thuật cũng như các chất tăng cường ma sát hay còn gọi là chất chống bôi trơn.

Trong các điều kiện như nhau thì tối ưu nhất là quá trình nào có hao phí năng lượng T_{nl} nhỏ nhất.

Điều kiện đó có thể trình bày bằng biểu thức:

$$T_{nl \min} = \frac{\gamma E_{bdd}}{G_{nl}} = \frac{\gamma}{G_{nl}} (E_{hi} + E_{ktur} + E_{\tau \min}) \quad (1.3)$$

trong đó:

- γ : giá thành một đơn vị năng lượng;
- G_{nl} : giá thành trung bình một giờ lao động của người thợ tham gia vào sản xuất năng lượng.

Năng lượng biến dạng là nhỏ nhất và gần bằng năng lượng tạo hình hữu ích E_h với điều kiện $E_{ktur} + E_{\tau} \rightarrow 0$.

Hao phí năng lượng cho biến dạng không tối ưu được tính như sau:

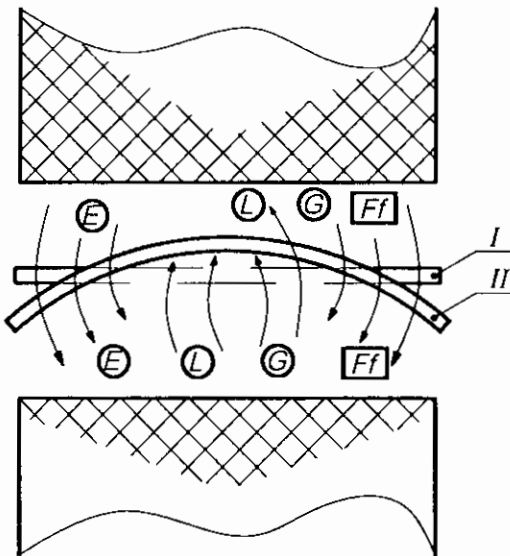
- 1) Chọn đúng sơ đồ tác dụng và cường độ của các ngoại lực, xác định biến dạng của vật gia công ban đầu, dạng sau cùng của chi tiết và

sơ đồ quá trình biến dạng được áp dụng; ba yếu tố sau cùng luôn gắn liền với nhau.

2) Sử dụng có hiệu quả ảnh hưởng tích cực của lực ma sát ngoài, nếu có các lực ma sát ngoài giữa vật gia công với dụng cụ tạo ra được sự biến dạng nhất định với mức biến dạng ít nhất và ứng suất nhỏ nhất thì tác dụng đó được coi là có ích hoặc ngược lại, nếu lực ma sát làm cản trở quá trình, làm tăng giá trị công biến dạng thì tác dụng đó là tiêu cực.

Diễn tiến (có lợi) có hiệu quả nhất của mỗi quá trình có thể đạt được với điều kiện sử dụng hiệu quả các lực có ích và giảm tới mức giới hạn các ảnh hưởng tiêu cực của lực ma sát ngoài giữa vật liệu gia công và dụng cụ gia công.

Trong mỗi công đoạn gia công kim loại bằng áp lực đều có sự kết hợp thống nhất các ảnh hưởng có lợi cũng như có hại của ma sát ngoài.



Hình 1.4. Sơ đồ nguyên lý quá trình tạo hình vật liệu tấm khi chày và cối là môi trường chuyển động (E: đàn hồi; L: lỏng; G: khí; Ff: trường lực) và lực ma sát ngoài hoàn toàn không có
I: Phôi; II: Chi tiết

Trên hình 1.3 trình bày một số quá trình gia công kim loại bằng áp lực minh họa cho sự phối hợp các ảnh hưởng của ma sát giữa vật gia công và dụng cụ. Để đạt được quá trình tối ưu, cần phải sử dụng những tác nhân tăng cường ma sát ngoài.

Các quá trình giới hạn là những công đoạn diễn ra không hề có sự tiếp xúc giữa vật gia công với dụng cụ cứng, tức là trong điều kiện triệt tiêu hoàn toàn ảnh hưởng của ma sát ngoài (ví dụ: quá trình tạo hình bằng trường lực với cường độ thay đổi - Hình 1.4).

Từ trình bày trên đây thấy rằng ma sát ngoài và sự bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực cần được xem xét trong mối tương quan chặt chẽ với các quá trình biến dạng dẻo có tính đến những ảnh hưởng phát sinh trong từng giai đoạn của quá trình công nghệ.

1.3. PHÂN LOẠI CÁC QUÁ TRÌNH GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC. VAI TRÒ CỦA MA SÁT TIẾP XÚC ĐỐI VỚI CÁC QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH QUAN TRỌNG

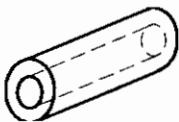
Ngành chế tạo máy hiện đại trong bối cảnh chuyên môn khoa học công nghệ phát triển được đặc trưng bởi sự tăng trưởng về qui mô sản xuất và năng suất lao động nhờ tối ưu hoá các giải pháp thiết kế và công nghệ và vì vậy sẽ lại góp phần thúc đẩy cho sự nhân rộng thiết kế và công nghệ. Việc trang bị cho sản xuất một lượng lớn các qui trình công nghệ hoàn thiện mới cho sản xuất chính là điều kiện đặc trưng nhất cho sự phát triển ngành chế tạo máy hiện đại.

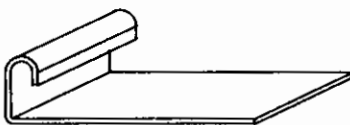


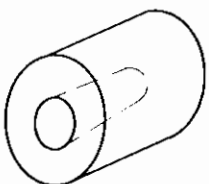
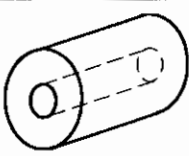
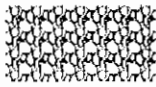
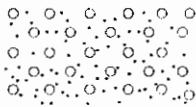

Việc tìm kiếm các qui trình, tạo nên sự nhân rộng công nghệ sẽ được dễ dàng hơn nếu nghiên cứu lập ra được một hệ thống phân loại các qui trình gia công kim loại bằng áp lực.

Xuất phát từ việc xác định bản chất của một quá trình sơ cấp là những tiêu chí quan trọng nhất để xây dựng dưới dạng bảng phân loại các quá trình gia công áp lực, cần dựa vào những nội dung sau đây:

- 1) Hình dạng của bán thành phẩm ban đầu (dày mỏng, đặc hay rời rạc);
- 2) Chế độ nhiệt (biến dạng nguội hay nóng);
- 3) Loại môi trường tác động được sử dụng như dụng cụ biến dạng (rắn, dẻo-nhớt, dẻo, lỏng, khí hay trường lực);
- 4) Điều kiện nén thủy động của toàn khối được biến dạng (áp suất khí quyển, trường áp suất thủy tĩnh cao);
- 5) Kiểu biến dạng chính (kéo, nén);
- 6) Tính chất của những tác động biến dạng (đồng thời hay kế tiếp nhau);
- 7) Chế độ vận tốc của tải trọng tác dụng (tĩnh, động hay xung lực);
- 8) Dạng nguồn năng lượng tạo xung (nổ, xung điện thủy lực hay từ xung, laze hay các loại khác).

Bảng 1.1: Phân loại chung quá trình tạo hình chi tiết và bán thành phẩm bằng biến dạng dẻo

Quá trình phân loại phụ thuộc vào dạng bán thành phẩm	Dạng bán thành phẩm ban đầu	Dạng quá trình phụ thuộc vào nhiệt độ gia công			
		Ngươi		Nóng	
		$-273^{\circ}\text{C} < t_{gc} < 0^{\circ}\text{C}$	$t_{ktl} > t_{gc} > 0^{\circ}\text{C}$	$t_{nc} > t_{gc} > t_{ktl}$	$t \approx t_{nc}$
I Từ thành phẳng	ống				

	Biên dạng				
	Tấm				
II Tứ thể tích phức tạp	Thỏi				
	Phôi đúc				
	Phôi thể tích rỗng				
III Tứ vật liệu rời	Hạt				
	Bột có độ phân tán thấp				
	Bột có độ phân tán cao				

Tuỳ theo hình dạng của vật gia công lúc ban đầu và điều kiện nhiệt độ của quá trình biến dạng mà ta có thể phân loại các quá trình gia công kim loại bằng áp lực như trong bảng 1.1. Trong ứng dụng thực tế chỉ cần đưa ra số lượng hạn chế các quá trình ($\approx 10\%$).

Dưới đây phân loại, giới thiệu các quá trình biến dạng theo những đặc điểm chính như sau:

- 1) Đặc điểm chung của môi trường được dùng làm phương tiện biến dạng và tạo hình;
- 2) Dạng ban đầu của phôi gia công;
- 3) Điều kiện tải trọng trên vành phôi: biến dạng với vành phôi bị chặn hay tự do;
- 4) Điều kiện tiến hành biến dạng (tự do hay trong trường áp suất thủy tĩnh cao);

5) Đặc điểm của việc đặt tải (đồng thời hay lần lượt);

6) Điều kiện về tốc độ đặt tải (tĩnh, động hay xung lực được tạo bởi năng lượng nổ, xung lượng điện-thủy lực hay xung điện-từ trường).

Tuỳ theo dạng của môi trường được dùng mang khuôn cối cũng như dụng cụ biến dạng mà các quá trình còn được chia thành 4 nhóm chính và 4 nhóm trung gian tạo nên một sự chuyển tiếp liên tục từ nhóm này sang nhóm kia.

1) Những quá trình dập bằng chày cứng theo cối cứng (Hình 1.5a). Đây là nhóm quá trình phổ biến nhất trong sản xuất. Đã từ lâu người ta quan niệm rằng khi tạo hình chi tiết từ kim loại, đặc biệt trong những quá trình riêng biệt thì vật liệu để biến dạng cần có độ cứng cao hơn so với vật liệu bị biến dạng. Lực ma sát trên bề mặt tiếp xúc của dụng cụ với vật gia công trong các quá trình đó có ảnh hưởng rất lớn đến việc biến dạng đúng yêu cầu. Bằng cách điều chỉnh lực ma sát tiếp xúc thì có thể điều khiển được tiến trình của các công đoạn trong phạm vi rộng.

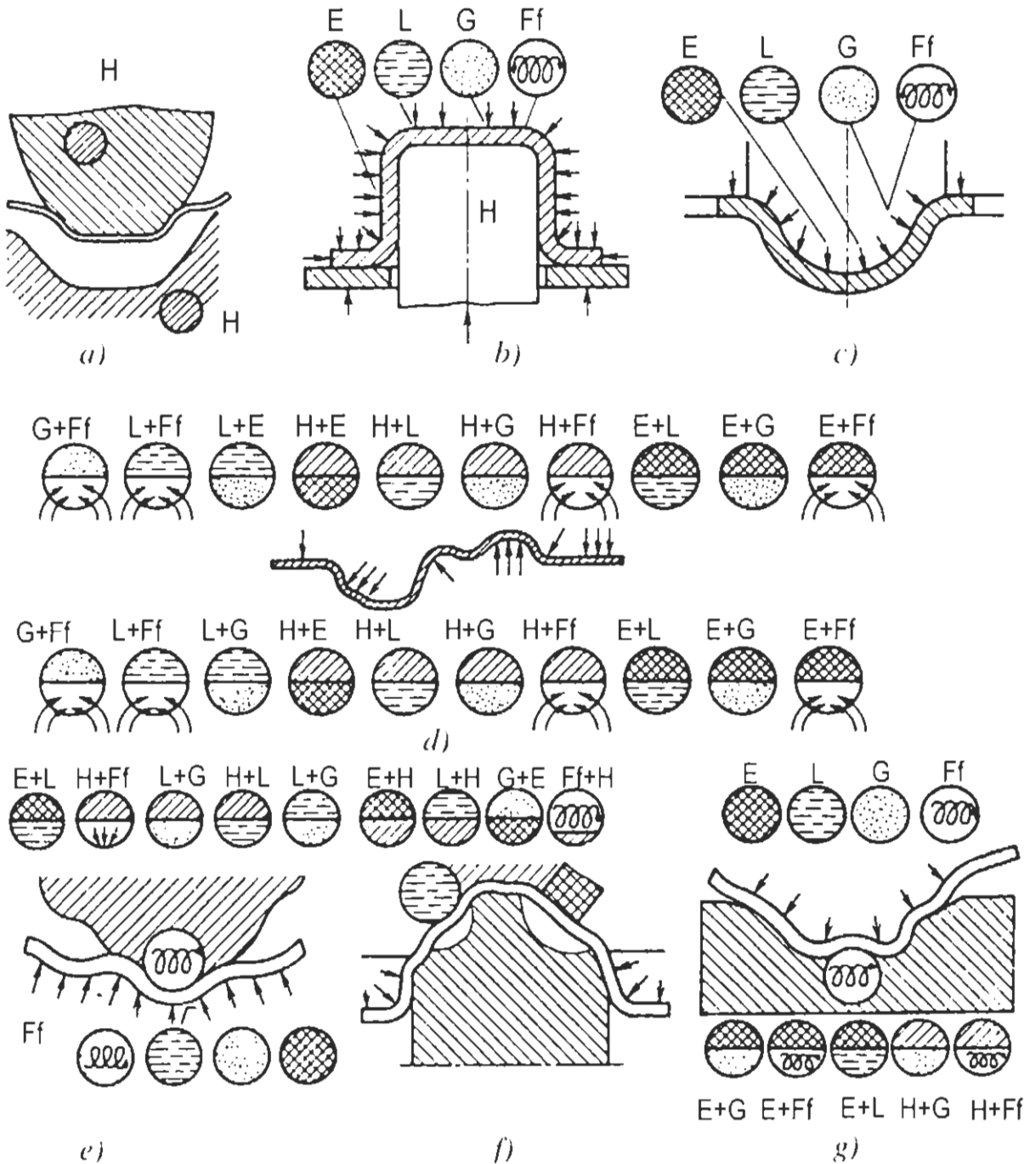
2) Các quá trình dập bằng cối dẻo, lỏng, khí bởi lực từ trường hay xung điện thủy lực theo chày cứng (Hình 1.5b). Lực ma sát giữa vật gia công với cối (ví dụ trong trường hợp môi trường dẻo được dùng làm cối) - có ảnh hưởng lớn tới việc tăng cường các qui trình này. Khi sử dụng một môi trường lỏng chuyển động, môi trường khí và đặc biệt là một trường từ lực làm cối thì lực ma sát giữa vật liệu gia công với cối không gây ảnh hưởng gì.

3) Các quá trình dập bằng chày dẻo - nhớt, dẻo đàn hồi, lỏng hay bằng khí, bằng trường lực hay xung thủy-quang lên cối dẻo-nhớt, dẻo đàn hồi, lỏng hay bằng khí hoặc cối bằng một trường lực. Trong toàn bộ các qui trình đó lực ma sát tiếp xúc giữa vật gia công và các môi trường chuyển động có thể là rất đáng kể (tuỳ theo các đặc điểm cơ tính cao của từng loại môi trường) hoặc chỉ bằng không trong biến dạng bằng khí hay trường lực.

4) Các quá trình dập bằng chày dẻo-nhớt, dẻo đàn hồi, ướt, khí, trường lực hay xung thủy lực lên cối cứng. Toàn bộ các qui trình thuộc loại này đều có đặc trưng nổi bật của ảnh hưởng tăng cường do lực ma sát giữa vật gia công và cối đối với việc phân bố ứng suất trong ổ biến dạng. Điều đó được giải thích bởi sự tăng tải trọng tiếp xúc vì có thêm tải trọng biến dạng do chày gây nên.

5) Các quá trình dập bằng chày làm từ môi trường phức hợp trên một cối cũng từ môi trường phức hợp - tức là sự kết hợp đa dạng của các môi trường rắn, đàn hồi, dẻo-nhớt, lỏng, khí, trường lực ma sát tiếp xúc có thể rất khác nhau, từ chỗ có những điều kiện như biến dạng bằng môi trường cứng đến điều kiện biến dạng của chất khí hay từ trường.

6) Các nhóm qui trình trung gian (chuyển tiếp) từ II-III, từ III-IV và từ IV-V (Hình 1.5).



Hình 1.5. Sơ đồ cơ bản và phân loại các nguyên công trung gian của đập tấm
 a): Chày cứng theo cốt cứng; b): Môi trường tác động theo chày cứng; c): Môi trường tác động lên cốt cứng; d): Môi trường hỗn hợp với nhau; e): Chày kết hợp và môi trường tác động; f): Chày cứng và môi trường hỗn hợp; g) Môi trường tác động và cốt hỗn hợp

Trong các quá trình, lực ma sát tiếp xúc, giống như trong các trường hợp trên, có cường độ rất khác nhau.

Vai trò và cường độ của lực ma sát tiếp xúc trong lĩnh vực đa dạng của quá trình biến dạng dẻo là rất khác nhau. Cũng giống như trong quá trình dập tấm, các lực ma sát có thể thay đổi giá trị từ rất lớn đến rất nhỏ, thậm chí bằng không. Việc phân tích cụ thể về lượng và chất, về vai trò cũng như cách thức tăng cường lực bằng cách điều chỉnh ma sát tiếp xúc sẽ được thực hiện trong khi xem xét các quá trình công nghệ đặc trưng.

Mặc dù vai trò của ma sát tiếp xúc và sự bôi trơn có thể được đánh giá và tin cậy hơn nếu có gắn kết các thiết bị phân tích trong suốt tiến trình diễn ra các công đoạn, nhưng vẫn có những qui luật chính cần được xem xét riêng biệt bởi vì người ta đã xây dựng được cơ sở phương pháp luận dẫn đến tính toán đúng ảnh hưởng của yếu tố ma sát tới khả năng về công nghệ của quá trình.

Dưới đây sẽ xem xét những khái niệm hiện đại về cơ sở lý thuyết chung của ma sát ngoài.

100
2002

Chương II

CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHUNG VỀ MA SÁT NGOÀI TRONG BIẾN DẠNG DẸO

2.1. CÁC NGUYÊN LÝ CHUNG

Ma sát ngoài là vấn đề rất được quan tâm nghiên cứu trong lĩnh vực vật lý chất rắn. Các hiện tượng ma sát được giải thích bằng các qui luật vật lý, các hiện tượng diễn ra khi bôi trơn. Người ta đã thiết lập được những cơ sở khoa học về ma sát ngoài và bôi trơn, nghiên cứu và ứng dụng các lý thuyết về ma sát ngoài của các vật rắn như một cơ sở khoa học. Sự phức tạp diễn ra trong hiện tượng ma sát biến đổi dưới tác động của vô số yếu tố đồng thời cũng gây nên khó khăn rất nhiều cho các nhà nghiên cứu và thực nghiệm trong việc giải thích cơ chế ma sát tiếp xúc như một quá trình phức tạp với rất nhiều tham số. Hiện nay đã xây dựng được và đưa vào ứng dụng nhiều lí luận các giả thuyết về ma sát ngoài trong khi lý thuyết nào cũng đều rất đáng tin cậy đối với các điều kiện tiến hành nghiên cứu. Các nhà nghiên cứu cũng như các nhà sản xuất trong lĩnh vực gia công áp lực khi đánh giá ảnh hưởng tốt hay xấu của hiện tượng ma sát ngoài hiển nhiên đều dựa vào những cơ sở lý luận đó. Từ đó thấy rằng vấn đề ma sát tiếp xúc trong biến dạng dẻo trở nên phức tạp hơn bởi sự đổi mới thường xuyên và sự thay đổi bề mặt tiếp xúc đạt tới hay vượt quá trở lực biến dạng của vật liệu được gia công.

2.2. LÝ THUYẾT MA SÁT NGOÀI TRONG BIẾN DẠNG DẸO

2.2.1. Ma sát khô trong biến dạng dẻo

Lý thuyết ma sát khô trong biến dạng dẻo thực ra còn chưa được đặt ra. Mới có những đề nghị của một số nhà nghiên cứu dựa trên các công trình thí nghiệm về biến dạng dẻo kim loại.

Lý thuyết đầy đủ hoàn chỉnh nhất về ma sát khô (lý thuyết cơ học phân tử của I.V.Kraghenxki) ứng dụng phù hợp với ma sát của các bề mặt khô của những vật không bị biến dạng dẻo.

Theo lý thuyết đó thì lực ma sát:

$$F = (\alpha + \beta q)S_{\Phi} = \alpha S_{\Phi} + \beta N$$

trong đó:

- α và β là hằng số ma sát được xác định bởi liên kết phân tử α và liên kết cơ học β của các bề mặt.
- q là áp lực thực tế giữa các bề mặt; S là diện tích tiếp xúc thực tế.

Lý thuyết này, khác với định luật ma sát của Amontôn-Culông mà lý thuyết ma sát phân tử (định luật 2 thành phần) của B.V.Derjaghin, cho thấy tương đối rõ tính quy luật ma sát ngoài của các bề mặt khô. Mô hình ma sát của B.V.Derjaghin gần giống với sơ đồ sự trượt phức tạp khi có bôi trơn hạn chế, không tính đến sự hóa bền và mài mòn của bề mặt.

Các nỗ lực dựa vào cơ sở lý thuyết ma sát khô, mô tả theo định luật Amontôn-Culông, khi phân tích chính xác các công đoạn gia công kim loại bằng áp lực, đều dẫn tới những kết quả không đạt yêu cầu, đặc biệt là trong phân tích các quá trình biến dạng khối. Như X.I.Gubkin đã nhận định: "Rõ ràng là trong biến dạng dẻo, giữa lực ma sát riêng và áp lực pháp tuyến đã có một mối liên quan rất phức tạp, nhưng vẫn chưa xác định được. Ngày nay, vấn đề đó đã được quan tâm một cách nghiêm túc, và các nhà khoa học bằng cách này hay cách khác đang cố gắng vượt qua những khó khăn của việc phá vỡ mối liên quan nói trên..."

Nếu cho rằng, ma sát khô bên ngoài trong quá trình dập tấm có tác dụng trên những phần bị hãm (ngăn chặn sự biến dạng dẻo) của vật gia công thì khi đó có thể áp dụng lý thuyết cơ học phân tử của I.V.Kraghenxki vào việc phân tích quá trình công nghệ.

2.2.2. Ma sát của các bề mặt được bôi trơn trong biến dạng dẻo

Đa số các chuyên gia về gia công kim loại bằng áp lực và vật lý chất rắn cũng như các chuyên gia về ma sát và bôi trơn đều thống nhất ý kiến là trong gia công kim loại bằng áp lực, do có áp suất tương đối cao mà trong ô ma sát có thể xảy ra sự bôi trơn hấp phụ. Chẳng hạn như X.I.Gubkin đã có nhận xét về nghiên cứu của A.Nadai^(*) về phân bố áp suất riêng trong cán, rằng: "... Nếu có thể phản đối việc ứng dụng điều kiện thứ nhất trong biến dạng dẻo (tức là điều kiện ma sát khô), thì càng có thể phản đối điều kiện thứ 3 - bôi trơn thủy động".

^(*)A.Nadai đề xuất 3 điều kiện nhờ đó có thể xác định lực ma sát riêng là:

- 1) Ma sát khô: $\tau = \mu\sigma$ (σ là ứng suất pháp, μ là hệ số ma sát);
- 2) Ma sát không đối: $\tau = \mu C$;

3) *Bôi trơn thủy động* $\tau = \eta \frac{dv}{dz}$ (η - độ nhớt động lực; $\frac{dv}{dz}$ là *gradient vận tốc*).

Ngày nay, có thể thừa nhận rằng trong biến dạng dẻo sự bôi trơn hấp phụ đã xảy ra dưới áp suất tương đối cao.

Ngoài 3 biểu thức nêu trên còn có những biểu thức khác, ví dụ như:

$$\tau = \varphi(p, v)$$

trong đó: - v : là vận tốc dịch chuyển tương đối của các phần tử kim loại trên bề mặt tiếp xúc với dụng cụ; - p : là áp lực tiếp xúc.

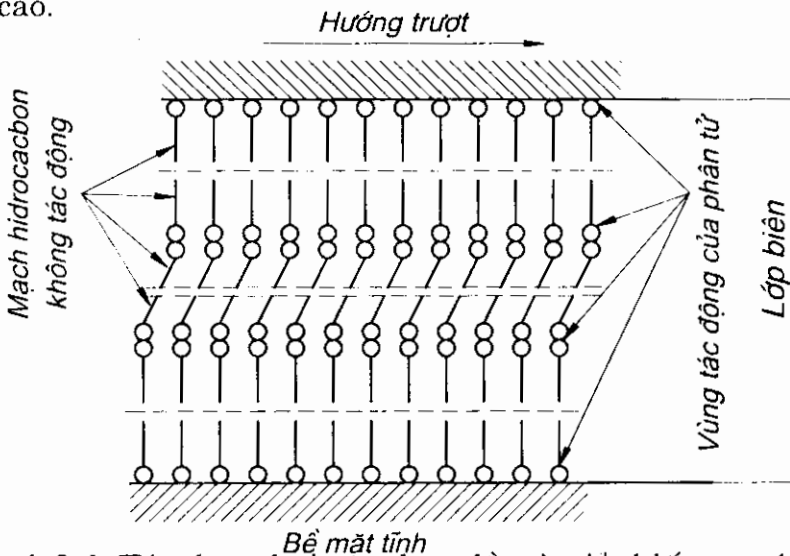
Bởi vì điều kiện này cho đến nay chưa xác định được cũng như một số điều kiện khác cho nên tạm thời chỉ sử dụng điều kiện ma sát khô hoặc điều kiện lực ma sát không đổi...".

Đa số các nhà nghiên cứu cho tới nay vẫn dựa vào lý thuyết ma sát không đổi (lý thuyết ma sát giới hạn hay còn gọi là lý thuyết về "bôi trơn hấp phụ").

2.2.3. Lý thuyết ma sát giới hạn hay bôi trơn hấp phụ

Cơ sở của lý thuyết ma sát giới hạn do B.V.Derjaghin và cộng sự đưa ra dựa trên tính chất của các lớp rất mỏng (cỡ phân tử) căn cứ vào khả năng của các hidrocarbon có thể tạo ra trên bề mặt vật rắn một lớp màng hấp phụ gắn chặt vào bề mặt đó, có độ bền rất cao, có thể bám chặt và không bị phá hủy ngay cả dưới áp suất rất cao.

Các chất có khả năng hấp phụ cao là các hidrocarbon có chứa nhóm hoạt tính như -OH, -COOH, nhóm amin v.v... Cả ête và rượu cũng có hoạt tính bề mặt rất cao.



Hình 2.1. Tác dụng bôi trơn ban đầu từ giả thiết ma sát giới hạn

Các mạch hoạt tính của phân tử hidrocarbon được tạo bởi các nhóm cực, bám rất chặt vào bề mặt ma sát, hướng các đoạn không hoạt tính của mình vuông góc với bề mặt ma sát tạo thành một "cái chổi" quét phân tử đặc biệt rất bền với tác động của tải trọng pháp tuyến với điều kiện trở lực thay đổi không đáng kể trên mặt trượt (Hình 2.1).

Các nghiên cứu chứng minh rằng trở lực cắt của bề mặt được phủ lớp bôi trơn hấp phụ phụ thuộc vào nhiệt độ hay vận tốc trượt cũng như áp lực riêng giữa các bề mặt ma sát.

Như vậy, việc tính toán đến ma sát ngoài giữa vật được gia công với dụng cụ trên cơ sở lý thuyết ma sát giới hạn dẫn tới việc xác định mức hoạt tính hấp phụ của chất bôi trơn và bản chất bề mặt của dụng cụ và chi tiết.

Việc thiếu một số phương pháp tin cậy để đánh giá mức hoạt tính hấp phụ cũng như mối liên quan của nó với trạng thái và bản chất của các bề mặt ma sát sẽ không cho phép tính toán về độ lớn của ma sát ngoài giữa vật gia công và dụng cụ trong biến dạng dẻo.

Ngay cả khi không tính đến những chỉ dẫn đã biết lấy từ lý thuyết ma sát giới hạn (trong phần nâng cao hiệu quả của bôi trơn bằng cách đưa vào các chất hoạt tính bề mặt) thì việc thử đưa các loại chất bôi trơn vào ứng dụng trong dập chi tiết từ cùng một vật liệu cũng mang lại kết quả khác nhau.

A.K.Trertavski [9] đã tổng kết từ nghiên cứu và thực nghiệm các thí nghiệm bôi trơn đối với các kim loại khác nhau. Phân tích công trình của ông cho thấy trong cách phân nhóm vẫn còn thiếu một hệ thống xác định. Khuyến cáo cho một loại bôi trơn nào đó cũng đều mang tính chất cá biệt, chính tác giả cũng thừa nhận [9] là các chất bôi trơn không có thành phần hoá học cố định.

Thiếu cơ sở tính toán chặt chẽ để lựa chọn chất bôi trơn, để đáp ứng đòi hỏi của thực tế, các nhà nghiên cứu buộc phải đi bằng con đường thực nghiệm, dựa vào kinh nghiệm mà chọn chất bôi trơn cho từng điều kiện dập cụ thể.

Để làm ví dụ ta có thể dẫn ra các công trình của I.G. Còvalev về phương pháp chọn chất bôi trơn hoạt hóa cho đũa hay công trình của L.A.Sôfman cho thép.

I.G.Còvalep đã lấy 26 loại thành tố, gồm có nước, than chì (graphit), bột tan, lưu huỳnh, dầu trục, rượu, mỡ xolidon, vazelin công nghiệp, vazelin y tế, sáp, dầu thông, acvadag (25% keo graphit + nước), cildag (25% keo graphit + 20% dầu lửa + nước + dầu máy bay D-17), natri, glixerin, dầu mỡ bị ôxi hoá, dầu máy bay, dầu thầu dầu, mazut, dầu máy trung bình và phấn. Từ các chất này chế thành và thử nghiệm 48 loại chất bôi trơn trong đó có 6 loại đáp ứng tốt nhất theo yêu cầu giảm cường độ lực biến dạng. L.A. Sofman nghiên cứu 11 loại chất bôi trơn pha trộn từ rượu, nước, bột tan, phấn, graphit, dầu trục, dầu xolidon, sunfua frezon, xà phòng xanh và xút ăn da. Dưới đây là công thức một số loại hỗn hợp bôi trơn tốt hơn cả:

- 43% dầu trục, 8% mỡ cá, 15% graphit, 8% axit oleic, 5% lưu huỳnh, 6% xà phòng xanh, 15% nước.
- 20% dầu trục, 40% xôliđon, 20% graphit, 7% lưu huỳnh, 1% rượu, 12% nước.
- 33% dầu trục, 15% dầu thầu dầu lưu hoá, 1,5% mỡ cá, 25% xà phòng, 2,5% axit oleic, 7% xút ăn da, 16% nước.

Thiếu các tiêu chí để đánh giá ảnh hưởng của từng loại thành phần nêu trên, cũng như sự thay đổi ảnh hưởng chung tùy theo kiểu dáng hình học của vật dập, loại vật liệu dập và tốc độ dập đã gây ra rất nhiều khó khăn cho việc xác định các chất bôi trơn có hiệu quả.

Như vậy lý thuyết ma sát giới hạn không đưa ra được câu trả lời cho vấn đề ảnh hưởng của các chất bôi trơn đến độ lớn của lực ma sát trong biến dạng dẻo.

Không có được đặc điểm chính xác về số lượng và chất lượng của các chất bôi trơn xét từ góc độ ma sát giới hạn sẽ dẫn tới hậu quả là trong danh mục rất nhiều chất bôi trơn được khuyến cáo cho gia công áp lực kim loại không thể có sự thống nhất về tiêu chuẩn và đánh giá.

Từ đó suy ra rằng, lý thuyết ma sát giới hạn không đưa ra được số liệu tính toán lực ma sát trong phân tích trạng thái biến dạng mà người thợ dập quan tâm và người ta buộc phải tìm giải pháp từ một phương diện khác. Phương diện khác này chính là cơ sở lý thuyết thủy động của Petrôp.

Các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực gia công áp lực kim loại và ma sát ngoài khẳng định rằng nguyên lí của lý thuyết ma sát thủy động không được chấp nhận để giải thích cho ma sát ngoài của các bề mặt được bôi trơn trong biến dạng dẻo. ý kiến này dựa trên các số liệu thực nghiệm, cho thấy rằng các chất bôi trơn trong điều kiện thường là các chất lỏng Niuton, còn trong biến dạng dẻo, tức là khi có áp suất riêng lớn tới hàng chục ngàn atmôphe sẽ không còn khả năng tạo thành một lớp thủy động dày bảo vệ khỏi sự tiếp xúc của các bề mặt ma sát của vật gia công với dụng cụ.

Các nghiên cứu trong lĩnh vực ma sát tiếp xúc và bôi trơn trong gia công áp lực cho phép ta thấy được ảnh hưởng thực chất của tính chất cơ-lý của chất bôi trơn (độ nhớt động lực) đối với các thông số kĩ thuật đặc trưng cho các nguyên công dập tấm và dập khối.

Qua nghiên cứu xác định được là, nếu cùng một chế độ dập như nhau (không có thay đổi hình học của dụng cụ, không thay đổi cơ tính của vật liệu dập, không thay đổi tốc độ biến dạng) mà chỉ thay đổi độ nhớt của vật liệu bôi trơn (kể cả những loại không có hoạt tính bề mặt) thì độ nhớt bắt đầu từ một mức xác định sẽ có ảnh hưởng lớn tới công dụng bôi trơn khi được rải thành một lớp dày giữa các bề mặt ma sát.

Các nhà nghiên cứu cũng xác định rằng bản chất vật lý của ma sát các bề mặt bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực đã được làm rõ hơn bởi giả thuyết ma sát ướt (cơ sở lý thuyết ma sát thủy động do N.N.Petrôp, N.I.Giucôvxki và X.A.Traplughin đề xuất) mà trước đây được coi là không thực hiện được trong điều kiện gia công áp lực. Các nhà nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cũng như kết quả sản xuất thử đã khẳng định tính đúng đắn của giả thuyết này.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm tạo cơ sở ứng dụng các nguyên lý của lý thuyết ma sát thủy động nhằm giải thích tác động bôi trơn trong dập tấm sẽ được trình bày dưới đây. Dựa trên các thực nghiệm, trong chương này sẽ đưa ra các cơ sở của lý thuyết ma sát ướt trong dập tấm cũng chính là yếu tố cần thiết để tính toán đúng các ngoại lực trong việc phân tích quá trình dập bằng môi trường đàn hồi hay môi trường chất lỏng với áp lực pháp tuyến từ thấp (dưới 100 KG/cm^2) đến cao (trên 100 KG/cm^2).

Việc phân tích hiện tượng ma sát và bôi trơn trong dập tấm được tiến hành trong một quá trình đặc trưng nhất - quá trình dập vuốt sâu trong khuôn cứng, trong đó điều kiện hoạt động của lớp bôi trơn là phức tạp nhất, đồng thời áp dụng phương pháp đó với các nguyên công khác của dập vuốt (trong môi trường đàn hồi, chất lỏng hay chất khí).

Chứng minh sự đơn trị khả năng tạo ra ma sát thủy động trong biến dạng dẻo vật liệu kim loại mang một ý nghĩa về nguyên tắc không chỉ đối với vấn đề bôi trơn hiệu quả mà còn giải đáp đúng đắn cơ chế và sự hình thành lý thuyết ma sát trong gia công kim loại bằng áp lực.

Vì vậy dưới đây sẽ đưa ra các kết quả nghiên cứu thử nghiệm tạo cơ sở cho việc ứng dụng các nguyên lý của lý thuyết thủy động vào việc giải thích tác động bôi trơn trong dập tấm và dập khối.

Trên cơ sở thực nghiệm, trong tương lai sẽ cố gắng đưa ra cơ sở lý thuyết ma sát ướt trong dập tấm và dập khối, là điều kiện không thể thiếu để tính toán các ngoại lực trong khi phân tích các quá trình thực tế của gia công kim loại.

Việc phân tích hiện tượng ma sát và bôi trơn được tiến hành qua thí nghiệm dập vuốt sâu trong khuôn cứng không biến mỏng thành và quá trình chôn tự do, sau đó mở rộng sang các nguyên công khác của gia công áp lực.

2.2. SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM CHỨNG MINH TÍNH KHẢ THI CỦA NGUYÊN LÝ MA SÁT THỦY ĐỘNG CHO QUÁ TRÌNH DẬP TẤM

Mục đích của thí nghiệm là kiểm tra giả thuyết về ứng dụng lý thuyết thủy động của sự bôi trơn để giải thích cơ chế tác động bôi trơn trong điều kiện gia

công áp lực. Lý thuyết này được nghiên cứu bởi N.P.Petrôp sau đó được phát triển và bổ sung nhờ N.E.Guthar, I.A.Trubixun và I.A.Zaixep cùng các nhà khoa học khác. Thuyết thủy động liên hệ về lượng của cơ tính và tác dụng của lớp bôi trơn với vận tốc trượt của các bề mặt ma sát và với các kích thước hình học của chúng khi có một lớp bôi trơn đủ dày (so với kích thước vi mô của bề mặt) phân cách bề mặt ấy.

Lực ma sát trong trường hợp này được tính theo công thức của N.P.Petrôp:

$$F_{lp} = \eta \frac{v.S}{h + \frac{\eta}{\mu_1} + \frac{\eta}{\mu_2}} \quad (2.1)$$

trong đó:

- η : là độ nhớt động lực của lớp bôi trơn;
- v : là vận tốc trượt;
- S : là diện tích bề mặt trượt;
- μ_1, μ_2 : là hệ số ma sát ngoài của lớp bôi trơn với các bề mặt ma sát.

Do khả năng hấp phụ cao của chất bôi trơn và sự trượt của các bề mặt ma sát mà ta có thể bỏ qua các đại lượng $\frac{\eta}{\mu_1}$ và $\frac{\eta}{\mu_2}$ (μ_1, μ_2 là những đại lượng rất lớn). Khi đó công thức trên có dạng:

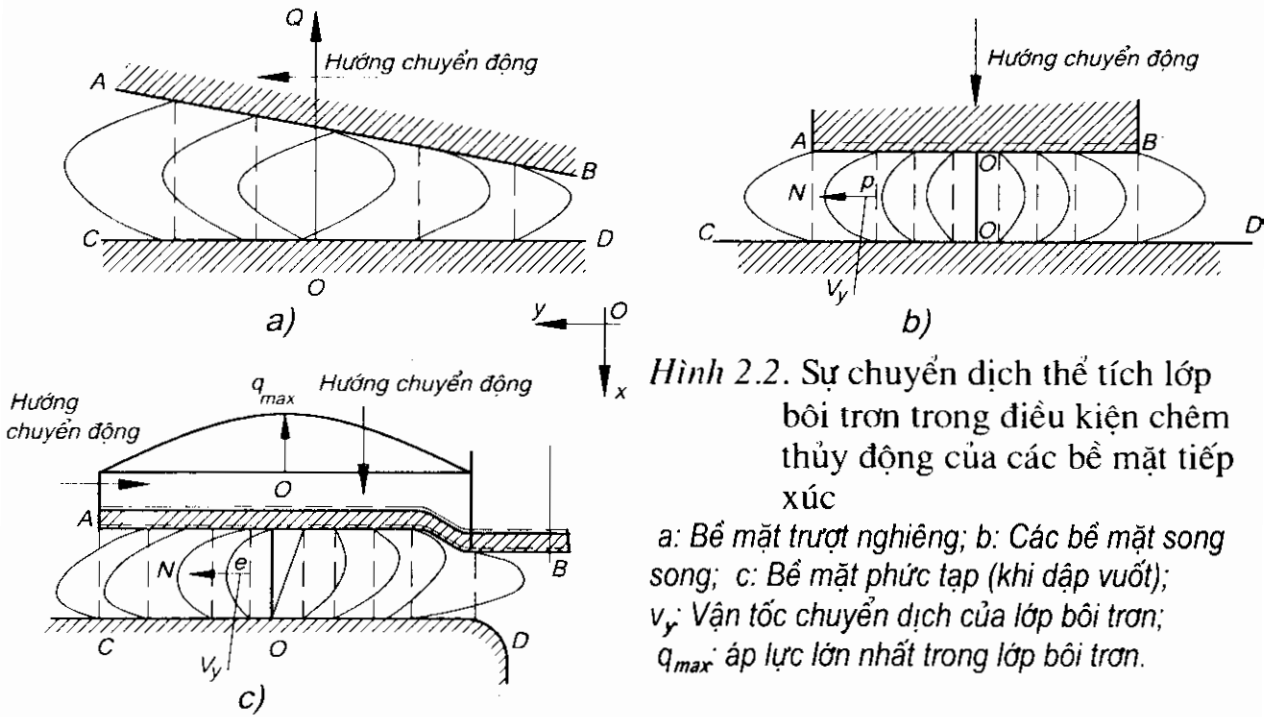
$$F_{lp} = \eta \frac{v.S}{h} \quad (2.1')$$

Điều kiện quyết định khả năng áp dụng lý thuyết ma sát thủy động vào quá trình công nghệ là sự hình thành nêm thủy động, mà bề mặt trượt dường như nổi trên đó dù tải trọng tác dụng rất lớn. Không có các điều kiện này chất bôi trơn dễ dàng bị ép ra và các bề mặt ma sát sẽ tiếp xúc một phần hay toàn phần trực tiếp với nhau.

Nêm thủy động được tạo nên hoặc là nhờ vào sự nâng thủy động của các lớp dầu khi các bề mặt nghiêng trong điều kiện ma sát xác định trượt nhanh tương đối với nhau (Hình 2.2a), hoặc là bởi các điều kiện đặc biệt của quá trình gia công như đã thấy trong dập tấm (Hình 2.2b).

Ở thời điểm đầu của quá trình dập vuốt, những hiện tượng xảy ra trong lớp bôi trơn giữa vành chặn, vật gia công và cối có thể tương tự với các hiện tượng xảy ra trong lớp bôi trơn khi các bề mặt trái hướng đang tiến gần lại với nhau tạo nên một chuyển động theo phương tiếp tuyến. Thực ra nếu các bề mặt song song AB và CD tịnh tiến lại phía nhau không gây ra sự chuyển dịch theo phương tiếp tuyến (khi có áp lực nén), thì lớp bôi trơn nằm giữa chúng phải bị

ép trôi ra. Khi đó thành phần vận tốc nằm ngang sẽ đạt lớn nhất ở giữa khoảng cách của chúng (Hình 2.2b). Rõ ràng là, do ma sát trong mà áp lực của lớp bôi trơn sẽ đạt cực đại ở điểm O và cực tiểu ở đầu kia.



Hình 2.2. Sự chuyển dịch thể tích lớp bôi trơn trong điều kiện chêm thủy động của các bề mặt tiếp xúc

a: Bề mặt trượt nghiêng; b: Các bề mặt song song; c: Bề mặt phức tạp (khi dập vuốt);
 v_y : Vận tốc chuyển dịch của lớp bôi trơn;
 q_{max} : áp lực lớn nhất trong lớp bôi trơn.

Trong trường hợp chuyển động của vành phôi hướng về phía trục của chày thì vận tốc chuyển động của từng phần lớp bôi trơn sẽ bằng tổng vectơ vận tốc chất lỏng bị ép trôi ra và vận tốc chuyển dịch theo phương hướng kính (Hình 2.2c).

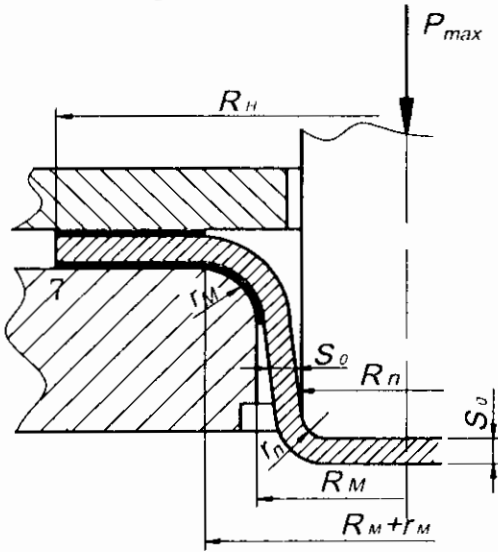
Để tìm cơ sở cho khả năng ứng dụng giả thuyết ma sát thủy động (ma sát ướt) vào quá trình dập tấm cần phải chứng minh một số điều sau đây:

- 1) Ảnh hưởng của độ nhớt (ma sát trong) của vật liệu bôi trơn đến tác dụng bôi trơn trong dập tấm.
- 2) Ảnh hưởng của vận tốc chuyển dịch qua lại của các bề mặt ma sát, nhiệt độ trong quá trình tạo hình tới hiệu quả bôi trơn.
- 3) Ảnh hưởng của áp lực tiếp xúc lên mép cối dập vuốt đối với ma sát ngoài trong dập tấm.

2.3.1. Ảnh hưởng của độ nhớt và hoạt tính bề mặt của chất bôi trơn tới tác dụng bôi trơn trong biến dạng dẻo

Để kiểm tra và khẳng định quan điểm coi độ nhớt như một yếu tố quan trọng quyết định tác dụng bôi trơn trong dập tấm, người ta đã tiến hành

ngiên cứu thử nghiệm trên cơ sở thiết lập qui trình mẫu dập vuốt sâu trong khuôn cứng (Hình 2.3).



Hình 2.3. Sơ đồ quá trình dập vuốt sâu trong khuôn cứng và vùng tác động của lớp bôi trơn

Về các vật liệu bôi trơn, một mặt người ta nghiên cứu các axit hữu cơ có thành phần phức tạp (như axit oleic, stearic và các muối natri của các axit đó đại diện cho các chất có hoạt tính bề mặt cao nhất, cũng như các dung dịch của các chất này pha trong các môi trường có hoạt tính thấp, độ nhớt thấp (như dầu vazelin không cực, dầu hoá không cực, nước). Mặt khác, người ta nghiên cứu các dung dịch cacbon (đường sacaro) với protein (gelatin) trong nước là những chất hữu cơ đặc trưng không có hoạt tính bề mặt nhưng lại dễ dàng thay đổi độ nhớt của vật liệu bôi trơn (từ $0,01 \cdot 10^8$ P).

Để đối chứng người ta còn nghiên cứu công dụng bôi trơn của nhiều vật liệu và hợp chất của chúng (như nhựa thông, dầu thầu dầu, dầu mỡ ôxi hóa, sáp ong, bitum atfan, paraffin, dầu máy, dầu trục...) hoặc có hoạt tính bề mặt cao hoặc không nhưng lại có độ nhớt cao. Ngoài các loại trên, người ta còn nghiên cứu các chất bôi trơn được đánh giá theo mức độ giảm ứng suất dập σ_{dmax} và công biến dạng riêng A_r khi dập vuốt cốc hình trụ đường kính 40, 48, 80mm từ vật liệu thép tấm không gỉ, hợp kim chịu nhiệt, thép cacbon thấp và đura:

$$\sigma_{dmax} = \frac{P_{max}}{2\pi(R_n + \frac{s_0}{2})s_0}; \quad (2.2)$$

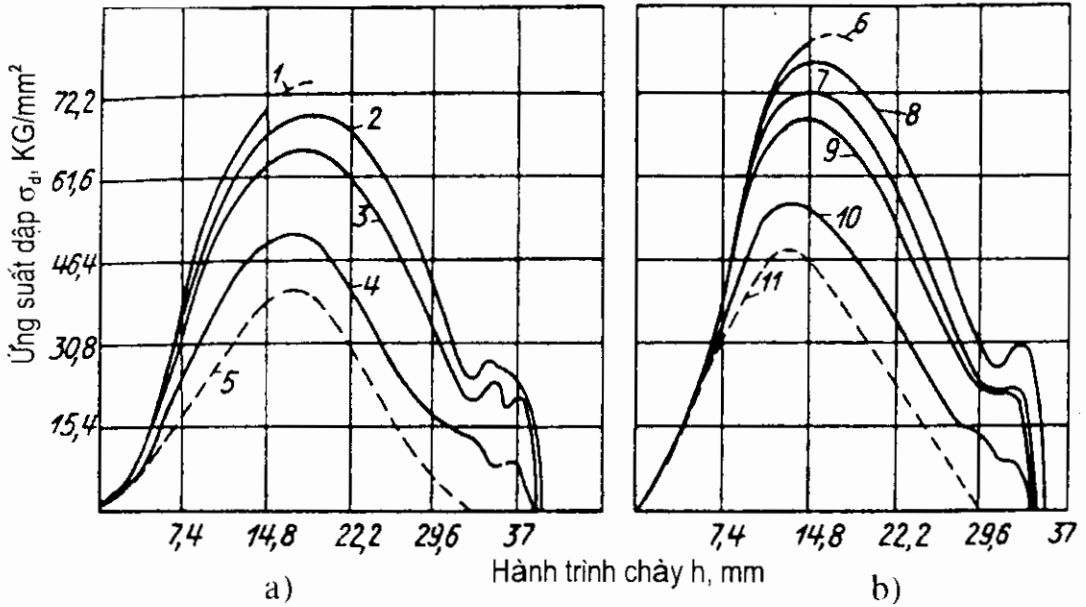
$$A_r = \frac{A_{dv}}{0,785D_0^2 s_0} \quad (2.3)$$

trong đó:

- s_0 : độ dày ban đầu của phôi;

- A_{dv} : công dập vuốt;
- D_0 : đường kính ban đầu của phôi.

Các thông số hình học của dụng cụ, tốc độ biến dạng và áp lực vành chặn được giữ nguyên không đổi cho mỗi loạt thí nghiệm.



Hình 2.4. Biểu đồ dập vuốt cốc hình trụ, trên cơ sở phân tích tác dụng bôi trơn hữu ích

a) Đối với thép không gỉ ($D_0=82,5\text{mm}$; $s_0=1\text{mm}$; $K=2,1$)

b) Đối với hợp kim bền nhiệt ($D_0=80\text{mm}$; $s_0=1\text{mm}$; $K=2$)

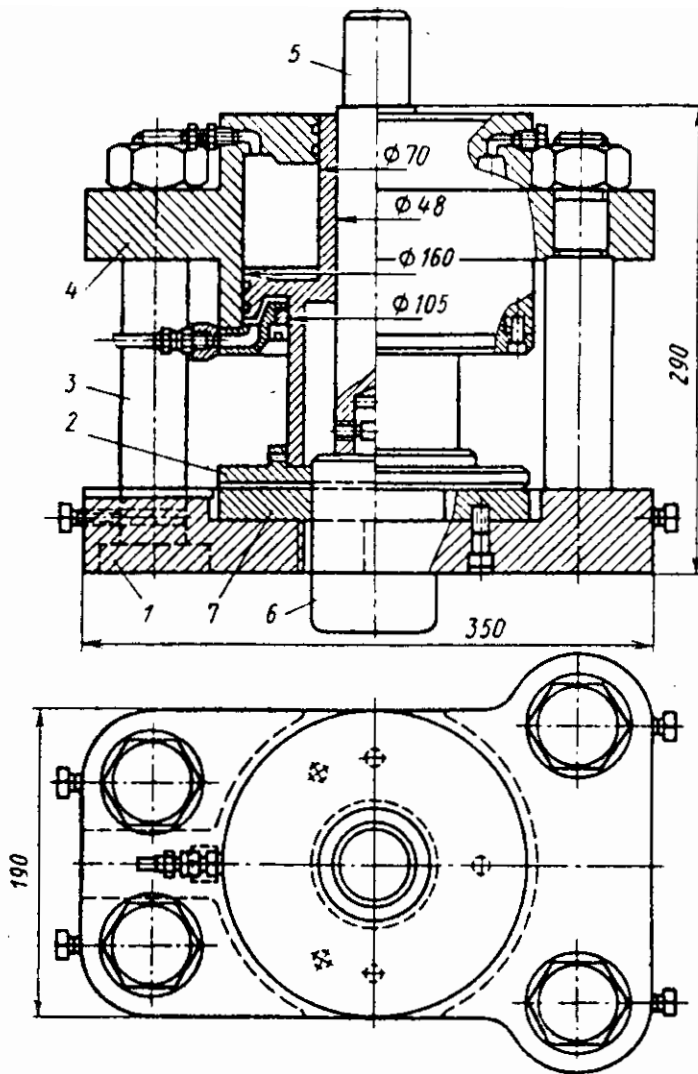
1&6: không bôi trơn; 2&7: dầu máy; 3&9: có chất bôi trơn; 4&10: dầu mỡ đã bị ôxy hóa; 5&11: đường cong lý thuyết; 8: dầu cho con thoi (máy dệt); K: hệ số vuốt.

Các ứng lực P_{\max} và công dập vuốt được ghi lại trên biểu đồ *Lực dập vuốt-Hành trình của chày* (Hình 2.4) nhờ một thiết bị thí nghiệm dập chuyên dùng (Hình 2.5) lắp trên máy ép trục khuỷu (Hình 2.6). Tốc độ dập vuốt trên 3m/s. Ghi tốc độ, ứng lực dập vuốt, nhiệt độ vật gia công trong quá trình dập vuốt trên máy ép trục khuỷu bằng dao động quang ký có gắn cảm biến điện trở.

Nhiệt độ của vật mẫu khi dập vuốt được ghi tự động bằng cặp nhiệt crôm - côm (55Cu-45Ni) được gắn vào máy ghi dao động và chạm vào thành vật mẫu khi dập vuốt (Hình 2.7). Tốc độ dập (>3 m/s) được ghi bởi máy dao động quang kí đã tháo bỏ ống catốt và thay bởi cảm biến điện dung.

Tính chất cơ lý của chất bôi trơn và các vật liệu khác được xác định ở nhiệt độ thường (20°C) và nhiệt độ cao ($130-140^\circ\text{C}$).

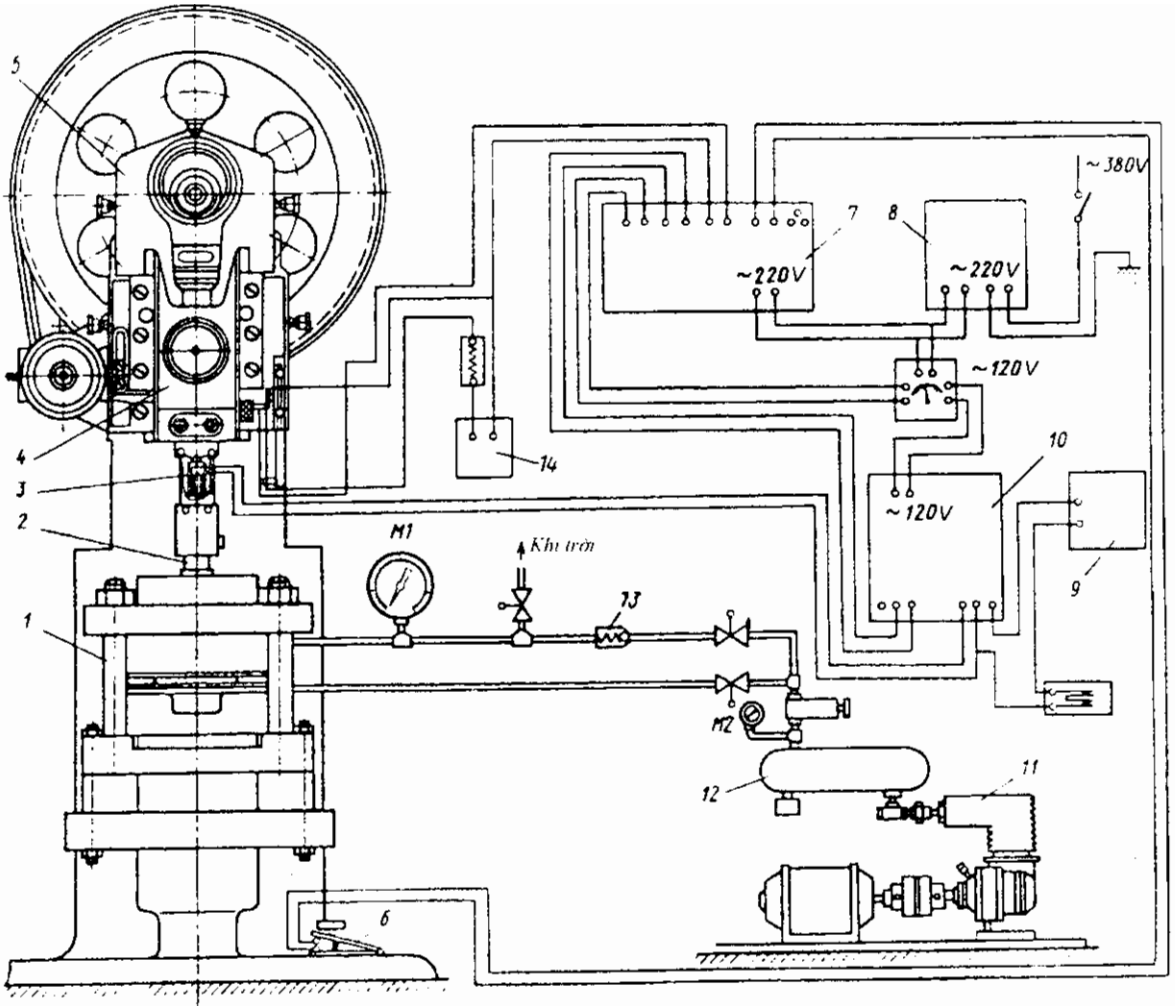
Đối với những chất bôi trơn đủ chảy loãng trong điều kiện thí nghiệm, độ nhớt động lực được đo bằng thiết bị đo độ nhớt có mao dẫn.



Hình 2.5. Khuôn dập dùng để xác định tác dụng bôi trơn khi dập vữa sâu

1: Đế khuôn; 2: Vòng chặn; 3: Trụ đỡ; 4: Xilanh ống lồng; 5: Giá kẹp chày
6: Chày thay đổi được; 7 Cối thay đổi được.

Vì khả năng của thiết bị mao dẫn chỉ đo được độ nhớt trong khoảng nhỏ hơn $2 \cdot 10^3$ cSt (centiStôc) nên độ nhớt của một số chất bôi trơn đặc có thể đo ở điều kiện bình thường bằng dùng kế được cấu tạo kiểu xilanh ống lồng.



Hình 2.6. Thí nghiệm nghiên cứu bản chất tác dụng của chất bôi trơn khi dập vuốt trên máy ép trực khuỷu

1: khuôn; 2: giá kẹp chày; 3:lực kế; 4:dầu trượt của máy; 5:Máy ép; 6: bàn đạp điều khiển máy ép và thiết bị; 7:hệ thống thiết bị đo; 8:bộ ổn áp; 9:hộp điện trở; 10:tăng áp cho cảm biến thuận trở; 11:máy nén khí; 12: bình khí nén; 13: van 1 chiều; 14: bình tích áp; M1 và M2: áp kế

Sơ đồ dẻo kế được trình bày trên hình 2.8. Vật liệu bôi trơn cần khảo cứu được cho vào khe hở giữa hai ống trụ.

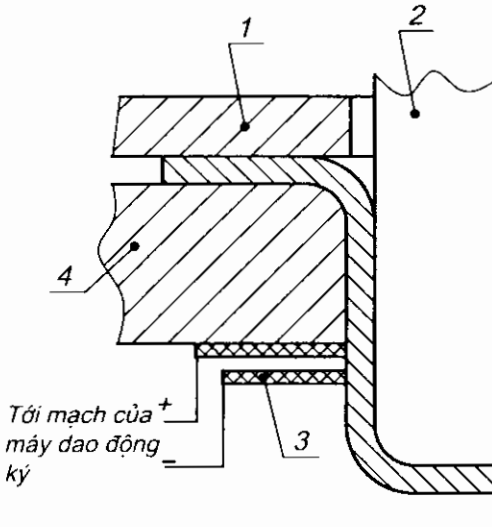
Nếu biết được khe hở giữa hai ống, diện tích và tốc độ chuyển dịch của ngoại lực thì tính được độ nhớt tuyệt đối theo công thức:

$$\eta_{20^0 C} = \frac{Q.t.h}{\pi.d.z.H} \text{ (KG/cm}^2\text{)}$$

trong đó:

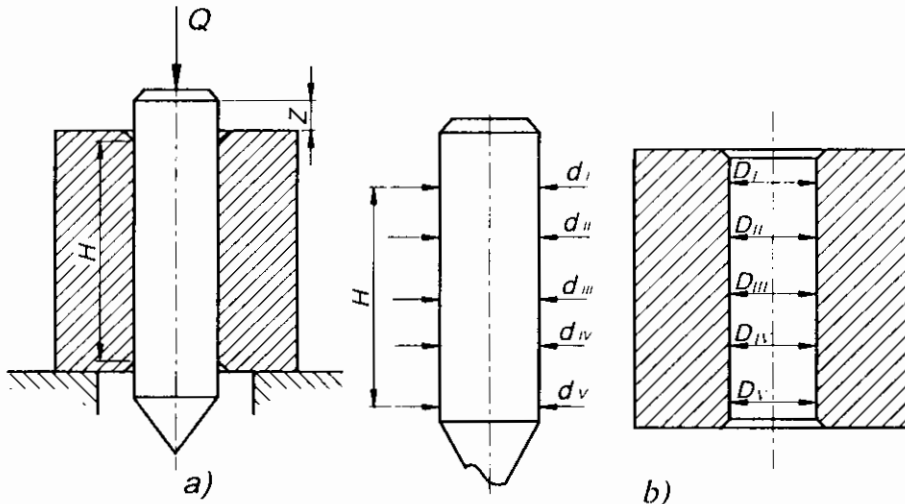
- Q: độ lớn của ứng lực (KG);

- t : thời gian đặt ống trụ bên trong ổ tại chiều cao z (s);
- h : khe hở;
- d : đường kính trong ống trụ (cm);
- z : chiều cao chuyển dịch ống trụ (cm);
- H : chiều cao ống trụ ngoài.



Hình 2.7. Nối cặp nhiệt từ mạch của máy dao động ký để đo nhiệt độ thành chi tiết trên những đoạn khác nhau của đường sinh
1: Vành chặn; 2: Chày; 3: Cặp nhiệt điện; 4: Cối

Việc nghiên cứu hiệu quả các loại vật liệu khác trong dập vuốt chi tiết hình trụ từ thép không gỉ và hợp kim chịu nhiệt (hệ số vuốt $\nu = 0,00127$ m/s) cho thấy rằng hiệu quả bôi trơn thể hiện bằng sự giảm ứng suất dập vuốt, được quyết định đáng kể bởi độ đặc (độ nhớt có hiệu quả) của vật liệu bôi trơn.



Hình 2.8. Đồ kế để đo độ nhớt động lực của chất bôi trơn
a: Sơ đồ đo độ nhớt; b: Các chi tiết của đồ kế: $H=66,4$ mm; $z=25,3$ mm; $D_{tb} = \sum D_{I,V} = 5 = 20,53$ mm; $d_{tb} = \sum d_{I,V} = 5 = 20,483$ mm

Thí nghiệm chỉ ra rằng, ứng suất dập vuốt thấp nhất là của vật dập bằng thép không gỉ với chất bôi trơn là hợp chất cân đối giữa bitum, dầu mỡ ôxi hoá, mật ong, và các chất có độ nhớt cao (10^3 - 10^6 P). Các chất bôi trơn có độ nhớt kém thì tỏ ra có tác dụng bôi trơn kém. Lực ma sát ngoài trong trường hợp đó vẫn rất lớn mặc dù chất bôi trơn có hoạt tính bề mặt cao.

Kết quả thí nghiệm (Hình 2.9a và Bảng 2.1) cho thấy, hiệu quả bôi trơn của dung dịch đường sẽ thay đổi cùng với nồng độ tức là độ nhớt của nó. Hiệu quả bôi trơn tốt nhất (Hình 2.9b) với chế độ dập vuốt này (áp lực lớn nhất trên vành phôi của cối là $q = 890 \text{ KG/cm}^2$, tốc độ dập vuốt $v = 0,00127 \text{ m/s}$) đạt được khi nồng độ của đường trong nước là 94% tương ứng với độ nhớt $\eta = 5,5 \cdot 10^4 \text{ P}$ (trong điều kiện bình thường). Khi đó ứng suất dập giảm tới 27,6% cao gần gấp đôi tác dụng bôi trơn của các hoạt tính bề mặt cao như axit oleic, dầu castoro, paraffin ôxi hoá v.v...

Bảng 2.1. Sự thay đổi ứng lực và ứng suất dập vuốt vào nồng độ đường trong nước (thép không gỉ $v_{tb} = 0,00127 \text{ m/s}$; $s_0 = 1\text{mm}$; $K=2\text{mm}$)

Nồng độ đường trong nước C, %	Lực dập vuốt P_{max} KG	Ứng suất dập vuốt σ_d , MPa	Độ giảm ứng suất dập, %	Trạng thái bề mặt sản phẩm sau khi dập
75	9400	705	0	Rách đáy, vết xước và sây sát dày đặc
85	8750	660	7,4	Vết xước dày đặc
90	7900	593	16,4	Nhiều chỗ có vết xước nhỏ
92	7350	550	22,1	Một số chỗ có vết xước nhỏ
94	6850	510	27,6	Bề mặt nhẵn, mờ, không xước
95	6950	522	26,5	Như trên
96	7870	590	16,7	Như trên
97,5	8700	650	7,9	Như trên
98	8900	670	5,8	Như trên
99	9250	695	2,1	Bề mặt nhẵn, mờ, có vết hơi nhẵn
100	9500	710	0	Bề mặt mờ, bị rách đáy

Trạng thái bề mặt của mẫu dập vuốt cho thấy, nhánh bên trái của đường cong 1 (Hình 2.9 a, b) ứng với chế độ ma sát bán khô (quan sát thấy dấu vết

của sự cọ sát giữa bề mặt ma sát của phôi và dụng cụ) còn nhánh bên phải tương ứng với điều kiện bôi trơn thủy động hoàn toàn: các bề mặt tách rời nhau bởi một lớp bôi trơn dày. Giới hạn cực tiểu của đường cong là $\sigma_d=f(C)$ (C là nồng độ), ứng với thời điểm chuyển từ ma sát bán khô (bôi trơn một phần) sang chế độ ma sát thủy động (bôi trơn hoàn toàn). Độ nhớt của chất bôi trơn đảm bảo cho ứng suất nhỏ nhất, và được giá trị cực tiểu của đường cong $\sigma_d=f(C)$ được coi là “độ nhớt tối ưu”, còn các chất bôi trơn tạo ra được sự chuyển tiếp từ chế độ giới hạn sang chế độ thủy động hoàn toàn trong các điều kiện cụ thể của dập vuốt thì gọi là “các chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu”.

Sự tăng dần ứng suất bên phải, từ cực tiểu lên được giải thích là do tăng trở lực cắt của lớp bôi trơn do tăng độ nhớt của dung dịch, còn ở nhánh bên trái là do tăng ma sát khô giảm khả năng bôi trơn của dung dịch bằng cách giảm độ nhớt của nó.

Các thí nghiệm với dung dịch nhựa thông trong dầu thầu dầu, cũng như các loại keo, tinh bột trong nước và xerezin trong dầu vapo (dầu bôi trơn xilanh) cũng dẫn tới kết quả tương tự (xem Hình 2.9a).

Các thí nghiệm nghiên cứu tác dụng bôi trơn của các chất lỏng ít nhớt, hóa tính kém có bổ sung các chất hoạt tính bề mặt có nồng độ khác nhau (gồm nước + 2% oleat natri đến 10% dầu vazelin không phân cực + axit oleic, dầu hoả không phân cực + axit stearic dưới 1% và các chất khác) cho thấy tác dụng bôi trơn có tăng đôi chút so với các dung dịch không hoạt tính ban đầu, tuy vậy hiệu quả còn thấp hơn khi dùng paraffin không hoạt tính hay dung dịch đường trong nước (94%).

Bảng 2.2. Các chất bôi trơn dùng trong dập vuốt thép không gỉ

Bôi trơn bề mặt	Độ giảm ứng suất khi dập, %	Độ nhớt hiệu quả μ_{hq} , P
Sáp ong kĩ thuật	26,0	$6,56 \cdot 10^6$
Paraffin kĩ thuật	27,8	$4,1 \cdot 10^5$
Mỡ dầu mỏ ôxi hoá	30,2	$2,93 \cdot 10^4$
50% bitumatfan + 50% mỡ dầu mỏ ôxi hoá	32,1	$6,7 \cdot 10^5$
Dung dịch đường 94% trong nước	27,6	$6,5 \cdot 10^5$
Dung dịch keo gelatin 80% trong nước	$\approx 28,0$	$\approx 7,05 \cdot 10^5$

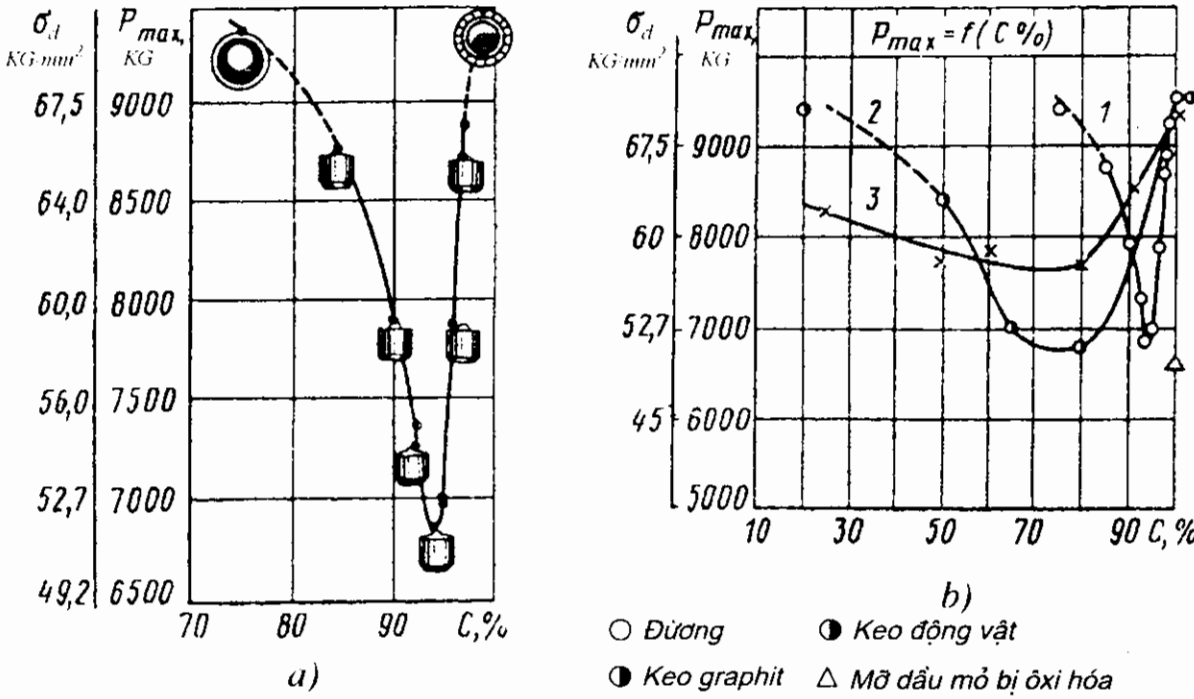
Bảng 2.3. Sự thay đổi ứng lực và ứng suất dập vuốt với các chất bôi trơn có tính chất Lý - Hoá khác nhau ($v=0,00127$ m/s; $s_0=1$ mm; $r_M=8$ mm; $K=1,7$)

Chất bôi trơn bề mặt	Độ nhớt μ, P	Đura		Thép cacbon thấp		Thép không gỉ	
		P_{max}, KG	$\sigma_d, KG/cm^2$	$P_{max}, KG/cm^2$	$\sigma_d, KG/cm^2$	P_{max}, KG	$\sigma_d, KG/cm^2$
Không dùng chất bôi trơn	-	3080	20,8	8400	57,0	9950	64,2
Silic hữu cơ đã chưng cất	1161,6	2350	15,8	-	-	8350	56,5
Dầu nhựa thông- dầu thầu dầu	1079	2270	15,5	5380	36,3	8280	56
Xerezin vapo	1200	2370	15,9	5250	35,6	-	-
Nhựa thông - dầu vapo	1013,76	2250	15,2	5380	36,2	8560	58

Việc nghiên cứu tác dụng bôi trơn của các vật liệu rẻ tiền, sẵn có như bitum atfan, paraffin, mỡ dầu mỏ ôxi hoá, xà phòng natri khô hay các vật liệu nhớt-dẻo khác cho thấy chúng có khả năng bôi trơn cao trong trường hợp khi mà độ nhớt của chúng đạt gần được mức tối ưu. Đối với những chế độ tiến hành thí nghiệm dập vuốt cốc hình trụ từ thép không gỉ hay bằng hợp kim chịu nhiệt (với $q=890$ KG/cm²; $v=0,00127$ m/s; $K=2$) thì các vật liệu đắt tiền như mỡ, dầu thực vật, động vật là các chất có hoạt tính bề mặt cao nhưng không đủ nhớt cho chế độ dập vuốt đó. Dùng làm chất bôi trơn trong dập vuốt sâu các loại dầu vô cơ có độ nhớt thấp hay các loại dầu có nguồn gốc thực vật đều không duy trì được một chế độ thuỷ động cho phần lớn các công đoạn dập vuốt.

Trong bảng 2.2 liệt kê các số liệu độ nhớt hiệu quả của các loại chất có tác dụng bôi trơn tốt nhất trong điều kiện đòi hỏi nêu trên. Từ bảng 2.2 thấy rằng, độ nhớt hiệu quả của các vật liệu này được xác định bởi các đại lượng theo cùng một trật tự. Điều đó cho phép coi độ nhớt là một tham số chính quyết định tác dụng bôi trơn của các chất bôi trơn (pha trong nước hay dầu) trong dập vuốt sâu và cũng có thể cả trong những điều kiện và quá trình tương tự (kéo dây, cán, ép chảy).

Trong bảng 2.3 đưa ra kết quả tác dụng bôi trơn của các chất bôi trơn có thành phần hoá học khác nhau nhưng có cùng độ nhớt như nhau. Từ bảng 2.3 suy ra rằng ngay cả trong điều kiện ma sát hạn chế (nhánh bên trái, cực tiểu của đường cong $\sigma_d = f(\mu)$ của các chất bôi trơn có hiệu quả gần giống nhau).



Hình 2.9. Sự thay đổi ứng suất dập và lực dập vuốt theo nồng độ đường (đường cong 1) và keo động vật (đường cong 2) trong nước, keo graphit (đường cong 3) trong dầu máy (thép không gỉ, $d_n=40mm$; $K_\sigma=2$; $s_\sigma=1mm$; $r_M=10mm$; $v_b=0,00127m/s$)

Để so sánh với tác dụng bôi trơn của các dung dịch đường tan trong nước và nhựa thông pha trong dầu thầu dầu, cần nghiên cứu tác dụng bôi trơn của các chất huyền phù nói chung và các huyền phù graphit nói riêng.

Trên hình 2.9 có giới thiệu sự tương quan giữa ảnh hưởng thay đổi ứng suất dập vào nồng độ huyền phù graphit dạng keo trong dầu máy. Dễ dàng thấy rằng tác dụng bôi trơn của dung dịch thực chất không có hoạt tính bề mặt lại cao hơn tác dụng bôi trơn của các huyền phù graphit trong dầu máy vốn rất có hiệu quả trong quá trình gia công kim loại bằng áp lực. Điều này có thể giải thích là vì ma sát trong của huyền phù bị quyết định không chỉ bởi ma sát trong của môi trường phân tán các lớp giữa các phần tử chất rắn của pha phân tán, mà còn do ma sát ngoài giữa các phần tử rắn của pha (đối với huyền phù thì đây là ma sát trong). Nói cách khác, bề mặt riêng của pha phân tán càng cao thì lực ma sát trong của hệ thống phân tán đối với cùng môi trường phân

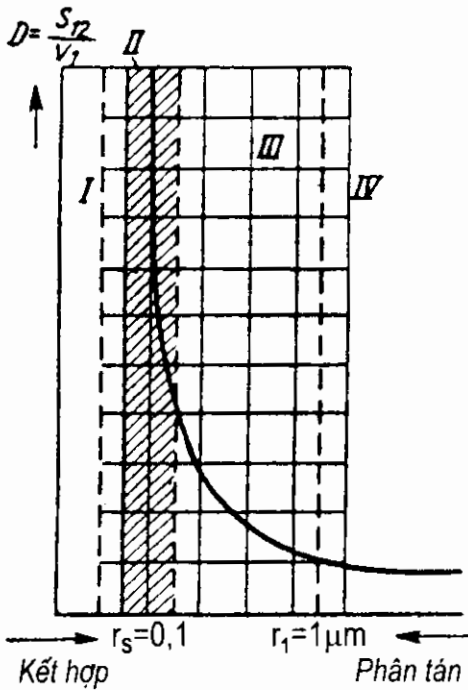
tán đó là càng thấp (Hình 2.10). Bề mặt riêng của pha phân tán được xác định theo công thức:

$$D = \frac{S_{12}}{V_1}$$

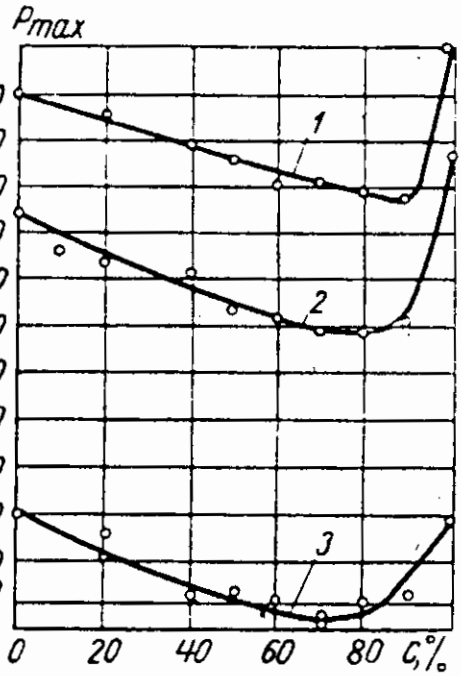
trong đó:

- S_{12} : bề mặt phân cách các pha;
- V_1 : thể tích pha phân tán.

Các thí nghiệm không để ra mục đích đi tìm phương pháp chế tạo các huyền phù có độ phân tán cao như các chất bôi trơn chịu nhiệt tốt, bởi vì điều đó thuộc về lĩnh vực hoá học chứ không thuộc về lĩnh vực cơ học. Rõ ràng là các huyền phù ở cấp phân tử có kích thước như phân tử sẽ gần giống các chất lỏng Niuton có hiệu quả bôi trơn cao nhất.



Hình 2.10. Đặc trưng thay đổi sự phân tán pha của bề mặt
I: Dung dịch phù hợp; II: Vùng keo phân tán;
III: Phân tán mỏng; IV: Phân tán sâu;
 r_s và r_1 : Bán kính hạt phân tán.



Hình 2.11. Sự thay đổi ứng suất dập và lực dập vượt phụ thuộc vào nồng độ C của nhựa thông trong dầu thầu dầu

($d_n=48\text{mm}$; $K=1,7$; $s_0=1\text{mm}$; $\eta_M=8\text{mm}$; $v_{cp}=0,00127\text{m/s}$); 1: với thép 1X18H9T; 2: với thép 20; 3: với hợp kim D16M

Các thí nghiệm để xác định ảnh hưởng của độ nhớt và hoạt tính bề mặt của các chất bôi trơn đối với tác dụng bôi trơn trong dập vuốt cho phép rút ra các kết luận sau đây. Độ nhớt của chất bôi trơn là tham số chính quyết

định hiệu quả của nó trong dập tấm. Hoạt tính lý-hoá (bề mặt) của chất bôi trơn, hiển nhiên là yếu tố cần thiết nhưng chưa đủ cho chất bôi trơn trong dập vuốt sâu.

Bằng cách thay đổi độ nhớt của chất bôi trơn trong phạm vi rộng sẽ chọn được độ nhớt tối ưu đảm bảo có hiệu quả bôi trơn tốt nhất cho chế độ dập vuốt nói trên (về vận tốc, áp suất riêng) đồng thời tạo ra chế độ ma sát thuỷ động giữa vật gia công và dụng cụ.

Trên hình 2.11 trình bày kết quả thí nghiệm sự phụ thuộc ứng suất dập vào nồng độ của dung dịch nhựa thông trong dầu thầu dầu, kết quả này ghi được khi vận tốc dập vuốt là 0,00127 m/s và khẳng định quan điểm đã nêu trên về bản chất công dụng của chất bôi trơn.

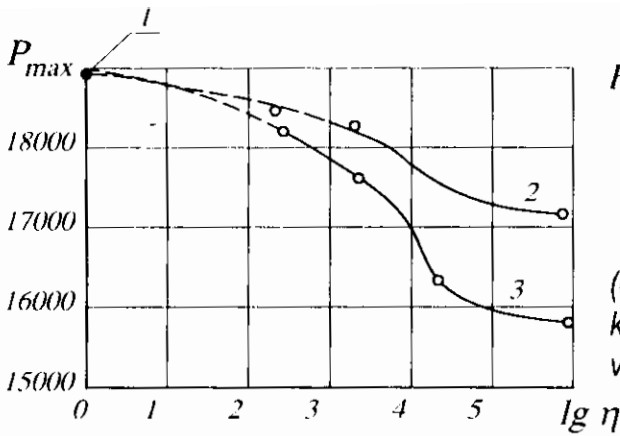
Độ nhớt của chất bôi trơn giữ cho ứng suất dập là nhỏ nhất với giá trị cực tiểu của đường cong $\tau_a=f(C)$ được gọi là độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn, chính là điều đảm bảo cho sự chuyển tiếp từ chế độ ma sát giới hạn (bôi trơn không hoàn toàn) sang ma sát thuỷ động (bôi trơn hoàn toàn).

2.3.2. Ảnh hưởng của các điều kiện nhiệt độ, vận tốc đến tác dụng bôi trơn

Ảnh hưởng của vận tốc biến dạng đến ma sát ngoài và chất bôi trơn trong quá trình dập tấm chưa được tính đến. Không ít khi các chất bôi trơn được lựa chọn trong phòng thí nghiệm với vận tốc tĩnh (0,05~0,1) m/s được khuyến cáo dùng trong sản xuất với $v = (0,3\sim 0,5)$ m/s. Lúc đó tốc độ biến dạng khi dập vuốt có ảnh hưởng rất lớn đến công dụng của loại chất bôi trơn cùng loại, bởi vì cùng với sự biến thiên vận tốc sẽ kéo theo sự thay đổi độ nhớt tối ưu cần thiết cho việc chuyển từ trạng thái bôi trơn giới hạn sang bôi trơn thuỷ động.

Các thí nghiệm với dập vuốt chi tiết thành hình trụ có đường kính 48 mm từ thép không gỉ cho thấy rằng, với sự biến thiên vận tốc từ 0,00127 đến 0,00005 m/s hiệu quả bôi trơn bị giảm đi, bề mặt phôi gia công và phần bán kính lượn của cốt trở bị cọ xát với nhau, ứng suất dập tăng lên (Hình 2.12), chất lượng bề mặt giảm.

Nếu khi dập vuốt cốc hình trụ từ thép không gỉ ($d_n=48\text{mm}$; $s_0=1\text{mm}$; $K=2,08$; $r_m=8\text{mm}$) với vận tốc 0,00172 m/s, chế độ thuỷ động được duy trì nhờ chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu $\eta_{\text{tđ}}=1,7 \cdot 10^1$ P, thì khi giảm vận tốc xuống 0,00005 m/s (các điều kiện khác giữ nguyên) ta sẽ quan sát thấy ma sát bán ướt với các hậu quả kèm theo (tăng ứng suất dập) xuất hiện các vết xước sâu trên bề mặt phôi (Bảng 2.4).



Hình 2.12. Sự phụ thuộc của ứng suất đập và lực đập vuốt vào độ nhớt của chất bôi trơn đối với những tốc độ đập vuốt khác nhau (thép không gỉ)

($d_n=48\text{mm}$; $s_0=2\text{mm}$; $K_\sigma=2,08$; $r_m=16\text{mm}$); 1: không bôi trơn; 2: $v_w=0,00005\text{m/s}$; 3: $v_w=0,00127\text{m/s}$.

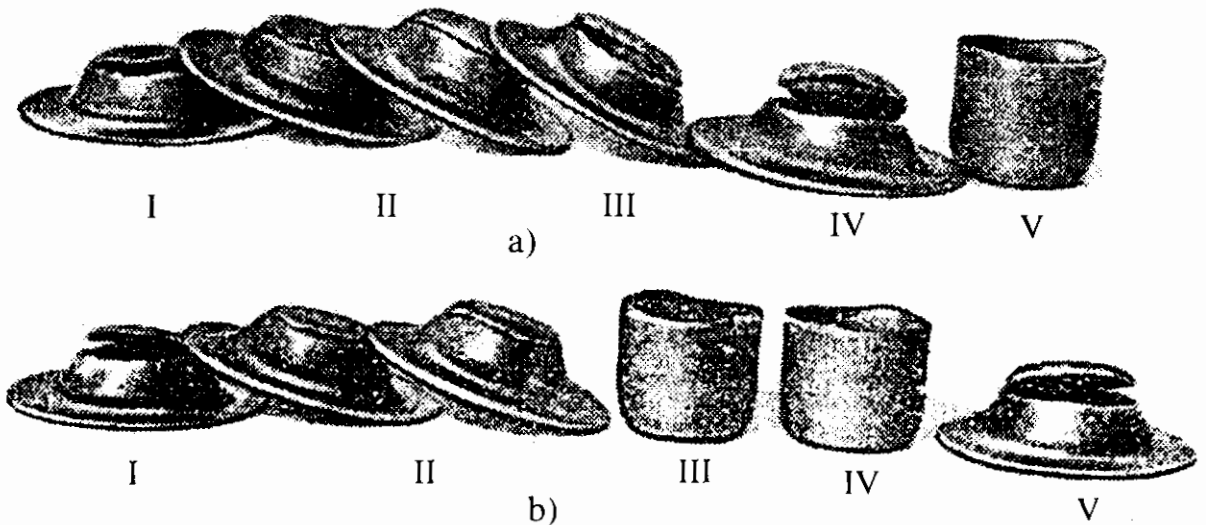
Bảng 2.4. Sự thay đổi ứng lực và công vào độ nhớt chất bôi trơn khi đập vuốt với các tốc độ khác nhau (thép 1X18H9T, $d_n=48\text{mm}$, $s_0=2\text{mm}$, $K=2,08$, $r_M=16\text{mm}$, $r_n=16\text{mm}$)

Nồng độ nhựa thông trong dầu thầu dầu, C%	Độ nhớt, P	v=0,00127 m/s			v=0,00005 m/s		
		P_{max} , KG	A, KG.m	Chú thích	P_{max} , KG	Λ , KG.m	Chú thích
Không bôi trơn	-	19.000	-	bị rách đáy	18.900	-	bị rách đáy
40	$2,68 \cdot 10^2$	18.160	593	có vết xước sâu	18.485	-	như trên
60	$2,5 \cdot 10^3$	17.675	588	có vết trên bề mặt tiếp xúc	18.250	637	có vết trên bề mặt tiếp xúc
70	$1,7 \cdot 10^4$	16.400	553	có rất ít vết trên bề mặt tiếp xúc	17.650	618	như trên
80	$9,17 \cdot 10^5$	15825	534	như trên	17.250	573	có vết mờ trên bề mặt tiếp xúc

Bảng 2.5: ảnh hưởng của tốc độ biến dạng tới độ nhớt hiệu quả khi dập vuốt (Đura, $D_0=96,1mm$, $s_0=2mm$, $K=2,08$, $r_M=16mm$)

Chất bôi trơn bề mặt	Độ nhớt μ, P	$v=0,00127 \text{ m/s}$		$v=0,00005 \text{ m/s}$	
		P_{max}, KG	Chú thích	P_{max}, KG	Chú thích
Không bôi trơn	-	4.650	bị rách đáy	3.900	bị rách đáy
20% nhựa thông trong dầu thầu dầu	52.5	4.560	như trên	4.200	như trên
40% nhựa thông trong dầu thầu dầu	$2,68 \cdot 10^2$	3.600	như trên	4.400	như trên
60% nhựa thông trong dầu thầu dầu	$2,52 \cdot 10^3$	4.850	có rất ít vết trên bề mặt tiếp xúc	4.100	như trên
70% nhựa thông trong dầu thầu dầu	$1,70 \cdot 10^4$	4.875	như trên	4.075	như trên
80% nhựa thông trong dầu thầu dầu	$9,170 \cdot 10^5$	4.200	bị rách đáy	4.800	có rất ít vết trên bề mặt tiếp xúc

Đáng quan tâm nhất là các kết quả thí nghiệm dập vuốt các chi tiết thành hình trụ mẫu đường kính 48 mm từ đura có dùng chất bôi trơn dạng dung dịch nhựa thông trong dầu thầu dầu với độ nhớt khác nhau (bảng 2.5 và hình 2.13a, b).



Hình 2.13. Các mẫu đura được dập vuốt không bôi trơn và bôi trơn với các độ nhớt khác nhau ($s_0=2mm$, $K=2,08$, $r_M=16mm$)

a: khi $v_b=0,00127 \text{ m/s}$; b: khi $v_b=0,00005 \text{ m/s}$; I: không bôi trơn; II: $\eta=2,68 \cdot 10^2 P$; III: $\eta=2,50 \cdot 10^3 P$; IV: $\eta=1,70 \cdot 10^4 P$; V: $\eta=9,17 \cdot 10^5 P$.

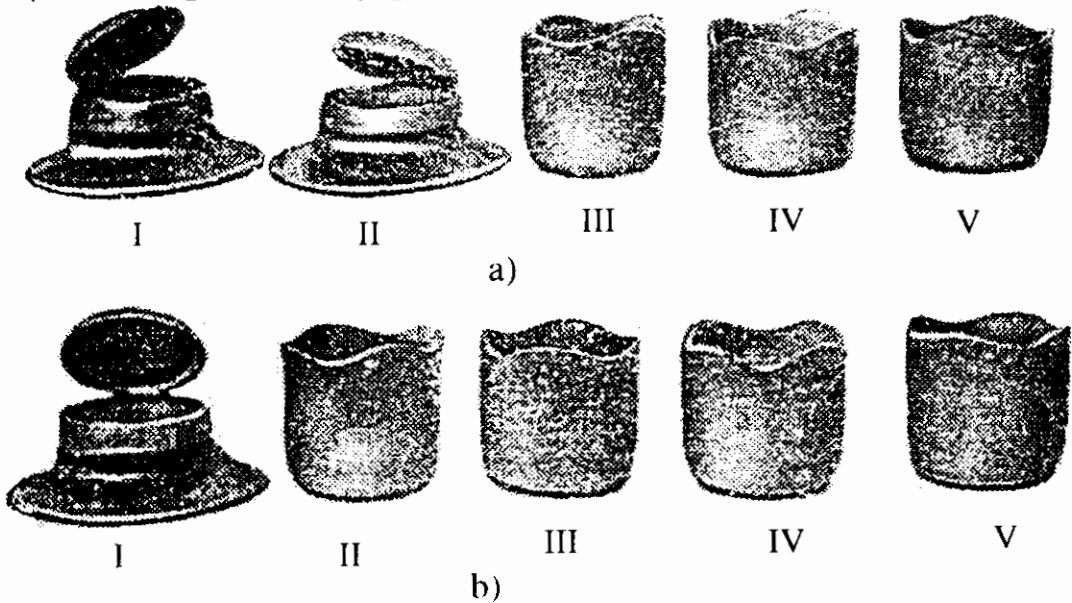
Trên hình 2.13a là một loạt mẫu có được khi dập vuốt với các chất bôi trơn có độ nhớt tăng dần với tốc độ dập vuốt là 0,00127 m/s. Trong trường hợp này độ nhớt tối ưu là $2,5 \cdot 10^3$ P.

Khi lặp lại các thí nghiệm với vận tốc dập vuốt là 0,00005 m/s giá trị độ nhớt tối ưu dần dần lệch sang phải, về phía tăng lên (xem hình 2.13b, bảng 2.4). Khi đó độ nhớt tối ưu là $9,17 \cdot 10^5$ P. Một loạt các mẫu tương tự làm từ thép không gỉ 1X18H9T cũng được biểu diễn trên hình 2.14 a, b. Như vậy các thí nghiệm đã chỉ ra rằng càng tăng vận tốc dập vuốt thì độ nhớt yêu cầu (độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn) càng giảm.

Dưới đây là số liệu kết quả thí nghiệm xác định độ nhớt tối ưu các chất bôi trơn với các vận tốc dập vuốt khác nhau áp dụng với cốc đũa hình trụ đường kính 80mm ($K=2,05$; $S_0 = 1$ mm, $\Gamma_m = 8$ mm).

Tốc độ dập vuốt, m/s	0,00005	0,00127	0,3 – 0,5	250 – 300
$\eta_{\text{t.u.}}$ P	$9,17 \cdot 10^5$	$(1,57-1,3) \cdot 10^3$	7,08	~ 0,02

Các số liệu này cho thấy ở tốc độ dập vuốt 0,00005 m/s, độ nhớt của chất bôi trơn gần bằng 10^6 P, tức là có tính chất như một chất dẻo cứng, còn ở vận tốc 250÷300 m/s độ nhớt cần thiết lại giảm xuống chỉ còn khoảng 0,02P tương ứng với một chất lỏng rất linh động.



Hình 2.14: Các mẫu thép không gỉ được dập không bôi trơn và bôi trơn với chất bôi trơn (nhựa thông trong dầu thầu dầu) có độ nhớt khác nhau ($s_0=2$ mm, $K=2,08$, $r_M=8s_0$, $r_n=4s_0$)

a: khi $v_{\text{đ}}=0,00127$ m/s; b: khi $v_{\text{đ}}=0,00005$ m/s; I: không bôi trơn; II: $\eta=2,68 \cdot 10^2$ P; III: $\eta=2,50 \cdot 10^3$ P; IV: $\eta=1,70 \cdot 10^4$ P; V: $\eta_{\text{t.u.}}=9,17 \cdot 10^5$ P.

Như vậy là, tác dụng của chất bôi trơn trong dập vuốt được quyết định đáng kể bởi tốc độ biến dạng. Điều đó khẳng định sự đúng đắn của những nguyên lý về ứng dụng lý thuyết ma sát thủy động vào quá trình dập tấm.

2.3.3. Ảnh hưởng của áp lực tiếp xúc trên phần bán kính lượn của cối đến ma sát ngoài trong dập tấm

Ảnh hưởng của ma sát tiếp xúc giữa phôi với phần bán kính lượn của cối trong việc chọn lựa chất bôi trơn trước đây chưa được tính đến. Vấn đề đó mới được tính đến một cách gián tiếp (có khuyến cáo một số chất bôi trơn khác nhau cho các loại hợp kim khác nhau). Tuy nhiên người ta chưa để ý lắm đến độ dày của phôi cũng như kích thước hình học của cối vuốt.

Người ta xây dựng chủ yếu trên cơ sở giống nhau về tác động hoá lý qua lại trên bề mặt phôi và chất bôi trơn, chứ không phải dựa trên độ lớn của ma sát tiếp xúc giữa phôi và cối q_{\max} cũng như vận tốc trượt.

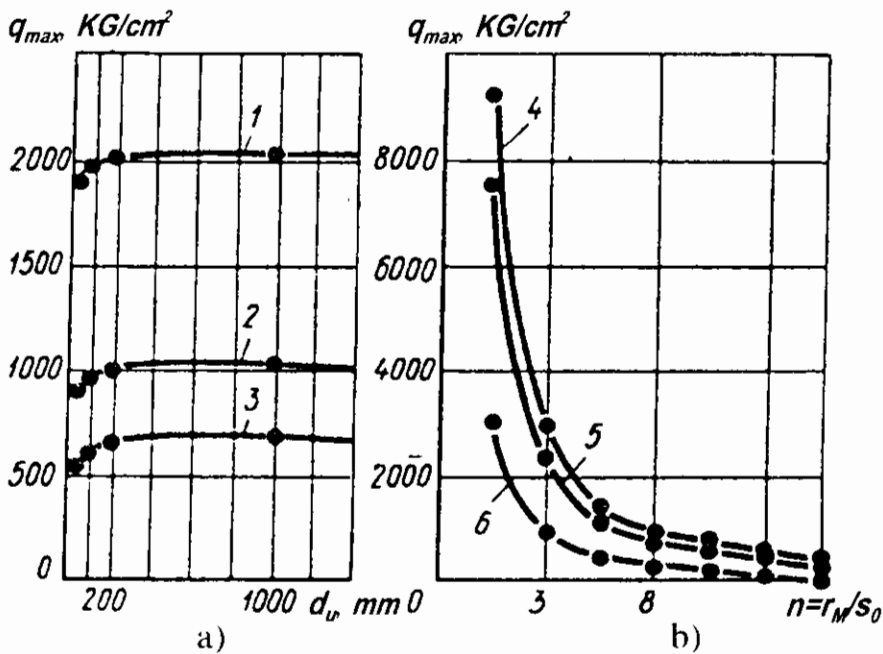
Với tốc độ chính xác đáp ứng yêu cầu thực tế thì độ lớn của áp suất tiếp xúc trên mép cối là:

$$q_{\max} = k \frac{\sqrt{2}\sigma_B}{n} \cdot \frac{R_M + \frac{s_0}{2}}{R_M + 0,364 \cdot n \cdot s_0};$$

trong đó:

- k : hệ số tính đến sự phân bố không đều lực ép lên phần bán kính lượn của cối (với nhôm và hợp kim $k \approx 1,5$; với thép $k \approx 1,8$);
- σ_B : giới hạn độ bền vật liệu dập;
- R_M : bán kính của cối;
- s_0 : độ dày ban đầu của phôi;
- n : tỉ số giữa bán kính lượn của cối và độ dày của phôi.

Áp suất tiếp xúc phụ thuộc vào một số yếu tố, trong đó chủ yếu là trở lực biến dạng của vật liệu dập, độ dày phôi, bán kính mép cối. Trong đó q_{\max} , do phụ thuộc vào đường kính phôi dập vuốt và thay đổi không đáng kể mà phụ thuộc chủ yếu vào cơ tính của vật liệu dập cũng như tỉ số n của bán kính mép cối với độ dày phôi (Hình 2.15a, b).

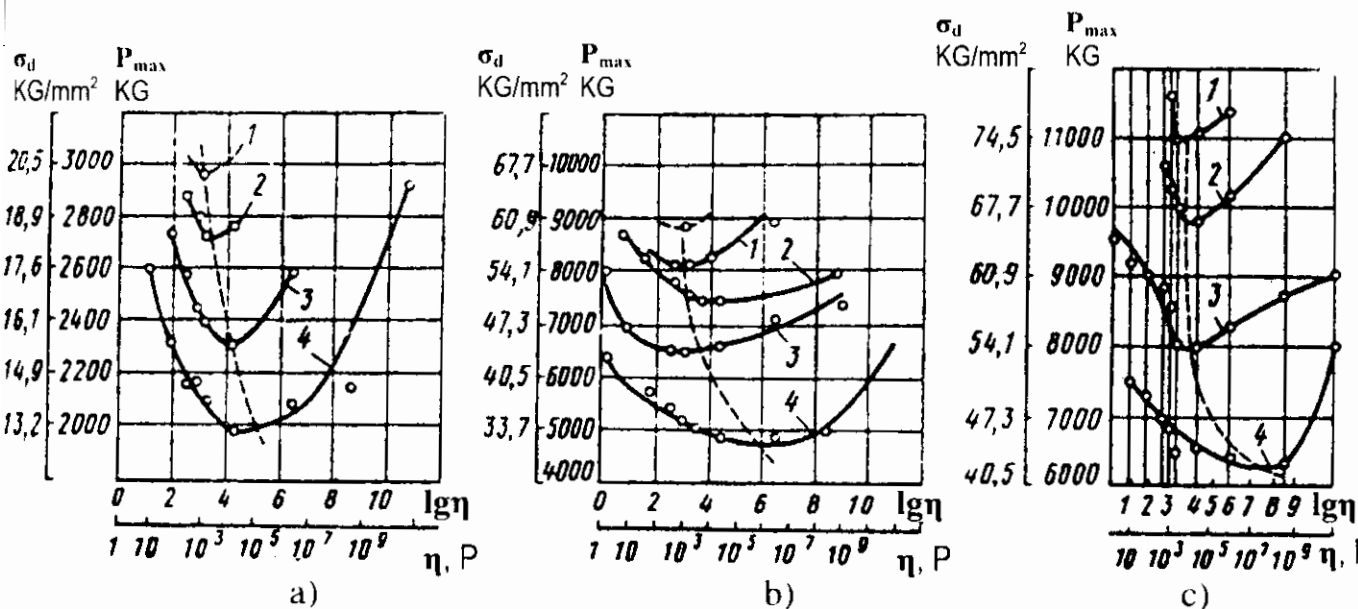


Hình 2.15. Sự thay đổi áp lực riêng trên mép cối dập vuốt phụ thuộc vào đường kính vật dập d_{vd} (Hình a) và bán kính gân vuốt tương đối $n = r_M/s_0$ (Hình b)

1-3: Tương ứng $r_M=4, 8$ và 12 mm; 4: Đối với thép 1X18H9T; 5: Đối với thép C20; 6: Đối với dura $\square 16$ ($s_{\sigma}=1$ mm)

Thí nghiệm cho thấy rằng, các yếu tố đó, trong khi thay đổi áp suất trên mép vuốt của cối, đã ảnh hưởng tới tính hiệu quả của chất bôi trơn, trong quá trình dập vuốt sâu và tạo ra những cơ tính cần thiết cho chất bôi trơn, trước hết là hiệu quả của nó. Do đó có thể khẳng định rằng các yếu tố cơ bản để xây dựng bảng phân loại chất bôi trơn dùng cho dập tấm và các phương pháp khác của gia công kim loại bằng áp lực - chính là áp lực tiếp xúc giữa các bề mặt ma sát của phôi dụng cụ và vận tốc trượt, sau đó là đến bản chất hoá - lý của chất bôi trơn và bề mặt ma sát.

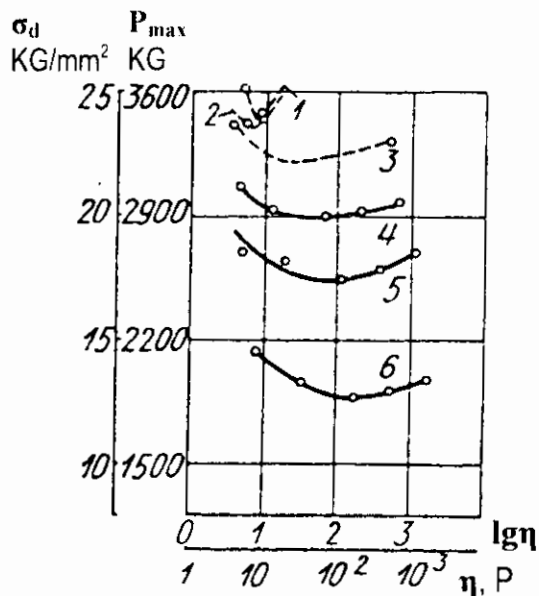
Mặt khác, các thí nghiệm cũng cho thấy rằng một chất bôi trơn cùng có các đặc điểm hoá - lý như nhau thì đều cho kết quả tốt như nhau đối với mọi hợp kim với điều kiện chọn đúng độ nhớt, hay ngược lại, một chất bôi trơn có hiệu quả đối với một loại hợp kim nhất định trong một chế độ dập lại trở kém hiệu quả trong một chế độ khác (như đã chứng minh ở trên, dập phôi từ vật liệu có cơ tính càng cao thì độ nhớt tối ưu càng tăng).



Hình 2.16. Sự phụ thuộc của ứng suất đập vào độ nhớt của chất bôi trơn đối với các hệ số đập vuốt khác nhau

a) Đura; b) Thép C20; c) Thép 1X18H9T
 1) $K=2,13$; 2) $K=2,05$; 3) $K=1,86$; 4) $K=1,7$

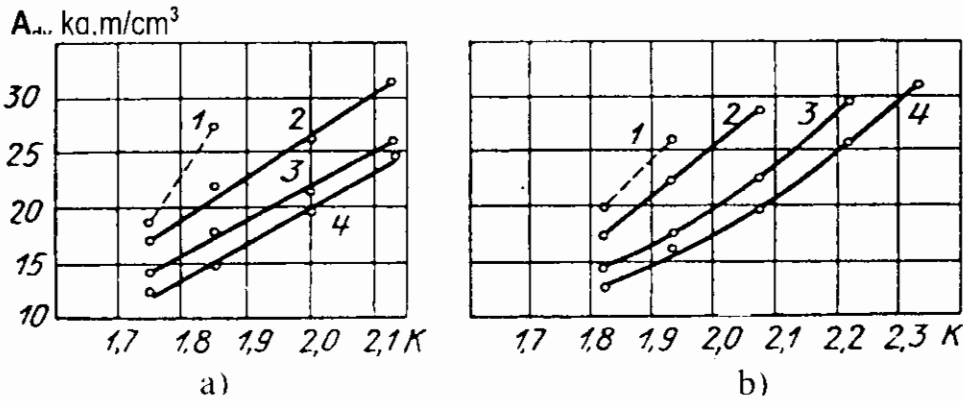
Sự khác nhau lớn nhất về giá trị độ nhớt tối ưu được quan sát thấy khi đập vuốt với hệ số vuốt K nhỏ. Như vậy là, với $K=1,7$ độ nhớt tối ưu cho đura là $1,7 \cdot 10^1 P$, với thép không gỉ là $5,07 \cdot 10^8 P$. Như thấy trên hình 2.16, nồng độ tối ưu của nhựa thông trong dầu thầu dầu (và kèm theo đó là độ nhớt) là rất khác nhau với các loại hợp kim khác nhau.



Hình 2.17. Sự phụ thuộc của ứng suất đập vào độ nhớt của chất bôi trơn đối với các hệ số đập vuốt khác nhau ($\Delta 16M$; $v_{tb} = 0,3 \text{ m/s}$)

1) $K=2,21, T_{ib}=34^\circ\text{C}$; 2) $K=2,18, T_{ib}=33^\circ\text{C}$;
 3) $K=2,13, T_{ib}=32^\circ\text{C}$; 4) $K=2,05, T_{ib}=30^\circ\text{C}$;
 5) $K=1,86, T_{ib}=26^\circ\text{C}$; 6) $K=1,70, T_{ib}=23^\circ\text{C}$;
 (T_{ib} : nhiệt độ trung bình của vật đập).

Độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn còn phụ thuộc vào hệ số vuốt. Sự thay đổi ứng suất dập và lực dập vuốt tùy theo độ nhớt của chất bôi trơn đối với các hệ số vuốt khác nhau chỉ ra rằng, cùng với việc tăng hệ số K độ nhớt tối ưu càng giảm. Khi đó, đường cong $\eta_{opt}=f(K)$ càng dốc về phía các giá trị nhỏ hơn của K (1,7 và 1,86). Trong khi tiến hành thí nghiệm, tốc độ biến dạng, kích thước hình học của dụng cụ, độ dày của phôi và chất bôi trơn được dùng tùy theo trạng thái ứng suất của phôi.



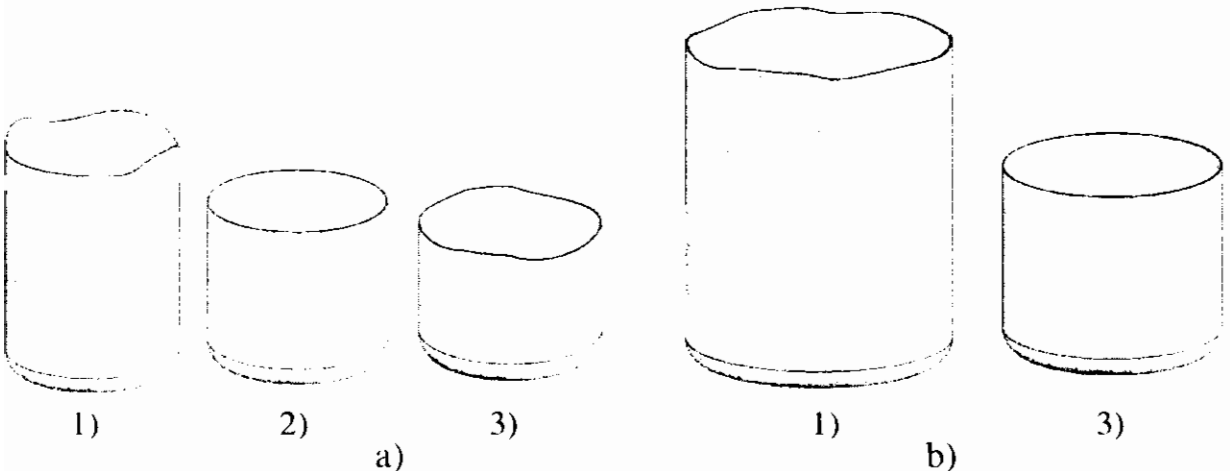
Hình 2.18. Sự phụ thuộc của công suất dập vuốt vào hệ số vuốt khi dập chi tiết thành hình trụ với những chất bôi trơn khác nhau

a): Đối với hợp kim chịu nhiệt; b): Đối với thép chịu mài mòn

1: Không bôi trơn; 2: 20% huyền phù kẽm trắng trong dầu máy; 3: Chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu;

4: Chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu, được vẽ cùng với sự thống kê trạng thái ứng suất

Sự giảm độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn và sự tăng hệ số vuốt được quan sát với các tốc độ dập vuốt khác nhau.



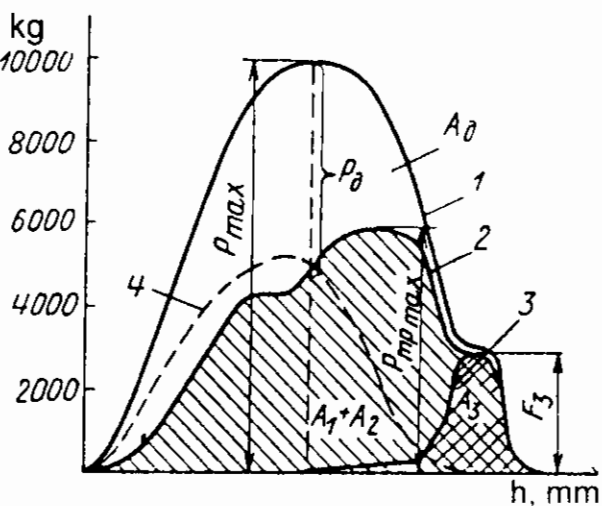
Hình 2.19. Dập vuốt chi tiết hình trụ từ thép không gỉ a) và thép cacbon thấp b) sau một bước dập

1: chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu; 2: chất bôi trơn huyền phù kẽm trắng trong dầu máy; 3: không bôi trơn

Kết quả thí nghiệm tiến hành trên thiết bị thí nghiệm (máy ép trục khuấy) có tốc độ trung bình là 0,3m/s (Hình 2.17) là tương đương với các kết quả thu được với vận tốc "tĩnh". Như vậy, với vận tốc dập vuốt là 0,00127m/s độ nhớt tối ưu giảm xuống theo sự tăng của hệ số vuốt cũng như qui luật xảy ra với vận tốc của quá trình, mặc dù giá trị độ nhớt tuyệt đối trong trường hợp sau đều giảm mạnh đối với mọi hệ số vuốt. Từ đó suy ra rằng, tác dụng bôi trơn trong quá trình dập vuốt sâu - quá trình đặc trưng của dập tấm, được xác định bởi tốc độ biến dạng, áp suất tiếp xúc giữa bề mặt ma sát của phôi và dụng cụ cũng như hệ số vuốt.

Các thí nghiệm để xác định ảnh hưởng của cơ lý tính chất bôi trơn đến các tham số chính của quá trình dập vuốt cho thấy rằng các chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu đem lại hiệu quả bôi trơn tối ưu nhất trong khi giảm công biến dạng riêng đến 45% và hơn nữa (Hình 2.18a, b). Việc sử dụng các chất bôi trơn này cho phép tăng hệ số vuốt so với khuyến cáo và đã ứng dụng tới trên 30% đối với hợp kim nhôm, thép cacbon và thép không gỉ cũng như các hợp kim dùng trong dập tấm.

Khi sử dụng các chất bôi trơn được chọn lựa sao cho duy trì được chế độ ma sát thủy động, ta sẽ có hệ số vuốt giới hạn là $K=2,21$ đối với đura, 2,25–2,27 đối với thép không gỉ và 2,27 đối với thép cacbon thấp (C20).



Hình 2.20. Biểu đồ giá trị riêng của ngoại lực ma sát trong cân bằng năng lượng khi dập vuốt chi tiết hình trụ từ thép không gỉ ($K=2,1$; $s_0=1\text{mm}$; $r_M=8s_0$; $r_n=4s_0$; $D_0=82,5\text{mm}$)
 1: biểu đồ tổng; 2: sự thay đổi của lực ma sát tổng; 3: sự thay đổi của lực ma sát trong khe hở chày-cối; 4: sự thay đổi của lực ma sát trong thể tích biến dạng dẻo; A_θ : công biến dạng dẻo; A_1 & A_2 : công của lực ma sát F_1 & F_2 ; A_3 : công của lực ma sát F_3 (trong khe hở chày-cối); h : hành trình của chày

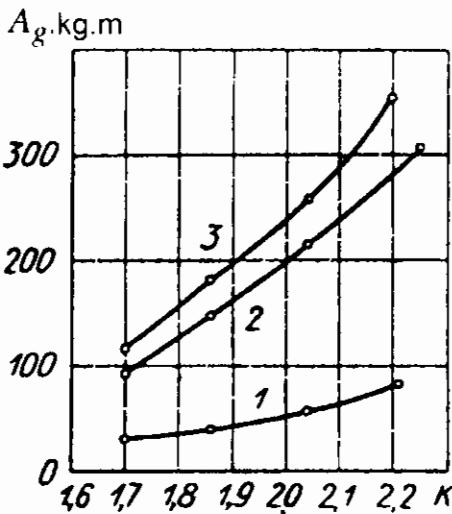
Hình 2.19 cho thấy các chi tiết hình trụ từ thép không gỉ (a) và thép cacbon thấp (b) được dập với hệ số vuốt lớn nhất. Các mẫu thu được sau một lần dập với các loại chất bôi trơn khác nhau.

Các chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu cho phép mở rộng đáng kể phạm vi áp lực nén tiếp xúc lớn nhất cho phép. Yếu tố này làm đơn giản hơn cho sự lựa chọn áp lực dập vuốt hợp lý bằng cách không cho các bề mặt ma sát của phôi và

dụng cụ tiếp xúc với nhau, các chất bôi trơn này duy trì được chất lượng bề mặt của phôi ban đầu, làm cho dụng cụ bị mòn ít nhất, gây ra sự biến mỏng ít nhất khi dập vuốt.

Việc xem xét ảnh hưởng độ nhớt của chất bôi trơn đối với tác dụng bôi trơn trong dập tấm sẽ là không đầy đủ nếu thiếu sự phân tích các hiện tượng về nhiệt diễn ra kèm theo quá trình biến dạng. Thí nghiệm cho thấy rằng, khi vận tốc lớn hơn 0,1 m/s thì nhiệt tỏa ra do phôi trong quá trình bị biến dạng sẽ làm thay đổi đột ngột độ nhớt của lớp bôi trơn trên bề mặt và như thế làm thay đổi hiệu quả của chất bôi trơn (Hình 2.14).

Các hiện tượng nhiệt kèm theo quá trình dập vuốt sâu được phát hiện bởi E.I. Ixatrenco cùng R.V.Pikhtôvnhicov và N.N.Baxôv khi tiến hành thí nghiệm đã cho phép tiến tới giải thích đúng hơn cả ảnh hưởng của vận tốc đến trở lực biến dạng trong dập tấm. Đó là điều có ý nghĩa rất lớn đối với sản xuất liên quan tới việc phổ biến rộng rãi phương pháp gia công kim loại bằng áp lực tốc độ cao.



Hình 2.21. Sự thay đổi công biến dạng khi dập vuốt chi tiết hình trụ với chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu
1: Đura; 2: Thép cacbon thấp; 3: Thép không gỉ

Với tốc độ biến dạng dẻo lớn (trên 0,1 m/s) có thể cho rằng quá trình diễn ra giống như một quá trình đoạn nhiệt, tức là nhiệt tỏa ra trong biến dạng bị giữ lại ở phôi bị biến dạng và làm tăng nhiệt độ của nó. Khi đó, do trạng thái ứng suất và tốc độ biến dạng mà nhiệt độ của phôi có thể tăng rất cao (đến 650°C hoặc hơn). ở nhiệt độ như vậy sẽ xuất hiện hiện tượng dẫn nở và trong một số trường hợp là hiện tượng kết tinh lại. Như đã biết sự dẫn nở xuất hiện ngay khi nhiệt độ cao hơn $(0,25 \sim 0,3) \cdot T_{nc}$, còn sự kết tinh lại xảy ra ở nhiệt độ $0,4 \cdot T_{nc}$ (T_{nc} -nhiệt độ nóng chảy).

Năng lượng A_g , được truyền cho phôi biến dạng từ phía dụng cụ, phân tán chủ yếu thành năng lượng biến dạng dẻo $A_{bđd}$ và biến dạng đàn hồi $A_{đh}$, để thắng lực ma sát A_{ms} và năng lượng A_q tạo nên ứng suất dư loại 2 loại 3, tức là:

$$A_g = A_{bdd} + A_{dh} + A_{ms} + A_d$$

Năng lượng hao phí cho biến dạng dẻo và ma sát hầu như biến toàn bộ thành nhiệt năng.

Năng lượng biến thành nhiệt năng trong ép chảy thuận đũa là 77%, với nhôm kỹ thuật là 93%, với thép là 84 - 88%, với đồng là 92%. X.I.Gubkin cho rằng, để ép chảy thuận các kim loại nguyên chất trong điều kiện bình thường có thể (với mục đích tính toán) lượng năng lượng biến thành nhiệt tối thiểu là 85-90%, còn đối với hợp kim là 75-85% so với toàn bộ năng lượng truyền cho vật được biến dạng.

Trong quá trình dập vuốt vật liệu tấm, năng lượng (Hình 2.20) cần thiết để biến phôi dập thành một vật rỗng (công dập vuốt) được quyết định bởi trở lực biến dạng σ , hệ số vuốt K , kích thước của dụng cụ và lực ma sát ngoài P_{μ} , tức là:

$$A_{dv} = f(\sigma, D_u, r_M, r_n, z, K, P_{\mu}) \quad (2.4)$$

trong đó:

- D_u : đường kính phôi dập vuốt;
- r_M, r_n : bán kính lượn của cối và chày;
- z : khe hở giữa cối và chày.

Như vậy, trong quá trình dập vuốt sâu sẽ có một lượng năng lượng nhất định tiêu tốn để biến đổi hình dạng phôi, kết quả là có một sự tăng nhiệt độ nhất định của phôi.

Khi dập vuốt, thường thì 90% năng lượng tiêu phí cho biến dạng dẻo và ma sát (công ma sát), ta có thể tính được nhiệt năng toàn bộ Q thoát ra trong dập vuốt sâu là:

$$Q = 0,9 \frac{A_{dv}}{427}; \quad (2.5)$$

Nhiệt độ trung bình để nung nóng phôi (trước quá trình đoạn nhiệt) là:

$$t_2 = \frac{Q + G_{ph} \cdot C \cdot t_1}{G_{ph} \cdot C}; \quad (2.6)$$

trong đó:

- C : nhiệt dung riêng của vật liệu dập (với đũa là 0,214; với thép là 0,114 Cal/g. $^{\circ}$ C);
- t_1 : nhiệt độ ban đầu của phôi;
- G_{ph} : khối lượng phần được biến dạng của phôi.

$$G_{ph} = \frac{\pi}{4 \cdot 10^3} [D_0^2 - (d_n - 2r_n)^2] s_0 \rho \quad (2.7)$$

trong đó: - D_0 : đường kính của phôi ban đầu, cm;

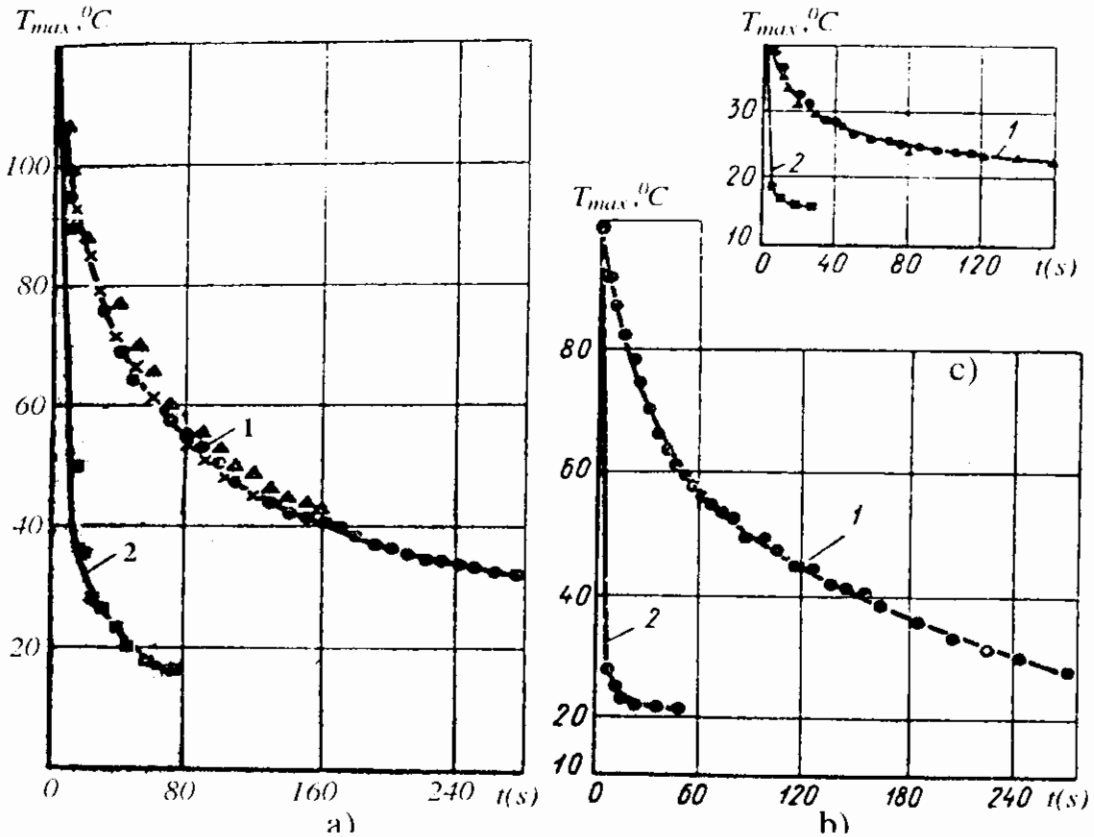
- d_n : đường kính chày, cm;
- s_0 : độ dày của phôi ban đầu, cm;
- ρ : khối lượng riêng của vật liệu phôi.

Sau khi so sánh các công thức (2.5) và (2.7) biểu thức tính nhiệt độ của phôi sẽ có dạng:

$$t_2 = \frac{2,7 \cdot A_{dv}}{C \cdot [D_0^2 - (d_n - 2r_n)^2]} \cdot s_0 \cdot \rho + t_1 \quad (2.8)$$

Do đó sau khi xác định bằng thực nghiệm công biến dạng và biết được nhiệt độ ban đầu của phôi, có thể tính toán tương đối chính xác cho thực nghiệm nhiệt độ có thể nung nóng phôi (trong điều kiện quá trình dập vuốt diễn ra rất nhanh).

Nhiệt độ trung bình tính theo công thức (2.8) được trình bày trong bảng 2.6 (với $s_0=1,0$ mm). Sự biến đổi công biến dạng theo hệ số vuốt được trình bày trên hình 2.21 (số liệu thí nghiệm).



Hình 2.22. Sự thay đổi nhiệt độ vật dập sau gia công khi làm nguội trong không khí (đường cong 1) và làm nguội cùng khuôn (đường cong 2)
a: Thép 1X18H9T; b: Thép cacbon thấp; c: Đura

Nhiệt độ trung bình của phôi tùy theo hệ số vuốt sẽ biến thiên trong giới hạn 36-55⁰C đối với đura; 63-97⁰C đối với thép cacbon thấp và 79-117⁰C đối với thép không gỉ (Bảng 2.6). Nếu nhiệt độ tại các điểm khác nhau của phôi cao hơn nhiệt độ trung bình, thậm chí gấp hai lần thì khi đó tác dụng của hiệu suất nhiệt (trên phương diện giảm trở lực biến dạng) cũng không thể có giá trị khác biệt.

Nhiệt được hấp thụ mạnh nhất bởi dụng cụ (cối dập và chày bằng kim loại) vì chúng có độ dẫn nhiệt cao. Phần nhiệt tiêu hao để làm nóng lớp bôi trơn dẫn đến làm thay đổi lý tính, nhất là độ nhớt của chất bôi trơn, yếu tố này lại gây ảnh hưởng mạnh đến ma sát ngoài trong khi dập vuốt.

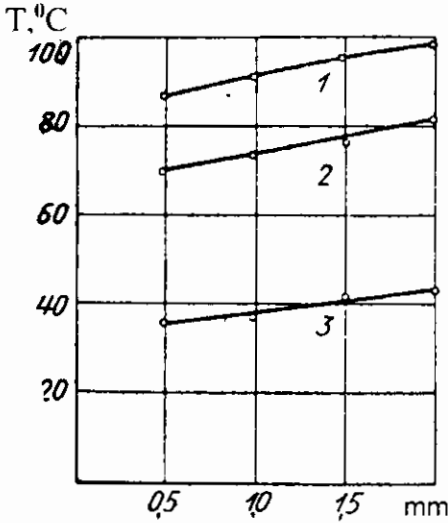
Để đánh giá ảnh hưởng của vận tốc biến dạng tới cường độ hao nhiệt trong quá trình dập vuốt đã tiến hành một loạt thí nghiệm về dập vuốt chi tiết hình trụ từ các vật liệu đã nêu (đura, thép cacbon thấp và thép không gỉ).

Sự mất nhiệt vào môi trường xung quanh và vào dụng cụ, tiếp theo đó là nhiệt độ phôi trong quá trình dập vuốt, đều phụ thuộc vào tốc độ biến dạng. Quá trình dập vuốt càng lâu thì lượng nhiệt của phôi tỏa vào dụng cụ, vào lớp bôi trơn và môi trường xung quanh càng lớn.

Bảng 2.6: Nhiệt độ trung bình của phôi khi dập vuốt

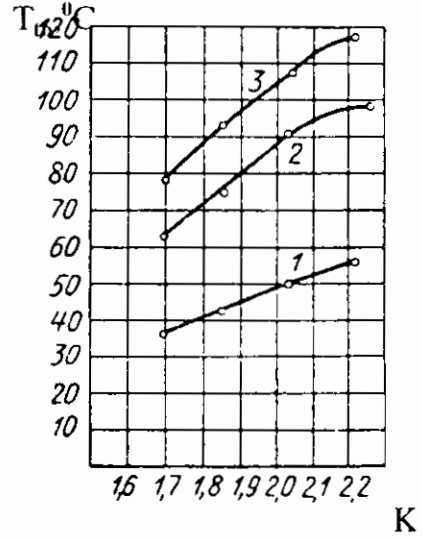
Loại vật liệu	Nhiệt dung riêng C, cal/g. ⁰ C	Mật độ γ , g/cm ³	Đường kính phôi lúc đầu D ₀ , mm	Hệ số vuốt K	Khối lượng phần biến dạng của phôi G _{pb} , kg	Nhiệt độ phôi t ₂ , ⁰ C
Đura	0,214	2,7	80	1,70	0,0100	36
			87,3	1,86	0,0127	43
			96,1	2,04	0,0162	49
			104	2,22	0,0195	55
Thép cacbon thấp	0,114	7,8	80	1,70	0,0294	63
			87,3	1,86	0,0368	74
			96,1	2,04	0,0467	90
			106	2,26	0,0587	97
Thép không gỉ	0,114	7,8	80	1,70	0,0294	79
			87,3	1,86	0,0368	92
			96,1	2,04	0,0467	108
			104	2,22	0,0587	118

Đã tiến hành dập vuốt chi tiết dạng cốc trên máy ép trục khuỷu với vận tốc 0,3 m/s với $K=2,05$. Một số sản phẩm được tháo khỏi chày để nguội ngoài không khí, một số khác được làm nguội cùng chày. Sau khi dập vuốt 2-3 giây tiến hành đo nhiệt độ các sản phẩm đó. Hình 2.22 biểu diễn mối tương quan của sự giảm nhiệt độ theo thời gian.



Hình 2.23. Sự tăng nhiệt độ theo chiều dày phôi khi dập chi tiết dạng cốc ($v_{tb}=0,3m/s$; $K=8,6$)

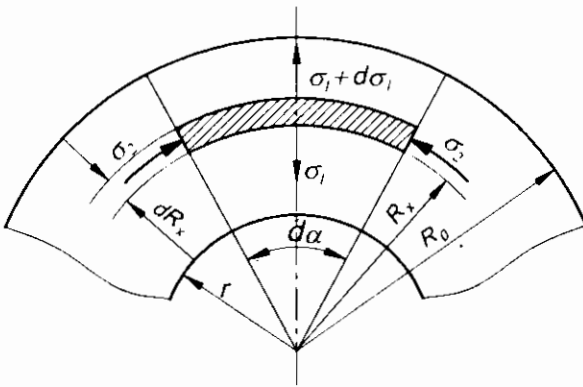
- 1: Thép không gỉ;
2: Thép cacbon thấp; 3: Đura



Hình 2.24. Biến thiên nhiệt độ trung bình T_{tb} phụ thuộc vào hệ số dập vuốt khi dập chi tiết dạng cốc ($v_{tb}=0,3m/s$; $s_0=1mm$)

- 1: Thép không gỉ;
2: Thép cacbon thấp; 3: Đura

Như vậy, các quá trình dập vuốt diễn ra trong khoảng thời gian dưới 10 giây, kèm theo việc nung nóng phôi (kết quả của sự mất nhiệt), đôi khi rất đáng kể như quan sát thấy khi dập với tốc độ cao phôi làm từ vật liệu có trở lực biến dạng lớn.

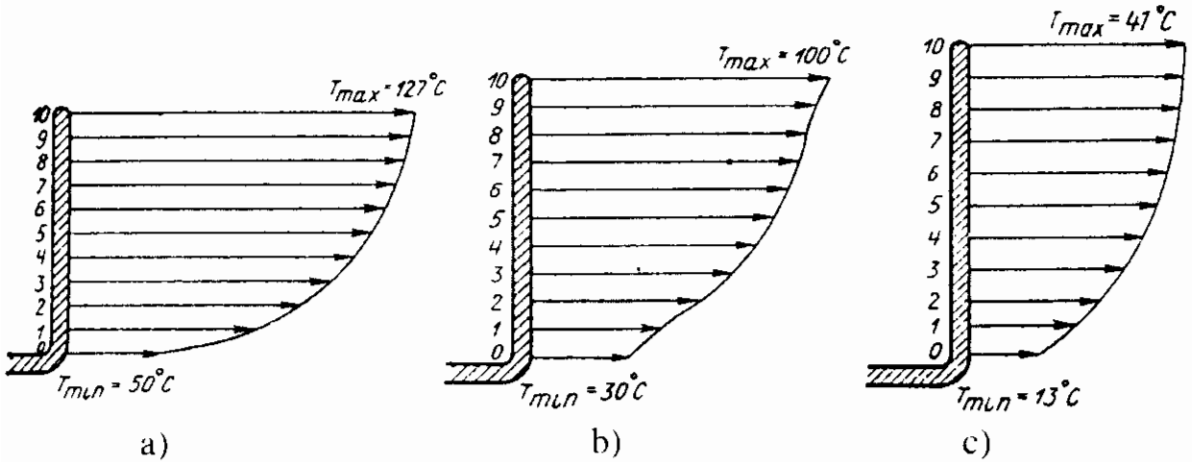


Hình 2.25. Phân tích công biến dạng riêng và nhiệt độ khi dập vuốt

Vấn đề quan tâm là sự biến thiên nhiệt độ trung bình của cốt hình trụ khi được tạo hình với các vận tốc dập vuốt khác nhau (cốt được dập vuốt từ phôi có chiều dày 1,0 mm với $K=2,0$). Kết quả thí nghiệm được nêu trong bảng 2.7.

Bảng 2.7: Số liệu thực nghiệm về nhiệt độ phôi khi dập vuốt

Vật liệu	Sự tăng nhiệt độ của phôi, °C, khi vận tốc dập v, m/s			
	$5 \cdot 10^{-5}$	$127 \cdot 10^{-5}$	0,3	>2
Đura	18	21	40	40
Thép cacbon thấp	20	24	90	90
Thép không gỉ	20	27	108	108



Hình 2.26: Phân bố nhiệt độ trên thành vật dập hình trụ (vận tốc dập vuốt $v_{db} = 3\text{m/s}$, $K=2,08$)

a) Thép không gỉ; b) Thép cacbon thấp; c) Đura

Xem xét các thí nghiệm suy ra rằng, nhiệt độ làm nóng phôi trong quá trình biến dạng không đủ lớn đến mức làm mất đi sự hóa bền vừa tạo được. Tuy nhiên, nhiệt độ này ($50\text{--}117^\circ\text{C}$), như cho thấy dưới đây, lại có ảnh hưởng lớn tới điều kiện hoạt động của lớp bôi trơn.

Để nghiên cứu chi tiết hơn về điều kiện nhiệt độ hoạt động của lớp bôi trơn cần tiến hành các thí nghiệm bổ sung để xác định độ biến thiên những nhiệt độ nung nóng cao nhất theo độ dày của phôi (Hình 2.23) và hệ số vuốt (Hình 2.24). Từ việc xem xét các kết quả thí nghiệm thể hiện trên hình vẽ này, thấy rằng, nhiệt độ trung bình ở thành sản phẩm hầu như không phụ thuộc vào độ dày của phôi. Hiện tượng hạ nhiệt độ không đáng kể xảy ra với phôi thành mỏng là do sự mất nhiệt cùng với sự tăng bề mặt riêng của phôi.

Trên hình 2.24 cho thấy, cùng với việc tăng hệ số vuốt, nhiệt độ cao nhất ở thành phôi tăng mạnh, đạt đến 120°C đối với thép 1X18H9T. Sự tăng nhiệt độ này là do tăng sự chuyển thành nhiệt năng của công biến dạng khi hệ số vuốt tăng.

Như đã chỉ ra, công hao phí để biến đổi hình dạng của phôi là tổng của công biến dạng dẻo thể tích trực tiếp A_g và công để thắng ma sát ngoài A_{tp} (Hình 2.20). Trong đó, công A_g trong những điều kiện cụ thể, là một đại lượng không đổi, còn A_{ms} biến thiên trong giới hạn đáng kể, trong một số trường hợp chiếm tới 46% hoặc hơn trong tổng số công dập vuốt tùy theo hiệu quả của chất bôi trơn cũng như vị trí của chất bôi trơn trên phôi.

Công biến dạng phôi trong quá trình dập vuốt có thể biểu diễn như tổng các công thành phần được thực hiện trên các phân tố góc d dưới tác dụng của ứng suất nén σ_2 (Hình 2.25).

Công nguyên tố của phân tố góc có thể biểu diễn như sau:

$$dA_x = 2\pi S_0 \sigma_2 (R_x - r) dR_x \quad (2.9)$$

Hoặc khi chiều rộng phân tố bằng 1 thì:

$$A_{x \text{ phân tố}} = 2\pi S_0 \sigma_2 (R_x - r) \quad (2.10)$$

Công biến dạng toàn bộ vành phôi của phôi, đương nhiên có thể biểu diễn như sau:

$$A_x = \int_r^{R_x} dA_x \quad (2.11)$$

Thay biểu thức (2.9) vào (2.11) và sử dụng các điều kiện biên $A_x=0$ khi $R_x=r$, ta được:

$$A_x = \pi S_0 \sigma_2 r^2 (K_x^2 - 1) \quad (2.12)$$

trong đó $K_x = \frac{R_x}{r}$.

Áp dụng qui luật biến đổi cường độ ứng suất theo biến dạng như sau: $\sigma_i = B\varepsilon^\alpha$ và lấy $\varepsilon = \ln K_x$, cuối cùng ta có:

$$A_x = \pi S_0 r^2 B (\ln K_x)^\alpha \cdot (K_x^2 - 1)$$

Hay khi $K_x=K_0$, ta có:

$$A_x = A_{dv} = \pi S_0 r^2 B (\ln K_0)^\alpha \cdot (K_0^2 - 1) \quad (2.13)$$

trong đó:

- B và α : là hằng số vật liệu phôi;

$$- K_0 = \frac{R_0}{r}$$

Thay A_{dv} vào phương trình (2.8) với giá trị từ công thức (2.13) ta có:

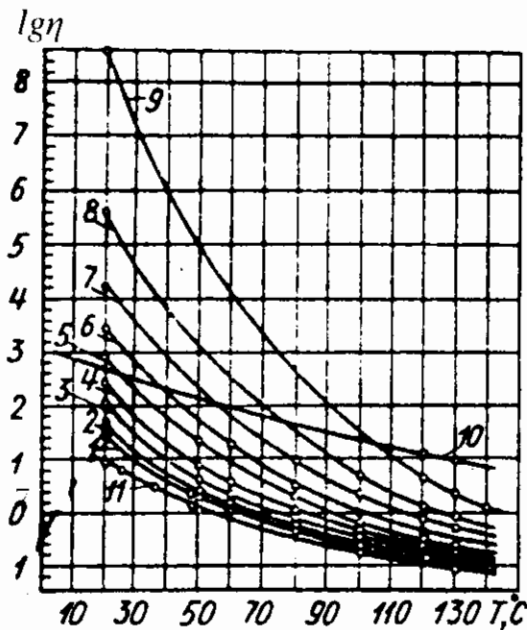
$$t_2 = \frac{2,7\pi s_0 r^2 B (\ln K_0)^\alpha (K_0^2 - 1)}{c [D_0^2 - (d_n - 2r_n)^2] s_0 \rho} + t_1 \quad (2.14)$$

Các thí nghiệm cho phép xác định tính chất phân bố nhiệt trong sản phẩm tạo thành trong quá trình dập vuốt đã khẳng định điều nêu trên.

Trên hình 2.26 là biểu đồ sự biến thiên nhiệt độ trên thành phôi đối với thép không gỉ và thép cacbon thấp và dural.

Khi vận tốc biến dạng nhỏ ($v = 1 \div 2$ m/phút với các máy ép thuỷ lực hoặc máy ép cơ khí tốc độ thấp) lượng nhiệt thoát ra được truyền kịp thời cho dụng cụ và môi trường xung quanh. Kết quả là phôi bị nóng lên không đáng kể.

Những vận tốc tương đối nhỏ ($v = 0,00005$ và $0,00127$ m/s) trong khi tiến hành thí nghiệm để xác định ảnh hưởng độ nhớt và hoạt tính bề mặt đối với tác dụng bôi trơn cho phép thu được những số liệu tương đối chính xác. Với vận tốc lớn hơn 2m/phút, nhất là với $v \geq 0,3$ m/s, hầu như toàn bộ nhiệt giữ lại ở phôi, nhiệt độ của phôi bị biến dạng nhanh chóng được tăng lên làm giảm độ nhớt của lớp bôi trơn tạo điều kiện tốt cho việc kéo các phần tử kim loại của phôi vào vùng bề mặt làm việc của cối. Kèm theo đó là sự tăng đột biến của ma sát ngoài.



Hình 2.27. Sự thay đổi độ nhớt của chất bôi trơn theo nhiệt độ

- 1: 10% nhựa thông - 90% dung dịch dầu
- 2: 20% nhựa thông - 80% dung dịch dầu
- 3: 30% nhựa thông - 70% dung dịch dầu
- 4: 40% nhựa thông - 60% dung dịch dầu
- 5: 50% nhựa thông - 50% dung dịch dầu
- 6: 60% nhựa thông - 40% dung dịch dầu
- 7: 70% nhựa thông - 30% dung dịch dầu
- 8: 80% nhựa thông - 20% dung dịch dầu
- 9: 90% nhựa thông - 10% dung dịch dầu
- 10: Hợp chất silic hữu cơ được chưng cất
- 11: Dầu thầu dầu

Trong thực tế dập tấm đã sử dụng làm thành phần chính của chất bôi trơn các loại dầu có gốc khoáng chất (dầu máy, dầu biến áp, dầu trục, dầu xolidon, vazelin v.v...) mà độ nhớt của chúng trong khoảng nhiệt độ tăng từ 20-120° lại giảm đi hàng nghìn lần.

Hình 2.27, 2.28a,b là ví dụ đưa ra các sơ đồ biến thiên độ nhớt của các vật liệu bôi trơn dùng trong các thí nghiệm vừa nêu.

Từ sự phân tích mối liên quan trên hình 2.27, suy ra rằng về độ chịu nhiệt thì dung dịch nhựa thông trong dầu thầu dầu thua các chất bôi trơn chưng cất từ các hợp chất hữu cơ chứa silic. Các thí nghiệm về dập vuốt với vận tốc $v=0,3$ m/s đã khẳng định điều đó. Chính hiệu quả do nhiệt và vận tốc giúp cho ta giải thích được các khuyến cáo của một số nhà nghiên cứu về tốc độ dập vuốt giới hạn từ 10-15 m/phút, đôi khi là dưới 8m/phút, cũng như có thể nói rằng cùng với tăng vận tốc dập vuốt quá nhiều sẽ xuất hiện các vết xước trên bề mặt phôi dập vuốt, tiếp đó sẽ là giảm hệ số vuốt cho phép, tăng sự hao mòn dụng cụ và tăng lượng phế phẩm.

Bằng ảnh hưởng của nhiệt độ đối với sự thay đổi tính chất bôi trơn trong điều kiện dập vuốt sâu phân nhiều đã làm sáng tỏ một hiện tượng là các chất bôi trơn lựa chọn cho tốc độ biến dạng thấp lại tỏ ra kém hiệu quả trong các điều kiện khác, với vận tốc khác.

Lập luận này khẳng định sự cần thiết lựa chọn để gia công kim loại bằng áp lực (chủ yếu là thép), cho dập tấm nói riêng, các loại vật liệu bôi trơn có độ nhớt không đổi trong dải nhiệt độ rộng (20ữ130°C). Về phương diện này, đáng kể là các chất ổn định nhiệt như hợp chất hữu cơ chứa silic với các chế phẩm từ nó, các dung dịch muối dạng keo của các axit béo trong dầu và huyền phù các chất rắn có độ phân tán cao.

Việc sử dụng các chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu có tính đến sự nóng lên của lớp chất bôi trơn trong miền vận tốc (0,00005ữ250-300 m/s) đảm bảo khả năng dập vuốt cao nhất với chất lượng bề mặt phôi tốt nhất và ít hao mòn dụng cụ nhất (Bảng 2.8).

Trong bảng 2.8 đã nêu ra các hệ số vuốt giới hạn thu được khi sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu được lựa chọn nhờ tính đến vận tốc biến dạng và sự biến thiên nhiệt độ phôi. Chỉ bằng cách sử dụng các chất bôi trơn được lựa chọn có tính đến việc đảm bảo chế độ bôi trơn thủy động nhằm tách được ảnh hưởng đã xác định của tốc độ biến dạng tới quá trình dập tấm.

Bảng 2.8: Hệ số vuốt giới hạn K_{gh}

Vật liệu	K_{gh} khi tốc độ dập vuốt trung bình, m/s	
	$5 \cdot 10^{-5}$, $127 \cdot 10^{-5}$, 0,3	250-300
Đura	2,21	2,05
Thép cacbon thấp	2,27	2,2
Thép không gỉ	2,31	2,1

Nhờ kết quả tiến hành thí nghiệm tạo cơ sở cho ứng dụng các nguyên lý ma sát thủy động vào quá trình dập tấm có thể rút ra những kết luận chính sau đây.

Tác dụng của chất bôi trơn trong quá trình dập tấm được xác định bởi tính chất cơ - lí của nó (độ nhớt tối ưu). Hiệu quả tác dụng của chất bôi trơn chịu ảnh hưởng chính của vận tốc biến dạng, độ lớn của áp suất riêng giữa các bề mặt ma sát của phôi và dụng cụ cũng như nhiệt độ các bề mặt. Cơ sở lí luận ma sát giới hạn không thể giải thích đầy đủ ảnh hưởng về chất của tác dụng bôi trơn trong dập tấm.

Cơ chế tác dụng bôi trơn và số liệu đo lực ma sát trong dập tấm cũng cần được giải thích dựa trên cơ sở lý thuyết ma sát thủy động.

2.4. CÁC SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM GIẢI THÍCH TÁC DỤNG THỦY ĐỘNG CỦA CHẤT BÔI TRƠN TRONG DẬP THỂ TÍCH TỰ DO

Trên cơ sở lập luận trên đây sự xuất hiện tính chất về độ nhớt của môi trường bôi trơn trong điều kiện biến dạng dẻo-khối có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với việc xây dựng tiếp cơ sở lý luận cơ bản về ma sát và chất bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực.

Trong số những nghiên cứu sớm nhất về lĩnh vực này cần kể ra các công trình của L.A.Sophman và V.I.Kazachenko [10]. Trong các công trình đó đều cùng phát hiện tác dụng của môi trường bôi trơn trên bề mặt phôi và dụng cụ khi chôn tự do là đặc trưng của biến dạng khối - dẻo. Việc sử dụng môi trường bôi trơn có độ nhớt ít hơn sẽ dẫn tới chỗ ép thể tích chất bôi trơn khỏi mặt đầu của phôi và dụng cụ. Sau này, V.I.Kazachenko và V.X.Racôv [7] đã tiến hành các thí nghiệm để xác định hiệu ứng thủy động trong khi chôn. Các tác giả trên đã chứng minh rằng để đảm bảo tác dụng của chất bôi trơn trong quá trình biến dạng khối (đặc biệt là khi chôn) nhất thiết phải dùng chất bôi trơn có những đặc tính về cấu trúc cơ học sao cho có thể ngăn cách hoàn toàn các bề mặt ma sát. Khi đó sẽ quan sát thấy ma sát ướt hay ma sát thủy động.

Dưới đây nêu khả năng tạo được điều kiện thủy động của chất bôi trơn khi chôn theo số liệu của các tác giả nói trên [7]. Nếu khoảng cách giữa hai tấm song song nằm cách nhau một khoảng h (Hình 2.29), và giữa hai bề mặt chứa đầy chất lỏng bôi trơn (ví dụ mặt phẳng AB) rồi di chuyển một bề mặt ngược hướng bề mặt còn lại với vận tốc v , khi đó chất lỏng trong điều kiện không bám dính sẽ chuyển động với vận tốc v_u .

Bài toán phân bố áp lực chất lỏng nằm giữa hai mặt phẳng song song đang chuyển động lại gần nhau đã được Reynold giải cho trường hợp khi chu vi phôi

được chôn có dạng tròn hay elip. Theo cách đó, với chu vi chôn hình tròn, áp lực pháp tuyến sẽ là:

$$p = p_0 + 3 \frac{\eta}{h^3} (r^2 - R^2) \frac{dh}{dt} \quad (2.15)$$

trong đó:

- p_0 : áp suất ngoài (trên chu truyền) lên chất lỏng;
- η : độ nhớt của chất lỏng;
- r : bán kính hiện thời tại điểm tiếp xúc bất kỳ;
- R : Bán kính chu vi;
- dh/dt : tốc độ tiến lại gần nhau của hai bề mặt;

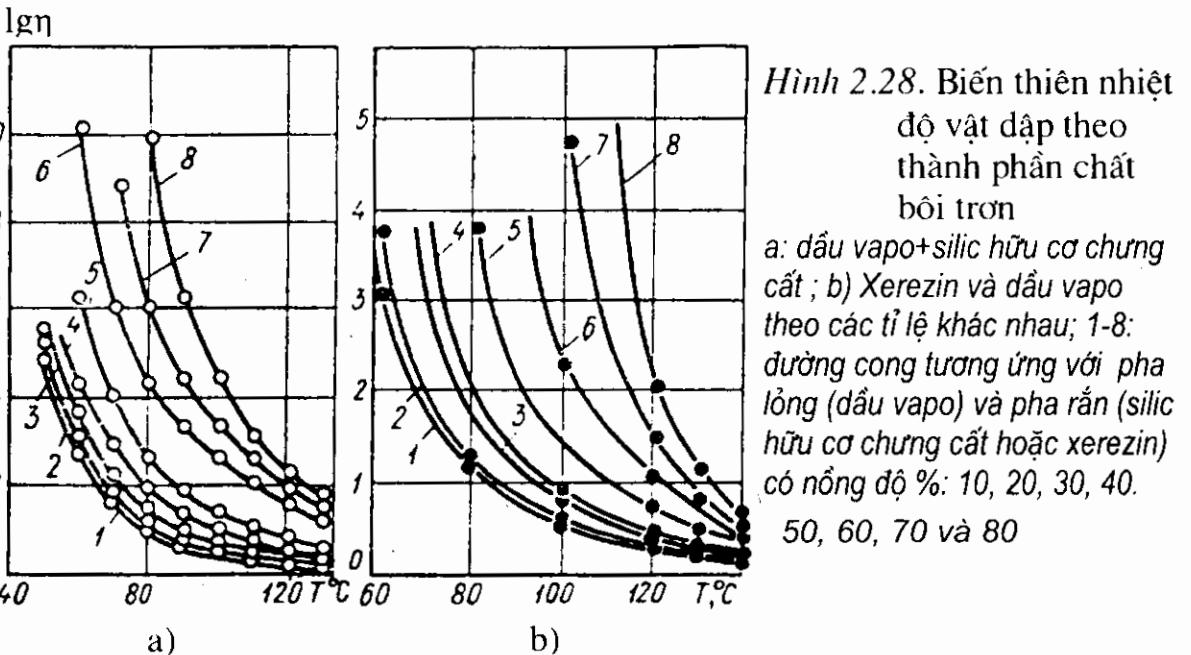
($dh/dt = -v$; v - là tốc độ chuyển dịch dụng cụ; h - độ dày lớp chất lỏng).

ứng suất cắt trong lớp tiếp xúc của chất lỏng là:

$$\tau_r = \pm \frac{3\eta}{h^2} r \frac{dh}{dt}; \quad (2.16)$$

trong đó, τ_r - ứng suất cắt, tác dụng lên bề mặt tiếp xúc từ phía chất lỏng.

Từ biểu thức (2.15) suy ra rằng áp suất của chất lỏng sẽ thay đổi từ p_0 với $r=R$ đến mức cực đại ở trung tâm (khi $r=0$) theo một đường parabol (Hình 2.29). Ngoài ra, trong các điều kiện giống nhau khác nó sẽ càng tăng nếu tăng độ nhớt η , vận tốc v , kích thước của phôi dập R và độ dày của lớp chất lỏng h .



Sự phân bố áp lực pháp tuyến như vậy được khẳng định qua các thí nghiệm do V.I.Kazachenko và V.X.Racôv tiến hành [7]. Họ đã xác định được áp lực

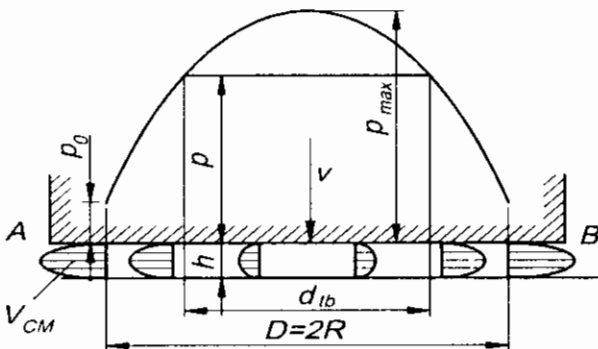
pháp tuyến ở các điểm tiếp xúc khác nhau trong quá trình chôn có bôi trơn. áp lực pháp được đo ở 3 điểm trên bề mặt tiếp xúc. Các mẫu được chôn trên máy ép thủy lực 100 tấn. Các mẫu để chôn có đường kính 120mm làm từ thép 45. Lực ép được đo theo áp kế. Kết quả thí nghiệm được nêu trong bảng 2.9.

Có một nhận xét rất đáng quan tâm là, lớp chất bôi trơn đọng lại trên bề mặt phôi có dạng thấu kính rất rõ ràng. Độ dày khác nhau của lớp màng ở trung tâm và ở mép phôi trong khoảng 0,3-0,35 mm. Sau khi dỡ tải thì vết lõm, không thấy trên phôi. Suy ra rằng, trong quá trình ép, vật mẫu đã bị biến dạng đàn hồi, và mức độ biến dạng đàn hồi ở trung tâm lớn hơn ở rìa.

Bảng 2.9: Áp lực tiếp xúc trên mặt đầu mẫu chôn

Ứng lực ép [tấn]	Áp lực pháp tuyến, KG/mm ² , theo khoảng cách tính từ tâm, mm		
	1,5	17,5	53,5
112	51	20,2	1,4
107	46	19,2	1,2
109	46,5	20,0	1,5

Đương nhiên có thể cho rằng hoàn toàn có thể tạo ra những điều kiện mà áp suất trong chất lỏng và tiếp theo là áp lực pháp trên những phần khác nhau của bề mặt tiếp xúc đạt được giá trị phù hợp với áp suất tiếp xúc của biến dạng dẻo. Suy ra rằng, nếu sử dụng bề mặt vật được biến dạng như bề mặt tiếp xúc, còn bề mặt kia là bề mặt của dụng cụ, hoàn toàn có thể xảy ra những điều kiện mà phôi sẽ được biến dạng qua một lớp bôi trơn có độ nhớt thích hợp. Khi đó ma sát ngoài cần phải nhỏ hơn khi biến dạng có sự tiếp xúc trực tiếp giữa phôi và dụng cụ bởi vì biến dạng cắt sẽ bị giới hạn trong lớp bôi trơn. Hơn nữa, nếu tính đến hướng chảy của chất bôi trơn từ phía tiếp xúc thì thấy rằng ứng suất tiếp tác động từ phía chất lỏng lên các bề mặt tiếp xúc của kim loại sẽ bị hướng ngược lại các lực ma sát khô từ trung tâm hướng ra ngoài rìa. Theo biểu thức (2.16) chúng sẽ tăng tuyến tính từ 0 ở trung tâm lên τ_{max} ở ngoài vành phôi. Điều đó dẫn tới biến dạng đều hơn với các ứng lực riêng nhỏ hơn.



Hình 2.29. Phân bố áp suất trên mặt đầu phôi khi chôn

h: chiều dày lớp bôi trơn; v: vận tốc biến dạng; D: đường kính phôi biến dạng

Điều này được khẳng định bằng các thí nghiệm thực hiện trong quá trình chôn phôi có dùng chất bôi trơn. Các mẫu có đường kính 30 mm, cao 15,1; 15,05; 15; 14,9 mm làm từ thép 35, đồng và nhôm. Các mẫu này được bôi paraffin rồi được chôn trong một vòng tròn có chiều cao $H_0=15,1$ mm (xem hình 2.30a) trên máy ép thủy lực 100 tấn. Kích thước của vòng ($D=114$ mm, $d=64$ mm) cho phép coi là cứng tuyệt đối dưới tác động của lực ép của máy, tức là trong tính toán có thể bỏ qua biến dạng đàn hồi của vòng (với tải trọng 100 tấn, $\Delta h=0,0085$ mm). Tốc độ biến dạng $v=8$ cm/s. Để tránh làm rơi chất bôi trơn lên bề mặt tiếp xúc của vòng người ta dùng đồng hồ cao su chắn dầu.

Sơ đồ thí nghiệm như vậy cho phép mô phỏng sự chôn của phôi với một lớp bôi trơn có độ dày khác nhau. Trước và sau khi chôn các mẫu được đo ở 4 điểm theo chiều cao với độ chính xác đến 0,005 mm. Kết quả thí nghiệm được ghi trong bảng 2.10.

Từ các số liệu trong bảng 2.10 suy ra rằng có sự phân bố không đều áp lực trên bề mặt dầu của vật mẫu được chôn có bôi trơn, sự biến dạng của nó sẽ không đồng đều: nhiều hơn ở trung tâm và ít hơn ở ngoài rìa (Hình 2.30b).

Ngoài ra, trên cơ sở ghi dao động ký của vật mẫu còn xác định được rằng, cùng với sự giảm diện tích lớp bôi trơn thì phần bị biến dạng dẻo (Hình 2.30b) cũng tăng lên. Như vậy, với các mẫu có chiều cao 15,1mm, phần đó chiếm toàn bộ mặt dầu, có nghĩa là chỉ bằng 50% đường kính (Hình 2.31b). Dao động ký của mặt dầu với độ dày lớn hơn của lớp bôi trơn được biểu diễn trên hình 2.31c. Từ phát biểu trên đây có thể rút ra kết luận là nhìn chung, quá trình chôn có chất bôi trơn diễn ra theo hai giai đoạn:

- 1) *Giai đoạn 1*: Biến dạng vật mẫu xảy ra trước khi các bề mặt tiếp xúc của phôi và dụng cụ va chạm với nhau; đầu tiên chất bôi trơn bị ép ra khỏi vùng tiếp xúc; đến giai đoạn cuối chất bôi trơn bị giữ trong một thể tích giới hạn (Hình 2.31a); khi đó khoang chỉ có thể được đóng kín lại nhờ biến dạng đàn hồi mặt dầu;

Bảng 2.10: Sự thay đổi hình dạng mặt dầu của mẫu chôn từ những vật liệu khác nhau

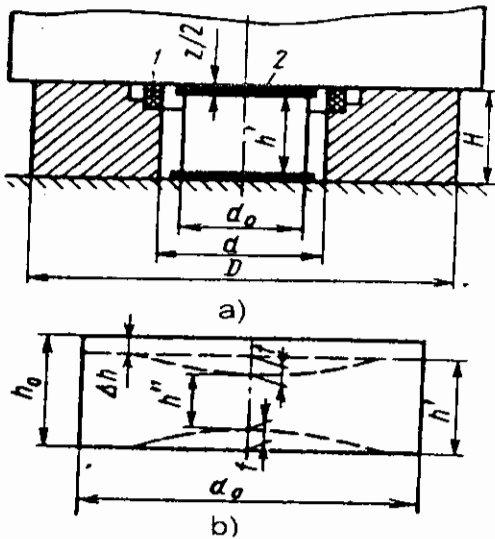
Vật liệu	Khe hở, mm $Z=H-h_0$	Chôn theo chu vi vi $\Delta h = h_0 - h'$, mm	Chôn đúng tâm $\Delta h_t = h_0 - h''$, mm	Độ lõm ở mặt dầu $f=(H'-h'')/2$, mm
Thép 35	0	0,033	0,202	0,084
	0,05	0,013	0,124	0,057
	0,11	0,005	0,102	0,050
	0,20	0	0,012	0,005

Đồng thau	0,005	0,019	0,231	0,106
	0,107	0,016	0,069	0,026
	0,21	0	0,005	0,0025
Nhôm	0,02	0,027	0,213	0,093
	0,10	0,015	0,186	0,086
	0,214	0	0,036	0,018

2) *Giai đoạn 2*: Chôn mẫu khi có sự tiếp xúc với dụng cụ; trong giai đoạn này chất bôi trơn, như thí nghiệm đã cho thấy, chảy ra hay bị ép ra với số lượng không đáng kể tạo thành nhân dạng thấu kính, tác động lên phôi do hậu quả của sự chôn mà đường kính của thấu kính này cũng tăng lên còn độ dày thấu kính và độ cong bề mặt của nó giảm xuống.

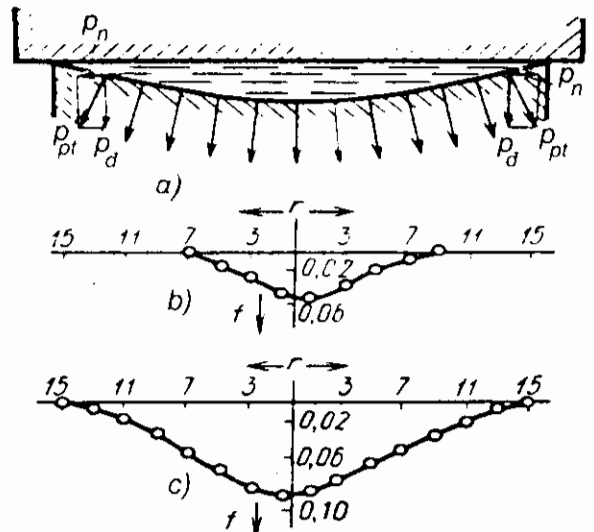
Chất bôi trơn làm giảm đáng kể ứng lực biến dạng đạt được trong một số trường hợp tới 50 - 60%.

Bằng thí nghiệm có thể chứng minh rằng khi chôn (quá trình đặc trưng cho biến dạng dẻo thể tích tự do) thì tạo ra hiệu ứng bôi trơn thủy động, điều hiển nhiên là sự bôi trơn này phụ thuộc vào mối tương quan giữa cơ tính của vật liệu được gia công với độ nhớt hiệu quả của môi trường chất bôi trơn được dùng.



Hình 2.30. Sơ đồ chôn với chế độ thủy động được duy trì ở mặt đầu phôi

1: vòng chặn; 2: chất bôi trơn; H và D: chiều cao và đường kính vòng chặn; d_0 : đường kính phôi ban đầu; d: đường kính lỗ vòng chặn; h_0 và h' : chiều cao phôi trước và sau khi biến dạng; h'' : chiều cao nhỏ nhất của phôi sau khi biến dạng; f: độ lõm lớn nhất trên mặt đầu.



Hình 2.31. Biểu đồ phân bố độ cong mặt đầu khi chôn có chế độ bôi trơn thủy động

p_n và p_d : tương ứng là thành phần theo phương ngang và phương thẳng đứng của áp lực tiếp xúc p_{pt} ; r và f: bán kính và độ lõm mặt đầu

2.5. BIỂU HIỆN TÍNH CHẤT THỦY ĐỘNG CỦA MÔI TRƯỜNG BÔI TRƠN TRONG DẬP KHỐI

Trong biến dạng dẻo-khối, vì có sự chảy ra từ những thể tích bị đóng kín (dập nguội, nóng, hay ép chảy v.v...) mà tác dụng thủy động của chất bôi trơn trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt dụng cụ được trở nên dễ dàng vì sự chảy thủy tĩnh của các quá trình đó. Đặc biệt V.P.Xeverdenco và E.S.Sukhodrev [11] đã trình bày một cách trực quan điều đó trong khi xác định độ dày của lớp chắn bằng chất bôi trơn trong quá trình ép chảy thủy tĩnh. Các tác giả này đã xác định được sự phụ thuộc của độ dày các lớp bảo vệ bằng chất bôi trơn nằm giữa vật liệu biến dạng với dụng cụ vào độ bền của vật liệu, cơ tính của chất bôi trơn và mức độ biến dạng trong khi ép chảy (Hình 2.32).

Mức độ biến dạng khi ép chảy tiết diện $2F$ xuống $2f$ trong trường hợp đó được xác định theo công thức:

$$\varepsilon = (F - f) / F$$

Giới hạn chảy tương ứng với biến dạng cắt của vật liệu biến dạng và lớp bôi trơn được kí hiệu lần lượt là k_1 và k_2 .

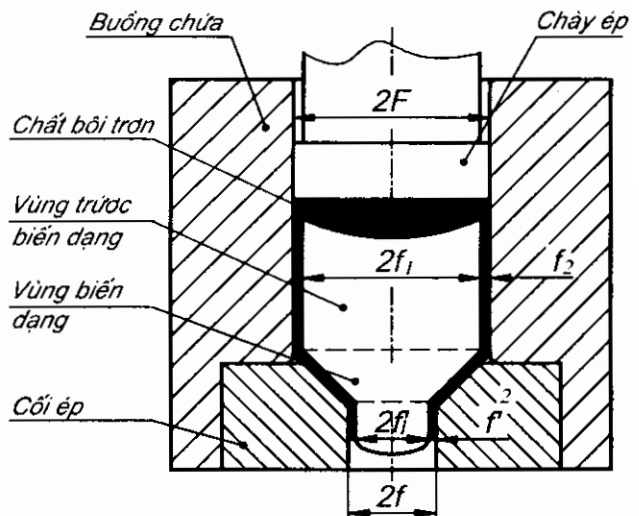
1) Đối với trường hợp, khi các đặc tính bền của vật liệu và lớp bôi trơn bằng nhau $k_1=k_2$, không có sự bám kim loại vào thành buồng ép và cối, khi có sự chảy hướng tâm của kim loại vào ổ biến dạng, lớp tiên tiếp xúc f_2 (xem hình 2.32) có mức độ biến dạng:

$$\varepsilon = (f_2 - f_2') / f_2$$

Từ đó suy ra:

$$f_2' = f_2(1 - \varepsilon) \tag{2.17}$$

Hình 2.32. Sơ đồ ép chảy nóng thủy động
 f_2, f_2' : chiều dày lớp bôi trơn trước và sau khi ép phi đi qua cối; $2f_1, 2f_1'$: tiết diện ngang của phi trong buồng ép và ra khỏi cối ép; $2F, 2f$: tiết diện ngang của buồng ép và miệng cối.



Khi ε tiến tới 0, độ lớn của $f_2' \rightarrow f_2$; khi $\varepsilon \rightarrow 1$ thì $f_2' = 0$.

Ngược lại với sự tương tác của các lớp bôi trơn và phiôi là sự có mặt của lớp $k_2=0$. Bởi vì áp suất tiếp xúc trong cối (ổ biến dạng) cao hơn áp suất mặt dưới đĩa ép, nên phiôi biến dạng hoạt động như một cái van chặn chất bôi trơn ở đầu ra. Do vậy, nếu không có trở lực của lớp bôi trơn ($k_2=0$) thì với mức độ biến dạng bất kỳ đều dẫn tới làm giảm độ dày của lớp bôi trơn ở lối ra của cối:

$$f_2' \rightarrow 0 \quad (2.18)$$

Khi lớp bôi trơn bề mặt có độ bền $0 \leq K_2 \leq K_1$, độ dày của lớp bôi trơn ở lối ra của cối được xác định bằng biểu thức (2.17) và (2.18).

2) Đối với trường hợp ép thanh cùng với lớp bôi trơn giới hạn, độ dày của lớp bôi trơn cũng phụ thuộc vào áp lực chảy trung bình của mỗi lớp (kim loại và các lớp chất bôi trơn) và giới hạn chảy của vật liệu tạo nên lớp đó. Khi chôn phẳng các thanh:

$$\sigma_{th} = \sigma_i \left(1 + \frac{2 \cdot \mu \cdot B}{H} \right) \quad (2.19)$$

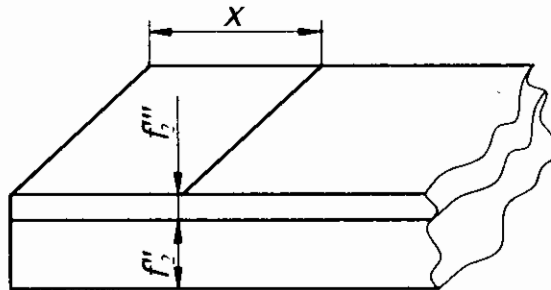
trong đó:

- σ_{th} : áp lực chảy trung bình khi nén thanh;
- $\sigma_i = 2k$: giới hạn chảy loãng của lớp bị trượt;
- B : bề rộng của thanh;
- H : chiều cao của thanh.

So sánh tác động của lớp có độ dày f_2'' có tính chất k_1 với lớp k_2 , có độ dày f_2''' ở khoảng cách nhất định tính từ bề mặt tự do $x=2B$ (Hình 2.33). Khi đó, theo công thức (2.19):

$$2k_1 \left(1 + \frac{\mu \cdot x}{f_2''} \right) = 2k_2 \left(1 + \frac{Mx}{f_2'''} \right);$$

Hình 2.33. Sơ đồ nén dải có lớp biên



Từ đó suy ra:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{1 + \frac{\mu \cdot x}{f_2''}}{1 + \frac{\mu \cdot x}{f_2''}} \approx \frac{f_2'''}{f_2'''} = \frac{f_2''}{f_2''} \quad (2.20)$$

Với các giá trị nhỏ của f_2'' và f_2''' và hệ số ma sát cao (lực ma sát tỉ lệ thuận với k):

$$\frac{f_2'''}{f_2'' + \mu \cdot x} \approx 1 \quad (2.21)$$

Do vậy, độ dày lớp bị ép của chất bôi trơn tỉ lệ nghịch với trở lực biến dạng của nó:

$$f_2'' = f_2'' \frac{K_2}{K_1} \quad (2.22)$$

Vì trong quá trình ép, trên các bề mặt nghiêng của cối có chỗ nén và giảm áp (sự chảy thoát ra) của lớp bôi trơn nên trong công thức (2.17) lấy giá trị

$f_2 = f_2'' \frac{k_2}{k_1}$ tương tự từ công thức (2.22):

$$f_2' = f_2'' \frac{k_2}{k_1} (1 - \varepsilon) \quad (2.23)$$

trong đó, f_2' và f_2'' là độ dày các lớp tiếp xúc của kim loại và chất bôi trơn.

Công thức (2.23) có tính đến ảnh hưởng của lớp bôi trơn cũng như kim loại được biến dạng.

Vì lý thuyết biến dạng phẳng nói chung đã giải thích rõ trạng thái của vật liệu trong điều kiện biến dạng đối xứng trục, độ dày lớp bảo vệ của chất bôi trơn trong ổ biến dạng khi ép chảy thủy động nóng có thể được tính gần đúng theo công thức (2.23).

2.6. PHÂN TÍCH VÀ KHÁI QUÁT LÝ THUYẾT MA SÁT TIẾP XÚC TRONG BIẾN DẠNG ĐÈO CÓ TÍNH ĐẾN KHẢ NĂNG TỔN TẠI CHẾ ĐỘ THỦY ĐỘNG

Dựa trên các nghiên cứu trình bày trong mục II.V, có thể coi như đã chứng minh được rằng, mặc dù có áp suất tương đối cao trong biến dạng dẻo (tới 30

$\div 40) \cdot 10^{11} \text{ KG/cm}^2$) một chế độ ma sát thủy động không những có thể tồn tại mà còn được duy trì ổn định. Điều đó đạt được khi có tỷ lệ nhất định giữa độ nhớt và cơ tính của vật liệu gia công, hình dáng hình học của vùng ổ ma sát và vận tốc chuyển dịch tương đối của các bề mặt ma sát.

Vì trong cùng một giai đoạn thí nghiệm các thông số này đều có thể thay đổi rất nhiều, cho nên có thể xảy ra khả năng chế độ ma sát đa dạng: khô, giới hạn, bán ướt và thủy động.

Nhờ phân tích tình hình nghiên cứu các luận cứ chung nhất về lý thuyết mà việc xem xét vai trò khác nhau của ma sát đều dựa trên đó, có thể rút ra kết luận là đến nay chưa hề có sự thống nhất quan điểm về lý thuyết cũng như chưa có mô hình lý luận thống nhất về ma sát tiếp xúc cho các vật rắn. Vẫn còn sự tranh cãi về tính đúng đắn của các thuyết ma sát, bằng chứng là còn hiện diện một số lớn lý thuyết về ma sát ngoài: ma sát khô, ma sát giới hạn, ma sát ướt. Trong giai đoạn phát triển như hiện nay của các quan điểm về ma sát tiếp xúc thì luận cứ này có thể cho là thích đáng khi mà những tính chất khác nhau của ma sát ngoài đã quan sát được đòi hỏi sự giải thích về mặt lý luận.

Nhờ sự nỗ lực của các nhà nghiên cứu, mỗi học thuyết đều giải thích đầy đủ các qui luật của ma sát tiếp xúc trong các phạm vi, các lĩnh vực được ứng dụng.

Riêng lý thuyết cơ học phân tử về ma sát của các bề mặt khô của I.V.Kraghenxki [13] kết hợp với các nghiên cứu của G.I.Epiphânôv đã đủ làm rõ nội dung và tính xác thực của qui luật đó.

Có một số mâu thuẫn xuất phát từ các qui luật trong lý thuyết ma sát giới hạn của B.V.Djeraghin [12], trong một chừng mực nào đó đã được giải thích bởi tính không bền vững của chế độ ma sát giới hạn, trong đó có ảnh hưởng của các chất có hoạt tính bề mặt. Lý thuyết thủy động được xây dựng vững chắc trong 50 năm trở lại đây áp dụng cho các bề mặt biến dạng đã có thể được áp dụng cho các bề mặt biến dạng bị ngăn cách hoàn toàn bởi một lớp bôi trơn dày.

Nói cách khác, tình hình nghiên cứu lý thuyết chung về ma sát có thể đáp ứng cho bối cảnh khi mà ba lý thuyết đã tồn tại (cơ phân tử, thủy động và ma sát giới hạn) như 3 thành tố của một thể thống nhất tiếp tục phát triển tách rời nhau đôi khi cản trở cho việc nhận dạng bức tranh vật lý về ma sát ngoài của các vật rắn. Vì vậy, việc xây dựng một mô hình tổng quát của ma sát cho cả ba lý thuyết đó thành một thể thống nhất hiện rất đang được chú ý. Việc tổng hợp các lý thuyết trên thành một lý thuyết khái quát hơn các nguyên tắc cơ bản của nó sẽ được trình bày sau đây cần phải giúp cho việc khám phá các qui luật của ma sát ngoài như một quá trình phức tạp, nhiều tham số của các vật rắn tiếp xúc quan hệ lẫn nhau, trong đó có các vật tương tự vật rắn như các vật liệu đàn hồi (cao su, polyuretán v.v...).

Như vậy số liệu của các nghiên cứu này và các công trình khác, cùng với

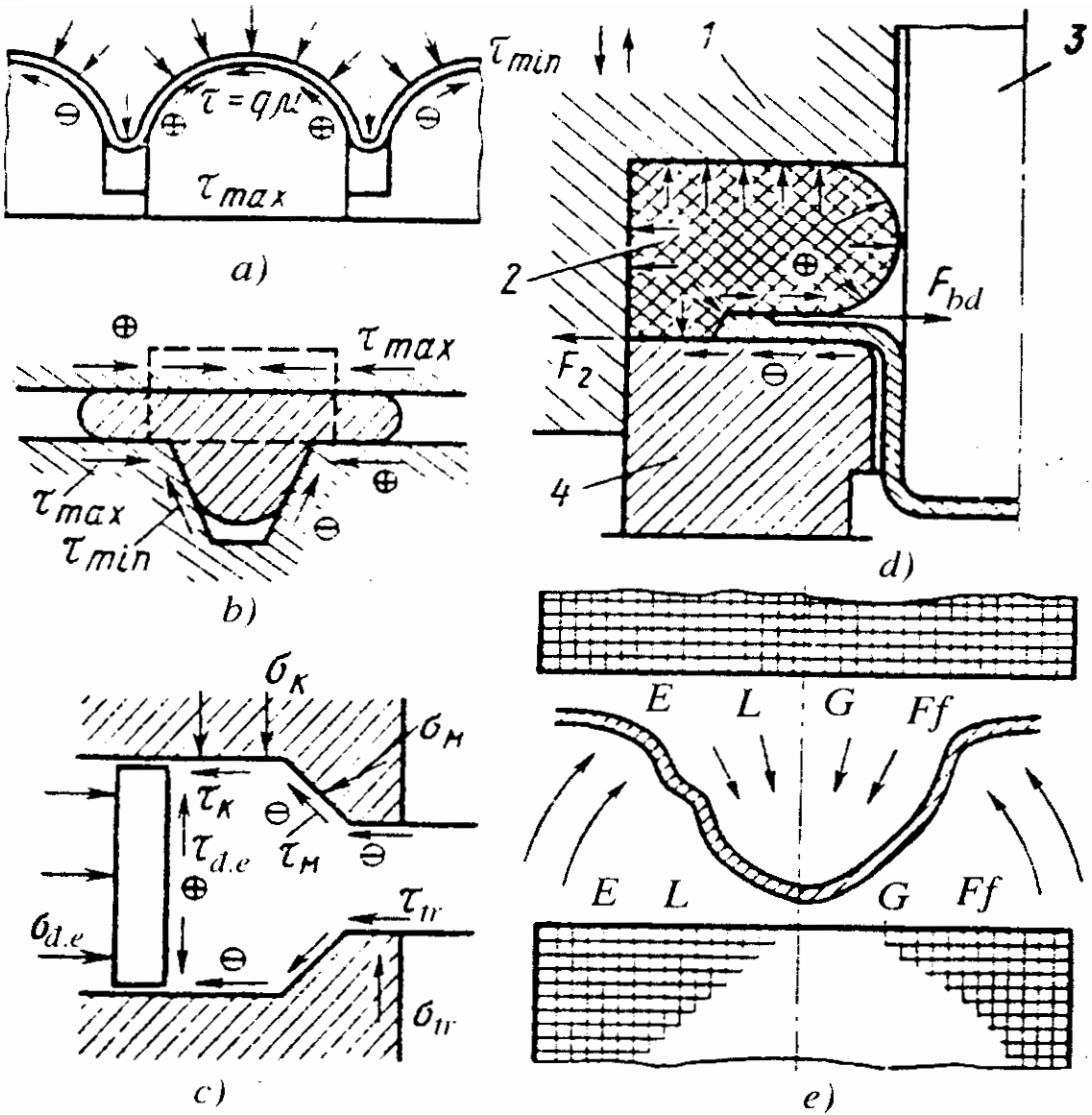
kinh nghiệm trong sản xuất đã cho thấy tính đúng đắn trong cách tiếp cận việc tính toán ảnh hưởng của ma sát ngoài đến quá trình biến dạng dẻo. Bản chất của cách tiếp cận này là dẫn tới chỗ xem xét các luận điểm cơ bản sau đây của toàn bộ những điều vừa trình bày:

1) Ma sát ngoài có cả ảnh hưởng tiêu cực lẫn tích cực đối với các quá trình gia công kim loại bằng áp lực. Sự phân bố đúng cường độ của lực ma sát bên ngoài trên bề mặt tiếp xúc của phôi và dụng cụ trong cùng một loại nguyên công có thể làm tăng khả năng công nghệ, còn sự phân bố không đúng có thể làm giảm đi những khả năng đó, thậm chí còn làm chậm lại diễn tiến của quá trình. Trong một số qui trình công nghệ, lực ma sát là yếu tố quyết định, trong một số trường hợp khác lại có thể không có vai trò gì (Hình 2.34).

2) Trong các quá trình biến dạng dẻo nói chung và gia công áp lực nói riêng có thể có bất kỳ chế độ ma sát nào (như khô, bán ướt và thủy động) hoặc riêng lẻ hoặc đồng thời trong cùng một quá trình công nghệ. Một chế độ này có thể chuyển thành một chế độ khác trong những thời điểm khác nhau của cả quá trình và ở các vị trí khác nhau trong ổ biến dạng.

3) Chất bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực cần phải hiểu không phải là lớp màng bôi trơn lỏng linh động hay hấp phụ, mà là môi trường thứ ba ở giữa hai bề mặt vật rắn chuyển động tương đối với nhau: một là phôi biến dạng, hai là bề mặt dụng cụ. Vật liệu bôi trơn có thể là các môi trường có độ nhớt từ 0 (ma sát trong chân không, ma sát khô trong môi trường khí) đến độ nhớt cực lớn (ma sát với các chất bôi trơn dẻo và cứng) trong trường hợp sau môi trường bôi trơn là vật rắn thứ ba.

Khi có ma sát khô tuyệt đối (Hình 2.35) (ma sát chân không) trong biến dạng quan sát thấy biến dạng dẻo đàn hồi các lớp có kích thước cực nhỏ trên bề mặt tiếp xúc của vật biến dạng và bề mặt dụng cụ kèm theo sự lan truyền biến dạng tới toàn bộ độ dày của phôi. Khi ma sát trong môi trường khí, sự biến dạng các lớp vĩ mô (nhờ liên kết cơ học hay liên kết phân tử) tùy theo loại môi trường mà có thể kèm theo áp suất thủy động cục bộ từ các khối khí nhỏ lên bề mặt ma sát (do sự chuyển động tiến lại gần nhau của các bề mặt). Những khối khí siêu nhỏ dưới áp lực cao có thể ảnh hưởng tới chế độ biến dạng. Ma sát khô trong môi trường khí kèm theo nhiều hiện tượng cơ lý và nhiệt động học phức tạp. Có thể bàn luận rất nhiều về chế độ ma sát khô chỉ riêng trong điều kiện chân không.



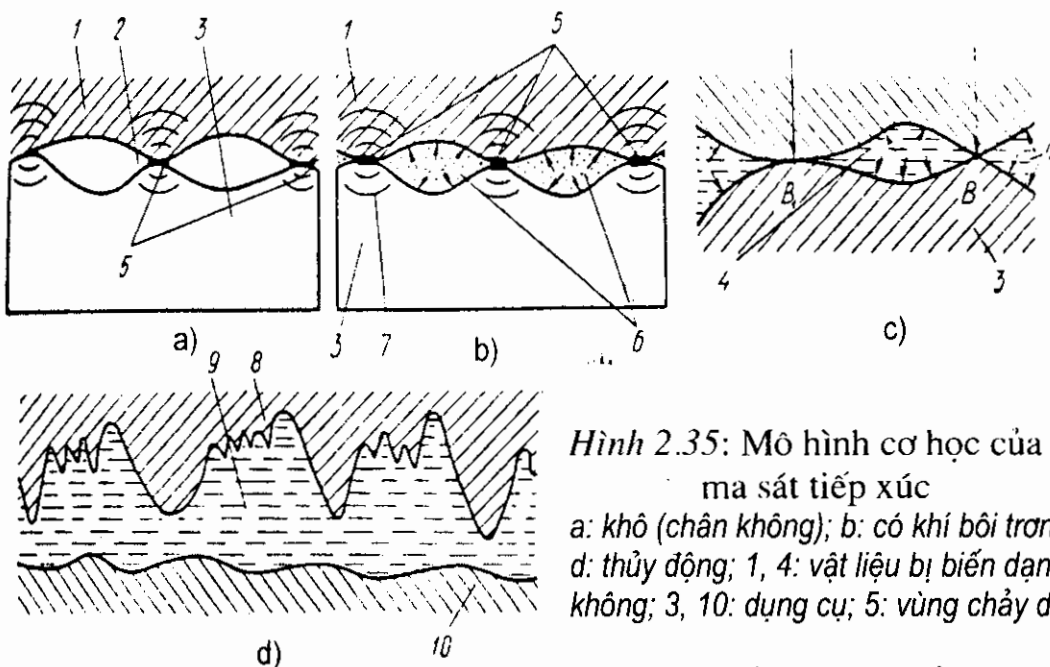
Hình 2.32. Các quá trình gia công kim loại bằng áp lực với ảnh hưởng khác nhau của ma sát ngoài

a: dập vuốt theo chày cứng cố định; b: dập trong khuôn hở; c: ép chảy tự do; d: dập vuốt ma sát; e: dập vuốt với chày & cối là môi trường động; 1: giá đỡ ma sát đàn hồi; 2: đệm cao su; 3: chày dập; 4: cối; F_{bd} : lực ma sát biến dạng; τ_{min} , τ_{max} : ứng suất ma sát nhỏ nhất và lớn nhất; σ_K , $\sigma_{d.e}$, σ_{II} , σ_M : ứng suất tiếp xúc trên thành buồng chứa, đĩa ép, hình trụ và cối; τ_K , $\tau_{d.e}$, τ_{II} , τ_M : ứng suất ma sát tương ứng với các vùng (dấu "+" tương ứng với ma sát tích cực; dấu "-" tương ứng với ma sát xấu)

4) Tham số chung đặc trưng về lượng cho cường độ của ma sát tiếp xúc trong bất kỳ điều kiện ma sát nào phải là lực ma sát riêng (tức là ma

sát trên một đơn vị diện tích danh nghĩa của các bề mặt tiếp xúc) hay là trở lực cắt τ .

5) Thấy rằng hệ số ma sát phụ thuộc như nhau vào vật liệu các vật ma sát, đặc tính của chất bôi trơn, cấu trúc của vùng ổ ma sát (kích thước bề mặt tiếp xúc, các đường nét hình học, nói chung là quan hệ giữa diện tích bề mặt tiếp xúc và các thông số của môi trường ngăn cách thứ ba), vào chế độ ma sát (nhiệt độ, vận tốc, áp suất tiếp xúc, trường nhiệt độ xuất hiện trong lớp mỏng trên bề mặt). Hệ số ma sát cho cùng một cặp vật liệu ma sát thay đổi trong một phạm vi rộng, chẳng hạn như 0,05 tới 0,8 đối với cặp ma sát thép-thép. Bản chất lý-hóa của vật liệu bề mặt bôi trơn và dụng cụ có ảnh hưởng tới hệ số ma sát ít hơn so với các điều kiện bên ngoài.



Hình 2.35: Mô hình cơ học của các chế độ ma sát tiếp xúc

a: khô (chân không); b: có khí bôi trơn; c: giới hạn; d: thủy động; 1, 4: vật liệu bị biến dạng; 2: chân không; 3, 10: dụng cụ; 5: vùng chảy dẻo;

6: vùng tác động của môi trường khí; 7: vùng biến dạng đàn hồi; 8: chi tiết; 9: môi trường bôi trơn; B, B₁: điểm tiếp xúc khô; q: áp lực của chất bôi trơn.

Nói chung mối liên hệ giữa các chế độ ma sát trong biến dạng dẻo có thể biểu diễn bằng rất nhiều mối liên hệ đặc biệt $\tau = f(\eta, v)$ biểu diễn trên hình 2.36, giảm mạnh tới τ_{\min} khi độ nhớt chất bôi trơn bằng độ nhớt tối ưu và phù hợp cho việc chuyển sang chế độ ma sát thủy động, sau đó sẽ tăng lên (khi độ nhớt của môi trường vượt quá độ nhớt tối ưu).

Khi độ nhớt của môi trường trung gian (chất bôi trơn) là vô hạn, thì lực ma sát riêng được xác định bằng trở lực cắt của các bề mặt dịch chuyển, sự trượt xảy ra dọc theo một trong các bề mặt ma sát.

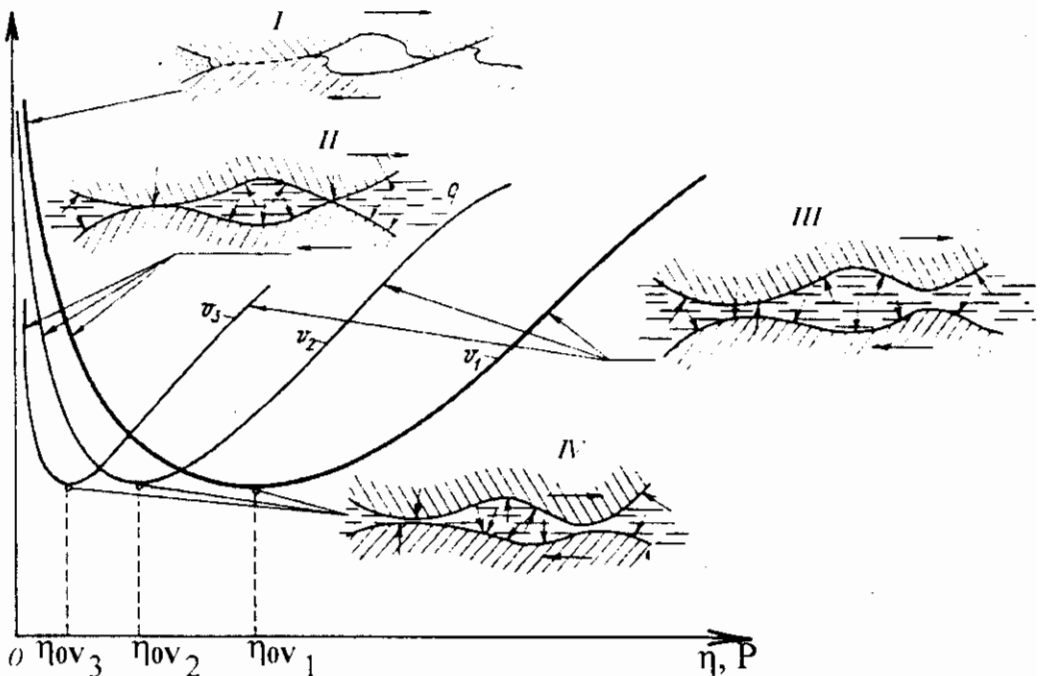
Khi độ nhớt bằng không, trở lực cắt rất lớn được xác định bằng sự chuyển dịch các bề mặt theo lý thuyết ma sát giới hạn (nếu liên kết không hoàn toàn) hoặc bằng trở lực cắt của một trong hai bề mặt ma sát (khi liên kết hoàn toàn) tùy theo cái nào có trở lực nhỏ hơn.

Việc tăng độ nhớt của môi trường bôi trơn sẽ làm giảm ma sát tiếp xúc khô của các bề mặt và làm tăng diện tích tiếp xúc thông qua môi trường thứ ba (chất bôi trơn). Điều này phù hợp với chế độ ma sát bán ướt và ma sát giới hạn. Trong trường hợp này tham số quan trọng ảnh hưởng đến chế độ ma sát là hệ số dày đặc của chất bôi trơn trên các bề mặt, bằng tỉ số giá trị diện tích được bôi trơn S_{btr} (môi trường thứ ba làm trung gian ngăn cách) với toàn bộ diện tích ma sát S_{ms} , tức là:

$$\gamma = \frac{S_{btr}}{S_{ms}} \quad (2.24)$$

Như vậy, khi độ ma sát tăng từ $\tau > 0$ đến τ_{tr} thì có ma sát giới hạn với cường độ khác nhau thay đổi từ bôi trơn cục bộ bởi các túi khí tới khi có bôi trơn thủy động toàn phần. Hệ số dày đặc của chất bôi trơn trên bề mặt biến thiên trong trường hợp này tăng từ $0 \rightarrow 1$.

$\tau, \text{KG/mm}^2$



Hình 2.36: Sự biến thiên của lực ma sát riêng theo độ nhớt động lực của chất bôi trơn (môi trường thứ 3) - Mô hình của định luật ma sát tổng quát

I: ma sát khô, $\gamma=0$; II: ma sát giới hạn, $1>\gamma>0$; III: ma sát thủy động chịu tải, $\gamma=1, \eta \geq \eta_0$; IV: ma sát thủy động tối ưu, $\gamma=1; v_3 > v_2 > v_1$; tốc độ biến dạng.

Rất nhiều thí nghiệm đã khẳng định tính đúng đắn của mô hình (Hình 2.36) mô tả sự chuyển tiếp từ chế độ ma sát này sang chế độ ma sát khác. Mô hình liên kết các chế độ ma sát cho phép mô tả có phân tích định luật chung của ma sát trong biến dạng dẻo bằng phương trình:

$$\tau = \mu q(1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.25)$$

trong đó:

- τ : lực ma sát riêng giữa phôi và dụng cụ, KG/cm²;
- μ : hệ số ma sát trượt khô;
- η : độ nhớt động lực của môi trường chất bôi trơn (đối với chất lỏng) hay độ nhớt qui ước (đối với huyền phù hay bột khô);
- v : vận tốc dịch chuyển các bề mặt phôi và dụng cụ;
- z : độ dày lớp chất bôi trơn;
- γ : hệ số dày đặc chất bôi trơn của các bề mặt (với $\gamma=0$ là ma sát khô;
- $1 > \gamma > 0$ - ma sát giới hạn; $\gamma=1$ - ma sát thủy động). Giá trị hệ số γ đối với các chế độ ma sát khác nhau được biểu diễn trên hình 2.36.

Muốn tính toán số lượng của chế độ ma sát cần phải biết hệ số dày đặc chất bôi trơn γ của các lớp bề mặt, tải trọng riêng q , độ nhớt động lực hay tối ưu của các môi trường bôi trơn η , tốc độ chuyển dịch của các bề mặt ma sát, hệ số ma sát của các bề mặt khô, độ dày tối ưu z của lớp bôi trơn.

Ngoài ra, biểu thức (2.25) còn mô tả định luật ma sát ở dạng tổng quát hơn, cho phép coi các thành phần lực ma sát khô riêng (chân không) và tải trọng riêng trên bề mặt q trong ổ biến dạng là như nhau, tức là:

$$\tau_q = \mu q \quad (2.26)$$

Trong thực tế, qui luật ma sát trượt khô phức tạp hơn và được xác định bởi các đặc trưng của mối liên kết ma sát, bởi hình thức tương tác (cơ học phân tử), đặc tính biến dạng của vật liệu khi liên kết ma sát bị phá vỡ, điều kiện thiết lập quan hệ diện tích tiếp xúc riêng của các bề mặt v.v...

Thành phần của lực ma sát khô được biểu diễn dưới dạng hàm của áp lực tiếp xúc khô có dạng:

$$\tau_q = \alpha + \beta q_\phi \quad (2.27)$$

với α, β là hệ số ma sát đã cho, là các hằng số.

$$\mu = \frac{\alpha}{q_\phi} + \beta \quad (2.28)$$

Đối với tiếp xúc dẻo, I.V.Kraghenxki [13] cho rằng:

$$\mu = \frac{\alpha}{\sigma_{0.2}} + \beta, \quad (2.29)$$

trong đó, $\sigma_{0.2}$ - trở lực biến dạng của vật liệu trong vùng tiếp xúc.

Khi đó định luật ma sát tổng quát cho biến dạng dẻo có thể viết dưới dạng phương trình:

$$\tau = q \left(\frac{\alpha}{\sigma_i} + \beta \right) (1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} \gamma, \quad (2.30)$$

trong đó σ_i trở lực biến dạng của vật liệu bề mặt ma sát.

Nếu chú ý đến những quan niệm mới về cơ chế ma sát mà theo đó lực ma sát phụ thuộc vào độ bền cắt gọt $\tau_n = \tau_0 + \beta p_r$, thì hệ số ma sát f có thể biểu diễn theo hệ thức N.M.Mikhin:

$$f = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + K \alpha_{ht} \sqrt{\frac{h_x}{R}}; \quad (2.31)$$

trong đó:

- τ_0 : độ bền cắt khi $p_r = 0$;
- p_r : độ lớn ứng suất pháp trung bình;
- β : hệ số tương trưng cho sự tăng độ bền cắt từ ứng suất pháp trung bình;
- K là hằng số phụ thuộc vào hình dạng vi mô của bề mặt;
- α_{ht} : hệ số hao phí trễ;
- h_x : độ lớn đâm xuyên khi trượt
- R : bán kính không đều.

Khi đó lực ma sát riêng giữa phôi và dụng cụ là:

$$\tau = q \left(\frac{\tau_0}{p_r} + \beta + K \alpha_{ht} \sqrt{\frac{h_x}{R}} \right) (1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.32)$$

Từ đó thấy rõ rằng khi có tải trọng tiếp xúc lớn thì các lực ma sát không thành phần được xác định bởi trở lực biến dạng cắt σ_r của vật liệu, nếu trở lực biến dạng của vật liệu $\sigma_{i(g)}$ nhỏ hơn của vật liệu dụng cụ $\sigma_{i(u)}$, nghĩa là $\sigma_{i(g)} < \sigma_{i(u)}$ và ngược lại. Khi đó công thức tổng quát của định luật ma sát trong biến dạng dẻo có dạng:

$$\tau = \sigma_r (1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.33)$$

Riêng trong quá trình dập bằng dụng cụ đàn hồi (trong đó lực ma sát giữa

môi trường đàn hồi với vật liệu gia công có ảnh hưởng rất lớn), τ chính là trở lực cắt của chất đàn hồi được dùng làm dụng cụ (cao su, polyuretan...).

Theo những điều đã nêu trên có thể ghi nhận các điều kiện biến dạng thực tế của định luật ma sát tổng quát không những đúng cho gia công kim loại bằng áp lực tức là dùng trong biến dạng dẻo, mà còn để sử dụng cho tất cả các điều kiện ma sát tiếp xúc khác.

Chẳng hạn, đối với trường hợp ma sát của bề mặt nhám trên bề mặt nhẵn, định luật ma sát tổng quát có dạng:

$$\tau = \left[a \left(\frac{1-\nu}{K\nu} \right)^{\frac{\nu}{\nu+1}} \left(\frac{b}{q} \right)^{\frac{1}{\nu+1}} + \beta \right] q(1-\gamma) + \frac{d\nu}{dz} \eta \gamma \quad (2.34)$$

trong đó:

- a : bán kính vùng tiếp xúc;
- ν : độ nhẵn của bề mặt tiếp xúc;
- K: hệ số mật độ ($K = \frac{E}{2a(1-\xi)^2}$);
- E: môđun đàn hồi ;
- ξ : hệ số Poisson;
- b: tham số không thứ nguyên của đường cong tựa trong vùng ổ ma sát.

2.7. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN ĐÁNH GIÁ LỰC MA SÁT TRONG CÁC QUÁ TRÌNH GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC DỰA VÀO ĐỊNH LUẬT MA SÁT NGOÀI TỔNG QUÁT

Trong gia công kim loại bằng áp lực, xảy ra một quá trình phức tạp, ảnh hưởng qua lại giữa vật liệu gia công, môi trường bôi trơn và dụng cụ để đạt được ứng suất biến dạng cần thiết với sự tiêu hao năng lượng thấp nhất.

Sự phức tạp còn tăng lên hơn nữa bởi vì sự biến dạng các đặc tính dẻo đàn hồi của vật liệu gia công, bề mặt cứng hoặc dẻo của dụng cụ và môi trường bôi trơn được dùng (khí, lỏng, dẻo nhớt, dẻo, cứng: hoặc riêng lẻ hoặc kết hợp) còn chịu ảnh hưởng lớn từ áp suất thủy tĩnh và nhiệt độ trong ổ ma sát. áp suất và nhiệt độ có thể rất khác nhau ở từng thời điểm trong cùng một vị trí trong ổ biến dạng. Chính vì vậy, ngay cả khi có rất nhiều công trình nghiên cứu về lĩnh vực ma sát ngoài và chất bôi trơn, mà vẫn còn rất nhiều vấn đề chưa rõ ràng liên quan tới phương pháp tính toán ma sát tiếp xúc trong gia công kim loại bằng áp lực.

Có thể coi các luận điểm về phương pháp dựa trên định luật tổng quát về ma sát nói trên đã làm sáng tỏ phần nào về vấn đề ma sát ngoài.

Theo định luật ma sát tổng quát: lực ma sát tiếp xúc trong biến dạng dẻo phụ thuộc vào ba yếu tố chính trong vùng tiếp xúc là:

- 1) áp lực thủy tĩnh;
- 2) Vận tốc trượt;
- 3) Nhiệt độ bề mặt ma sát và lớp bôi trơn.

Định luật ma sát tổng quát có thể viết dưới dạng sau:

$$\tau = \mu q(1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.35)$$

trong đó:

- τ : lực ma sát riêng ở ranh giới vật liệu- dụng cụ, KG/mm²;
- μ : hệ số ma sát trượt khô, KG/mm²;
- q : tải trọng tiếp xúc riêng, KG/mm²;
- $\gamma = \frac{S_{btr}}{S_{ms}}$: hệ số dày đặc của chất bôi trơn nằm giữa bề mặt phiê

và dụng cụ;

- S_{btr} : diện tích bề mặt tiếp xúc được bôi trơn; mm²;
- S_{ms} : diện tích toàn bộ bề mặt tiếp xúc; mm²;
- η : hệ số độ nhớt động lực của môi trường bôi trơn, P;
- v : vận tốc trượt trong vùng tiếp xúc, mm/s;
- z : độ dày trung bình các lớp bôi trơn, mm.

Thành phần đầu tiên của vế phải công thức tổng quát (2.35) của định luật ma sát quyết định qui luật ma sát (làm thay đổi ứng suất cắt) trong tiếp xúc khô giữa các bề mặt ma sát τ_1 ; thành phần thứ hai quyết định sự biến thiên ứng suất cắt (tác dụng qua lại) của các bề mặt thông qua môi trường bôi trơn τ_2 , tức là:

$$\tau_1 = \mu q(1 - \gamma); \quad \tau_2 = \eta \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.36)$$

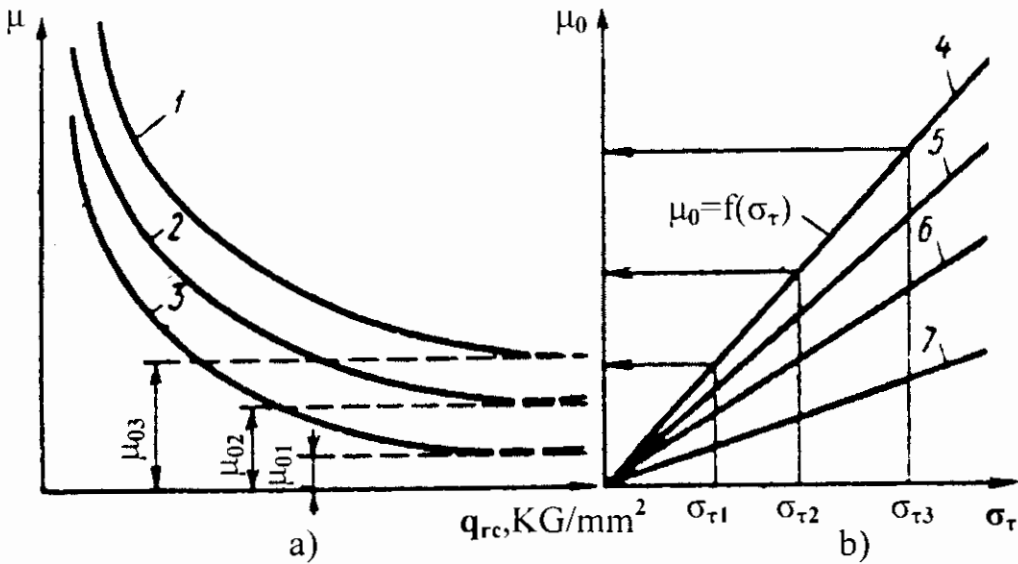
Các nghiên cứu cho thấy, bởi vì hệ số hiệu quả của ma sát trượt khô trong trường hợp hình thành các liên kết phân tử chịu ảnh hưởng đáng kể của trở lực cắt của vật liệu gia công, mà trở lực này lại phụ thuộc vào áp suất thủy tĩnh trong vùng tiếp xúc, cho nên μ không phải là một hằng số mà là một tham số. Đối với nhiều loại vật liệu hàm số này có dạng như sau:

$$\mu = \frac{\alpha}{q_{rc}} + \mu_0 \quad (2.37)$$

trong đó:

- μ_0 : trong trường hợp này là hệ số ma sát trượt phân tử giữa vật liệu gia công với dụng cụ;
- α : tham số trượt khi áp suất thủy tĩnh trong vùng tiếp xúc tăng lên vô hạn;
- q_{rc} : áp suất thủy tĩnh trong vùng tiếp xúc.

Với các vật liệu khác nhau hệ số ma sát trượt phân tử là không giống nhau và được xác định bởi trở lực cắt của vật liệu gia công. Rõ ràng là, mối liên hệ $\mu_0 = f(\sigma_\tau)$ cần phải gần giống đường tuyến tính trừ khi có những sai số trong biến dạng khối nóng xảy ra bởi các biến đổi pha.



Hình 2.37. Sự thay đổi của ma sát trượt khô theo áp lực trong vùng tiếp xúc của vật liệu-dụng cụ và trở lực cắt của vật liệu

a: cho $\mu = f(q_{rc})$; b: cho $\mu_0 = f(\sigma_\tau)$ tại các nhiệt độ khác nhau; 1 - $\sigma_{\tau 1}$; 2 - $\sigma_{\tau 2}$; 3 - $\sigma_{\tau 3}$; 4 - $T_1^\circ\text{C}$; 5 - $T_2^\circ\text{C}$; 6 - $T_3^\circ\text{C}$; 7 - $T_4^\circ\text{C}$; $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$

Đặc điểm của sự biến thiên μ và μ_0 theo q và σ được biểu diễn trên hình 2.37. Khi đó biểu thức để tính τ_1 có dạng:

$$\tau_1 = \left(\frac{\alpha}{q_{rc}} + \mu_0 \right) q (1 - \gamma) \quad (2.38)$$

Thấy rằng μ_0 là một tham số tuyến tính trong hàm trở lực cắt τ_1 của vật liệu biến dạng tại nhiệt độ đã cho, tức là:

$$\mu_0 = \sigma_\tau \text{tg} \xi \quad (2.39)$$

Thay giá trị μ_0 vào biểu thức tính τ_1 ta nhận được:

$$\tau_1 = \left(\frac{\alpha}{q_{rc}} + \sigma_{\tau} t g \xi \right) q (1 - \gamma) \quad (2.40)$$

Khi xác định τ_2 cần phải bắt đầu từ sự thay đổi độ nhớt hiệu quả của môi trường bôi trơn trong mối quan hệ với nhiệt độ và áp suất thủy tĩnh trong vùng tiếp xúc. Sự thay đổi này đối với các vật liệu bôi trơn có nguồn gốc hữu cơ (đặc biệt là các chất lỏng) có thể tính theo phương pháp của V.G.Kuimôp như dưới đây.

Với các môi trường dẻo-nhớt như paraffin, xerezin, bitum, sáp và các huyền phù thì có tồn tại sự thay đổi độ nhớt theo nhiệt độ và áp suất thủy tĩnh, cũng giống như đối với thủy tinh được dùng như chất bôi trơn để biến dạng nóng các kim loại và hợp kim khó biến dạng có độ bền nóng cao. Theo công trình của V.G.Kuimôp biểu thức tính τ_2 [thành phần thứ hai của biểu thức (2.36)] có dạng:

$$\tau_2 = \eta_{20^{\circ}C} \frac{dv}{dz} e^{\beta(q_{rc} - q_0)} \frac{\gamma}{1 + A(q_0 - q_{rc}) + B(q_0 - q_{rc})^2} \quad (2.41)$$

trong đó:

- $\eta_{20^{\circ}C}$: độ nhớt của môi trường bôi trơn ở 20°C;
- q_0 : áp suất ban đầu của môi trường;
- A, B, β : là các hằng số.

Kết quả thu được của biểu thức về lực ma sát riêng trong biến dạng khối (2.35) sẽ có dạng sau với điều kiện sao cho đại lượng tải trọng tiếp xúc q gần bằng áp suất thủy tĩnh:

$$\tau = \left(\frac{\alpha}{q_{rc}} + \sigma_{\tau} t g \xi \right) q_{rc} (1 - \gamma) + \eta_{20^{\circ}C} \frac{dv}{dz} e^{\beta(q_{rc} - q_0)} \times \frac{\gamma}{1 + A(q_0 - q_{rc}) + B(q_0 - q_{rc})^2} \quad (2.42)$$

Nếu chấp nhận rằng sự tăng độ nhớt của môi trường bôi trơn dưới tác dụng của áp suất thủy tĩnh được bù bởi sự giảm độ nhớt do tác dụng của nhiệt độ tăng lên trong ổ biến dạng và trong lớp bề mặt bôi trơn, thì biểu thức (2.42) có dạng đơn giản hơn là:

$$\tau = \left(\frac{\alpha}{q_{rc}} + \sigma_{\tau} t g \xi \right) q_{rc} (1 - \gamma) + \eta_{20^{\circ}C} \frac{dv}{dz} \gamma \quad (2.43)$$

Phân tích biểu thức (2.42) suy ra, muốn thấy được giá trị định lượng của ma sát trong biến dạng khối cần phải biết được các yếu tố sau:

- Độ lớn của áp suất thủy tĩnh và sự thay đổi của nó trong vùng tiếp xúc.

- Trở lực cắt của vật liệu, nhiệt độ biến dạng, tốc độ trượt trong vùng tiếp xúc, độ nhớt hiệu quả của môi trường bôi trơn ở nhiệt độ bình thường và dưới áp suất khí quyển, cũng như hệ số phân bố chất bôi trơn trên bề mặt tiếp xúc.

Như vậy, các tham số cần thiết ban đầu để tính toán biểu thức lực ma sát riêng là trở lực cắt giới hạn của vật liệu gia công tùy theo áp suất thủy tĩnh và hệ số ma sát phân tử.

Hàm số (2.42) được giới thiệu để tính cường độ của ma sát ngoài ở bất kỳ chế độ ma sát nào, thay cho hệ số ma sát, sẽ làm đơn giản hoá việc tìm ra qui luật biến thiên của hệ số này trong mối quan hệ phụ thuộc vào các tham số khác (vận tốc, tải trọng riêng, nhiệt độ v.v...).

Từ việc xem xét mối quan hệ này còn suy ra rằng có thể xác định hệ số ma sát riêng trong những điều kiện cụ thể giới hạn trong phạm vi yêu cầu của một bài toán con. Khi đó khái niệm hệ số ma sát là hằng số hoàn toàn mất hết ý nghĩa.

2.8. MA SÁT NGOÀI CỦA CAO SU VÀ POLYURETAN. CƠ SỞ THỰC NGHIỆM CỦA ĐỊNH LUẬT TỔNG QUÁT VỀ MA SÁT ĐỐI VỚI CÁC MÔI TRƯỜNG ĐÀN HỒI ỨNG DỤNG TRONG GIA CÔNG ÁP LỰC KIM LOẠI

Các môi trường đàn hồi như cao su và polyuretan cũng như các chất lỏng đàn hồi chịu nén ngày càng được ứng dụng trong gia công kim loại bằng áp lực với vai trò là dụng cụ biến dạng.

Lực ma sát tiếp xúc giữa môi trường đàn hồi, vật liệu biến dạng và các dụng cụ cứng có thể ảnh hưởng quyết định đến việc tăng cường diễn tiến của quá trình. Vì vậy mà việc lợi dụng qui luật ma sát tiếp xúc của cao su và polyuretan với các bề mặt rắn và giữa chúng với nhau mang một nghĩa rất lớn.

Cơ chế ma sát ngoài của cao su trên các bề mặt kim loại và phi kim khác nhau còn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Dưới đây là một số số liệu về nghiên cứu vấn đề ma sát của cao su với các bề mặt rắn.

2.8.1. Tổng quan về các công trình nghiên cứu ma sát tiếp xúc

Khi nghiên cứu ma sát tiếp xúc của cao su cũng như các vật liệu đàn hồi khác, các nhà nghiên cứu trước đây, trước hết đều phân biệt ma sát khô với ma sát khi có chất bôi trơn. Như đã biết, chế độ ma sát khô và có bôi trơn được quan sát thấy trong cùng một quá trình, cũng có khi tách riêng trong các giai đoạn khác nhau khi gia công kim loại bằng áp lực.

Ma sát, bôi trơn xảy ra trong vòng đệm kín hoặc các thiết bị khác, có thể dùng chất bôi trơn là nước, dầu, hay các huyền phù đặc biệt và các chất lỏng công nghiệp không có tác dụng phá hủy đối với cao su và polyuretán.

Khi xem xét các bài toán liên quan đến ma sát của cao su và polyuretán không có chất bôi trơn đều gặp phải những vấn đề chuyên môn mà chỉ giải đáp được bởi đặc điểm cơ lý tính của cao su và polyuretán. Một trong số đó là câu hỏi: khi áp dụng các qui luật ma sát của vật cứng đối với cao su thì ở mức độ nào có thể coi cao su là vật rắn trong khi bị ma sát.

Khác với các vật rắn, khi ma sát cao su không bị biến dạng dẻo mà bị biến dạng đàn hồi rất cao. Nhờ có tính đàn hồi cao của cao su mà tác động của áp lực pháp tuyến sẽ làm tăng diện tích tiếp xúc của nó với bề mặt gắn liền nó, còn sự trượt của cao su lại kèm theo sự di chuyển qua lại của các nguyên tố trên mặt nhám của vật cứng.

Khi giải thích bản chất và rút ra kết luận qui luật ma sát của cao su không có bôi trơn, người ta đã đưa ra hai quan điểm trái ngược nhau về nguyên tắc:

- Khi có ma sát bên ngoài, cao su sẽ hoạt động như một vật rắn.
- Theo một luận điểm khác xuất phát từ chỗ, ma sát của cao su không có chất bôi trơn là một quá trình động học phân tử do chuyển động nhiệt của các liên kết phân tử nằm dọc theo bề mặt tiếp xúc gây ra.

Theo quan điểm của những người thuộc trường phái thứ nhất thì lực ma sát F có bản chất hai mặt: một mặt nó quan hệ với mối liên kết cơ học của các bề mặt ma sát không bằng phẳng:

$$F_1 = \mu_{c.h} \cdot N \quad (2.44)$$

Mặt khác, nó phụ thuộc vào sự tương tác phân tử của các bề mặt ma sát:

$$F_2 = \mu_{mol} (N + N_0), \quad (2.45)$$

Khi đó: $F = F_1 + F_2$

trong đó:

- $\mu_{c.h}$: hệ số ma sát, phụ thuộc vào độ nhám cơ học;
- μ_{mol} : hệ số ma sát phụ thuộc vào tương tác phân tử;
- N_0 : lực tương tác phân tử tác động trên bề mặt tiếp xúc thực tế;
- N : tải trọng pháp tuyến giữa các bề mặt ma sát.

Lực ma sát:

$$F = (\mu_{c.h} + \mu_{mol}) \cdot N + \mu_{mol} \cdot N_0 \quad (2.46)$$

hoặc:

$$F_l = \mu_x N + F_0 \quad (2.47)$$

khi đó:

$$\begin{aligned}\mu_{c.h} + \mu_{mol} &= \mu_x \\ \mu_{mol} \cdot N_0 &= F_0\end{aligned}$$

Như vậy, thuyết phân tử dẫn tới định luật ma sát hai thành phần, theo đó ma sát tồn tại ngay cả trên các bề mặt “nhẵn lý tưởng” của các vật thể ma sát bởi vì không có bất kỳ phương pháp gia công nào có thể loại trừ được độ nhám tế vi cực nhỏ, tức là các hạt phân tử nhô lên trên các bề mặt.

Vì đã dùng một công thức thông thường để tính toán hệ số ma sát μ_{lp} là:

$$\mu_{lp} = \frac{F}{N} \quad (2.48)$$

nên khi thay (2.47) vào công thức (2.48) ta có:

$$\mu_{lp} = \mu_x + \frac{F_0}{N} \quad (2.49)$$

Từ công thức (2.48) thấy rằng, hệ số ma sát tính toán μ_{lp} giảm xuống khi tải trọng tăng lên. Giá trị cực tiểu của nó được đặc trưng bởi đại lượng μ_x ứng với một tải trọng vô cùng lớn ($N \rightarrow \infty$). Ngược lại, khi có một tải trọng vừa đủ, μ_{lp} nói chung phụ thuộc rất ít vào μ_x , được xác định bởi thành phần thứ hai, thành phần này phụ thuộc vào F_0 .

Theo lý thuyết về ma sát của cao su dựa trên khái niệm động học phân tử của quá trình, khi xác định lực ma sát có tính đến ảnh hưởng của vận tốc trượt, nhiệt độ cũng như diện tích tiếp xúc thực tế, diện tích này thay đổi theo độ lớn của tải trọng riêng. Biểu thức đặc trưng cho mối quan hệ phụ thuộc của lực ma sát với các yếu tố vừa liệt kê có dạng sau:

$$F = \lambda S \left(\frac{S_\phi^0}{S} + ap \right) : (1 + a.p) \quad (2.50)$$

trong đó:

- λ : hệ số phụ thuộc vào vận tốc trượt và nhiệt độ;
- S : diện tích tiếp xúc danh nghĩa;
- S_ϕ^0 : diện tích tiếp xúc thực tế khi $p \rightarrow 0$;
- a : hệ số, phụ thuộc vào modun dẻo của cao su;
- $p = \frac{N}{S}$;
- N : tải trọng pháp tuyến.

Chia biểu thức (2.50) cho tải trọng pháp tuyến N, ta có hệ số ma sát μ_{tp} , trong đó:

$$\frac{1}{\mu_{tp}} = \frac{pS(1+a.p)}{\lambda(S_{\phi}^0 + S.a.p)} \quad (2.51)$$

Bảng 2.11: Hệ số λ và λ đối với một vài chất đàn hồi

Cao su và lớp lót	Độ cứng, Sor	Nhiệt độ trên bề mặt, °C	Các hệ số		
			λ , KG/cm ²	λ , KG/cm ²	$\frac{S_{\phi}^0}{S}$
CKH-18*, nhôm	58	23	0,36	0,017	0,001
CKH-18, nhôm	58	65	0,16	0,020	0,014
CKH-18, đồng thau	46	23	0,24	0,044	-
CKH-18, thép	46	23	0,37	0,033	-
CKH-18, thép	46	23	0,27	0,023	0,048

* Cao su CKH-18 theo ГОСТ.

Với các tải trọng pháp tuyến lớn thì độ lớn của diện tích tiếp xúc còn lại S_{ϕ}^0 trong phương trình (2.51) sẽ là vô cùng nhỏ so với độ lớn của thành phần $S.a.p$, và phương trình (2.51) biến thành công thức như P.Tirôn có được qua thực nghiệm:

$$\frac{1}{\mu_{tp}} = \frac{1}{\lambda a} + \frac{p}{\lambda} \quad (2.52)$$

hay là:
$$\frac{1}{\mu_{tp}} = q + bp$$

trong đó: $q = \frac{1}{\lambda a}$ và $b = \frac{1}{\lambda}$;

Khi tải trọng nhỏ, $p \ll \frac{1}{a}$ thì phương trình (2.51) trùng với công thức

Culông:

$$\mu_{tp} = A + \frac{b}{p} \quad (2.53)$$

cho thấy mối liên quan tỉ lệ thuận giữa lực ma sát và tải trọng pháp tuyến.

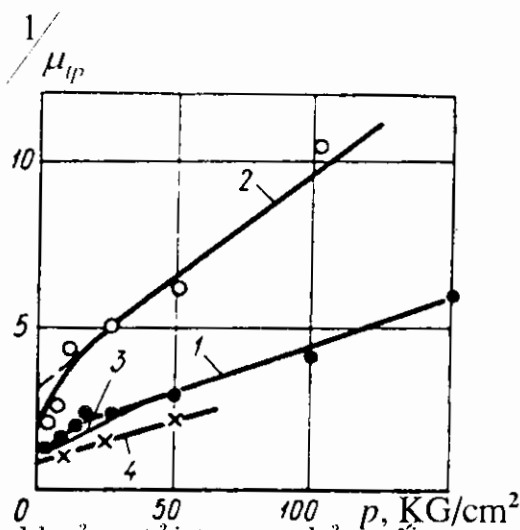
Các phần chi tiết khác về những hiện tượng cơ lý và các qui luật mô tả quá

trình ma sát của cao su dẫn tới chỗ cần phải tiến hành nhiều nghiên cứu thực nghiệm để chúng có thể trở thành tiêu chí ứng dụng các lý thuyết nói trên. Một trong các nghiên cứu như vậy đã được V.V.Lavrenchep [5] tiến hành sau khi nghiên cứu ma sát của cao su trong khoảng biến thiên lớn của tải trọng pháp tuyến (0,1-2 KG/mm²).

Các nghiên cứu của V.V.Lavrenchep cho thấy rằng sự phụ thuộc của $\frac{1}{\mu_{lp}}$ vào p trong khoảng tải trọng nhỏ không phải là đường thẳng. Nếu tăng nhiệt độ lên 65°C sự khác biệt đó tăng lên đúng như theo công thức của G.M.Bartenev và được chứng minh bằng các số liệu trên hình 2.38, 2.39 và bảng 2.11.

Hình 2.38. Biểu đồ quan hệ giữa tỉ lệ nghịch của hệ số ma sát $\frac{1}{\mu_{lp}}$ và áp lực pháp tuyến p

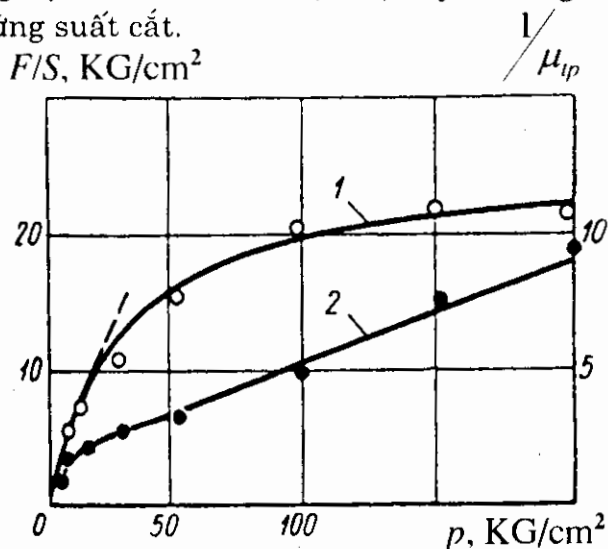
1 & 2 : giai đoạn bắt đầu ma sát của cao su CKH-18 với nhôm ở 23 và 65°C;
3 & 4 : giai đoạn ma sát ổn định của cao su CKH-26 với thép ở 23°C và $v=1,67$ mm/s;
(các đường cong được tính theo công thức 28 và 29)



Từ đồ thị trên hình 2.39, thấy rằng trong khoảng tải trọng nhỏ, mối quan hệ F/S với áp lực pháp tuyến được biểu diễn bằng một đường thẳng. Đường cong đậm trên hình 2.39 vẽ theo công thức (2.50) cho thấy sự trùng khớp của đường cong lý thuyết với các số liệu thí nghiệm. Từ biểu thức (2.50) suy ra rằng với $p \rightarrow \infty$ thì $F \rightarrow \lambda S$, còn hệ số λ bằng ứng suất cắt.

Hình 2.39: Biểu đồ quan hệ giữa lực ma sát riêng F/S - tỉ lệ nghịch của hệ số ma sát $\frac{1}{\mu_{lp}}$ - áp lực pháp tuyến p của cao su CKH-26 với thép (bắt đầu ma sát) (các đường cong được tính theo công thức 27 và 28)

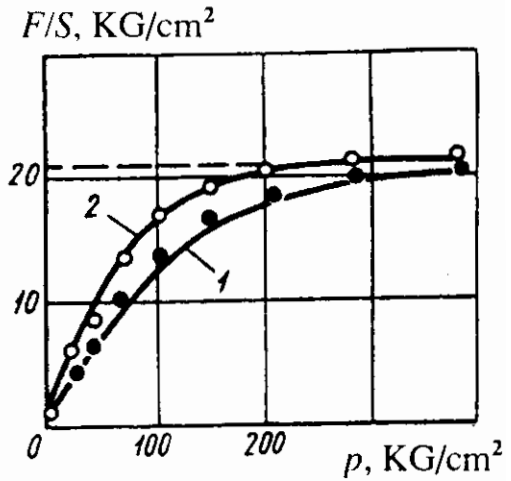
1- F/S ; 2- $\frac{1}{\mu_{lp}}$



Như vậy, sự kiểm nghiệm thực tế do V.V.Lavrenchev tiến hành đã cho thấy rằng biểu thức (2.50) áp dụng cho ma sát của cao su trong mọi khoảng tải trọng, không những để xác định ma sát ngoài mà còn để tính ma sát tĩnh qui đổi, còn hệ số λ có thể biểu diễn bằng số (như với ma sát giữa các vật rắn) như ứng suất cắt của vật liệu có tính đàn hồi cao.

Việc nghiên cứu các qui luật ma sát khô của cao su đã được quan tâm đặc biệt. Các số liệu thí nghiệm mới và các công thức giải tích mới trong lĩnh vực này đã thu được nhờ G.M. Bartenep, V.V.Lavrenchep [14], A.I.Elkin và nhiều nhà nghiên cứu khác. Khi đi tìm đặc trưng cho các qui luật ma sát của cao su, phần lớn các nhà nghiên cứu đã xem xét sự tiếp xúc giữa cao su với bề mặt tiếp xúc như là tiếp xúc đàn hồi, khi ứng với mỗi giá trị tải trọng pháp tuyến là một diện tích tiếp xúc thực tế có độ lớn phụ thuộc vào đặc điểm hình học và độ cứng của bề mặt tiếp xúc. Các thí nghiệm được tiến hành với các tải trọng lớn ($0,4\text{KG/mm}^2$) trên cao su tự nhiên có modun nén tương đối là $0,12\text{ KG/mm}^2$ cho thấy rằng (Hình 2.40) với một ma sát xác định và tải trọng cao hơn $2,5\text{KG/mm}^2$ thì lực ma sát đạt tới mức giới hạn và thậm chí không phụ thuộc vào tải trọng. Từ đó có thể rút ra một kết luận quan trọng cho tính toán kĩ thuật về mối quan hệ của hệ số λ với áp suất tiếp xúc.

Hình 2.40. Biểu đồ quan hệ giữa lực ma sát riêng F/S - áp lực pháp tuyến p của cao su tự nhiên
 1: bắt đầu ma sát (thời điểm trượt); 2: ma sát ổn định (khi vận tốc trượt $0,0003\text{ m/s}$)



Thực nghiệm cho thấy rằng lực ma sát trong một quá trình đã ổn định luôn lớn hơn khi mới bắt đầu trượt. Điều đó được giải thích là do diện tích tiếp xúc thực tế tăng dần trong quá trình trượt bởi vì có sự mài mòn của bề mặt cao su. Cũng vì nguyên nhân đó mà trong một quá trình đã ổn định lực ma sát đạt tới giới hạn lớn hơn rất nhiều so với ma sát tĩnh. Như vậy, đối với ma sát đã ổn định với tải trọng trên $2,5\text{KG/mm}^2$ thì giá trị lực ma sát riêng không đổi, bởi vì diện tích tiếp xúc thực tế khi ổn định bằng diện tích danh nghĩa.

Bằng thực nghiệm đã xác định được là không có sự phụ thuộc trực tiếp giữa giá trị nghịch đảo của hệ số ma sát $\frac{1}{\mu_p}$ với áp suất pháp tuyến p khi có tải

trọng lớn như đã thấy với các tải trọng nhỏ. Vì vậy G.M. Bartenev và V.V.Lavrenchev [14] đã đề nghị một công thức mới, biểu thị sự phụ thuộc của lực ma sát vào áp lực pháp trong một khoảng tải trọng.

Kết luận đó bao gồm những ý chính như sau:

- Mỗi phân tử nhám nhỏ đều tiếp xúc đàn hồi với bề mặt cứng;
- Hình dạng, kích thước và sự phân bố các hạt nhám trên bề mặt vật mẫu là ngẫu nhiên;
- Giả thiết rằng, cùng với việc tăng áp lực pháp tuyến, diện tích tiếp xúc thực tế tương ứng tăng lên càng ít nếu phần bề mặt tiếp xúc càng nhỏ và môđun đàn hồi của cao su khi nén đơn càng lớn.

Dựa trên các ý kiến vừa nêu có thể biểu diễn định luật ma sát như sau:

$$F = \lambda S - \lambda(S - S_{\phi}^0) e^{-\frac{\beta}{E} p} \quad (2.54)$$

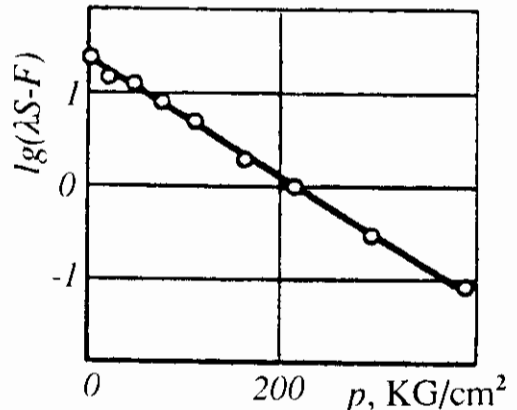
trong đó:

- S và S_{ϕ}^0 : lần lượt là diện tích tiếp xúc danh nghĩa và thực tế;
- β : hệ số không thứ nguyên, đặc trưng cho hình dạng hình học của các bề mặt ma sát (độ nhám, độ lượn sóng v.v...);
- E : môđun đàn hồi.

Công thức (2.52) thoả mãn với điều kiện: khi $p \rightarrow 0$ thì $F = \lambda S_{\phi}^0$ và khi $p \rightarrow \infty$ thì $F = \lambda S$.

Diện tích tiếp xúc thực tế S_{ϕ}^0 ở trạng thái không tải trọng với $p \rightarrow 0$ là rất nhỏ, hầu như không còn tiếp xúc danh nghĩa. Sự tồn tại $S_{\phi}^0 \neq 0$ được giải thích bởi tính chất đàn hồi không hoàn toàn của vật liệu, bởi sự mài mòn từ trước của bề mặt v.v..., cũng như bởi các lực bám dính giữa các bề mặt ngăn cản sự hồi phục đàn hồi sau khi dỡ tải.

Hình 2.41. Số liệu về ma sát trong giai đoạn ổn định, tương ứng với công thức (30)



Hệ số β như đã lưu ý ở trên, phụ thuộc vào đặc điểm của các bề mặt ma sát. Với các mặt phẳng song song, nhẵn tuyệt đối, diện tích tiếp xúc bằng giá trị

tiếp xúc danh nghĩa với mọi tải trọng là tương ứng với $\beta = \infty$. Khi độ nhám tăng mạnh, tiếp xúc thực tế chỉ có ở một số điểm trên bề mặt vì vậy S_{ϕ} và cả β sẽ là tương đối nhỏ. Các số liệu thực nghiệm trên toạ độ theo công thức (2.54) trùng hợp với đường thẳng trên hình 2.41. Suy ra, công thức (2.54) có thể coi như cách biểu diễn đúng hơn về định luật ma sát của các vật liệu có độ dẻo cao, so với các công thức đã có từ trước đến nay. Từ hình vẽ thấy rằng $\beta = 0,17$. Giá trị nhỏ nói lên rằng bề mặt thực tế của cao su và kim loại có độ nhám đáng kể.

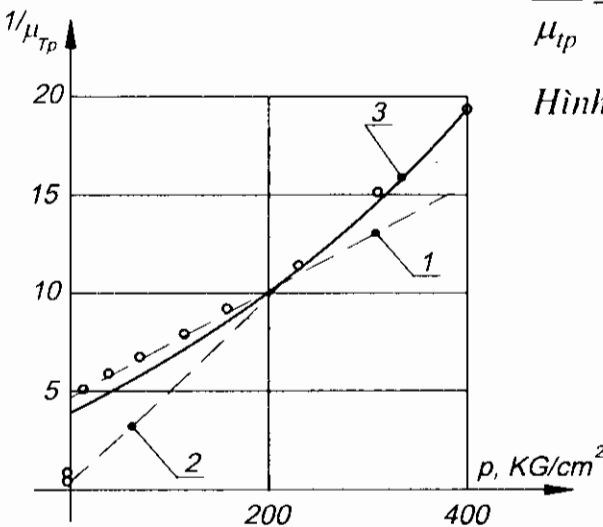
Nếu trong công thức (2.54) lấy $S_{\phi}^0 = 0$ thì ta có hàm số rút gọn hơn:

$$f = \lambda \left(1 - e^{-\frac{\beta}{E} p} \right) \quad (2.55)$$

trong đó: $f = \frac{F}{S}$ - lực ma sát riêng.

Trên hình 2.42, có các điểm thực nghiệm nhận được khi ma sát ổn định, đường thẳng 1 vẽ theo công thức của P.Tirion, và đường thẳng 2, ứng với ma sát riêng giới hạn $f = \infty$ vẽ theo công thức (2.54) khi $S_{\phi}^0 = S$ tức là khi đã có ma sát ổn định. Lực ma sát riêng $f = F/S$ không đổi, bởi vì diện tích tiếp xúc thực tế bằng diện tích tiếp xúc danh nghĩa. Đường cong 3 được lập dựa trên công thức (2.55). Như đã thấy trên hình 2.42, các số liệu thực nghiệm, không trùng với cả hai đường thẳng 1 và 2 nhưng lại rất khớp với đường cong dựng theo công thức (2.55) với $\beta = 0,17$; $E = 12 \text{ KG/mm}^2$ và $\lambda = 0,2 \text{ KG/mm}^2$, xác định theo độ nghiêng của đường thẳng 2 ứng với áp lực riêng giới hạn $f = \lambda$:

$$\frac{1}{\mu_{tp}} = \frac{p}{\lambda} \quad (2.56)$$



Hình 2.42. Mối quan hệ giữa nghịch đảo hệ số ma sát-áp lực pháp tuyến trong điều kiện ma sát ổn định (0,0003m/s) giữa cao su HK-đồng ở 20°C
 1-đường thẳng theo công thức P.Tirion;
 2-đường tiệm cận, theo công thức (2.54);
 3-theo công thức (2.55)

Như vậy, đường cong 3 có thể cho phép rút ra kết luận về khả năng ứng

dụng công thức (2.55) để tính toán các hệ số ma sát của cao su trong toàn bộ khoảng tải trọng pháp tuyến đã đạt được trong thực tế. Các hệ số λ và β trong công thức (2.55) cần được xác định bằng thực nghiệm với các điều kiện ma sát cụ thể.

Khi xem xét các qui luật của cao su không bôi trơn nhiều nhà nghiên cứu đã dừng lại ở việc xác định các hệ số ma sát của cao su mà theo đó hệ số ma sát của cao su μ_{tp} thể hiện mối quan hệ giữa lực ma sát F và tải trọng pháp tuyến N :

$$\mu_{tp} = \frac{F}{N}, \quad (2.57)$$

tức là như vẫn chấp nhận trong thực tế kỹ thuật. Khi đó thường không tính đến diện tích tiếp xúc danh nghĩa, còn hệ số ma sát thì xác định trên các mẫu có diện tích tiếp xúc nhỏ. Trong khi đó hệ số ma sát còn phụ thuộc vào diện tích tiếp xúc danh nghĩa, còn lực ma sát đo trên các mẫu nhỏ có thể rất khác với lực ma sát của các chi tiết có bề mặt tiếp xúc thực tế lớn.

Do vậy, khi xác định các hệ số ma sát và sử dụng chúng vào tính toán cũng như để đánh giá tính chất mài mòn của các chi tiết bằng cao su nên lấy hệ số ma sát của cao su được đo trong một miền xác định làm đại lượng qui ước. Khi áp lực tiếp xúc không đổi thì hệ số ma sát - vốn là một đại lượng không đổi với mọi điều kiện tiếp xúc danh nghĩa - có thể được dùng để tính toán thiết kế chỉ riêng cho áp suất tiếp xúc mà nó được đo. Với những áp suất tiếp xúc khác hệ số ma sát có thể tính được bằng ứng dụng định luật ma sát của cao su.

Ma sát của cao su khi bôi trơn so với ma sát khô còn ít được nghiên cứu hơn. Các công trình nghiên cứu, tuy vậy vẫn có điểm thống nhất ở chỗ ma sát của cao su khi có chất bôi trơn là tuân theo lý thuyết ma sát thủy động áp dụng cho các ổ bi kim loại.

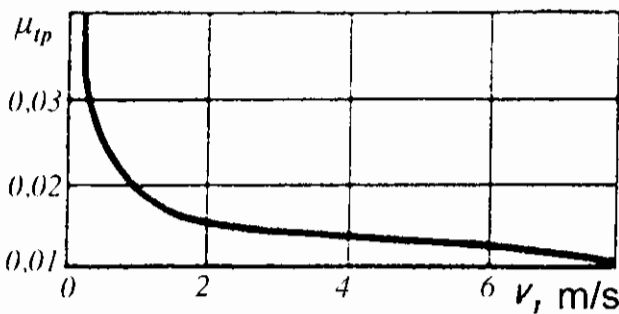
Trong điều kiện sản xuất, độ nhớt của chất bôi trơn dùng cho cao su cần phải thích hợp với các điều kiện làm việc của hợp chất cao su chuyển động: khi vận tốc nhỏ cần chất bôi trơn có độ nhớt cao, còn khi vận tốc lớn - dùng chất bôi trơn có độ nhớt thấp.

Lực cắt ban đầu hay là ma sát "tĩnh" của cao su có bôi trơn thực sự phụ thuộc vào thời lượng tiếp xúc không chuyển động do: cùng với sự kéo dài thời gian tiếp xúc các bề mặt không bôi trơn cũng tiến lại gần nhau. Sự tăng hệ số ma sát "tĩnh" cùng với tăng thời lượng tiếp xúc có thể giải thích bởi hàng loạt lý do mà một trong số đó là việc giảm độ dày của lớp bôi trơn do nó bị chảy ra từ những chỗ tiếp xúc dưới tác động của áp lực pháp tuyến.

Hiện tượng tương tự, cũng diễn ra trong khi chuyển động nếu vận tốc trượt

là rất nhỏ, hệ số ma sát trượt sẽ có xu hướng như hệ số ma sát tĩnh, tùy thuộc vào thời gian tiếp xúc kéo dài trước đó.

Gây được sự chú ý có tính thực tiễn là các nghiên cứu ma sát trong ổ vòng bi cao su-kim loại có bôi trơn bằng nước. Các nhà nghiên cứu đã xác định được hệ số ma sát giữa ổ chặn bọc cao su có độ cứng 85-87Sor với bề mặt kim loại. Các ổ trục thông qua các rãnh, được bôi trơn và làm nguội bằng nước dưới áp suất $0,002\text{KG/mm}^2$ với lưu lượng $0,2 \cdot 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ (bôi trơn ít) và $0,4 \cdot 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ (bôi trơn nhiều). Trên hình 2.43 cho thấy sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào vận tốc trượt khi bôi trơn bằng nước và tải trọng pháp tuyến lớn. Vận tốc trượt càng tăng bề dày lớp bôi trơn và hệ số bôi trơn càng có xu hướng giống với giá trị bình thường đối với ma sát ướt.



Hình 2.43. Sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào vận tốc trượt khi bôi trơn bằng nước và áp lực pháp tuyến $p=20\text{KG/cm}^2$

Cùng với tăng tải trọng pháp tuyến trên ổ trục, hệ số trượt $1/\mu_{tp}$ tăng khi có ít hoặc nhiều chất bôi trơn. Theo đồ thị, đường cong $1/\mu_{tp}$ phụ thuộc vào p , lúc đầu dốc lên sau đó thoải dần, điều đó được giải thích bởi sự tăng diện tích tiếp xúc thực tế theo mức tăng tải trọng pháp tuyến (cũng như ma sát khô). Sự tăng lên đó đạt đến giá trị cực đại, sau đó lực ma sát hầu như không còn phụ thuộc vào tải trọng pháp tuyến nữa. Sự tăng không đáng kể tiếp theo của hệ số trượt là do sức ép của lớp bôi trơn.

Các số liệu về ma sát trong ổ trục cao su ở giai đoạn đầu của sự trượt, thu được nhờ nghiên cứu ma sát của cao su với chất bôi trơn có độ nhớt cao và bôi trơn bằng nước có ý nghĩa thực tiễn rất lớn.

Khi ma sát của cao su và thép có bôi trơn bằng nước và áp suất $p=3\text{KG/cm}^2$ thì:

Thời gian tiếp xúc, s	5	10	30	20 phút	21 h
μ_{tp}	0,52	1,1	1,4	1,7	6,1

Còn khi áp suất $p = 7 \text{ KG/cm}^2$:

Thời gian tiếp xúc, s	15	30	120
μ_{tp}	0,59	0,69	1,1

Còn khi ma sát với thép có chất bôi trơn bằng chất lỏng có độ nhớt cao và $p=3\text{KG/cm}^2$:

Thời lượng tiếp xúc, s	60s	16h
μ_{tp}	0,32	0,56

Khi ma sát với nhôm và bôi trơn bằng chất lỏng có độ nhớt cao và $p=3\text{KG/cm}^2$:

Thời lượng tiếp xúc, s	5	15	60
μ_{tp}	0,22	0,32	0,4

Phân tích giá trị hệ số ma sát μ_{tp} ứng với hệ số ma sát “tĩnh”, cho thấy rằng, chất bôi trơn bằng nước bị ép trong vòng vài giây sau khi đặt tải trọng, có nghĩa là nhanh hơn đáng kể so với các chất bôi trơn khác.

Thời lượng tiếp xúc lâu hơn sẽ dẫn đến chỗ xuất hiện các lực bám dính lớn do có tương tác của cao su với kim loại thông qua lớp bôi trơn ngăn cách. Ngoài ra còn quan sát thấy sự giảm hệ số ma sát tĩnh cùng với việc tăng tải trọng pháp tuyến.

Việc phân tích một số công trình nghiên cứu trước đây trong lĩnh vực ma sát của cao su trên bề mặt các vật rắn cho thấy rằng còn thiếu một phương pháp thống nhất để tính toán lực ma sát tiếp xúc, đồng thời cũng cho thấy mâu thuẫn trong các chỉ dẫn do các nhà nghiên cứu đưa ra.

Dưới đây trình bày nghiên cứu về đặc tính mài mòn đặc trưng cho các chất đàn hồi dựa trên định luật ma sát tổng quát.

2.8.2. Cơ sở thực tế dùng xây dựng định luật tổng quát về ma sát trên bề mặt vật rắn của các môi trường đàn hồi ứng dụng trong gia công kim loại bằng áp lực

Đặc điểm nổi bật của ma sát tiếp xúc của các chất đàn hồi (cao su, polyuretan) được dùng trong nhiều nguyên công gia công áp lực kim loại là sự biến thiên độ cứng thực H_r , và tất nhiên là ứng suất tiếp xúc do thay đổi ứng suất thực (Hình 2.44) trong biến dạng đàn hồi tại các điểm khác nhau trong ổ biến dạng (Hình 3.1) cũng như tác dụng của áp suất lên toàn khối dụng cụ đàn hồi. Khi đó, áp lực biến dạng có thể đạt tới độ lớn từ một vài ngàn đến thậm chí hàng chục ngàn atm. Những tính chất cơ học này, cụ thể là trở lực cắt của vật liệu đàn hồi, sau đó là tham số ma sát khô τ của chất đàn hồi cũng phải chịu sự thay đổi do áp suất tiếp xúc thực.

Khi đó, áp suất tiếp xúc là:

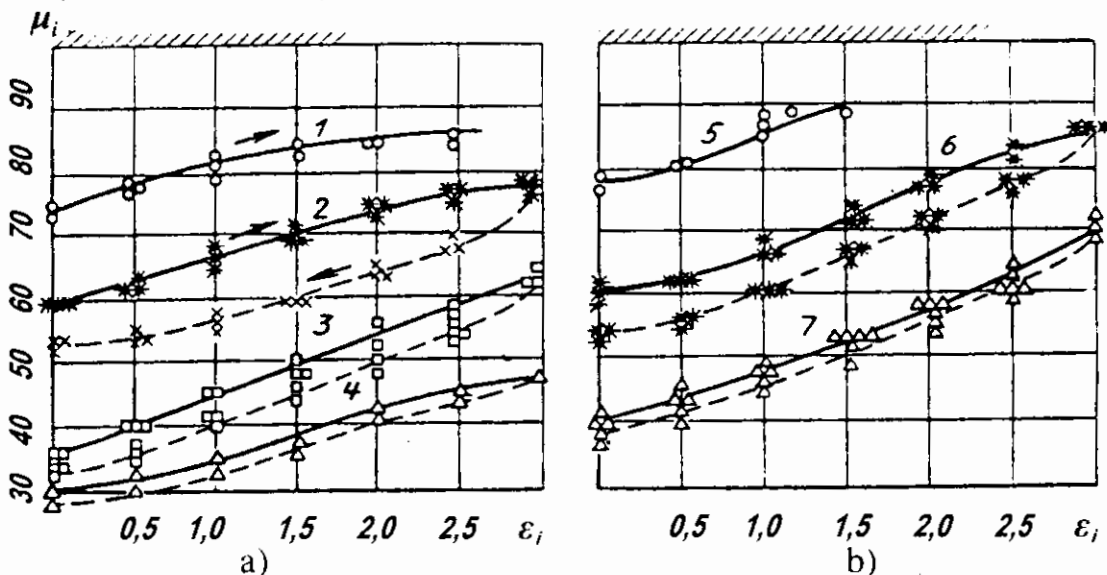
$$q_i = q_{rc} \pm \Delta q_{dh}; \quad (2.58)$$

trong đó:

- q_{rc} : áp suất thủy tĩnh đặt lên khối dụng cụ đàn hồi;
- Δq_{dh} : lượng biến thiên áp suất do biến dạng của dụng cụ đàn hồi tới các lớp bám dính với phiến biến dạng (thay đổi từ 0 đến vài trăm atmophe).

Trong khi tiến hành việc phân tích trên đây các nhà nghiên cứu xuất phát từ luận cứ cho rằng, đặc tính quan trọng nhất của các chất đàn hồi có quyết định tính chất ma sát của chúng chính là trở lực cắt. Rõ ràng là tất cả những yếu tố đó ảnh hưởng tới sự biến thiên trở lực cắt của vật liệu, cũng như mức độ ảnh hưởng tới tính chất ma sát của vật liệu. Những yếu tố trước tiên là áp suất thủy tĩnh, nhiệt độ trong vùng ma sát và tốc độ trượt. Như vậy hiển nhiên là có mối liên hệ giữa ma sát trong và ma sát ngoài.

Nói cách khác, khi có các áp suất tiếp xúc xác định, trở lực cắt trên các bề mặt tiếp xúc khi có ma sát ngoài phải bằng ứng suất cắt giới hạn của vật liệu làm một trong hai bề mặt ma sát.

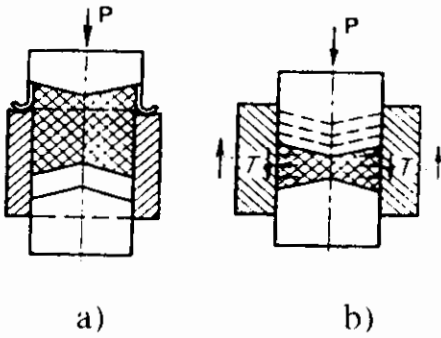


Hình 2.44. Đồ thị độ cứng thật và hàm xấp xỉ $H_i = f(\epsilon_i^{dh})$ của cao su a) và polyuretan b)

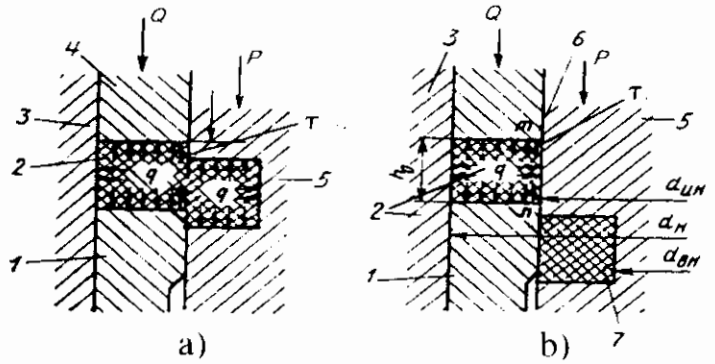
H_0 - độ cứng ban đầu (Sor): 1-75; 2-59; 3-36; 4-30; 5-89; 6-68; 7-48

Liên quan đến những bài toán riêng lẻ quan trọng, để tìm cách giải thông qua tham số τ của lực ma sát ngoài của chất đàn hồi (cũng như các vật liệu khác) như suy ra từ các mối liên hệ nêu trong mục II.VI là các yếu tố sau đây:

- 1) Nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất thủy tĩnh đối với trở lực cắt của các chất đàn hồi đặc trưng và các vật liệu khác dùng trong thiết kế dụng cụ biến dạng khối để gia công áp lực kim loại.



Hình 2.45. Sơ đồ phương pháp П.И. Давидков xác định tham số ma sát bằng cách đẩy vật liệu qua ống mẫu và nén giữa hai đầu côn
 a: vị trí ban đầu; b: trong giai đoạn thí nghiệm
 P: Lực nén; T: Lực ma sát



Hình 2.46. Sơ đồ phương pháp để kết hợp phân tích tính chất ma sát của vật liệu với các áp suất thủy tĩnh khác nhau
 a: giai đoạn trượt; b: giai đoạn ma sát; 1: ổ tĩnh-cối cắt; 2: mẫu thí nghiệm; 3: buồng ép; 4: chày nén để tạo ra áp suất thủy tĩnh; 5: rãnh chứa thể tích phần dưới; 6: phần còn lại của mẫu; 7: phần mẫu tách ra sau khi cắt; m, n: bề mặt cắt

2) Nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất thủy tĩnh tới sự biến thiên lực ma sát riêng trong ổ tiếp xúc của vật liệu với dụng cụ đàn hồi.

3) Xác lập mối liên hệ về lượng giữa trở lực cắt, lực ma sát riêng và áp suất thủy tĩnh. Các nỗ lực để tính toán ảnh hưởng nhiệt độ trong vùng ma sát và vận tốc trượt thực sự làm phức tạp thêm cho việc giải quyết các bài toán này vì vậy trong trường hợp này không xem xét đến.

Dưới đây là mô tả các nghiên cứu thực nghiệm nhằm giải bài toán trên đây với các chất đàn hồi đặc trưng được sử dụng trong quá trình gia công áp lực kim loại bằng các môi trường đàn hồi, chất lỏng-đàn hồi, và chất khí-đàn hồi.

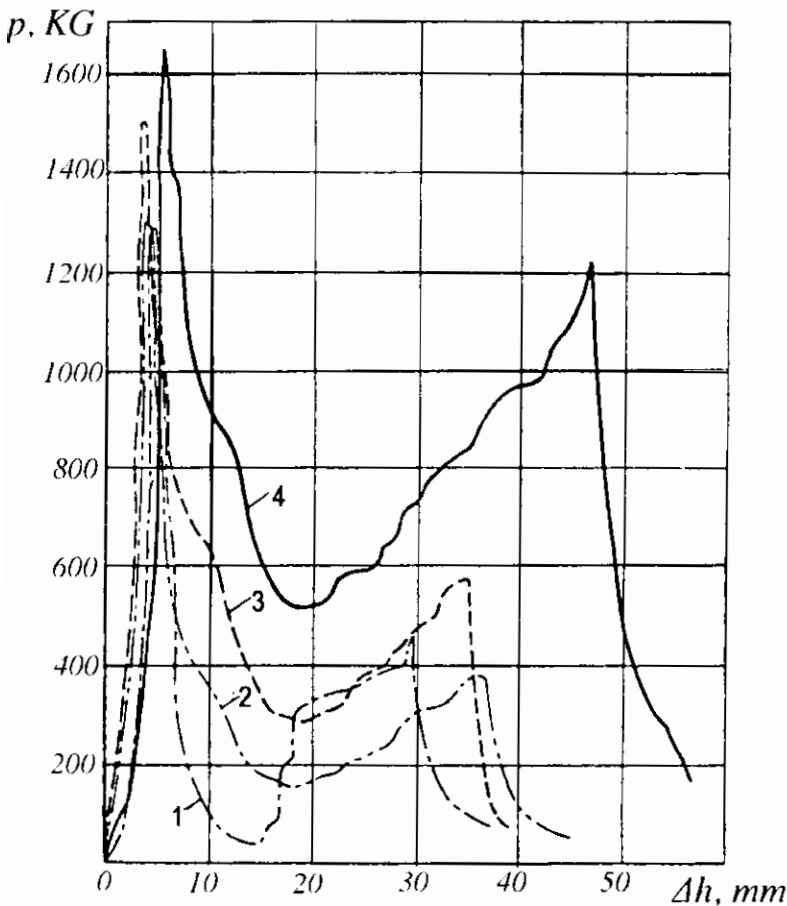
Việc giải quyết bài toán thứ nhất và bài toán thứ hai rất đáng chú ý bởi dạng phức tạp, tức là trong mỗi quan hệ qua lại giữa cơ tính của vật liệu các cặp ma sát và tính ma sát của chúng ở lớp bề mặt. Dưới đây trình bày phương pháp tiến hành việc phân tích thí nghiệm phức tạp đó.

2.8.3. Phương pháp xác định các tính chất tổng hợp

Ta đã biết một số phương pháp thử tính chất ma sát của vật liệu. Hiệu quả nhất và phổ biến nhất là phương pháp ép giữa hai đầu côn trong ống hình trụ (Hình 2.45). Tính chất mài mòn của vật liệu được tính theo đại lượng hệ số ma sát giữa nó với các thành ống. Nhược điểm của phương pháp này và các phương pháp khác là không xác định được mối tương quan giữa các tham số ma sát trong và ma sát ngoài khi áp suất thủy tĩnh khác nhau.

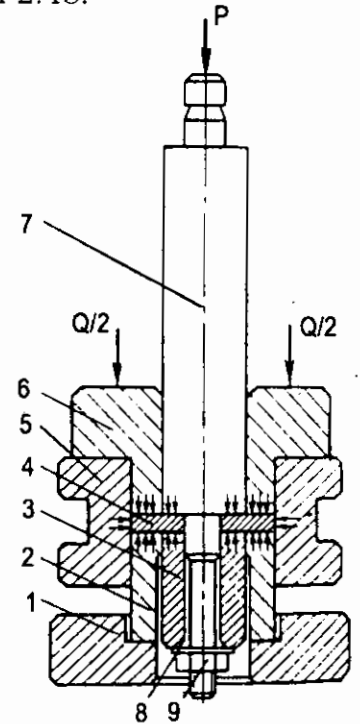
Như đã nhận định ở trên, đáng chú ý nhất là phương pháp xác định tính chất ma sát của vật liệu, phương pháp này cho phép ta có được mối liên hệ giữa

các tham số ma sát trong và ma sát ngoài của vật liệu bằng các áp suất thủy tĩnh khác nhau. Điều đó có thể đạt được bằng dịch trượt liên tục lần lượt (Hình 2.46a) giữa hai bề mặt cứng 4 và 5 của các mẫu thí nghiệm 2 được ép từ mọi phía cho đến khi đứt (cắt rời) một phần của nó so với phần kia, và bằng cách trượt liên tục (Hình 2.46b) bề mặt bị cắt của vật liệu thí nghiệm 6 bị nén bởi bề mặt của vật 5; lực P được đo trong quá trình dịch chuyển này. Khi đó phần bị cắt 7 còn lại của mẫu thí nghiệm chịu áp lực nén đã biết với cường độ q_{rc} . Phương pháp này đảm bảo nhận được những đặc trưng phức tạp của ma sát, chỉ ra quan hệ của ma sát trong (giai đoạn bắt đầu) và ma sát ngoài (giai đoạn sau). Các tính chất ma sát đối với polyuretal được chỉ ra trên hình 2.47 (độ cứng $H_0=48$ Sor). Sơ đồ thí nghiệm xác định mối quan hệ giữa ma sát trong và ma sát ngoài của vật liệu polyuretal được nêu trong hình 2.48.



Hình 2.47. Thí dụ về tính chất phức hợp lưu biến-ma sát đối với polyuretal xác định sự tương tác giữa các thông số ma sát trong và ngoài:

1- $q_{rc}=1330$ KG/cm²; 2- $q_{rc}=1320$ KG/cm²; 3- $q_{rc}=1530$ KG/cm²; 4- $q_{rc}=1690$ KG/cm².



Hình 2.48. Thiết bị dùng xác định tính chất lưu biến-ma sát của vật liệu với các áp suất thủy tĩnh khác nhau

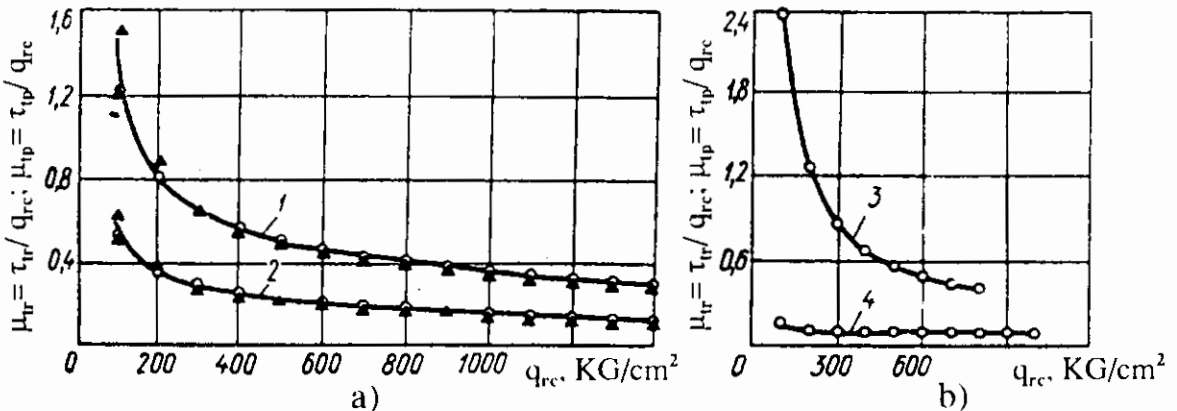
Thu thập các số liệu lực cắt thuần túy và trượt trong các giai đoạn khác nhau của thí nghiệm với những áp suất thủy tĩnh khác nhau (từ 0 đến 1000-1600 KG/cm²) cho các chất đàn hồi có độ cứng ban đầu khác nhau người ta rút ra được hai mối liên hệ:

1. Sự thay đổi độ lớn của ứng suất trượt khi cắt thuần túy và ma sát khô là hàm của áp suất thủy tĩnh đối với chất đàn hồi thí nghiệm.

2. Sự thay đổi của đại lượng không thứ nguyên là tỷ số giữa ứng suất trượt khi cắt thuần túy với ứng suất tiếp trên khối tám mặt là hàm của áp suất thủy tĩnh đối với các chất đàn hồi được nghiên cứu (cao su, polyuretán) có độ cứng ban đầu khác nhau.

Thí dụ trên hình 2.49a, b minh họa cho các mối liên hệ nêu trên. So sánh các mối quan hệ đối với cắt thuần túy (đường cong 1 và 3) và ma sát (đường cong 2 và 4) cho thấy tính chất giống nhau của chúng và đặc biệt là xu hướng xích gần nhau tiến tới trùng nhau khi tăng áp suất thủy tĩnh. Từ đó suy ra rằng sự cắt đàn-dẻo diễn ra trên cơ sở vật lý ma sát và điều đó đến nay đã được chứng minh.

Từ đó cũng suy ra rằng, trong các qui trình công nghệ thực tế, hệ số ma sát của chất đàn hồi với phôi và dụng cụ không phải là một hằng số mà là một hàm số phức tạp. Hàm số này biến thiên theo trở lực cắt, độ cứng của chất đàn hồi, độ lớn của áp suất thủy tĩnh trong vùng tiếp xúc và nhiều yếu tố khác mà có ảnh hưởng tới ứng suất cắt giới hạn. Các tham số này và các hàm phụ thuộc vào tính chất lưu biến-ma sát của các chất đàn hồi được trình bày trong bảng 2.12-2.13.



Hình 2.49. Sự thay đổi của ứng suất cắt khi cắt thuần túy (đường cong 1 và 3) và ma sát (2 và 4) theo áp suất thủy động
a: đối với cao su ($H_{\sigma}=77$ Sor); b: đối với polyuretán ($H_{\sigma}=89$ Sor);
1: $\mu_{tr} = f(q_{rc}) = 101,4 / q_{rc} + 0,271$; 2: $\mu_{tp} = f(q_{rc}) = 44 / q_{rc} + 0,11$;
3: $\mu_{tr} = f(q_{rc})$; 4: $\mu_{tp} = f(q_{rc}) = 101,4 / q_{rc}$.

Bảng 2.12: Các tham số gần đúng đặc trưng cho tính ma sát-lưu biến của chất đàn hồi

Chất đàn hồi	H_0 , sor	C_1'	C''	M_0'	M_0''	Mối quan hệ gần đúng	
						đối với trượt	đối với ma sát
Cao su						$\mu_{tr} = \frac{C'}{q} + \mu_0'$ $\mu_{ms} = \frac{C''}{q} + \mu_0''$	
3311	30	47,4	0,99	0,038	0,045		
1847	35	57	19,5	0,065	0,077		
3826	60	108,6	19,5	0,125	0,107		
4004	75	101,4	44	0,271	0,110		
Polyuretan							
4225	40	101,4	7	0,073	0,45		
1226	60	162	3,99	0,06	0,06		
1227	78	228,9	6,48	0,1	0,077		

Bảng 2.13: Các hàm hợp của đặc trưng ma sát-lưu biến

Chất đàn hồi	Trượt		Ma sát	
	C'	M_0'	C''	M_0''
Cao su	$0,89 \cdot H_0^{1,17}$	$0,209 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,61}$	$1,62 \cdot 10^{-1} \cdot H_0^{1,57}$	$1,51 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,05}$
	$\mu_{tr} = \frac{0,89 \cdot H_0^{1,17}}{q} + 0,209 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,61};$ $\tau_{tr} = 0,89 \cdot H_0^{1,17} + 0,209 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,61} \cdot q;$ $\mu_{ms} = 1,62 \cdot 10^{-1} \frac{H_0^{1,57}}{q} + 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,05};$ $\tau_{ms} = 1,62 \cdot 10^{-1} \cdot H_0^{1,57} + 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,01} \cdot q$			

	$1,215 \cdot H_0^{1,2}$	$0,612 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,175}$	$1,595 \cdot 10^{-1} \cdot H_0^{1,875}$	$1,385 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{0,915}$
Polyuretan	$\mu_w = \frac{1,215 \cdot H_0^{1,2}}{q} + 0,612 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,39};$ $\tau_w = 1,215 \cdot H_0^{1,2} + 0,612 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{1,39} \cdot q;$ $\mu_{ms} = 1,595 \cdot 10^{-1} \frac{H_0^{0,176}}{q} + 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{0,915}$ $\tau_{ms} = 1,595 \cdot 10^{-1} \cdot H_0^{0,876} + 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{0,915} \cdot q.$			

2.8.4. Biểu thức lực ma sát riêng để tính toán định lượng ma sát tiếp xúc khi tạo hình bằng các môi trường chất lỏng-dàn hồi sử dụng cao su và polyuretan

Kết quả của các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cũng như việc xử lý số liệu thu được là những quan hệ biến thiên các thông số cơ bản của ma sát khô đối với độ cứng ban đầu của các chất đàn hồi sau đây:

1- Lực ma sát riêng hay ứng suất trượt τ đối với cao su:

$$\tau = 1,62 \cdot 10^{-1} H_0^{1,57} + 1,52 \cdot 10^{-3} H_0^{1,05} \quad (2.59)$$

đối với polyuretan:

$$\tau = 1,595 \cdot 10^{-1} H_0^{0,876} + 1,385 \cdot 10^{-3} H_0^{0,915} \quad (2.60)$$

trong đó H_0 - độ cứng ban đầu của chất đàn hồi tính theo đơn vị Sor.

Mối quan hệ tổng quát dưới dạng tham số để áp dụng cho phân tích lý thuyết chung có dạng:

$$\tau = \lambda H_0^\varphi + \beta H_0^\xi q_{rc} \quad (2.61)$$

2- Hàm số không thứ nguyên của ma sát hay còn gọi là hệ số ma sát có thể biểu diễn dưới dạng:

$$\mu = 1,62 \cdot 10^{-1} \frac{H_0^{1,57}}{q_{rc}} + 1,52 \cdot 10^{-3} H_0^{1,05} \quad (2.62)$$

Đối với polyuretan:

$$\mu = 1,595 \cdot 10^{-1} \frac{H_0^{0,876}}{q_{rc}} + 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^{0,915} \quad (2.63)$$

Dạng chung:

$$\mu = \lambda \frac{H_0^\phi}{q_{rc}} + \beta \cdot H_0^\xi \quad (2.64)$$

Những hệ thức này được dùng trong phương trình ma sát tổng quát để tính toán lực ma sát khô.

Như vậy, ma sát tiếp xúc của các môi trường đàn hồi như cao su và polyuretan với vật rắn mà quá trình phức tạp có nhiều thành phần tham gia của sự tương tác trong đó không thể có mối quan hệ một chiều thông thường như theo định luật của Alôntôn-Culông.

Có thể cho rằng dựa vào hiện tượng ma sát của các chất đàn hồi với vật rắn mà tính toán được ứng suất cắt, còn cường độ của lực ma sát tiếp xúc được qui định bởi các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ ứng suất cắt giới hạn của chất đàn hồi.

Các yếu tố quyết định lực ma sát riêng đối với chất đàn hồi là: áp suất thủy tĩnh, độ cứng của môi trường đàn hồi và các thông số trượt đặc trưng cho môi trường đó.

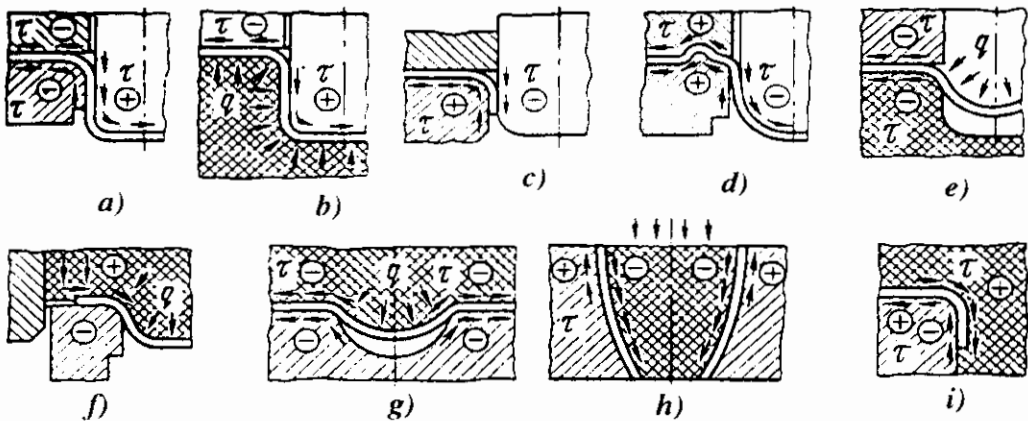
Chương III

MA SÁT VÀ CHẤT BÔI TRƠN TRONG DẬP TẮM

3.1. LUẬN ĐIỂM CHUNG

Quá trình dập tấm có vai trò vô cùng quan trọng trong lĩnh vực gia công kim loại bằng áp lực nói riêng và trong lĩnh vực chế tạo máy nói chung. Việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng chính tới quá trình vì vậy là rất cần thiết. Trong cùng một quá trình gia công kim loại bằng áp lực, lực ma sát có thể tác dụng cả có lợi lẫn có hại đến các phần khác nhau của bán thành phẩm (xem Hình 1.3 và 3.1) nên cần phải xem xét ảnh hưởng của lực ma sát từ những ảnh hưởng này.

Thực tế, từ việc xem xét sơ đồ các quá trình thể hiện trên hình 3.1 suy ra rằng, mỗi quá trình đều chịu ảnh hưởng tốt (ký hiệu là "+") và ảnh hưởng xấu (ký hiệu là "-") của lực ma sát ngoài. Chẳng hạn, khi dập vuốt sâu trong khuôn cứng (Hình 3.1a) lực ma sát ngoài giữa cối, tấm chặn với phôi có tác dụng xấu trong khi lực ma sát ngoài giữa chày và phôi lại có tác dụng thúc đẩy quá trình. Để tăng khả năng tạo hình cho đa số qui trình công nghệ dập tấm đến mức cao nhất tất yếu phải tìm kiếm những phương thức để tăng (khi cần) hoặc hạn chế ảnh hưởng của ma sát ngoài.



Hình 3.1. Ma sát khi dập tấm (dấu "+": lực ma sát có lợi; dấu "-": lực ma sát có hại)
a) dập vuốt trong khuôn cứng; b) dập vuốt bằng cối chất dẻo theo chày cứng, có chặn; c) lên vành bằng khuôn cứng; d) dập vuốt hình bán cầu bằng khuôn cứng; e) dập vuốt bằng chày cao su hoặc chất lỏng trong cối cứng; f) dập vuốt ma sát; g) Dập nổi; h) dập vuốt bằng chày chất dẻo hoặc chất lỏng trong cối cứng từ phôi không gian; i) gấp mép bằng chày cao su

Để giảm ma sát ngoài, cách hiệu quả nhất trong dập tấm là sử dụng các chất bôi trơn khác nhau là khí, lỏng hay dẻo-nhớt làm môi trường, cũng có khi dùng huyền phù hỗn hợp gồm các phân tử chất rắn có độ phân tán cao ở dạng bột pha trong chất lỏng và các môi trường dẻo-nhớt khác (như graphit+nước, graphit+dầu, huyền phù môtipôten-diôxít môtipôten+paraphin v.v...). Các biện pháp tăng ma sát dẫn tới việc duy trì các điều kiện ma sát khô và bằng cách này hay cách khác tăng lực ma sát riêng τ , ví dụ như cho các loại bột mài có độ phân tán cao hoặc phủ lớp vật liệu mài lên các bề mặt ma sát.

Dưới đây sẽ xem xét cơ sở lý luận của ma sát ướt trong dập tấm và cơ sở của việc tăng cường ma sát tiếp xúc trong cùng điều kiện.

Lý thuyết ma sát ướt trong dập tấm được xem xét áp dụng với quá trình đặc trưng nhất - quá trình dập vuốt trong khuôn cứng (Hình 3.1a). Quá trình này được coi là đặc trưng bởi vì công đoạn này (xem Hình 3.1, 3.3) và các công đoạn khác của dập vuốt có những điểm giống nhau nhiều đáng kể.

3.2. CƠ SỞ CỦA MA SÁT ƯỚT TRONG DẬP VUỐT

Điều kiện cần thiết để duy trì chế độ ma sát thủy động là sự tồn tại của áp suất thủy động dư tác động đều khắp trong lớp bôi trơn đóng vai trò lực đẩy của bề mặt trượt dưới ảnh hưởng của tải trọng bên ngoài. Tải trọng này có thể được đặt lên bề mặt dịch chuyển đó (Hình 3.2).

Lý thuyết ma sát thủy động sử dụng những phương trình thủy động đã biết có dạng phương trình Navie-Stocks. Trong hệ tọa độ trực giao có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= \\ &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \\ \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} &= \\ &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= \\ &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

hoặc ở dạng vectơ, phương trình Navie-Stocks có dạng:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \vec{v} \quad (3.1')$$

trong đó: - x, y, z: các trục tọa độ;

- t: thời gian;

- X, Y, Z: các thành phần của lực khối \vec{F} ;

- v_x, v_y, v_z : các thành phần của vectơ vận tốc \vec{v} ;

- ν : độ nhớt động học;

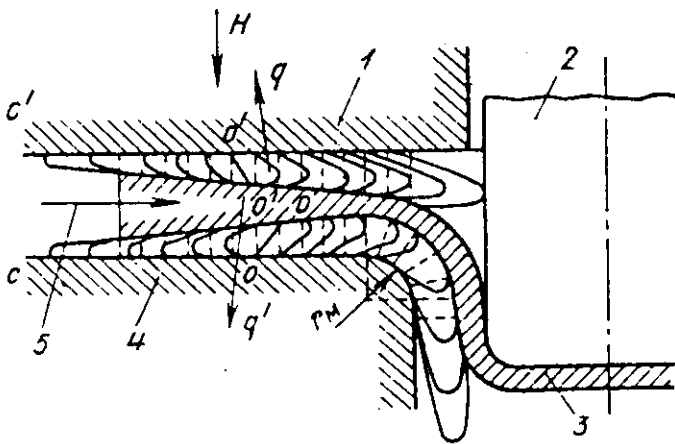
- ρ : khối lượng riêng của chất lỏng.

Hệ phương trình (3.1) được giải cùng với phương trình liên tục, chỉ xét cho trường hợp chất lỏng không nén được (khối lượng riêng không đổi), có dạng:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

hoặc dưới dạng vectơ:

$$\text{div } \vec{v} = 0 \quad (3.2')$$



Hình 3.2. Chuyển động của lớp chất bôi trơn trong khe hở giữa phôi-cối-vành chặn

1: vành chặn; 2: chày; 3: phôi; 4: cối; 5: hướng chuyển động; q và q': áp lực của lớp bôi trơn; H: lực nén; O-O và O'-O': đường vận tốc bôi trơn bằng không; C-C': vùng áp lực bôi trơn bằng không.

Ứng suất ma sát trong hệ tọa độ Đềcác:

$$\left. \begin{aligned} p_{xx} &= -p + 2\eta \frac{\partial v_x}{\partial x}; & p_{xy} &= p_{yx} = \eta \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right); \\ p_{yy} &= -p + 2\eta \frac{\partial v_y}{\partial y}; & p_{xz} &= p_{zx} = \eta \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right); \\ p_{zz} &= -p + 2\eta \frac{\partial v_z}{\partial z}; & p_{yz} &= p_{zy} = \eta \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Trong hệ tọa độ trụ, phương trình Navie-Stocks có dạng:

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} = F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \\
 & + \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r}{r^2} \right); \\
 & \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} = F_\theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \\
 & + \nu \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta}{r^2} \right); \\
 & \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \\
 & + \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right).
 \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Phương trình liên tục trong hệ tọa độ trụ, có dạng:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} = 0. \quad (3.5)$$

ứng suất ma sát trong hệ tọa độ trụ:

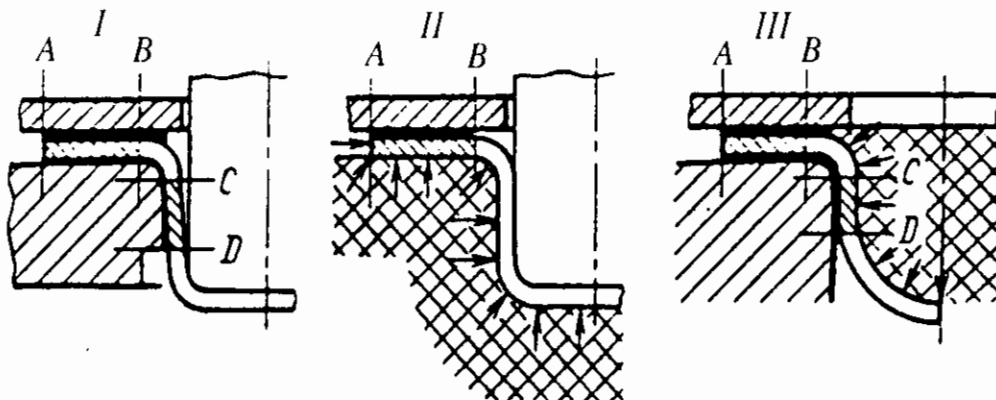
$$\left. \begin{aligned}
 p_{rr} &= -p + 2\eta \frac{\partial v_r}{\partial r}; \\
 p_{r\theta} &= \eta \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} \right); \\
 p_{\theta\theta} &= -p + 2\eta \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r}{r} \right); \\
 p_{\theta z} &= \eta \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} \right); \\
 p_{zz} &= -p + 2\eta \frac{\partial v_z}{\partial z}; \\
 p_{zr} &= \eta \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right).
 \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Để giải hệ phương trình đã cho ta cần phải giản lược đi một số yếu tố.

Đối với dập tấm các yếu tố có thể bỏ qua là:

- 1) Quán tính của lớp bôi trơn rất nhỏ.
- 2) Lớp bôi trơn được coi như chất lỏng không nén được.
- 3) Độ nhớt ở các phần khác nhau của lớp bôi trơn là không đổi.
- 4) Chế độ chảy trong lớp bôi trơn là chảy tầng, vì khe hở nhỏ.
- 5) Chất lỏng bôi trơn bám dính vào thành dụng cụ (trên thành cố định của cối và trên thành của vành chặn thì vận tốc của chất lỏng bằng không; trên thành chuyển động thì vận tốc của chất lỏng bằng vận tốc của thành động).

Sơ đồ tác dụng thủy động của chất bôi trơn trên bề mặt vành của phôi trong dập vuốt được biểu diễn trên hình 3.2. Hình 3.3 cho thấy các sơ đồ chính của 3 phương pháp dập vuốt cơ bản trong khuôn cứng (I); dập bằng cối đàn hồi, lỏng hay khí trên chày cứng (II); bằng chày đàn hồi, chất lỏng hay chất khí trong cối cứng (III).



Hình 3.3. Sơ đồ dùng để tính toán lực ma sát đối với phương pháp dập vuốt cơ bản khi có lớp bôi trơn chịu nén thủy động

Từ việc xem xét các sơ đồ thấy rằng trở lực ma sát có thể xảy ra trong từng trường hợp được coi như bằng tổng các lực ma sát thành phần tác dụng lên cùng một phần đơn giản của dụng cụ dập, có nghĩa là:

$$\begin{aligned}
 F_I &= F_{AB} + F_{BC} + F_{CD} \\
 F_{II} &= F_{AB} \\
 F_{III} &= F_{AB} + F_{BC} + F_{CD}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Do đó bài toán xác định ma sát giữa phôi với dụng cụ trong dập vuốt có duy trì chế độ bôi trơn thủy động có thể được coi như một loạt các bài toán đơn giản: bôi trơn từng phần. Dưới đây xem xét một số bài toán có liên quan đến ma sát thủy động trong dập tấm.

3.2.1. Ma sát trên phần hình trụ của cối khi khe hở giữa phôi và cối là nhỏ

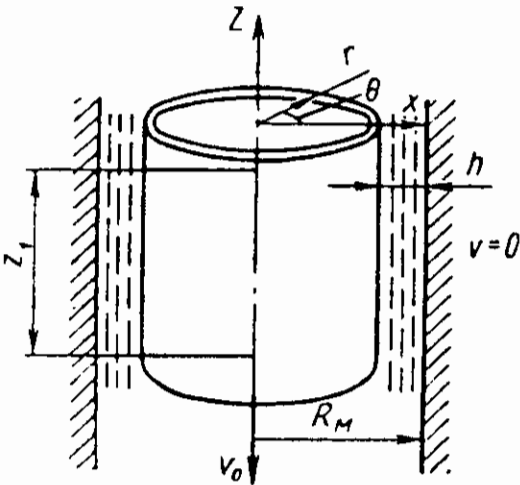
Việc giải bài toán này dẫn đến xác định ma sát giữa thành cối và phôi và do khe hở giữa chúng rất nhỏ nên được coi là cố định. Chỉ số Reynolds tương đối nhỏ trong đập cho phép coi chuyển động của lớp bôi trơn là chảy tầng.

Vì tính chất đối xứng của chuyển động nên các thành phần vận tốc của lớp bôi trơn là:

$$\left. \begin{aligned} v_r = v_\theta = 0 \\ v_z = v(r, z) \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Phương trình chuyển động có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} &= 0 \\ \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial \theta} &= 0 \\ v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$



Hình 3.4: Xác định lực ma sát trên phần hình trụ của cối khi khe hở giữa phôi và cối
r: bán kính tiết diện chi tiết; *R_M*: bán kính cối; *h*: khe hở giữa phôi và cối; *v₀*: vận tốc chuyển động trung bình của phôi; *Z_j*: chiều dài phần thành hình trụ

Phương trình liên tục có dạng:

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (3.9)$$

Hệ phương trình chuyển động của chất bôi trơn có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial p}{\partial \theta} = 0 \\ \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} = \eta \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Với các điều kiện biên:

$$\left. \begin{aligned} r = R_M ; v_z = 0 \\ r = R_M - h; v_z = v_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Từ hai phương trình đầu của hệ phương trình (3.10) suy ra:

$$\left. \begin{aligned} p = p(z) \\ v_z = v(r) \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Khi đó phương trình thứ 3 của hệ (3.10) có thể giải được nếu hai vế của nó đều bằng một hằng số, bởi vì vế trái chỉ là hàm của z còn vế phải chỉ là hàm của r . Suy ra:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = C_1 \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{C_1}{\eta} \quad \text{hay} \quad \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{C_1}{\eta} r \quad (3.14)$$

Tích phân những phương trình trên nhận được:

$$\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{C_1}{2\eta} r + \frac{C_2}{r} \quad (3.15)$$

Tích phân lần nữa ta được:

$$v_z = \frac{C_1}{4\eta} r^2 + C_2 \ln r + C_3 \quad (3.16)$$

Nhưng vì chuyển động xảy ra không phải do áp lực, cho nên $p =$ hằng số và $C_1 = 0$, suy ra:

$$v_z = C_2 \ln r + C_3 \quad (3.17)$$

Để thỏa mãn điều kiện biên của hệ phương trình (3.11), ta thay (3.17) vào (3.11) và có:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= C_2 \ln R_M + C_3 \\ v_0 &= C_2 \ln(R_M - h) + C_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Từ đó suy ra:

$$C_2 = -\frac{v_0}{\ln R_M - \ln(R_M - h)}; \quad (3.19)$$

$$C_3 = \frac{v_0 \ln R_M}{\ln R_M - \ln(R_M - h)}; \quad (3.20)$$

Suy ra:

$$v_z = \frac{v_0 (\ln R_M - \ln r)}{\ln R_M - \ln(R_M - h)}; \quad (3.21)$$

Ứng suất tiếp xúc:

$$p_{rz} = \eta \frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{\eta v_0}{r [\ln R_M - \ln(R_M - h)]} \quad (3.22)$$

Lực trên một đơn vị diện tích của thành (Hình 3.4) là:

$$\tau_{zR} = \frac{\eta v_0}{(R_M - h) [\ln R_M - \ln(R_M - h)]} \quad (3.23)$$

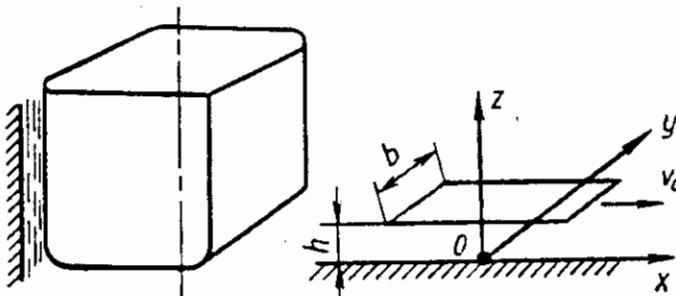
Khi đó lực ma sát $T = \tau_{zR} \cdot S$ [S - diện tích vùng ma sát trên phần hình trụ của cối: $S = 2\pi(R_M - h)z$]. Từ đó lực ma sát là:

$$T = \frac{2\pi\eta v_0 z}{\ln R_M - \ln(R_M - h)} \quad (3.24)$$

Suy ra rằng lực ma sát tỷ lệ với độ nhớt của chất bôi trơn, vận tốc dập và thay đổi theo chiều dài phần hình trụ của sản phẩm theo quy luật tuyến tính.

Xem xét ma sát sinh ra trong dập các chi tiết không có vành (Hình 3.5), khi đó:

$$\left. \begin{aligned} v_y &= v_z = 0 \\ v_x &= v(x, z) \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$



Hình 3.5. Tác dụng của chất bôi trơn trong khe hở giữa chày-cối khi dập vuốt chi tiết có thành thẳng đứng

Phương trình (3.1) áp dụng cho trường hợp này có dạng:

$$\left. \begin{aligned} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

Điều kiện liên tục (33) cho:

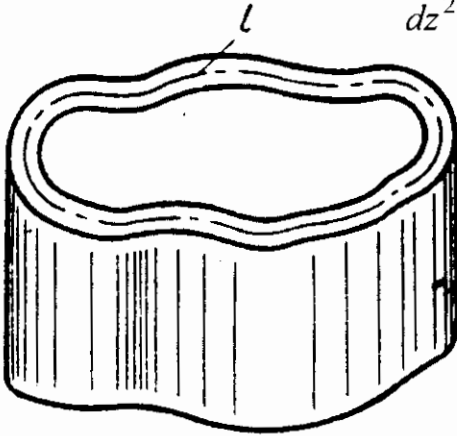
$$\frac{\partial v_x}{\partial x} = 0 \quad (3.27)$$

Khi đó thay phương trình (3.27) vào phương trình (3.26) ta được:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \quad (3.28)$$

Với $p = p(x)$ hai vế của phương trình (3.28) không đổi, vì vậy $\frac{dp}{dx} = 0$, suy ra:

$$\frac{d^2 v_x}{dz^2} = 0; \quad (3.29)$$



Hình 3.6. Xác định lực ma sát trong khe hở giữa chày-cối, khi dập vuốt chi tiết có thành thẳng góc với vành

Sau khi tích phân ta được:

$$\frac{dv_x}{dz} = C_1 \text{ và } v_x = C_1 z + C_2. \quad (3.30)$$

Từ điều kiện biên khi $z = 0$, $v_x = 0$ và khi $z = h$, $v_x = v_0$ ta có $C_2 = 0$, $C_1 = \frac{v_0}{h}$.

Khi đó biểu thức tính vận tốc có dạng:

$$v_x = \frac{v_0 z}{h}. \quad (3.31)$$

ứng suất tiếp xúc là:

$$p_{zx} = \eta \frac{dv_x}{dz} = \frac{\eta v_0}{h} \quad (3.32)$$

Bằng cách thay đổi hướng của trục x và z thu được biểu thức tính lực ma sát:

$$T = \frac{b \eta v_0 z}{h}. \quad (3.33)$$

Từ công thức trên thấy rằng, lực ma sát tỷ lệ thuận với độ nhớt của chất bôi trơn, vận tốc dập và độ dài của phôi và tỷ lệ nghịch với khe hở giữa cối và phôi. Dọc theo phần hình trụ của sản phẩm lực ma sát biến thiên theo qui luật tuyến tính.

Trong dập chi tiết có hình dạng phức tạp gồm các phần thành hình trụ cong và phần thành thẳng, lực ma sát theo chu vi trên phần thành thẳng có giá trị:

$$b = \frac{2\pi h}{\ln R_M - \ln(R_M - h)} \quad (3.34)$$

Bỏ qua vô cùng bé bậc hai, lực ma sát tác động lên phôi trong dập chi tiết có chu vi bất kỳ:

$$T = \frac{\eta v_0 l z}{h}, \quad (3.35)$$

trong đó, l - độ dài trung bình của chu vi (Hình 3.6).

Suy ra rằng, lực ma sát tỷ lệ thuận với độ nhớt của chất bôi trơn, tốc độ dập, độ dài trung bình chu vi của chi tiết và tỷ lệ nghịch với khe hở giữa cối và chu tuyến của phôi. Quy luật biến thiên của lực ma sát theo chiều dài của phôi là quy luật tuyến tính.

3.2.2. Ma sát trên bán kính lượn của cối khi khe hở không thay đổi

Lợi dụng điều kiện bán kính r_M của cối là rất nhỏ $(8\sqrt{10})s_0$ (Hình 3.7) nên khi xác định lực ma sát ta thay bề mặt hình xuyên tạo thành trên mép cối bằng bề mặt hình trụ khai triển theo đường trung bình. Rõ ràng là nếu dùng hệ tọa độ trụ thì sẽ dễ dàng giải bài toán này. Các thành phần vận tốc trong trường hợp này sẽ là:

$$v_z = v_r = 0; \quad v_\theta = v(r). \quad (3.36)$$

Phương trình chuyển động (3.4) sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial z} &= \rho \frac{v_\theta^2}{r}; \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= \eta r \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} \right) \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.37)$$

Phương trình liên tục cho ta đồng nhất thức.

Từ phương trình 1 của hệ phương trình (3.37) ta có $p = p(r)$, suy ra rằng để tính vận tốc ta có phương trình:

$$\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} = 0 \quad (3.38)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (3.38) có dạng:

$$v_\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} \quad (3.39)$$

Điều kiện biên có dạng:

- khi $r=r_M$ thì $v=0$;
- khi $r=r_M+h$ thì $v=v_0$;

Thay điều kiện biên vào công thức tính v ta tìm được các hằng số:

$$C_1 = \frac{v_0}{r_M + h - \frac{r_M^2}{r_M + h}}; \quad C_2 = \frac{v_0}{\frac{1}{r_M + h} - \frac{r_M^2}{r_M^2}} \quad (3.40)$$

Thay các hằng số C_1 và C_2 vừa tìm được vào phương trình v_θ ta có:

$$v_\theta = v_0 \frac{r_M + h}{h(h + 2r_M)} \left(r - \frac{r_M^2}{r} \right) \quad (3.41)$$

Áp suất:

$$p = \rho v_0 \left[\frac{r_M + h}{h(h + 2r_M)} \right]^2 \left(\frac{r^2}{2} - 2r_M^2 \ln r - \frac{r_M^4}{4} \frac{1}{r^2} + C \right) \quad (3.42)$$

Ứng suất tiếp xúc:

$$p_{r\theta} = \eta \left(\frac{dv_\theta}{dr} - \frac{v_\theta}{r} \right) = \frac{v_0 r_M^2}{h(h + 2r_M)(h + r_M)} \eta \quad (3.43)$$

Khi đó lực ma sát:

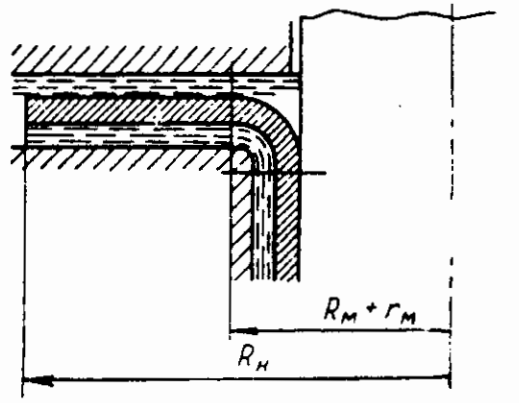
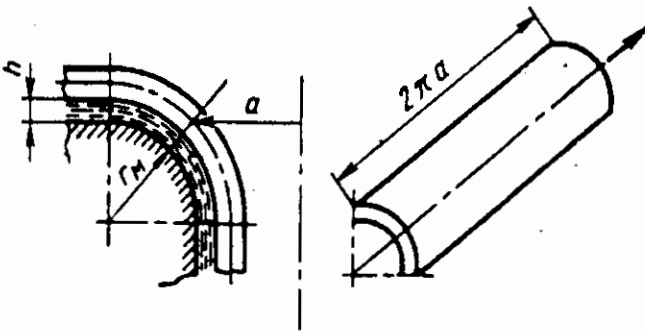
$$T = \frac{4\pi^2 a v_0 r_M^2}{h(h + 2r_M)} \eta \quad (3.44)$$

Lực ma sát tăng lên theo sự tăng vận tốc đập v_0 , bán kính chi tiết đập qui ước có giá trị bằng a (xem hình 3.7), bán kính cối r_M và sự giảm của khe hở h .

Khi đập chi tiết có bề mặt thẳng góc lực ma sát là:

$$T = \frac{2\pi b v_0 r_M^2}{h(h + 2r_M)} \eta \quad (3.45)$$

Trong đó: b - độ dài (chu vi) phần hình trụ của khuôn.



Hình 3.7. Tác dụng của chất bôi trơn trong gân vuốt của cối

Hình 3.8. Xác định lực ma sát trên vành phôi khi khe hở không đổi

3.2.3. Ma sát ở vành phôi khi khe hở không đổi

Việc cho phép có khe hở cố định, giữa phôi, cối và tấm chặn phôi khiến cho nghiệm của bài toán mang tính qui ước. Trong thực tế, khe hở giữa vành phôi và cối là không cố định làm sai lệch đáng kể chế độ ma sát thủy động.

Vấn đề ma sát trên vành phôi có thể được xem như một bài toán đối xứng trục. Khi đó vận tốc:

$$\left. \begin{aligned} v_z = v_\theta = 0; \\ v_r = v(r, z) \end{aligned} \right\}$$

(3.46)

Phương trình chuyển động (3.4) khi đó, có dạng:

$$\left. \begin{aligned} v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} \right); \\ \frac{\partial p}{\partial \theta} &= 0; \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.47)$$

Từ phương trình liên tục thu được:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} = 0 \quad (3.48)$$

Thí nghiệm cho thấy khi khe hở cố định bằng giá trị trung bình thì sai số tính toán không vượt quá 10%.

Từ phương trình (3.48) suy ra rằng:

$$\frac{\partial(v_r r)}{\partial r} = 0 \quad (3.48')$$

Do đó:

$$\left. \begin{aligned} v_r r &= \varphi(z) \\ v_r &= \frac{\varphi(z)}{r} \end{aligned} \right\} \quad (3.48'')$$

Các phương trình (3.47) cho ta biết $p = p(r)$. Lược bỏ các thành phần quán tính, ta có phương trình thứ nhất của hệ phương trình (3.47) có dạng:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} = \nu \frac{1}{r} \frac{d^2 \varphi(z)}{dz^2} \quad (3.49)$$

Từ phương trình (3.49) suy ra:

$$\frac{d^2 \varphi(z)}{dz^2} = \text{const} = C_1, \quad (3.50)$$

Sau khi tích phân, thu được:

$$\varphi(z) = C_1 \frac{z^2}{r} + C_2 z + C_3 \quad (3.51)$$

Để tính lực ma sát giữa vành phôi và cối ta có (xem hình 3.3):

$$F_{AB} = \frac{\pi \left(R_M^2 - (R_M + r_M)^2 \right)}{h} \eta v_{0tb} \quad (3.52)$$

Tuy nhiên công thức này chỉ cho phép tính gần đúng lực ma sát trên vành

phôi. Lí do là vì đã giả định là khe hở giữa cối và phôi cũng như vận tốc dịch chuyển các phần khác nhau của vành phôi không đổi. Trong thực tế có xuất hiện lớp bôi trơn dạng hình nêm làm tăng chiều dày của phôi theo tiết diện vành đối với phần chu vi ngoài. Chiều dày biến thiên của vành được xác định bởi tính chất phân bố biến dạng khi phôi bị nén dần dẽo theo hướng tiếp tuyến khi chịu tác dụng của ứng suất hướng trục.

Vì những nguyên nhân trên, tức là do sự biến đổi kích thước hình học của vành phôi mà tốc độ dịch chuyển của các phần khác nhau của vành phôi cũng biến thiên và khác với vận tốc dịch chuyển của chày. Nói cách khác, kích thước của vành phôi (bán kính và độ dày) trong quá trình biến dạng liên tục thay đổi làm biến đổi kích thước hình học và vận tốc hoạt động của lớp bôi trơn hình nêm.

Như vậy, sự lược bỏ trong quá trình phân tích trên đây sẽ làm đơn giản hoá việc giải các bài toán liên quan đến hoạt động của lớp bôi trơn. Nếu không chấp nhận như vậy thì việc xác định các giá trị thực tế của lực ma sát khi có chế độ thuỷ động của chất bôi trơn sẽ liên quan tới các biểu thức phức tạp không tiện cho ứng dụng vào thực tế. Để minh hoạ cho vấn đề đó, dưới đây sẽ đưa ra một số hệ thức động học trong dập các chi tiết đối xứng trục.

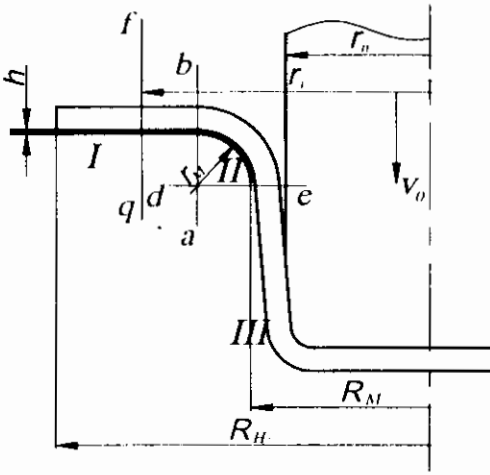
3.2.4. Các hệ thức động học bổ sung trong dập các chi tiết đối xứng trục

Như đã nhận xét, khi dập vuốt, trong quá trình biến dạng dẽo tốc độ dịch chuyển các phần riêng biệt của phôi là khác nhau. Giải bài toán về ma sát trong dập vuốt trước tiên phụ thuộc vào vận tốc dịch chuyển các bộ phận khác nhau của phôi. Xem xét vận tốc chuyển dịch của những phần khác nhau có tính đến hãy bỏ qua sự thay đổi độ dày của vành phôi. Đơn giản hơn cả là trường hợp tính vận tốc chuyển động các bộ phận phôi bằng cách giả sử độ dày của nó không thay đổi trong khi dập (Hình 3.9).

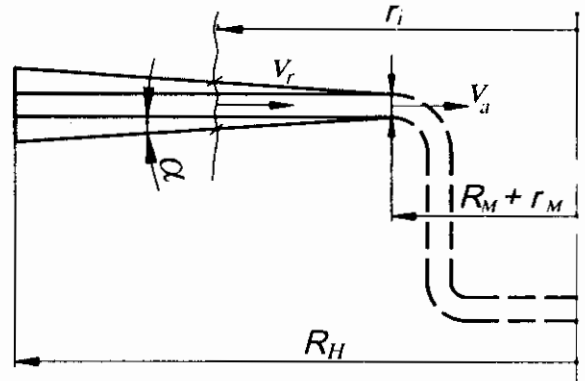
Các hệ thức động học trên phần II của chi tiết đã được xem xét trên đây (Hình 3.7).

Trên phần III tốc độ chuyển động của phôi bằng tốc độ chuyển động của chày v_0 . Ta sẽ xác định vận tốc của vành phôi trên đoạn I. Để thuận tiện cho tính toán sử dụng một số ký hiệu sau:

- r_n : bán kính chày;
- R_M : bán kính cối;
- r_M : bán kính mép cối;
- s : độ dày phôi;
- R_H : Bán kính mép ngoài vành phôi;
- r_i : bán kính tức thời tại phần vành.



Hình 3.9. Xác định lực ma sát (cản trở chuyển động của chất bôi trơn) khi dập vuốt sâu



Hình 3.10. Xác định vận tốc chuyển dịch của vành phôi phụ thuộc vào chuyển động của chày và các thông số hình học của phôi

Thể tích vật liệu phôi đi qua mặt cắt tự do $d-e$ trên phần hình trụ của chi tiết là:

$$V_1 = 2\pi \left(r_n + \frac{s}{2} \right) s v_0 \quad (3.53)$$

Thể tích vật liệu đi qua tiết diện $f-g$ ở vành của phôi là :

$$V_2 = 2\pi r_i s v_r \quad (3.54)$$

trong đó v_r - tốc độ chảy của vành.

Theo định luật bảo toàn thể tích, ta có $V_1 = V_2$, hay:

$$2\pi \left(r_n + \frac{s}{2} \right) s v_0 = 2\pi r_i s v_r \quad (3.55)$$

Từ đó, vận tốc chuyển động của vật liệu tại phần vành phôi tùy thuộc vào vận tốc chày, bán kính chày, độ dày phôi và bán kính chảy của vành:

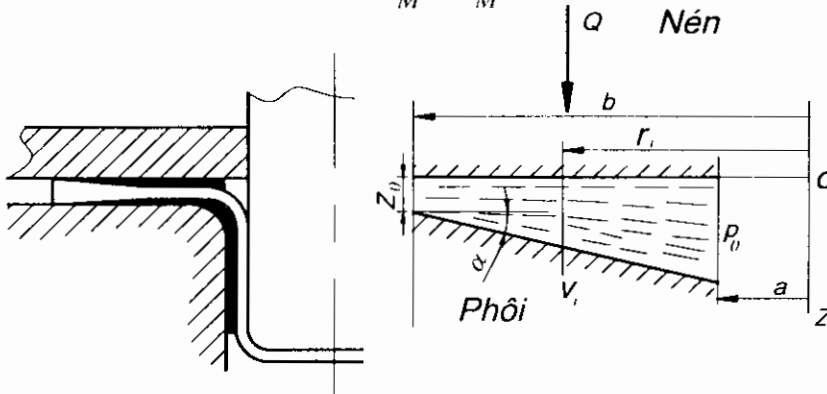
$$v_r = \frac{v_0 \left(r_n + \frac{s_0}{2} \right)}{r_i} \quad (3.56)$$

Đặt $r_n + \frac{s_0}{2} = a$ là một đại lượng không đổi gần bằng R_M , khi đó:

$$v_r = \frac{av_0}{r_i} \quad (3.57)$$

Vận tốc chuyển động của vật liệu phôi ở bán kính lượn của cối có thể tính tương đối chính xác là biến thiên từ tiết diện $d-e$ đến tiết diện $a-b$ theo luật

tuyến tính từ giá trị v_0 đến giá trị $v_0 \frac{r_n + s_0}{R_M + r_M}$.



Hình 3.11. Phân tích điều kiện làm việc thủy động của chất bôi trơn trong phần vành tiết diện hình nêm, giới hạn bởi các mặt phẳng của cối và vành chặn phôi

Tính vận tốc chuyển động vật liệu phôi đối với trường hợp khi độ dày của vật liệu bị biến đổi trong quá trình đập (Hình 3.10). Dựa trên các số liệu thực nghiệm biết rằng độ dày vành phôi biến thiên theo định luật tuyến tính. Theo hình 3.10 ta có:

$$s_i = s_0 + 2(r_i - R_M - r_M)tg\alpha \quad (3.58)$$

Kí hiệu vận tốc vật liệu phôi ở bán kính $R_M + r_M$ là v_a , ta tính thể tích vật liệu chảy qua:

$$V_3 = 2\pi(R_M + r_M)s_0v_a \quad (3.59)$$

Xác định thể tích vật liệu đi qua mặt cắt tại bán kính r_i (Hình 3.10):

$$V_r = 2\pi r_i [s_0 + 2(r_i - R_M - r_M)tg\alpha]v_r \quad (3.60)$$

Từ điều kiện cân bằng thể tích ta có biểu thức vận tốc chuyển động của vật liệu vành có tính đến độ biến dày của nó là:

$$v_r = \frac{v_a s_0 (R_M + r_M)}{r_i [s_0 + 2(r_i - R_M - r_M)tg\alpha]} \quad (3.61)$$

3.2.5. Những mối quan hệ chính từ lý thuyết thủy động đối với ma sát giữa phôi và tấm chặn phôi

Vấn đề chính của việc phân tích quá trình dập vuốt là vấn đề ma sát ở phần vành của phôi. Sơ đồ ma sát trong vành phôi, giữa vành với tấm chặn phôi được trình bày trong hình 3.11.

Hãy xét trường hợp đơn giản nhất - khi dập vuốt phôi hình trụ đối xứng trục. ở đây, hợp lý hơn cả là tiến hành phân tích trong hệ tọa độ trụ. Chuyển động đã được xác định, bỏ qua lực khối vì lớp bôi trơn rất mỏng. Cũng như bỏ qua lực quán tính vì số Reynolds rất nhỏ. Bởi vì vận tốc biến dạng là không lớn (do độ nhót cao của chất bôi trơn với chiều dài đặc trưng l nhỏ):

$$R = \frac{vl}{\nu} \quad (3.62)$$

trong đó l và v rất nhỏ còn ν rất lớn.

Nhờ chuyển động đối xứng ta có:

$$\left. \begin{aligned} v_\theta = 0; \quad v_z = v(r, z) \\ p = p(r, z); \quad v_r = v(r, z) \end{aligned} \right\} \quad (3.63)$$

Phương trình chuyển động và phương trình liên tục, sau khi đưa các giả thiết trên vào sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} &= \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} \right); \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right); \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.64)$$

Hãy xem xét sự phân bố vận tốc trong lớp bôi trơn giữa phôi và tấm chặn phôi. Thành phần hướng tâm của vận tốc lớn hơn khá nhiều so với thành phần theo phương thẳng đứng, tức là $v_r \gg v_z$.

Phân tích ma sát giữa phôi và tấm chặn phôi xác định cũng tương tự như phân tích ma sát giữa phôi và cối đã dẫn ở trên. Đánh giá độ lớn các đại lượng trong vế phải của hai phương trình đầu của hệ (3.64), có thể tính chúng như sau một cách tương đối chính xác:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} &\approx \frac{v_r}{r^2}; & \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} &\approx \frac{v_r}{z^2}; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} &\approx \frac{v_r}{r^2} & & \\ \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} &\approx \frac{v_z}{r^2}; & \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} &\approx \frac{v_z}{z^2}; & \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} &\approx \frac{v_z}{r^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.65)$$

Cần phải tính đến yếu tố là:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} = \frac{1}{r} \frac{\partial(v_r r)}{\partial r}$$

Trong hệ phương trình (3.64) chỉ còn lại $\frac{v_r}{z^2}$ ta có hệ phương trình rút

$$\text{gọn: } \left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} &= \nu \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2}; \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial v_z}{\partial z} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial(v_r r)}{\partial r} \end{aligned} \right\} \quad (3.66)$$

Xác định phương trình bề mặt vành phôi và bề mặt tấm chặn phôi. Ta sử dụng các kí hiệu sau (xem Hình 3.11):

- a- bán kính nhỏ nhất (trong giới hạn $a = R_M + r_M$);
- b- bán kính lớn nhất (trong giới hạn $b = R_H$);
- z_0 - khe hở nhỏ nhất;
- α - góc nghiêng của mặt vành phôi.

Phương trình bề mặt tấm chặn phôi có dạng:

$$z = 0$$

(3.67)

Phương trình mặt vành phôi ở phía chất bôi trơn là:

$$z = z_0 + (b - r_i) \operatorname{tg} \alpha \quad (3.68)$$

Chuyển dịch của vật liệu vành phôi được tính theo phương trình (3.57) không tính đến chiều dày phôi.

Hệ đầy đủ các điều kiện biên đối với chuyển động của lớp chất bôi trơn ở giữa vành tấm chặn và vành phôi được trình bày dưới dạng sau:

$$\left. \begin{aligned} v_r &= 0; \quad v_z = 0 \quad \text{khi } z = 0 \\ v_r &= \frac{av_0}{r_i}; \quad v_z = 0 \quad \text{khi } z = z_0 + (b - r_i)tg\alpha \\ p &= p_0 \quad \text{khi } r = a \quad \text{và} \\ p &= p_0 \quad \text{khi } r = b \end{aligned} \right\} \quad (3.69)$$

Từ đó, việc giải bài toán phức tạp hơn về ma sát giữa tấm chặn phôi và vành phôi được qui về giải hệ phương trình (3.66) dưới dạng đạo hàm riêng với các điều kiện biên (3.69).

Phương trình 2 của hệ (3.66) cho thấy rằng áp suất chỉ có thể biến thiên theo bán kính, có nghĩa là:

$$p = p(r_i) \quad (3.70)$$

Do đó phương trình 1 của hệ (3.65) có thể lấy tích phân:

$$\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} = \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial r} [p(r)] \quad (3.71)$$

Tích phân phương trình này ta được:

$$v_r = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial r} z^2 + Az + B \quad (3.72)$$

Trong phương trình này các hằng số A và B chỉ có thể phụ thuộc vào r. Để xác định chúng ta sử dụng các điều kiện biên của hệ phương trình (3.69):

$$B=0 \quad \text{khi } z=0, \quad v_r = 0.$$

Và với điều kiện biên $v_r = \frac{av_0}{r_i}$ khi $z = z_0 + (b - r_i)tg\alpha$, khi đó phương trình để tính A có dạng:

$$\frac{av_0}{r_i} = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial r} [z_0 + (b - r_i)tg\alpha]^2 + A[z_0 + (b - r_i)tg\alpha] \quad (3.73)$$

Suy ra:

$$A = \frac{av_0}{r_i [z_0 + (b - r_i)tg\alpha]} - \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial r} [z_0 + (b - r_i)tg\alpha] \quad (3.74)$$

Trong trường hợp đó vận tốc phân bố theo công thức sau:

$$v_r = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dr} z [z - z_0 - (b - r_i)tg\alpha] + \frac{av_0 z}{r_i [z_0 + (b - r_i)tg\alpha]} \quad (3.75)$$

Sự phân bố vận tốc theo công thức (3.75) được xác định theo gradien áp lực. Để xác định gradien áp lực và sau đó là bản thân áp lực ta sử dụng phương

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (v_r r) \quad (3.75)$$

Sau khi tích phân cả hai vế của phương trình theo độ dày lớp bôi trơn, ta có:

$$\int_0^z \frac{\partial v_z}{\partial z} dz = -\frac{1}{r_i} \frac{\partial}{\partial r} r_i \int_0^z v_r dz \quad (3.76)$$

Tính đến điều kiện biên $v_z=0$ khi $z=0$ và $z=z_0+(b-r_i)tg\alpha$, ta có:

$$0 = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r_i \left\{ -\frac{1}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial r} [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^3 + \frac{av_0[z_0+(b-r_i)tg\alpha]}{2r_i} \right\} \quad (3.77)$$

Từ đó:

$$\frac{av_0[z_0+(b-r_i)tg\alpha]}{2r_i} - \frac{1}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial r} [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^3 = \frac{C_1}{r_i} \quad (3.78)$$

Do đó, gradien áp lực được tính là:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{6\eta av_0}{r_i [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^2} - \frac{12\eta C_1}{r_i [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^3} \quad (3.79)$$

Để tính áp lực, ta lấy tích phân phương trình (3.79):

$$p = 6\eta av_0 \int \frac{dr}{r_i [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^2} - 12\eta C_1 \int \frac{dr}{r_i [z_0+(b-r_i)tg\alpha]^3} + C_2 \quad (3.80)$$

Đến đây vận tốc có thể trình bày dưới dạng:

$$v_r = \frac{zav_0}{r_i [z_0+(b-r_i)tg\alpha]} \left\{ \frac{z-z_0+(b-r_i)tg\alpha}{z_0+(b-r_i)tg\alpha} \left(3 - \frac{6C_1}{av_0 [z_0+(b-r_i)tg\alpha]} \right) + 1 \right\} \quad (3.81)$$

Nhờ các phương trình (3.80), (3.81) xác định được vận tốc và áp lực thông qua các hằng số C_1 và C_2 , còn theo phương trình (3.80) và dựa vào các điều kiện biên tính được các hằng số C_1 và C_2 :

$$p=p_0 \text{ khi } r_i=a \text{ và}$$

$$p=p_0 \text{ khi } r_i=b.$$

Lưu ý cách tính tích phân sau [để áp dụng vào công thức (3.80)]:

$$\left. \begin{aligned} \int \frac{dr}{r(a-r)^3} &= \frac{1}{a^3} \ln \frac{r}{a-r} + \frac{3a-2r}{2a^2(a-r)^2}; \\ \int \frac{dr}{r(a-r)^2} &= \frac{1}{a^2} \ln \frac{r}{a-r} + \frac{1}{a(a-r)} \end{aligned} \right\} \quad (3.82)$$

Biểu diễn phương trình (3.80) dưới dạng:

$$p = \frac{6\eta av_0}{tg^2\alpha} \int \frac{dr}{r_i \left(\frac{z_0}{tg\alpha} + b - r_i \right)^2} - \frac{12\eta C_1}{tg^3\alpha} \int \frac{dr}{r_i \left(\frac{z_0}{tg\alpha} + b - r_i \right)^3} + C, \quad (3.83)$$

Tuy nhiên:

$$a = -\frac{z_0}{tg\alpha} + b \quad (3.84)$$

Sau khi tích phân phương trình (3.83) ta có công thức tính áp lực như sau:

$$p = \frac{6\eta av_0}{z_0 + btg\alpha} \left[\frac{1}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{rtg\alpha}{z_0 + (b-r_i)tg\alpha} + \frac{1}{z_0 + (b-r_i)tg\alpha} \right] - \quad (3.85)$$

$$- \frac{12\eta C_1}{(z_0 + btg\alpha)^2} \left[\frac{1}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{rtg\alpha}{z_0 + (b-r_i)tg\alpha} + \frac{3z_0 + (3b-2r_i)tg\alpha}{2[z_0 + (b-r_i)tg\alpha]^2} + C_2 \right]$$

Sử dụng các điều kiện biên ta thu được phương trình để tính hằng số C_1 và C_2 :

$$C_1 = \frac{av_0}{2} (z_0 + btg\alpha) \frac{\frac{1}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{az_0}{b[z_0 + (b-a)tg\alpha]} + \frac{1}{z_0 + (b-a)tg\alpha} - \frac{1}{z_0}}{\frac{1}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{az_0}{b[z_0 + (b-a)tg\alpha]} + \frac{3z_0 + (3b-2a)tg\alpha}{2[z_0 + (b-a)tg\alpha]^2} - \frac{1}{2z_0^2}}$$

$$= \frac{av_0}{2} (z_0 + btg\alpha) K \quad (3.86)$$

$$C_2 = p_0 - \frac{6\eta av_0}{z_0 + btg\alpha} \left[\frac{1-K}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{btg\alpha}{z_0} + \frac{1}{z_0} - \frac{K(3z_0 + btg\alpha)}{2z_0^2} \right] \quad (3.87)$$

Khi đó áp lực bằng:

$$p = p_0 + \frac{6\eta av_0}{z_0 + btg\alpha} \left[\frac{1-K}{z_0 + btg\alpha} \ln \frac{r_i z_0}{b[z_0 + (b-r_i)tg\alpha]} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{z_0 + (b-r_i)tg\alpha} \left(1 - \frac{K[3z_0 + (3b-2r_i)tg\alpha]}{2[z_0 + (b-r_i)tg\alpha]} \right) - \frac{1}{z_0} + \frac{K(3z_0 + btg\alpha)}{2z_0^2} \right] \quad (3.88)$$

Ứng suất ma sát là:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3.89)$$

Tính theo phương trình (3.81) ta có:

$$\tau = \eta \frac{av_0}{r_i} \cdot \frac{z_0 + btg\alpha}{2} K \quad (3.90)$$

Suy ra ứng suất ma sát:

$$\tau = A \frac{\eta av_0}{r_i} \quad (3.91)$$

Trong đó A là hằng số, được tính theo điều kiện dập tạo hình chi tiết:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{X - Y}{\frac{1}{z_0 + btg\alpha} X + Z} \quad (3.92)$$

trong đó:

$$\left. \begin{aligned} X &= \ln \frac{az_0}{b[z_0 + (b-a)tg\alpha]} \\ Y &= \frac{(b-a)tg\alpha(z_0 + btg\alpha)}{z_0[z_0 + (b-a)tg\alpha]} \\ Z &= \frac{3z_0 + (3b-2a)tg\alpha}{2[z_0 + (b-a)tg\alpha]^2 - \frac{3s_0 + btg\alpha}{2s_0^2}} \end{aligned} \right\} \quad (3.93)$$

Từ phương trình (3.88) độ chênh áp lực có thể viết dưới dạng:

$$p - p_0 = 6\eta av_0 A_1 \left[\ln \frac{r_i}{B + Cr_i} + \frac{D + Er_i}{(F + Gr_i)^2} + H \right] \quad (3.94)$$

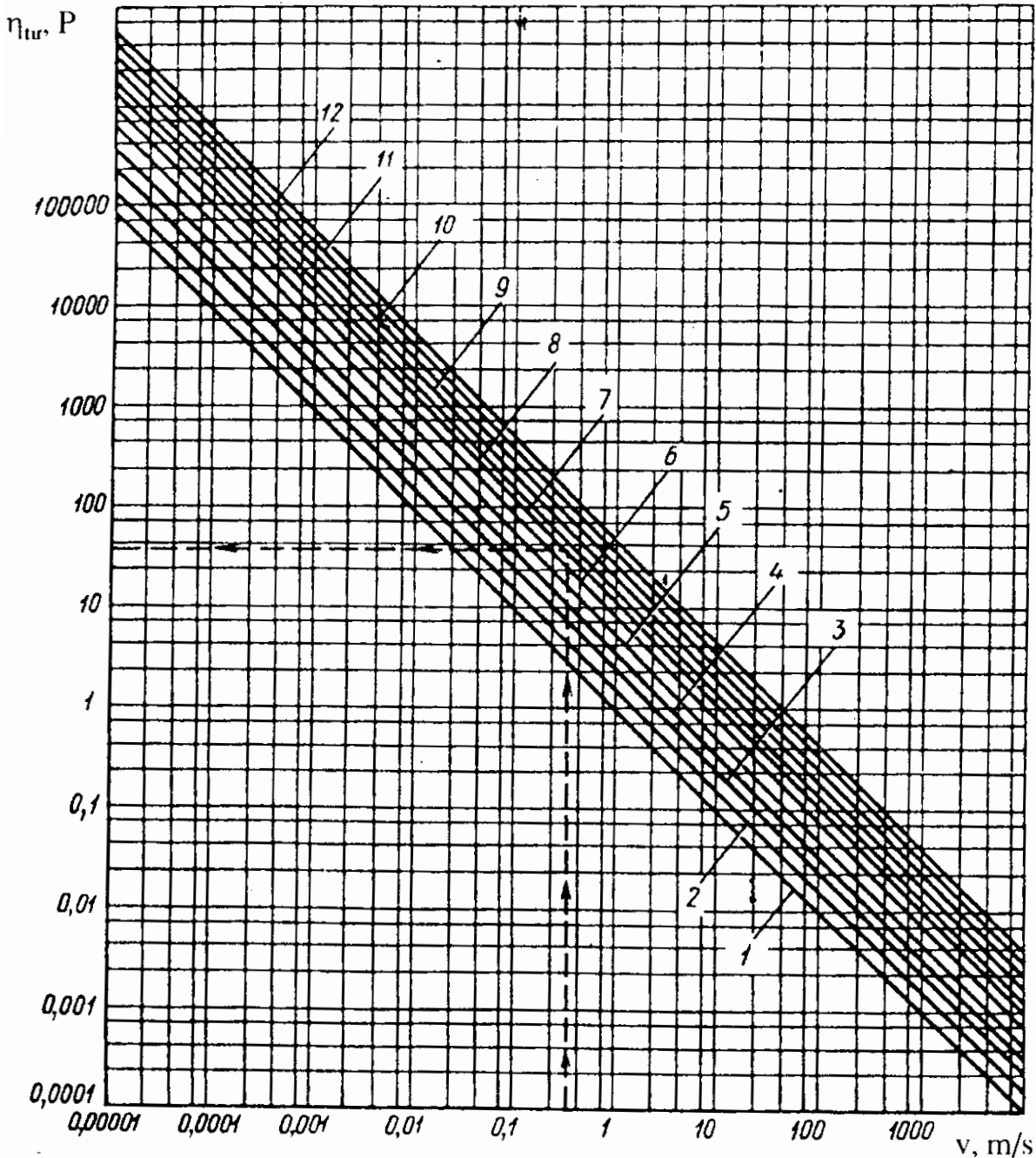
trong đó B, C, D, E, F, G là các hệ số tổng quát.

Toàn bộ áp lực cần được duy trì bởi lực chặn ở vành phôi, chỉ khi đó mới có được chế độ ma sát thủy động. Độ lớn của lực này có thể tính theo phương trình:

$$Q = 2\pi \int_a^b (p - p_0) r_i dr_i \quad (3.95)$$

hay là:

$$Q = 2\pi \int_a^b 6\eta av_0 A_1 r_i \left[\ln \frac{r_i}{B + Cr_i} + \frac{D + Er_i}{(F + Gr_i)^2} + H \right] dr_i \quad (3.96)$$



Hình 3.12. Xác định độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn theo vận tốc đập vuốt và áp lực tiếp xúc giữa phôi và cối, giá trị q KG/cm²

- 1: 150; 2: 200; 3: 300; 4: 400; 5: 500; 6: 600; 7: 700; 8: 800;
 9: 900; 10: 1000; 11: 1100; 12: 1200.

3.2.6. Phương pháp chọn chất bôi trơn cho dập tấm

Các số liệu lý thuyết và thực nghiệm nhằm xác định bản chất tác động của chất bôi trơn trong dập tấm sử dụng trong các quá trình dập bằng môi trường đàn hồi, lỏng hay khí đã cho phép lập ra một số cơ sở phương pháp luận để lựa chọn chất bôi trơn nhằm thực hiện có hiệu quả các quá trình đã nêu.

1) Các chất bôi trơn cần phải có tính chất hoá lý đảm bảo được chất lượng công nghệ (tiện lợi cho việc bôi lên hoặc lau đi, sử dụng an toàn).

2) Chất bôi trơn phải có khả năng bám dính cao, hoặc thấm thấu hoặc bám dính vào các bề mặt được bôi trơn.

3) Đối với các điều kiện dập qui định bởi các thông số hình học của bề mặt ma sát, bởi độ lớn của áp suất tiếp xúc q giữa phôi biến dạng với dụng cụ và bởi vận tốc chuyển dịch v_0 thì chất bôi trơn cần phải có lí tính xác định nghiêm ngặt, ví dụ như phải có độ nhớt tối ưu η_{opt} .

Để minh họa xin xem biểu đồ (Hình 3.12) xác định độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn dùng cho dập vuốt sâu bằng khuôn cứng trong mối liên quan với vận tốc và áp suất riêng giữa phôi và cối.

Thực chất của việc lựa chọn chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu khi dập vuốt bằng khuôn cứng là ở chỗ, đối với từng chế độ dập vuốt cụ thể qui định bởi tốc độ chuyển dịch của phôi với áp lực trung bình từ phía phôi lên mép cối mà tính toán một độ nhớt đảm bảo có sự ngăn cách hoàn toàn các bề mặt ma sát bằng một lớp bôi trơn liên tục với hệ số ma sát nhỏ nhất. Tốc độ chuyển dịch của phôi thường được lấy giá trị vận tốc trung bình của chày.

3.3. PHÂN TÍCH MA SÁT ƯỚT KHI DẬP VUỐT TRONG CỐI THỦY CƠ

Dạng tiêu biểu thứ hai của các bài toán có tính khái quát cho các quá trình công nghệ phức tạp trong tạo hình chi tiết có hình dạng phức tạp từ phôi kim loại tấm (Hình 3.13) là các bài toán xác định điều kiện ma sát ướt trong cối thủy cơ và bằng chày thủy cơ trong cối cứng.

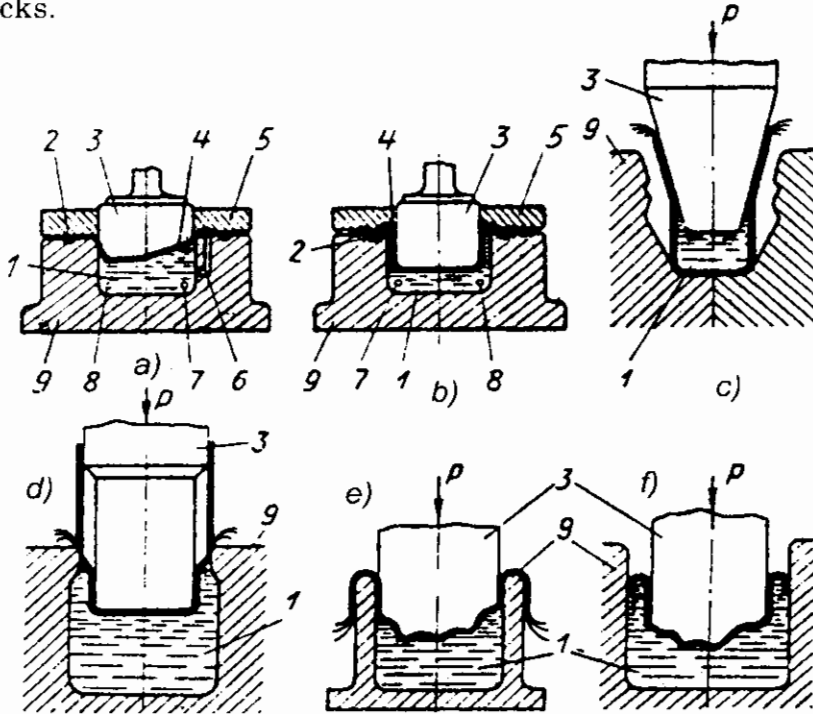
Để dập vuốt trong khuôn cứng, các tác giả V.I.Kazatrenôk và A.X.Trauzop [6] đã xem xét quá trình dập vuốt trong cối thủy cơ.

Khác với dập vuốt trong khuôn cứng, khi dập vuốt thủy động [6], chất bôi trơn nằm giữa phôi và cối chuyển động với tốc độ 500 m/ph hoặc hơn nữa, cho phép tạo ra một chế độ ma sát thủy động trong trường hợp sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt không cao.

Các nghiên cứu cho thấy quá trình dập vuốt thủy động chịu ảnh hưởng đáng kể của độ nhớt chất bôi trơn, tốc độ dập vuốt, kích thước, hình dạng của

khe hở giữa phôi và cối, còn khi dập vuốt có tấm chặn phôi thì chịu ảnh hưởng của ứng lực ép. Vì vậy, muốn phân tích quá trình dập vuốt thủy động cần phải biết được ảnh hưởng của các yếu tố nêu trên không những về mặt chất lượng mà cả về mặt số lượng.

Ảnh hưởng của tất cả các yếu tố đó có thể nghiên cứu bằng cách xem xét chuyển động của lớp bôi trơn trong khe hở giữa phôi và cối. Chuyển động của lớp bôi trơn giữa phôi và cối có thể viết dưới dạng phương trình thủy động Navie-Stocks.



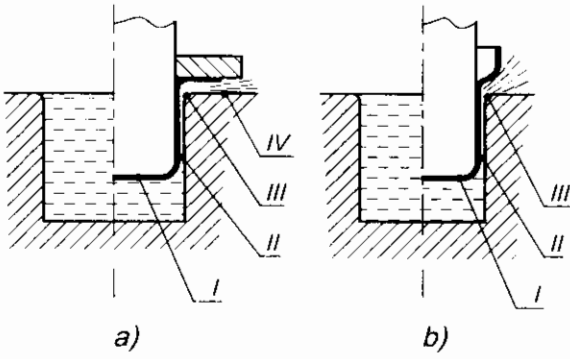
Hình 3.13. Sơ đồ đặc trưng cho quá trình dập thủy cơ chi tiết thành mỏng

a: Tạo hình chi tiết có dập nổi phức tạp ở đáy và vành; b: Dập vuốt chi tiết thành hình trụ có dịch chuyển gân vuốt thủy lực; c: Tạo hình chi tiết dạng vỏ bằng chày thủy cơ; d: Dập trong cối thủy cơ; e, g: Dập thủy cơ ngược (a, b: từ phôi phẳng; e-f: từ phôi không gian).

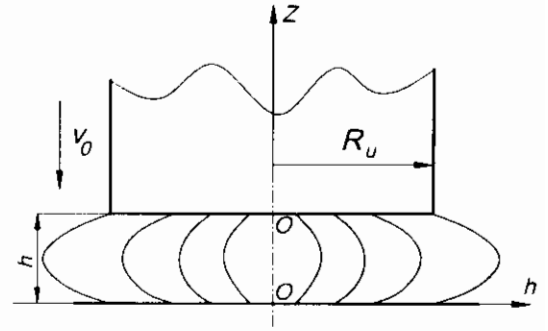
1: chất lỏng; 2: Doăng; 3: chày; 4: phôi; 5: tấm chặn; 6: rãnh dẫn; 7: đường chất lỏng vào; 8: đường chất lỏng ra; 9: cối

Trong khi giải các phương trình thủy động các tác giả trên [6] đã sử dụng những giả thiết sau:

- Chất bôi trơn được coi là không bị nén;
- Độ nhớt của chất bôi trơn ở những phần khác nhau là không đổi;
- Chế độ chảy của chất bôi trơn, do độ hẹp của khe hở giữa phôi và cối nhỏ, là chảy tầng nên có thể bỏ qua quán tính của lớp bôi trơn.



Hình 3.14. Sơ đồ đập vuốt thủy động
a) Nguyên công 1; b) Nguyên công 2



Hình 3.15. Sơ đồ tính toán lực ma sát trên đáy phôi

Để đơn giản cho việc giải bài toán, chuyển động của chất bôi trơn được xem xét theo từng phần. Để làm điều đó thì trên sơ đồ đập vuốt thủy động (Hình 3.14) người ta phân biệt 4 phần: I - đáy phôi; II - phần hình trụ; III - mép vuốt của cối; IV - vành phôi. Chuyển động của chất bôi trơn tại tất cả các phần này đều được xem xét trong hệ tọa độ trụ.

3.3.1. Phần đáy sản phẩm

Việc giải bài toán cho phần đáy sản phẩm dẫn tới chỗ xem xét chuyển động của lớp bôi trơn giữa hai bề mặt song song tiến lại gần nhau (Hình 3.15). Thành phần hình chiếu vận tốc chuyển động của chất bôi trơn ở phần này như sau:

$$v_z = -v_0; \quad v_\theta = 0; \quad v_r = v(r, z)$$

trong đó v_0 - vận tốc chuyển dịch trung bình của dụng cụ.

Phương trình chuyển động của chất bôi trơn khi đó có dạng:

$$(3.97)$$

Phương trình liên tục là:

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} + \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} = 0; \quad (3.98)$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{\partial (rv_r)}{\partial r} = 0 \quad (3.98')$$

Khi đó:

$$rv_r = f(z) \quad (3.98'')$$

Bỏ qua các thành phần quán tính, phương trình thứ nhất của hệ (3.97) có thể biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\eta}{r} \frac{\partial^2 \varphi(z)}{\partial z^2}; \quad (3.99)$$

trong đó η - là độ nhớt động lực.

Hai vế của phương trình (3.99) là các hàm số có biến số khác nhau. Do vậy phương trình đã cho chỉ đúng khi cả hai vế của nó đều là hằng số. Để tiện cho việc tính toán ta đặt:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -K_1$$

Trong đó K_1 chính là sự tổn thất áp lực bôi trơn trên phần đáy phôi đang xét. Khi ấy phương trình (3.99) có dạng:

$$\frac{\partial^2 \varphi(z)}{\partial z^2} = -\frac{K_1}{\eta} r \quad (3.100)$$

Sau khi lấy tích phân của phương trình, ta có:

$$\varphi(z) = C_1 z - \frac{K_1}{2\eta} z^2 r + C_2 \quad (3.101)$$

Sau khi thay $\varphi(z)$ vào phương trình (3.98) phương trình vận tốc chảy chất bôi trơn có dạng:

$$v_r = \frac{C_1}{r} z - \frac{K_1}{2\eta} z^2 + \frac{C_2}{r} \quad (3.102)$$

Khi đó xác định điều kiện biên, chấp nhận rằng chất bôi trơn bám dính vào bề mặt phôi và cối. Sau khi xác định các hằng số tích phân, phương trình chảy của chất bôi trơn có dạng:

$$v_r = \frac{K_1}{2\eta} (hz - z^2) \quad (3.103)$$

Khi xác định sự tổn thất áp lực K_1 các tác giả trên [6] đã xem xét sự tiêu hao chất bôi trơn trong phần này.

Sự tiêu hao là:

$$Q = \int_S v_r dS. \quad (3.104)$$

trong đó $dS = 2\pi r dr$.

Sự tiêu hao chất bôi trơn có thể xác định được thông qua vận tốc trung bình của dụng cụ:

$$Q = \pi r^2 v_0 \quad (3.105)$$

trong đó r là bán kính chảy.

Cân bằng phương trình (3.104) và (3.105) rồi giải chúng với ẩn là K_1 , ta thu được:

$$K_1 = 6\eta v_0 \frac{r}{h^3} \quad (3.106)$$

Sau khi thay K_1 vào phương trình (3.103) ta thu được phương trình vận tốc chảy thoát chất bôi trơn ở dạng cuối cùng là:

$$v_r = \frac{hz - z^2}{h^3} \cdot 3rv_0 \quad (3.107)$$

Để xác định lực ma sát trước hết người ta tìm ứng suất tiếp xúc trên cả đoạn:

$$\tau_{zr} = \eta \frac{\partial v_r}{\partial z} \quad (3.108)$$

Sau khi giải phương trình (3.108) thu được:

$$\tau_{zr} = 3\eta v_0 \frac{r(h-2z)}{h^3} \quad (3.108')$$

Trên bề mặt phôi, ứng suất tiếp xúc là:

$$\tau_{zr} = -3\eta v_0 \frac{r}{h^2} \quad (3.108'')$$

Lực ma sát trên cả đoạn là:

$$F_1 = \int_S \tau_{zr} dS \quad (3.109)$$

trong đó $dS=2\pi r dr$.

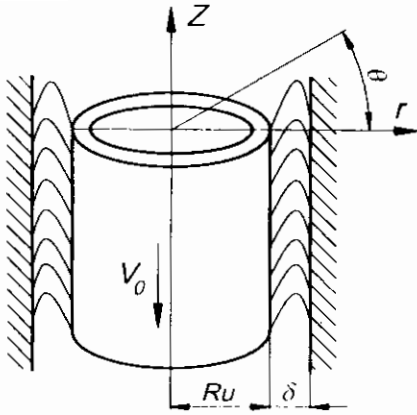
Sau khi giải phương trình (3.109) ta được công thức để tính lực ma sát của bề mặt phôi:

$$F_1 = 2\eta v_0 \frac{\pi R_u^3}{h^2} \quad (3.110)$$

3.3.2. Phân hình trụ

Do chuyển động đối xứng của chất bôi trơn trên cả đoạn (Hình 3.16) mà hình chiếu vận tốc có thể biểu diễn dưới dạng: $v_r=0$; $v_\theta=0$; $v_z=v(r)$. Phương trình chuyển động chất bôi trơn trên cả đoạn khi đó sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} = \eta \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.111)$$



Hình 3.16. Sơ đồ tính lực ma sát trên phần hình trụ

Để tiện cho tính toán về sau, sử dụng ký hiệu $\frac{\partial p}{\partial z} = -K_2$ (K_2 - lượng tổn thất áp lực trong lớp bôi trơn trên đoạn hình trụ). Sau khi thay K_2 vào phương trình 4 của hệ (3.111) ta có:

$$r \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} - \frac{\partial v_z}{\partial r} = -\frac{K_2}{\eta} r \quad (3.112)$$

Giải ra, ta được:

$$v_z = \frac{K_2}{4\eta} \left[(R_u + \delta)^2 - r^2 \right] - \frac{v_0 + \frac{K_2}{4\eta} \left[(R_u + \delta)^2 - R_u^2 \right]}{\ln \frac{R_u + \delta}{R_u}} \cdot \ln \frac{R_u + \delta}{r} \quad (3.113)$$

Khi xác định sự tổn thất áp lực trong chất bôi trơn, sự tiêu hao chất bôi trơn trên đoạn được xét được viết dưới dạng tích phân:

$$Q = \int_S v_z dS \quad (3.114)$$

trong đó v_z : vận tốc chảy chất bôi trơn, $dS = 2\pi r dr$.

Sự tiêu hao chất bôi trơn cũng được tính theo biểu thức:

$$Q = \pi R_u^2 v_0 \quad (3.115)$$

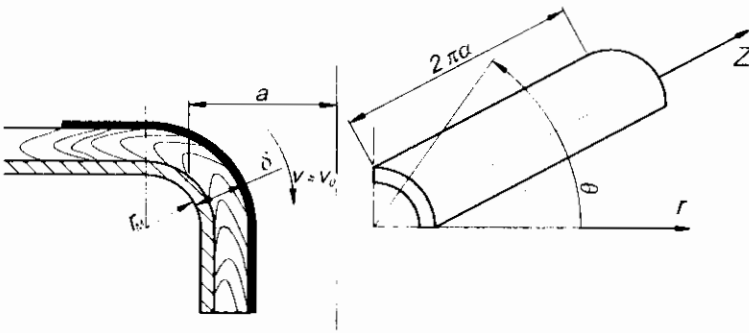
trong đó v_0 - vận tốc trung bình của dụng cụ.

Cân bằng về phải của hai phương trình (3.114) và (3.115) đồng thời giải chúng, ta có phương trình áp lực:

$$K_2 = 4\eta v_0 A_2 \quad (3.116)$$

trong đó :

$$A_2 = \frac{1}{\left[(R_u + \delta)^2 + R_u^2 \right] \ln \frac{R_u + \delta}{R_u} - \left[(R_u + \delta)^2 - R_u^2 \right]} \quad (3.117)$$



Hình 3.17: Dùng tính lực ma sát trên phần bán kính lượn của cối

Thay giá trị tổn thất áp lực vào phương trình (3.113) ta có phương trình vận tốc chảy của chất bôi trơn cuối cùng là:

$$v_z = \left\{ A_2 \left[(R_u + \delta)^2 - r^2 \right] - \frac{1 + A_2 \left[(R_u + \delta)^2 - R_u^2 \right]}{\ln \frac{R_u + \delta}{R_u}} \ln \frac{R_u + \delta}{r} \right\} v_0 \quad (3.118)$$

ứng suất tiếp xúc là:

$$\tau_{rz} = \eta \frac{\partial v_z}{\partial r} \quad (3.119)$$

Trên bề mặt của phiê được đập vuốt ứng suất tiếp xúc là:

$$\tau_{rz} = \left\{ \frac{1 + A_2 \left[(R_u + \delta)^2 - R_u^2 \right]}{R_u \ln \frac{R_u + \delta}{R_u}} - 2 A_2 R_u^2 \right\} \eta v_0 \quad (3.120)$$

Lực ma sát:

$$F_2 = 2\eta v_0 \pi \left\{ \frac{1 + A_2 \left[(R_u + \delta)^2 - R_u^2 \right]}{\ln \frac{R_u + \delta}{R_u}} - 2 A_2 R_u^2 \right\} z \quad (3.121)$$

trong đó \$z\$ là độ dài đoạn hình trụ.

3.3.3. Phần bán kính lượn của cối

Để đơn giản hoá việc giải bài toán này ta thay thế bề mặt hình xuyên tạo bởi mép vuốt của khuôn bằng một bề mặt hình trụ được khai triển theo đường trung bình (Hình 3.17). Khi đó, các thành phần vận tốc sẽ là

$$v_r = 0; v_z = 0; v_\theta = v_r \quad (3.122)$$

Thay các giá trị vận tốc vào phương trình thủy động tổng quát ta có hệ phương trình sau mô tả chuyển động của chất bôi trơn trong phần mép vuốt như sau:

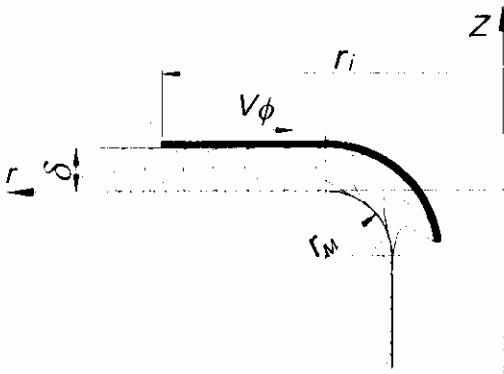
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial r} &= \rho \frac{v_\theta^2}{r}; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial p}{\partial \theta} &= \eta r \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.123)$$

Phương trình liên tục trong điều kiện đó sẽ có nghiệm. Xét phương trình thứ 3 của hệ (3.123), kí hiệu tổn thất áp lực là $\frac{\partial p}{\partial \theta} = -K_3$. Phương trình đó có dạng:

$$\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} = -\frac{K_3}{\eta r} \quad (3.124)$$

Giải phương trình theo v_θ ta có:

$$\begin{aligned} v_\theta = & \left[\frac{K_3}{2\eta} \frac{(r_M + \delta)^4}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} + \frac{K_3}{2\eta} \ln r_M \right] r - \frac{K_3}{2\eta} r \ln r - \\ & - \left[\frac{K_3}{2\eta} \frac{r_M^4 (r_M + \delta)^4}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} - v_0 \frac{r_M^4 (r_M + \delta)^3}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \right] \frac{1}{r^3} \end{aligned} \quad (3.125)$$



Hình 3.18. Sơ đồ tính lực ma sát trên vành phôi

Sau khi biến đổi phương trình tiêu hao chất bôi trơn, phương trình tổn thất áp lực có dạng:

$$K_3 = 2\eta v_0 A_3 \quad (3.126)$$

Sau khi thay giá trị tổn thất áp lực vào phương trình (3.125) phương trình vận tốc chảy chất bôi trơn có dạng:

$$v_{\theta} = \left\{ \left[\frac{A_3 (r_M + \delta)^4}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} - A_3 \ln r_M \right] r - A_3 r \ln r - \right. \\ \left. - \left[\frac{r_M^4 (r_M + \delta)^4}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} A_3 \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} - \frac{r_M^4 (r_M + \delta)^3}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \right] \frac{1}{r^3} \right\} \cdot v_0 \quad (3.127)$$

Ứng suất tiếp xúc trên đoạn này là:

$$\tau_{\theta r} = \eta \left(\frac{\partial v_{\theta}}{\partial r} - \frac{v_{\theta}}{r} \right) \quad (3.128)$$

Còn trên bề mặt phôi là:

$$\tau_{r\theta} = \left\{ \frac{r_M^4 [0,5(r_M + \delta)^2 - 1]}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \left(A_3 \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} - \frac{1}{r_M + \delta} \right) - A_3 \right\} \eta v_0 \quad (3.129)$$

Lực ma sát là:

$$F_3 = \int_S \tau_{r\theta} dS$$

Giải phương trình này nhận được:

$$F_3 = 2\pi a (r_M + \delta) \left\{ \frac{r_M^4 [0,5(r_M + \delta)^2 - 1]}{(r_M + \delta)^4 - r_M^4} \times \right. \\ \left. \times \left(A_3 \ln \frac{r_M + \delta}{r_M} - \frac{1}{r_M + \delta} \right) - A_3 \right\} \eta v_0 \theta \quad (3.130)$$

3.3.4. Phần vành phôi

Khi xem xét chuyển động của chất bôi trơn ở phần vành của phôi, ta nhận thấy rằng khe hở giữa phôi và cối là không đổi trên toàn chiều dài của cả đoạn (Hình 3.18). Khi đó các vận tốc hợp thành chuyển động chất bôi trơn là:

$$v_{\theta} = 0; \quad v_z = 0; \quad v_r = v(r, z)$$

Phương trình chuyển động khi đó có dạng:

$$\left. \begin{aligned} v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} \right) \\ \frac{\partial p}{\partial \theta} &= 0; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.131)$$

Từ phương trình liên tục:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} = 0 \quad (3.132)$$

suy ra rằng:

$$\frac{\partial(rv_r)}{\partial r} = 0 \quad (3.132')$$

Nếu viết biểu thức vi phân dưới dạng: $rv_r = \varphi(z)$ và bỏ qua các thành phần quán tính thì phương trình thứ nhất của hệ (3.131) có dạng:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\eta}{r} \frac{\partial^2 \varphi(z)}{\partial z^2} \quad (3.133)$$

Kí hiệu tổn thất áp lực $\frac{\partial p}{\partial r} = -K_4$, ta viết:

$$\frac{\partial^2 \varphi(z)}{\partial z^2} = -\frac{K_4}{\eta} r \quad (3.134)$$

Sau khi phân tích biểu thức sau ta có:

$$v_r = \frac{K_4}{2\eta} (\delta - z)z - \frac{v_\varphi}{\delta} z \quad (3.135)$$

Sự tổn thất áp lực được tính cũng như đối với các phần khác theo sự tiêu hao chất bôi trơn là:

$$K_4 = 2\eta v_0 \frac{3R_u^2}{\delta^3 r} + 6\eta v_\varphi \frac{1}{\delta^2} \quad (3.136)$$

Sau khi thay giá trị v_φ vào phương trình sau ta có:

$$K_4 = 2\eta v_0 A_4 \quad (3.136')$$

trong đó:

$$A_4 = \frac{3R_u^2}{\delta^3 r} - \frac{3\left(R_u - \frac{t_0}{2}\right)}{\delta^2 r_i};$$

- r: bán kính chảy;
- t_0 : độ dày ban đầu của phôi;
- r_i : bán kính vành.

Sau khi thay giá trị tổn thất áp lực vào phương trình (3.135) ta có phương trình vận tốc chảy chất bôi trơn cho cả đoạn là:

$$v_r = \left[A_4 (\delta - z)z - \frac{R_u - 0,5t_0}{\delta r_i} z \right] \eta v_0 \quad (3.137)$$

Ứng suất tiếp xúc trên đoạn:

$$\tau_{zr} = \eta \frac{\partial v_r}{\partial z} \quad (3.138)$$

Ứng suất tiếp xúc trên bề mặt phôi là:

$$\tau_{zr} = \left[\frac{2R_u - t_0}{\delta r_i} - \frac{3R_u^2}{\delta^2 r} \right] \eta v_0 \quad (3.139)$$

Lực ma sát trên toàn đoạn là:

$$F_4 = \int_S \tau_{zr} dS \quad (3.140)$$

hay:

$$F_4 = 2\pi [r_i - (R_u + \delta + r_M)] \left[\frac{2R_u - t_0}{\delta r_i} \cdot \frac{r_i + (R_u + \delta + r_M)}{2} - \frac{3R_u^2}{\delta^2 r} \right] \eta v_0 \quad (3.141)$$

3.3.5. Độ dày tối ưu của lớp bôi trơn

Để tạo ra những điều kiện tối ưu cho việc đặt tải trọng lên phôi trong dập vuốt thuỷ động cần phải đảm bảo có sự kết hợp tối ưu giữa độ nhớt của chất bôi trơn, vận tốc dập và độ dày của lớp bôi trơn. Nếu không sẽ làm tăng ứng lực dập vuốt hoặc làm giảm độ chính xác của chi tiết gia công. Khi đó mới điều khiển được cả quá trình bằng cách điều chỉnh một trong những yếu tố này. Chính vì trong điều kiện sản xuất, thay đổi độ dày của lớp bôi trơn là dễ dàng nhất (thay đổi khe hở giữa phôi và cối) cho nên cần phải xác định được mối liên hệ giữa độ dày lớp bôi trơn với độ nhớt của chất bôi trơn và vận tốc dập dựa theo phương trình áp lực pháp tuyến tác dụng lên cạnh được dập vuốt và lên vành của phôi.

Độ dày tối ưu của lớp bôi trơn trong dập vuốt chi tiết không có vành là:

$$\delta_0 = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\eta v_0}{\sigma_B} \pi R_u \frac{r_M}{s_0}} \quad (3.142)$$

còn trong dập vuốt chi tiết có vành hẹp là:

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{\eta v_0}{\sigma_B} \pi R_u \frac{r_M}{s_0}} \quad (3.143)$$

trong đó:

- v_0 : vận tốc dập trung bình;
- σ_B : giới hạn bền của vật liệu phôi;
- R_u : bán kính ngoài của chi tiết dập vuốt;
- r_M : bán kính mép lượn của cối dập vuốt;

- s_0 : độ dày ban đầu của phôi.

Phương trình độ dày tối ưu của lớp bôi trơn trong dập vuốt chi tiết với vành rộng có dạng phức tạp hơn:

$$\delta_0^3 - \frac{\eta V_0}{\sigma_B} \pi R_u \frac{r_M}{s_0} \left(\delta_0 - \sigma \ln \frac{r_i}{R_1} \right) = 0 \quad (3.144)$$

trong đó: r_i - bán kính ngoài của vành;

R_1 - bán kính trọng tâm mép dập vuốt của cối.

Khi $r = R_1$ phương trình này được đưa về dạng:

$$\delta_0^3 = \frac{\eta V_0}{\sigma_B} \pi R_u \frac{r_M}{s_0} \delta_0 \quad (3.145)$$

Biết được độ dày tối ưu của lớp bôi trơn thì dễ dàng tính được khe hở tối ưu giữa chày và cối:

$$z = K s_0 + \delta_0 \quad (3.146)$$

với K là hệ số tính đến sự biến thiên độ dày của phôi.

Từ việc phân tích quá trình dập vuốt thủy động có thể rút ra kết luận về sự giảm áp lực của chất bôi trơn chuyển động trong khe hở giữa phôi và cối. Cường độ giảm áp lực trên các phần được xem xét tỷ lệ thuận với độ nhớt của chất bôi trơn được sử dụng, và vận tốc dập, đồng thời phụ thuộc vào độ dày của chất bôi trơn, cũng như phụ thuộc vào hình dạng và kích thước của các chi tiết được dập vuốt.

Lực ma sát trên các phần được xét cũng như cường độ giảm áp lực trong chất bôi trơn là tỷ lệ thuận với độ nhớt của chất bôi trơn và vận tốc dập vuốt và phụ thuộc vào độ dày của lớp bôi trơn, cũng như phụ thuộc vào hình dạng và kích thước của các chi tiết được dập vuốt.

Những qui luật phân bố áp lực và lực ma sát tính toán được sẽ cho phép phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng của phôi dập vuốt và tìm ra phương trình để xác định lực dập vuốt thủy động.

Từ các phương trình đã nêu suy ra rằng độ dày tối ưu của lớp bôi trơn và khe hở tối ưu giữa phôi và cối là các hàm số của độ nhớt của chất bôi trơn, vận tốc dập, giới hạn độ bền của kim loại được biến dạng và các kích thước hình học của chi tiết được dập vuốt. Do đó, đối với từng chế độ dập vuốt cụ thể, kích thước chi tiết và giới hạn độ bền của phôi lại có độ dày và khe hở tối ưu của lớp bôi trơn khác nhau.

3.4. BIỂU THỨC GẮN ĐÚNG CỦA LỰC MA SÁT ĐỐI VỚI CÁC QUÁ TRÌNH KHÁC NHAU TRONG DẬP CHI TIẾT TỪ VẬT LIỆU TẮM BẰNG CÁC MÔI TRƯỜNG ĐÀN HỒI, CHẤT LỎNG VÀ CHẤT KHÍ

Những mối liên hệ nhận được từ cơ sở ma sát thủy động, để xác định lực ma sát mà dụng cụ phải khắc phục khi dập tấm, đã thiết lập sự liên quan giữa độ lớn lực ma sát, cơ lý tính của lớp bôi trơn, vận tốc dập vuốt, kích thước hình học

của dụng cụ và chi tiết dập vuốt khi có áp lực tiếp xúc khác nhau.

Chẳng hạn như ở dạng thứ nhất, đơn giản nhất đồng thời cũng tiện lợi nhất cho ứng dụng thực tế, biểu thức gần đúng tính lực ma sát cho các quá trình chính của dập vuốt (Hình 3.19) có dạng như sau:

1) Lực ma sát cho dập vuốt theo sơ đồ cổ điển không làm biến mỏng thành (Hình 3.20a):

$$F_I = 2\pi\eta_{lur}v_{0th} \left\{ \left[\frac{R_H^2 - (R_M + r_M)^2}{h} + \frac{\pi \cdot a \cdot r_M^2}{h(h + 2r_M)} \right] + \frac{R_M \cdot m}{h} \right\} \quad (3.147)$$

hoặc khi có khe hở đủ lớn giữa cối và chày ($z \geq 1,3s_n$, $F_3 \rightarrow 0$):

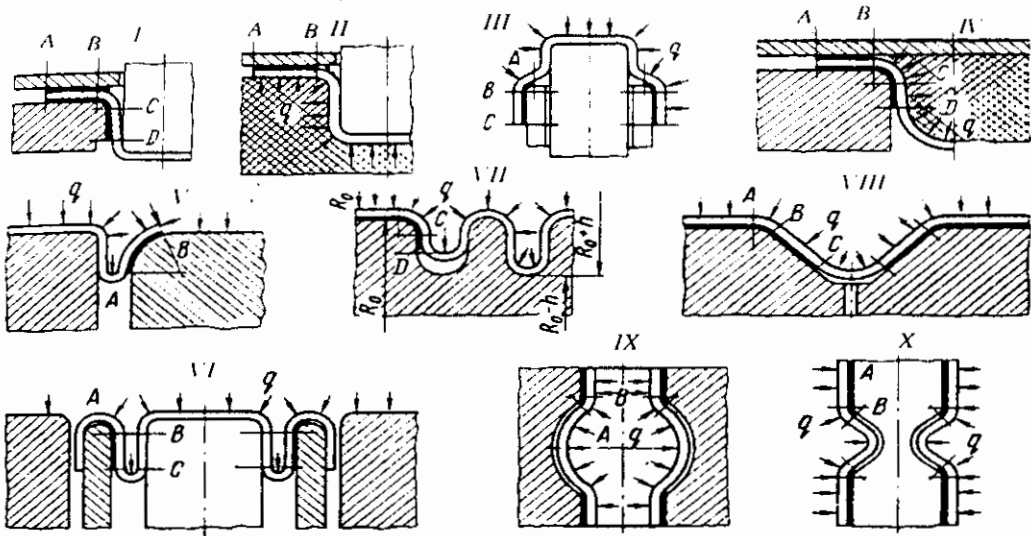
$$F_I = 2\pi\eta_{lur}v_{0th} \left[\frac{R_u^2 - (R_M + r_M)^2}{h} + \frac{\pi a r_M^2}{h(h + 2r_M)} \right] \quad (3.148)$$

trong đó, $a = R_M + r_M \left(\frac{\pi - 2\sqrt{2}}{\pi} \right)$ hay $a = R_M + r_M \left(1 - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$

2) Đối với dập vuốt bằng cối đàn hồi, chất lỏng hay chất khí với chày cứng và tấm chặn phôi từ phôi tấm phẳng (Hình 3.20b):

$$F_{II} = \pi\eta_{lur}v_{0th} \frac{R_H^2 - (R_n + r_M)^2}{h} \quad (3.149)$$

Khi đó lưu ý là ma sát ngoài giữa chày và phôi phải là cực đại.



Hình 3.19. Sơ đồ để tính toán lực ma sát cho các phương pháp dập tấm cơ bản khi có chế độ bôi trơn thủy động
 I: Dập vuốt sâu trong dụng cụ dập; II, III: Dập vuốt bằng cối chất dẻo, lỏng hoặc khí theo chày cứng với vành chặn chuyển động; IV: Dập vuốt bằng chày chất dẻo, lỏng hoặc khí theo cối cứng; V, VI: Dập vuốt bằng cối chất dẻo, lỏng hoặc khí theo chày cứng với vành chặn không chuyển động (V-từ phôi phẳng, VI-từ phôi không gian); VII: Tạo hình rãnh vòng tròn; VIII: Tạo hình rãnh từ phôi phẳng; IX: Tạo hình chi tiết dập dần từ phôi không gian bằng chày chất dẻo, lỏng hoặc khí theo cối cứng; X: Tạo hình tốp từ phôi không gian bằng cối chất dẻo, lỏng hoặc khí theo chày cứng; A-B, C-D: Chế độ tải của vùng làm việc của lớp bôi trơn.

3) Đối với đập vuốt bằng cốt đàn hồi, chất lỏng hay khí với chày cứng có tấm chặn từ phôi không gian (Hình 3.21a):

$$F_{III} = 2\pi\eta_{lur}v_{0th} \left[\frac{(R_n + c + r_0)H}{h} + \frac{\pi \left(R_M + c + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_0 \right)}{4h} \right] \quad (3.150)$$

Còn khi sử dụng tấm chặn phôi dịch chuyển trong quá trình biến dạng thì biểu thức có dạng sau:

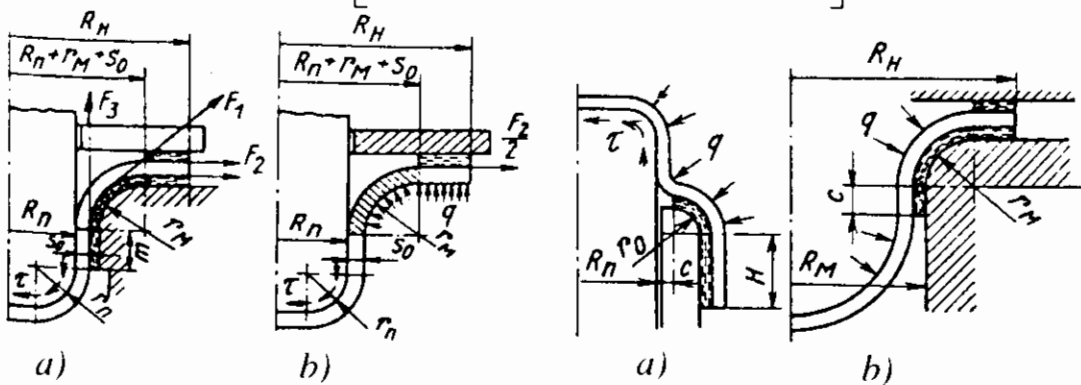
$$F_{III} = \pi\eta_{lur}v_{0th} \left[\frac{\left(R_n + c + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_0 \right) r_0}{2h} + \frac{bH}{h} \right] \quad (3.151)$$

4) Đối với đập vuốt bằng chày đàn hồi, lỏng hay khí theo cốt cứng từ phôi tấm phẳng (Hình 3.21b):

$$F_{IV} = 2\pi\eta_{lur}v_{0th} \left[\frac{R_M^2 - (R_M + r_M)^2}{h} + \frac{2\pi ar_M^2}{h(h + 2r_M)} + \frac{c(R_M - h)}{\ln R_M - \ln(R_M - h)} \right] \quad (3.152)$$

Hay khi đập chỉ tiết không có phần hình trụ, tức là khi $c = 0$:

$$F_{IV} = 2\pi\eta_{lur}v_{0th} \left[\frac{R_H^2 - (R_M + r_M)^2}{h} + \frac{2\pi ar_M^2}{h(h + 2r_M)} \right] \quad (3.153)$$



Hình 3.20. Đồ thị biểu diễn lực ma sát trong điều kiện bôi trơn thủy động khí đập vuốt không biến mỏng thành - a: và khí đập vuốt bằng cốt chất dẻo, lỏng và khí theo chày cứng, có vành chặn - b.

F_1, F_2 : Lực ma sát trên gân vuốt, từ vành chặn lên vành phôi và trong khe hở vuốt; τ : ứng suất ma sát.

Hình 3.21. Đồ thị biểu diễn lực ma sát trong điều kiện bôi trơn thủy động khí đập vuốt bằng cốt chất dẻo, lỏng và khí theo chày cứng, có vành chặn từ phôi không gian - a và khí đập vuốt bằng chày chất dẻo, lỏng và khí theo cốt cứng, có vành chặn từ phôi phẳng - b

5) Đối với đập vuốt ngược bằng chày đàn hồi, lỏng hay khí theo chày cứng với tấm chặn phôi không di động từ phôi phẳng (Hình 3.22a):

$$F_V = 2\pi\eta_{uc}v_{0tb} \left[\frac{R_H^2 - (R_\delta + c + r_2)^2}{h} + \frac{2\pi ar_2^2}{h(h + 2r_M)} \right] \quad (3.154)$$

Hay khi tạo hình vành lõi có độ cao tương đối nhỏ:

$$F_V' = \frac{\pi^2 \eta_{uc} v_{0tb} ar_2^2}{h(h + 2r_M)} \quad (3.155)$$

6) Đối với đập vuốt ngược từ phôi rộng bằng chày đàn hồi, lỏng hay khí theo chày cứng với tấm chặn phôi tựa cố định (Hình 3.22b):

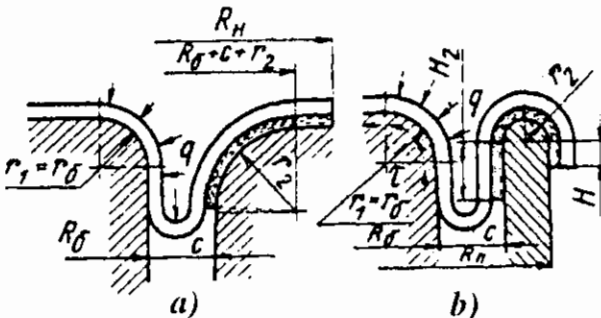
$$F_{VI} = \frac{2\pi\eta_{uc}v_{0tb}}{h} \cdot [(R_\delta + c)H_2 + R_n H + \pi r_2 (R_n - r_2)] \quad (3.156)$$

7) Đối với tạo hình vỏ gợn sóng hướng tâm bằng chày đàn hồi, ướt hay khí trên cối cứng (Hình 3.23a):

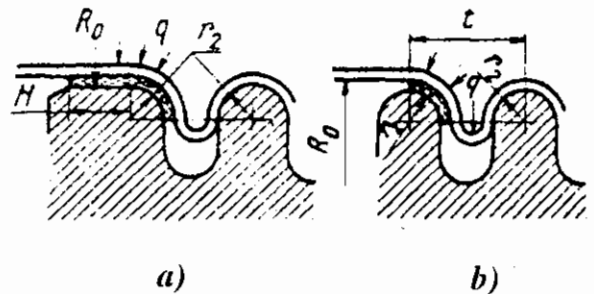
$$F_{VII} = 2\pi\eta_{uc} \frac{v_{0tb}}{h} \left\{ R_0 H + \frac{\pi r_2}{2} \left[R_0 + r_2 \left(1 - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) \right] \right\} \quad (3.157)$$

8) Đối với tạo hình vỏ gợn sóng hướng tâm bằng cối đàn hồi, lỏng hay khí lên chày cứng (Hình 3.23b):

$$F_{VIII} = \pi^2 \eta_{uc} v_{0tb} \frac{\left[R_0 - r_2 \left(1 - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) \right] r_2}{h} \quad (3.158)$$



Hình 3.22. Sơ đồ biểu diễn lực ma sát trong chế độ thủy động khi đập vuốt từ phôi phẳng a) và phôi không gian b)



Hình 3.23. Sơ đồ biểu diễn lực ma sát trong chế độ thủy động khi tạo hình vỏ gợn sóng hướng kính theo cối cứng a) và theo chày cứng b)

t: bước gợn sóng

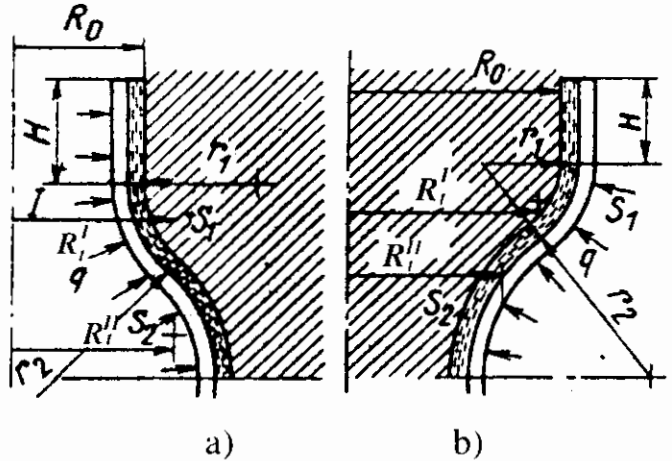
9) Đối với tạo hình vỏ dạng phức tạp từ phôi không gian theo cối cứng:

$$F_{LX} = 2\pi\eta_{tt}v_{0tb} \frac{R_0H + R'_1S_1 + R''_1S_2}{h} \quad (3.157)$$

Biểu thức tương tự đối với tạo hình trên chày cứng (Hình 3.24a).

Hình 3.24: Đồ thị biểu diễn lực ma sát trong điều kiện bôi trơn thủy động khi tạo hình chi tiết dạng vỏ phức tạp bằng chày chất dẻo, lỏng và khí theo cối cứng - a và cối theo chày cứng - b

I và II: Vùng tính toán ma sát; R: Bán kính cong; R_0 : Bán kính vành chi tiết; S_1, S_2 : Chiều dài thành chi tiết trong vùng I và II; r_1, r_2 : Bán kính cong kinh tuyến



Từ những ví dụ trên đây thấy rằng, lý thuyết ma sát thủy động cho phép xác định được lực ma sát trên bề mặt trượt của bán thành phẩm biến dạng và dụng cụ trong dập chi tiết từ phôi tấm.

Như sẽ trình bày trong những phần sau đây, cơ sở lý thuyết ma sát thủy động có thể được ứng dụng thành công vào cả các công đoạn biến dạng dẻo khác (kéo dây, dập khối, cán, ép chảy v.v...). Các số liệu từ thực tế cũng khẳng định khả năng này.

Chương IV

CƠ SỞ MA SÁT TIẾP XÚC TRONG QUÁ TRÌNH BIẾN DẠNG ĐEO Ở TRẠNG THÁI KHỐI

4.1. ĐIỀU KIỆN TẠO MA SÁT ƯỚT KHI CHỖN

Trong các quá trình biến dạng khối dẻo cũng như trong dập tấm, lực ma sát tiếp xúc có thể có tác dụng tốt hoặc xấu đến khả năng công nghệ của quá trình này (Bảng 4.1).

Cũng như trong dập tấm, trên các bề mặt bị ảnh hưởng xấu của lực ma sát người ta sử dụng những chất bôi trơn có hiệu quả được phát huy tốt nhất trong chế độ thủy động.

Trên cơ sở tận dụng hiệu ứng thủy động của chất bôi trơn mà có thể thúc đẩy các qui trình công nghệ hiện có, tăng đáng kể độ bền của dụng cụ và chất lượng của sản phẩm. Đồng thời cũng xây dựng những qui trình công nghệ như kéo kim loại thủy động, cán tinh phẳng thủy động [10].

Bên cạnh đó, trong khi xem xét các phương pháp có hiệu quả để tăng cường các quá trình biến dạng khối vấn đề quan trọng là tạo ra các điều kiện chế độ thủy động của chất bôi trơn. Dưới đây sẽ xem xét các điều kiện ma sát ướt đối với những quá trình chủ yếu trong biến dạng khối (Bảng 4.1).

Thực chất hiệu quả thủy động của chất bôi trơn trong chôn là sự xuất hiện áp lực trong thể tích của lớp bôi trơn khi nó bị nén bởi hai bề mặt song song. áp suất thủy động xuất hiện trong trường hợp này phụ thuộc vào độ nhớt của chất bôi trơn η , tốc độ nén v , độ dày của lớp bôi trơn h , kích thước của các bề mặt ép a , còn đối với các bề mặt ép tròn [7] thì:

$$p = \frac{3\eta v}{h^3} (a^2 - r^2) \quad (4.1)$$

Tài liệu [7] cho thấy rằng quá trình chôn có thể chia một cách qui ước thành hai giai đoạn như dưới đây:

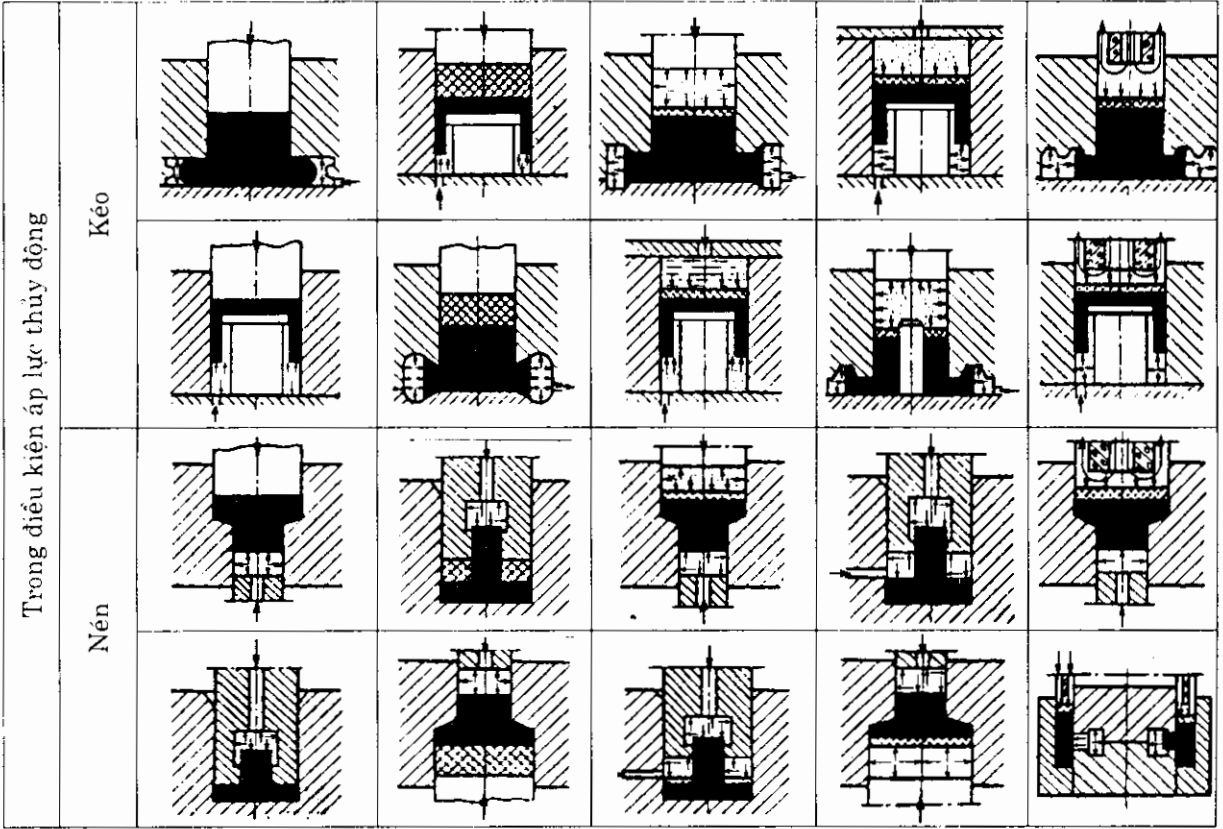
- Ở giai đoạn thứ nhất (Hình 4.1) xảy ra hiện tượng nén chất bôi trơn giữa hai bề mặt song song của sản phẩm và dụng cụ. Do có trở lực chảy thoát trong lớp bôi trơn mà xuất hiện áp suất thủy động. Tùy theo

mức độ chuyển dịch lại gần nhau của hai bề mặt mà áp suất trong lớp bôi trơn tăng lên và có thể đạt độ lớn đáng kể. áp suất thủy động cao làm biến dạng các bề mặt tiếp xúc, tạo ra điều kiện đóng kín thể tích xác định của chất bôi tại thời điểm tiếp xúc của dụng cụ với phôi theo một chu vi khép kín.

▪ Ở giai đoạn thứ hai (Hình 4.2) sự chảy tràn chất bôi trơn ngừng lại, còn sự biến dạng của phôi vẫn tiếp tục trên bề mặt tiếp xúc. Độ dày của lớp bôi trơn trên bề mặt sẽ quyết định bởi sự biến dạng đàn hồi của mặt mút phôi có thể là đàn hồi hoặc đàn-dẻo tùy thuộc vào áp suất trong lớp bôi trơn tại thời điểm khép kín.

Bảng 4.1: Phân loại theo nguyên lý quá trình tạo hình thể tích

Dạng chảy	Biến dạng chủ đạo	Dạng dụng cụ (vật công tác)				
		Cứng	Đẻo, đàn hồi	Chất lỏng	Khí	Từ trường
Tự do	Kéo					
	Nén					



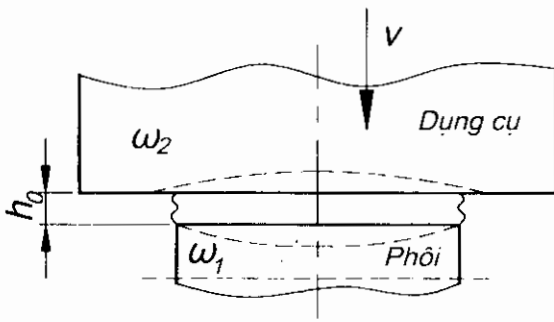
Để xác định độ dày của thể tích chất bôi trơn bị đóng kín cần phải biết áp suất trong lớp bôi trơn tại thời điểm đó. Để làm điều này có thể sử dụng công thức (4.1) bởi nó được áp dụng cho điều kiện mà trong quá trình nén các bề mặt tiếp xúc chưa bị biến dạng. Từ công thức này suy ra rằng tại thời điểm khép kín khi $h=0$ áp suất thủy động có giá trị vô cùng lớn. Trong thực tế sự biến dạng các bề mặt tiếp xúc có ảnh hưởng tới sự phân bố áp lực trong lớp bôi trơn, điều đó lại ảnh hưởng tới độ biến dạng.

Dưới đây xem xét sự phân bố áp lực trong bôi trơn có tính đến sự biến dạng của bề mặt tiếp xúc. Để làm việc đó ta dùng phương trình Reynold. Trong hệ tọa độ trụ phương trình đó có thể viết dưới dạng:

$$\frac{d}{dr} \left(h^3 \frac{dp}{dr} \right) + \frac{h^3}{r} \frac{dp}{dr} = -12\eta.v \quad (4.2)$$

Đối với các bề mặt tròn đặc bị nén, từ phương trình trên suy ra:

$$p = -6.\eta.v \int \frac{r.dr}{h^3} \quad (4.3)$$



Hình 4.1. Lớp chịu nén giữa các bề mặt song song của phôi và dụng cụ

h_0 : Chiều dày lớp bôi trơn ban đầu;
 ω_1, ω_2 : Độ nén mặt đầu

Từ biểu thức này suy ra rằng sự phân bố áp lực trong lớp bôi trơn trên các bề mặt tiếp xúc bị biến dạng là phụ thuộc vào hình dạng của lớp bôi trơn, với độ dày của lớp bôi trơn không đổi $h = \text{const}$ người ta dùng công thức (4.1). Hình dạng của lớp bôi trơn được quyết định bởi sự biến dạng của các bề mặt tiếp xúc dưới tác dụng của áp suất thủy động (xem hình 4.1).

Độ dày của lớp bôi trơn là:

$$h = h_0 + \omega_1 + \omega_2 \quad (4.4)$$

trong đó:

- h_0 : độ dày lớp bôi trơn ở rìa phôi;
- ω_1 : chuyển dịch của các điểm trên bề mặt tiếp xúc của phôi;
- ω_2 : chuyển dịch của các điểm trên bề mặt tiếp xúc của dụng cụ.

Sự phân tích về lý thuyết cho thấy rằng sự dịch chuyển các điểm trên bề mặt tiếp xúc của phôi tỷ lệ với áp suất trong lớp bôi trơn:

$$\omega_1 = \frac{1 - \nu}{2.G} \frac{H}{2} \cdot p = k_1 \cdot p \quad (4.5)$$

trong đó:

- ν : hệ số Poisson;
- G : môđun cắt của vật liệu mẫu;
- H : chiều cao mẫu;
- p : áp suất trong lớp bôi trơn;
- k_1 : hệ số tỷ lệ:

$$k_1 = \frac{1 - \nu}{2.G} \frac{H}{2} \quad (4.6)$$

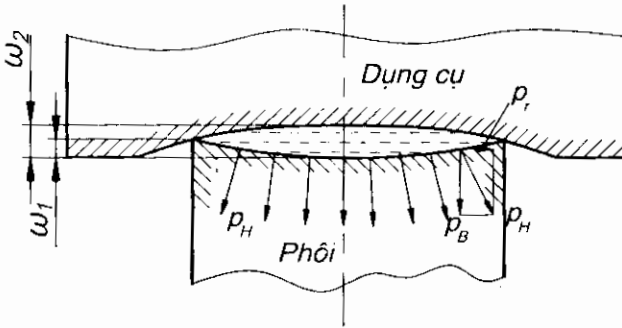
Tỷ lệ này được duy trì cả khi biến dạng đàn-dẻo nếu cho rằng trong miền dẻo vật liệu phôi bị hóa bền tuyến tính.

$$\omega_1 = \frac{1 - \nu}{2.G'} \frac{H}{2} \cdot p = k_1' \cdot p \quad (4.7)$$

trong đó - G' : môđun cắt qui đổi;

- k_1' : hệ số tỉ lệ:

$$k_1' = \frac{1-\nu}{2G'} \frac{H}{2} \quad (4.8)$$



Hình 4.2. Chôn phôi có chất bôi trơn được chặn kín trong thể tích

p_H, p_B, p_r lần lượt tương ứng với các thành phần pháp, thẳng đứng và ngang của áp lực

Sự dịch chuyển các điểm bề mặt tiếp xúc của dụng cụ có thể xác định từ phương trình lý thuyết đàn hồi sau đây áp dụng với vật bán rỗng đàn hồi:

$$\omega_2 = \frac{1-\nu^2}{\pi E} \iint \frac{pdS}{R} \quad (4.9)$$

- trong đó:
- S : miền lấy tích phân, đường tròn bán kính a;
 - R: khoảng cách giữa điểm cố định trong quá trình tích phân tới điểm ở bên trong miền dS.

Chấp nhận rằng, sự dịch chuyển các điểm bề mặt tiếp xúc của dụng cụ cũng tỉ lệ với tải trọng tác dụng, ta có:

$$\omega_2 = k_2 p \quad (4.9')$$

trong đó, k_2 - hệ số tỉ lệ.

Khi đó, bằng cách tích phân biểu thức (4.3) cùng tính toán phương trình (4.4) để tìm áp suất trong lớp bôi trơn ta thu được công thức:

$$p = \frac{\sqrt[4]{12 \cdot \eta \cdot v \cdot (a^2 - r^2) k + h_0^4} - h_0}{k} \quad (4.10)$$

trong đó:

- v: vận tốc chôn;
- a: bán kính phôi;
- $k = k_1 + k_2$: hệ số tỉ lệ tổng.

Khi đó, nếu vật mẫu ở trạng thái đàn hồi thì k_1 được tính theo công thức (4.6), nếu ở trạng thái đàn-dẻo thì dùng công thức (4.8) cho miền dẻo. So sánh áp suất trong lớp bôi trơn khi biến dạng các bề mặt tiếp xúc trong quá trình nén [công thức (4.10)] với áp suất trong lớp bôi trơn khi nén nó bằng các bề mặt cứng [công thức (4.1)]. Với cả hai trường hợp ta đều tìm thấy áp suất thủy động

lớn nhất với các độ dày lớp bôi trơn khác nhau: $\eta=5,14 \cdot 10^4$ P; $v= 1,6 \cdot 10^{-3}$ mm/s; $k = 16 \cdot 10^1$ mm³/kg; $a = 36$ mm.

Kết quả tính toán được nêu trong bảng 4.2.

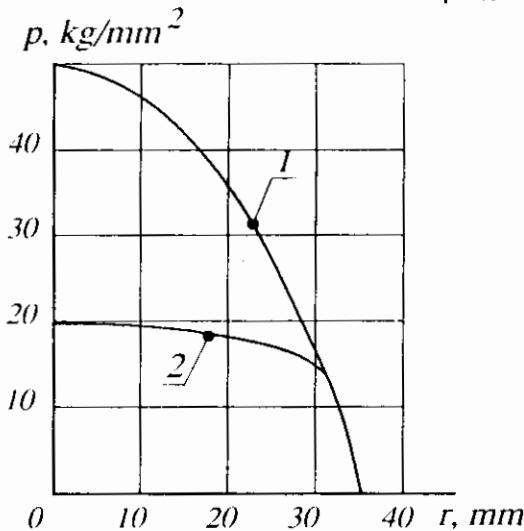
Bảng 4.2: áp lực trong lớp bôi trơn

Chiều dày lớp bôi trơn, mm	Áp lực lớn nhất trong lớp bôi trơn, kG/mm ²	
	Theo công thức (4.1)	Theo công thức (4.8)
0,1	3,2	3,1
0,04	50	18,5
0,005	25.000	39

Từ bảng 4.2 suy ra rằng đối với những lớp bôi trơn tương đối dày thì sự khác biệt về áp suất lớn nhất tính theo công thức (4.1) và (4.10) là không đáng kể. Khi giảm độ dày lớp bôi trơn thì sự khác biệt đó tăng lên bởi khi đó sự biến dạng mặt mút của sản phẩm đã bắt đầu gây ảnh hưởng. Để so sánh trên hình 4.3 đã dẫn biểu đồ áp suất trong lớp bôi trơn cho cả hai trường hợp.

Áp suất trong lớp bôi trơn ở thời điểm khép kín ($h_0 = 0$) được tính theo công thức (4.10) là:

$$p = 4 \sqrt{\frac{12\eta \cdot v}{k^3} (a^2 - r^2)} \quad (4.11)$$



Hình 4.3. Ảnh hưởng của biến dạng mặt đầu tới áp lực của lớp bôi trơn
 1: áp lực khi bề mặt cứng [công thức (92)];
 2: áp lực khi bề mặt bị biến dạng [công thức (99)].

Từ công thức (4.11) suy ra rằng áp suất trong lớp bôi trơn ở thời điểm khép kín với các điều kiện như nhau là phụ thuộc vào độ nhớt của chất bôi trơn. Dưới đây nêu số liệu áp suất đối với chất bôi trơn có độ nhớt khác nhau trong điều kiện các bề mặt tiếp xúc bị biến dạng đàn hồi.

Độ nhớt chất bôi trơn, P	0,1	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁶
p, KG/mm ²	14	25	44	78	140	250	780

Các số liệu ban đầu để tính toán là: $v=10$ mm/s; $k=16.10^{-4}$ mm³/kg; $a=36$ mm. Độ nhớt 0,1P tương ứng với dầu máy, độ nhớt 10⁶P ứng với paraffin. Độ nhớt càng tăng thì áp suất càng lớn. Khi sử dụng các chất có độ nhớt cao thì áp suất này đảm bảo làm biến dạng dẻo bất kỳ loại thép nào hiện có. Lưu ý rằng, áp suất cao trong lớp bôi trơn cũng có thể đạt được với các chất bôi trơn có độ nhớt thấp nếu như tăng vận tốc nén chúng. Dưới đây liệt kê sự biến thiên áp suất lớn nhất khi nén chất bôi trơn có độ nhớt thấp (1P).

Vận tốc nén, mm/s	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
áp lực lớn nhất, kG/mm ²	14	24	44	78	140

Từ phương trình (4.2) tương tự như trình bày trên đây có thể tính được sự phân bố áp suất trong lớp bôi trơn khi chôn các phôi trụ.

$$p = \frac{\sqrt[4]{12\eta \cdot v \cdot a^2 \left[\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) - \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{\ln \frac{r}{a}}{\ln \frac{b}{a}} \right] k + h_0^4 - h_0}}{k} \quad (4.12)$$

Áp suất trong chất bôi trơn tại thời điểm khép kín là:

$$p = \sqrt[4]{\frac{12\eta \cdot v}{k^3} \left[\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) - \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{\ln \frac{r}{a}}{\ln \frac{b}{a}} \right]} \quad (4.13)$$

Các công thức trên đây để tính áp suất có được nhờ có giả thiết rằng độ nhớt của chất bôi trơn là không đổi. Trong thực tế thì độ nhớt còn phụ thuộc vào áp suất trong lớp bôi trơn và nhiệt độ của nó: áp suất càng cao thì độ nhớt càng tăng, nhiệt độ càng cao thì độ nhớt càng giảm.

Mối quan hệ hàm số mũ giữa độ nhớt và áp suất là:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha \cdot p} \quad (4.14)$$

trong đó, η_0 - độ nhớt chất bôi trơn ở áp suất bình thường,

α - hệ số áp suất của độ nhớt xác định theo thực nghiệm.

Áp suất trong lớp bôi trơn là:

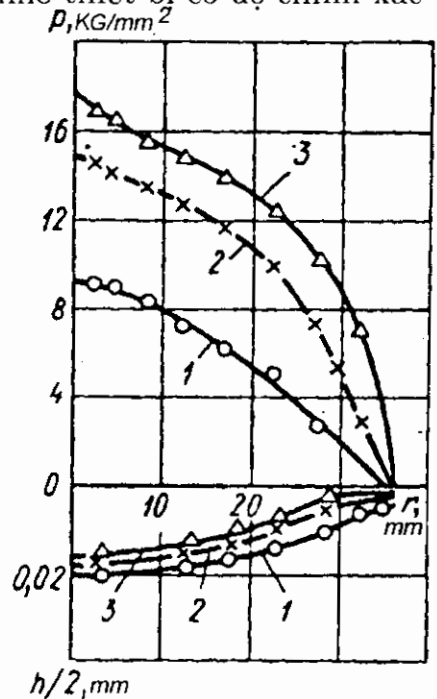
$$p_1 = -\frac{1}{\alpha} \ln(1 - \alpha \cdot p) \quad (4.15)$$

trong đó, p - áp suất trong lớp bôi trơn tính theo công thức (4.10), tức là khi độ nhớt không đổi.

Sự thay đổi độ nhớt do nhiệt độ có thể được xét đến trong các công thức tính áp suất khi chọn độ nhớt chất bôi trơn xuất phát từ nhiệt độ trung bình của lớp bôi trơn. Khi đó, vì quá trình diễn ra rất nhanh nên có thể bỏ qua sự toả nhiệt trong lớp bôi trơn. Một số nhà nghiên cứu cho rằng, nhiệt độ của chất bôi trơn phụ thuộc vào nhiệt độ của dụng cụ, bởi vì ở thời điểm chôn ban đầu vật mẫu chưa bị biến dạng dẻo.

Sự phân bố áp lực trong lớp bôi trơn đã được kiểm tra bằng thực nghiệm. Để làm việc đó những mẫu vật đúc hình trụ từ mỡ dầu mỏ không bị oxi hóa được nén giữa hai đầu búa song song trong 1 khuôn dập đặc biệt trên máy ép thuỷ lực 100 tấn. Khi đó, ghi lại áp suất trong lớp bôi trơn, độ dày của lớp, lực và tốc độ ép. Biểu đồ áp lực trong lớp bôi trơn được ghi nhờ có lực kế, còn độ dày lớp bôi trơn được ghi nhờ 1 cảm biến thể tích. Lực kế và cảm biến được gắn vào đầu búa dưới có thể dịch chuyển theo phương nằm ngang ứng với đầu búa trên. Đường kính đầu búa trên là 72 mm. áp suất trong lớp bôi trơn và lực ép được ghi trên dao động kế, độ dày của lớp bôi trơn đo bằng máy khuếch đại chuyên dùng. Lực tổng được hiệu chuẩn bằng kích thuỷ lực có gắn áp kế. Độ chính xác của lực kế được xác định bằng cách đối chiếu ứng lực tính toán theo diện tích biểu đồ áp suất trong lớp bôi trơn ứng với lực ép. Sai số khi đó khoảng $\pm 7\%$. Chỉ số của cảm biến thể tích được hiệu chuẩn nhờ thiết bị có độ chính xác tới 0,001 mm.

Hình 4.4. Biểu đồ giá trị thực nghiệm áp lực của lớp bôi trơn khi nén
Lực nén (tấn): đường 1 - 18; đường 2 - 38; đường 3 - 55.



Kết quả xử lý các số liệu thí nghiệm được trình bày trong hình 4.4. Từ các số liệu thí nghiệm suy ra rằng với áp suất trong lớp bôi trơn không lớn thì biểu đồ có dạng giống đường parabol. Tuy theo mức tăng áp suất mà biểu đồ càng chịu nhiều ảnh hưởng của mối liên hệ giữa độ nhớt và áp suất và độ cong của dụng cụ làm cho hình dạng biểu đồ không giống với hình parabol nữa. Hình dạng của lớp bôi trơn cũng tương ứng với hình dạng của biểu đồ áp suất.

Dưới đây dẫn kết quả xử lý các số liệu thí nghiệm với độ dày lớp bôi trơn là 0,001 mm, vận tốc ép là 0,003 mm/s và áp lực ép là 55 KG.

Áp lực trong lớp bôi trơn, KG/mm ²						
- Tính toán	18	17.5	16.9	15.5	13.6	10.3
- Thực nghiệm	17.6	16	14.8	13.7	11.6	8.2
Khoảng cách từ tâm mặt cắt của mẫu	0	6	12	18	24	30

Hệ số áp suất của độ nhớt đã được xác định bằng thực nghiệm theo công thức (4.15): giá trị trung bình của nó bằng 0,07 mm²/kg.

Các kết quả thu được cho phép rút ra kết luận là áp suất trong lớp bôi trơn tại thời điểm khép kín chất bôi trơn đó trong mặt dầu búa chôn, có tính đến sự biến dạng các bề mặt tiếp xúc, phụ thuộc vào độ nhớt của chất bôi trơn, tốc độ chôn, kích thước của vật mẫu, cơ tính của vật liệu làm mẫu và dụng cụ.

Sử dụng các chất bôi trơn có độ nhớt khác nhau trong khi giữ nguyên các điều kiện khác có thể làm thay đổi áp suất ở thời điểm khép kín tại mặt dầu, do vậy có thể làm thay đổi cả thể tích chất bôi trơn bao phủ trên bề mặt dầu. Điều đó cho phép hiệu chỉnh hình dạng mặt dầu của phôi.

Đã biết rằng, khi chôn không có chất bôi trơn, các bề mặt dầu của phôi bị lỗi ra. Độ lỗi tùy thuộc sự biến dạng của dụng cụ, phụ thuộc vào độ lớn và đặc điểm của sự phân bố áp suất pháp trên các mặt tiếp xúc của phôi. Đặc biệt hay bị sai lệch bề mặt khi chôn các đĩa không có lỗ. Việc sử dụng chất bôi trơn cho phép giảm được sự biến dạng của dụng cụ do áp lực chôn và thể tích khối bôi trơn khép kín (Hình 4.5). Khi chôn với chất bôi trơn độ nhớt cao trong điều kiện ma sát ướt, có thể cho rằng áp suất chôn là đồng đều và được quyết định bởi cơ tính của vật liệu phôi ở trong phần đó. Khi ấy sự biến dạng bề mặt tiếp xúc của dụng cụ có thể tính theo công thức đã biết của lý thuyết đàn hồi:

$$\omega_1 = 4\sigma_s \frac{1-\nu^2}{\pi E} \int_0^{\pi/2} \sqrt{a^2 - r^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (116)$$

trong đó:

- σ_s : giới hạn chảy của vật liệu phôi với mức biến dạng đã cho;

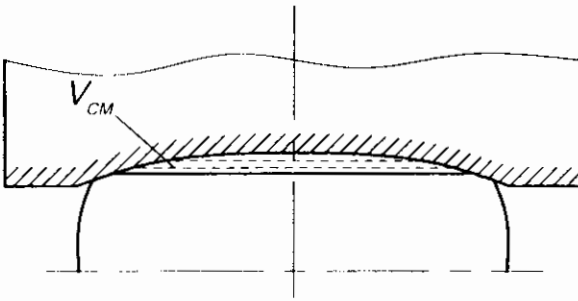
- E : môđun đàn hồi của vật liệu làm dụng cụ;
- a : bán kính sản phẩm được chôn.

Biết được độ biến dạng của dụng cụ có thể tính được thể tích chất bôi trơn cần thiết để tạo được mặt dầu phẳng:

$$V_{CM} = 2\pi \int_0^a \omega.r.dr \quad (4.17)$$

Thực nghiệm cho thấy rằng trong quá trình chôn, chất bôi trơn ở vùng tiếp xúc sau thời điểm đóng kín không bị nén. Do đó thể tích chất bôi trơn cần thiết tính theo công thức (4.17) sẽ được xác định bằng độ biến dạng các bề mặt tiếp xúc của phôi và dụng cụ tại thời điểm khép kín:

$$V_{CM} = 2\pi \int_0^a \omega_1 r dr + 2\pi \int_0^a \omega_2 r dr \quad (4.18)$$



Hình 4.5: Sơ đồ chôn để nhận được dầu phôi phẳng

Sau khi thay giá trị ω_1 và ω_2 vào (4.18):

$$V_{CM} = 2\pi k_1 \int_0^a p r dr + 2\pi k_2 \int_0^a p r dr \quad (4.19)$$

Tích phân:

$$p = 2\pi \int_0^a p r dr \quad (4.20)$$

là tổng hợp lực ép chất bôi trơn ở thời điểm khép kín. Từ đó phương trình (4.19) có thể biến đổi thành:

$$V_{CM} = (k_1 + k_2) p = k p \quad (4.21)$$

Giá trị tổng ứng lực ép được tính bằng cách thay giá trị p từ phương trình (4.11) vào biểu thức (4.20)

Sau khi tích phân:

$$p = \frac{4}{5} \pi \sqrt{\frac{12\eta.v.a^{10}}{k^3}} \quad (4.22)$$

Sau khi thay p vào biểu thức (4.21) ta tìm được độ nhớt cần có cho chất bôi trơn cho phép tạo được mặt mút phẳng sau chôn:

$$\eta = 0,002 \frac{V_{CM}^4}{kva^{10}} \quad (4.23)$$

Công thức (4.23) thu được trong điều kiện độ nhớt của chất bôi trơn là ổn định. Khi cần xác định mối liên hệ phụ thuộc của độ nhớt vào áp suất trong tính toán tổng ứng lực ép ta nên sử dụng công thức (4.15). Tuy nhiên điều đó khó khăn cho việc lấy tích phân biểu thức (4.20). Để đơn giản hoá việc tính toán người ta qui ước rằng trong công thức (4.15) giá trị p là số không đổi theo bán kính mặt đầu của phôi (hình 4.4, đường cong 2). Khi ấy độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn là:

$$\eta = 0,2 \frac{k^3}{v.a^2} \left(\frac{\alpha.V_{CM}}{1 - e^{-\pi.k.a^2}} \right)^4 \quad (4.24)$$

4.2. TĂNG KHẢ NĂNG ÉP CHẢY NHỜ ĐIỀU KHIỂN LỰC MA SÁT

Quá trình ép chảy nguội có rất nhiều khả năng về mặt công nghệ và kinh tế. Mặc dù việc ứng dụng vào chế tạo máy còn hạn chế, đặc biệt là trong chế tạo các chi tiết từ các hợp kim đen và hợp kim màu có độ bền cao. Quá trình đó được áp dụng chủ yếu để sản xuất các chi tiết có hình dạng đơn giản, chủ yếu từ hợp kim màu dẻo có trở lực biến dạng tương đối thấp.

Cho đến nay vẫn chưa khám phá hết các khả năng đa dạng của quá trình này, có nghĩa là các sơ đồ ngoại lực áp đặt để đảm bảo biến dạng dẻo toàn bộ thể tích. Vì vậy vẫn chưa có được đầy đủ hình ảnh về các khả năng công nghệ của loại hình gia công này. Người ta mới sử dụng có 3 sơ đồ cơ bản của ép chảy (thuận, nghịch và kết hợp). Việc ứng dụng rộng rãi vào thực tế công nghệ ép chảy nguội phụ thuộc nhiều vào các yếu tố sau:

- 1) Dựa trên dự đoán khoa học phát hiện nhiều hơn các sơ đồ biến dạng dẻo thể tích ở trạng thái nguội.
- 2) Nghiên cứu cơ chế biến dạng để điều khiển có hiệu quả quá trình và tiến hành sự biến dạng cần thiết.

Nhiệm vụ thứ nhất có thể thực hiện được trên cơ sở phân loại hệ thống các quá trình cũng như biến thái của các quá trình đó hoặc phân loại chi tiết theo các dấu hiệu kết cấu hình dạng hình học. Ví dụ, lấy loại môi trường truyền tải trọng cho phôi, sơ đồ đặt lực biến dạng làm cơ sở thì toàn bộ các quá trình biến

dạng dẻo khối nguội có thể được trình bày như một sơ đồ phân loại (xem bảng 4.1). Theo bảng phân loại này thì tất cả các quá trình có thể được phân chia thành 5 nhóm chính.

Dạng của vật liệu biến dạng hay môi trường sẽ là tiêu chí cơ bản để phân loại - tiêu chí loại 1. Tiêu chí loại hai có thể là dạng biến dạng chủ đạo, sau này sẽ gọi là biến dạng quyết định. Kết quả phân tích những biến thái của quá trình cho thấy rằng, biến dạng quyết định trong quá trình chảy dẻo là sự kéo hoặc nén tiếp tuyến. Trong các trường hợp đặc biệt, có thể kết hợp trong cùng một quá trình ép chảy biến dạng quyết định kéo và nén ở các vùng khác nhau của phôi.

Tính chất phát triển của biến dạng quyết định có thể chịu ảnh hưởng lớn của điều kiện chảy và các yếu tố như sự thay đổi trạng thái ứng suất-biến dạng trong ổ biến dạng. Lúc này cần phải phân biệt sự chảy tự do và chảy có đối áp. Tuỳ thuộc vào điều kiện chảy và kiểu biến dạng quyết định mà sự biến dạng trong điều kiện áp suất thuỷ động có thể được xem như một cách có triển vọng nhất để thúc đẩy quá trình biến dạng vì đảm bảo kết hợp trạng thái ứng suất nén ba chiều và chế độ bôi trơn thuỷ động.

Tuỳ theo điều kiện chảy và kiểu biến dạng quyết định các nhóm quá trình (xem bảng 4.1) theo phân loại hàng dọc được chia thành quá trình chảy tự do và quá trình chảy có đối áp. Theo hàng dọc, các nhóm đó lại phân chia thành những quá trình có biến dạng quyết định là kéo và nén. Mỗi ô trong bảng phân loại thể hiện không chỉ 1 mà là cả nhóm qui trình cùng loại biến dạng khối dẻo. Đến lượt mình, mỗi nhóm đó lại có thể chia thành các quá trình tuỳ theo điều kiện nhiệt độ, vận tốc biến dạng, loại năng lượng và đặc điểm sự truyền năng lượng cho phôi cũng như trong mối quan hệ với các kích thước thiết kế của chi tiết được dập.

Nếu cho rằng tại ranh giới các nhóm chính cần phải có các nhóm chuyển tiếp thì sơ đồ đang xem xét được liên kết thành 1 hệ thống khái quát nhất các công nghệ gia công áp lực kim loại.

Như vậy, biến dạng dẻo thể tích ở trạng thái nguội cần phải được nhìn nhận không như một quá trình đơn lẻ mà là cả một lĩnh vực, một loại hình gia công bao gồm nhiều quá trình tạo hình phức tạp. Khả năng công nghệ của đa số các quá trình đa dạng nói trên cho đến nay vẫn chưa được nghiên cứu. Các sơ đồ được nghiên cứu một phần có thể là các quá trình thuộc nhóm 1 với sự chảy tự do của vật liệu cũng như cũng như quá trình dập bằng chất lỏng. Các quá trình còn lại đều chưa được nghiên cứu và áp dụng vào sản xuất.

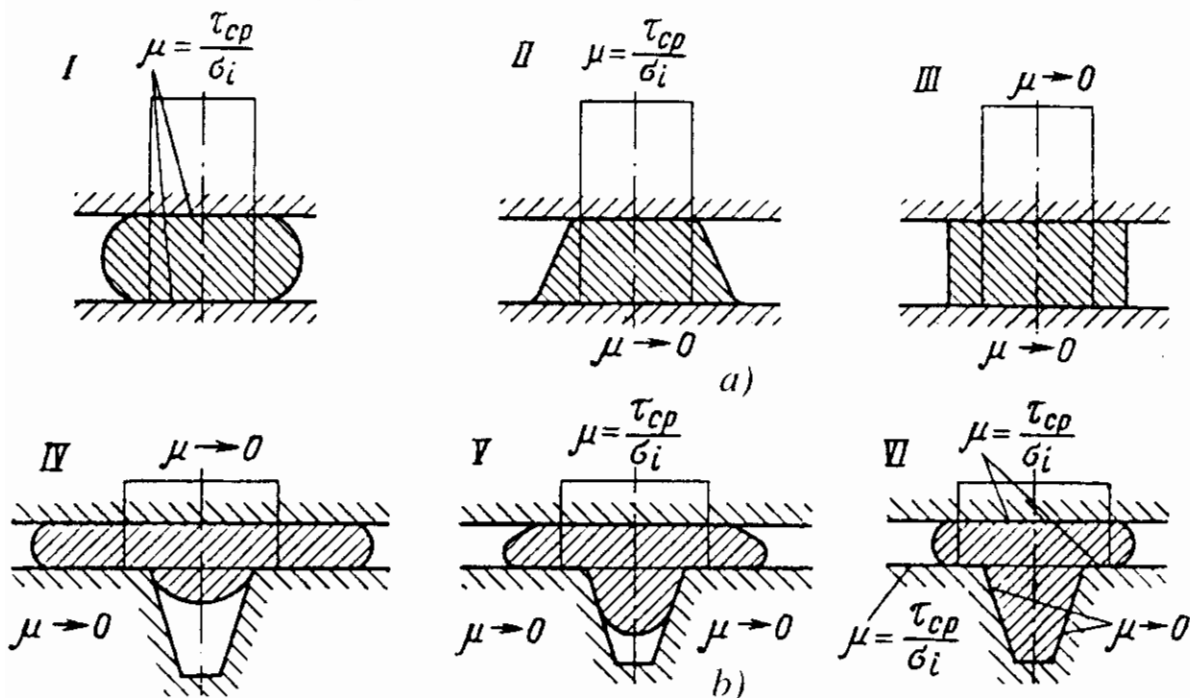
Giải quyết có hiệu quả nhiệm vụ thứ 2, tức là nghiên cứu cơ chế biến dạng, có thể thực hiện được nếu đi sâu nghiên cứu các vấn đề sau:

1) Ma sát ngoài hay điều kiện tiếp xúc tại ranh giới vật liệu bị

biến dạng với dụng cụ. Như sẽ cho thấy, quá trình biến dạng chịu ảnh hưởng lớn của các điều kiện biên, cụ thể là dạng và cơ-lý tính của môi trường.

2) Tốc độ biến dạng, điều này ảnh hưởng đặc biệt lớn tới sự thay đổi điều kiện ở ranh giới phôi-dụng cụ.

3) Nhiệt độ biến dạng được quyết định chủ yếu bởi điều kiện vận tốc biến dạng.



Hình 4.6. Ảnh hưởng của lực ma sát tiếp xúc đến tính chất biến dạng khi chôn tự do

a: Giữa các bề mặt phẳng; b: Giữa bề mặt phẳng và bề mặt côn;

I: Ma sát khô trên hai bề mặt; II, V: Ma sát khô ở bề mặt trên và ướt ở bề mặt dưới; III, IV: Ma sát ướt ở cả bề mặt trên và dưới; VI: Ma sát ướt ở bề mặt côn

Quan trọng nhất trong các yếu tố trên chính là ma sát ngoài.

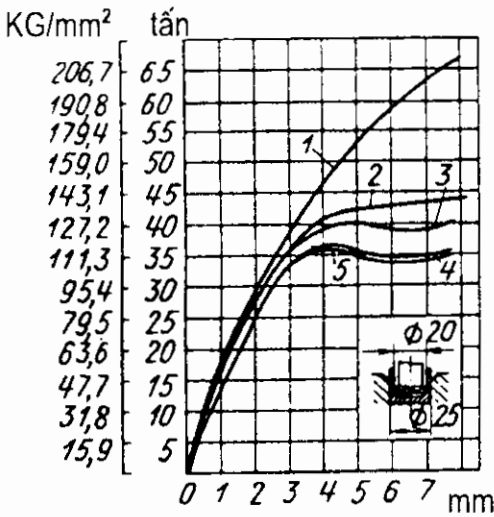
Phân tích trạng thái ứng suất-biến dạng của quá trình ép chảy thể tích cho thấy rằng lực ma sát ngoài tác dụng giữa phôi biến dạng và dụng cụ có thể ảnh hưởng tốt hoặc xấu đến khả năng công nghệ của quá trình được xem xét.

Trong cùng một quá trình, việc sử dụng chất bôi trơn không tính đến trạng thái ứng suất, biến dạng có thể dẫn đến chỗ không thúc đẩy khả năng công nghệ mà còn thu được những kết quả trái ngược. Như vậy, trong quá trình chôn tự do sản phẩm hình trụ giữa các bề mặt phẳng và khi chôn trong khoang kín (Hình 4.6) sự khác biệt về cường độ lực ma sát ngoài có thể dẫn

đến những chiều hướng khác nhau của biến dạng dẻo và hậu quả là cả sự tạo hình nói chung.

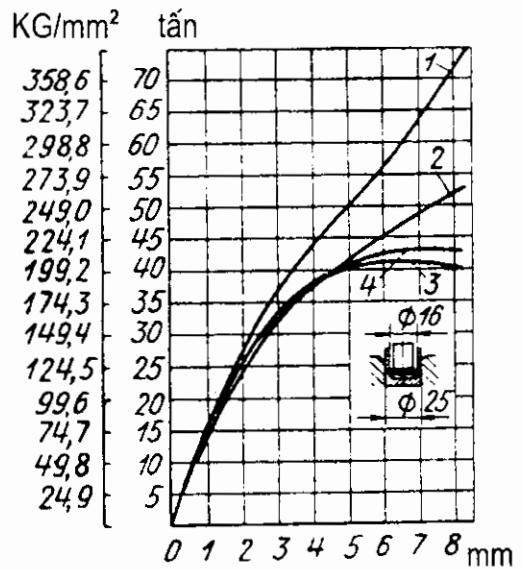
Lực ma sát giữa các bề mặt phẳng biến dạng của dụng cụ khi chôn trong khoang khép kín càng lớn thì hiệu quả biến dạng chi tiết càng cao, được tính bằng sự diển đầy toàn bộ khoang của dụng cụ với đường kính mặt bích là nhỏ nhất.

Như vậy, việc thúc đẩy quá trình biến dạng dẻo thể tích nguội chỉ nhờ sử dụng các chất bôi trơn công nghệ có hiệu quả, chỉ phản ảnh một mặt của các hiện tượng liên quan đến lực ma sát ngoài. Việc giải bài toán đầy đủ hơn để thúc đẩy các quá trình này là không tưởng nếu không tìm cách giảm lực ma sát tại những phần nhất định và bề mặt phôi cũng như tìm kiếm phương pháp (và cả vật liệu) để đồng thời tăng lực ma sát ngoài trên các bề mặt khác, các phần khác của phôi và dụng cụ trong cùng một quá trình biến dạng. Từ đó cũng suy ra rằng muốn đạt được hiệu quả công nghệ cao nhất thì chất bôi trơn thích hợp trên sản phẩm cần được bôi trơn không phải trên toàn bộ bề mặt mà chỉ ở những phần nhất định có tính đến trạng thái ứng suất biến dạng và đặc tính biến dạng trong từng trường hợp dập cụ thể.



Hình 4.7. Biểu đồ áp lực - hành trình chày khi ép chảy ngược, nguội mẫu đồng MI trong các điều kiện bề mặt tiếp xúc khác nhau

1: Không bôi trơn; 2-5: η_{hq} bằng lần lượt $1,67 \times 10^4$; $9,52 \times 10^2$; 10 và $26,1 P$



Hình 4.8. Biểu đồ áp lực - hành trình chày khi ép chảy ngược, nguội mẫu thép các bon thấp trong các điều kiện bề mặt tiếp xúc khác nhau

1: Không bôi trơn; 2-4: η_{hq} bằng lần lượt $4,21 \times 10^8$ và $1,67 \times 10^4 P$

Các nghiên cứu mà một số kết quả được dẫn ra dưới đây cho thấy khả năng nghiên cứu các cơ sở khoa học đáng tin cậy cho phép tùy theo trạng thái ứng suất-biến dạng, điều kiện nhiệt độ-vận tốc biến dạng và cơ tính của vật liệu biến dạng mà tính toán trước được những tính chất cần thiết của vật liệu bôi trơn. Một trong những căn cứ đó là lý thuyết ma sát thủy động mà kết nối tác dụng của lớp bôi trơn với cơ lý tính của vật liệu bôi trơn, với áp lực tiếp xúc, tốc độ chuyển dịch và thông số hình học của bề mặt ma sát.

Dưới đây dẫn các số liệu thí nghiệm khẳng định ảnh hưởng của cơ-lý tính vật liệu bôi trơn đối với các thông số của quá trình. Hiệu quả tác dụng của vật liệu bôi trơn trong thí nghiệm ép chảy các chi tiết từ thép cacbon thấp, đồng và nhôm được đánh giá theo sự biến thiên áp suất chảy và lực cần thiết để đạt được biến dạng mong muốn.

Đặc điểm cơ tính của vật liệu phôi ban đầu, thông số hình học của dụng cụ và vận tốc biến dạng được giữ không đổi đối với từng loạt thí nghiệm. Để tránh ảnh hưởng của các yếu tố nhiệt độ-vận tốc các thí nghiệm được tiến hành với vận tốc biến dạng nhỏ ($v=1,43 \cdot 10^{-4} \text{m/s}$). Chất bôi trơn được dùng là dung dịch nhựa thông trong dầu thầu dầu với các nồng độ khác nhau.

Như đã thấy trên biểu đồ *áp suất-Hành trình chày dập* (Hình 4.7) trong tạo hình chi tiết từ đồng M1, việc sử dụng chất bôi trơn có hiệu quả làm giảm đáng kể (đến 45%) áp lực chảy và lực cần thiết cho biến dạng. Khi tiếp tục tăng độ nhớt của vật liệu bôi trơn thì áp lực chảy và lực cần thiết cũng tăng lên.

Trong dập chi tiết từ thép cacbon thấp, tải trọng riêng phải lớn hơn nhiều so với đồng thì cùng với việc tăng độ nhớt động học của vật liệu bôi trơn là sự giảm ứng lực biến dạng (Hình 4.8). Khi đó, tính chất của biểu đồ *áp suất chảy-Hành trình chày* cũng bị thay đổi. Với các bề mặt phôi và dụng cụ không bôi trơn thì đường cong *áp suất chảy-Hành trình chày* tăng lên đột ngột (hệ số góc lớn). Khi sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt xác định (với nhôm là $\eta_{hq}=10 \text{ P}$ với đồng là $\eta_{hq}=26,1 \text{ P}$ với thép cacbon thấp là $\eta_{hq}=4,21 \times 10^8 \text{ P}$) áp lực chảy giảm xuống theo hành trình của chày dập.

Do vậy, với độ nhớt xác định của chất bôi trơn các kim loại khác nhau có thể đạt được chế độ chảy tối ưu. Chế độ đó được đặc trưng bởi sự ổn định hoặc có giảm đôi chút lực biến dạng và áp lực chảy theo hành trình biến dạng.

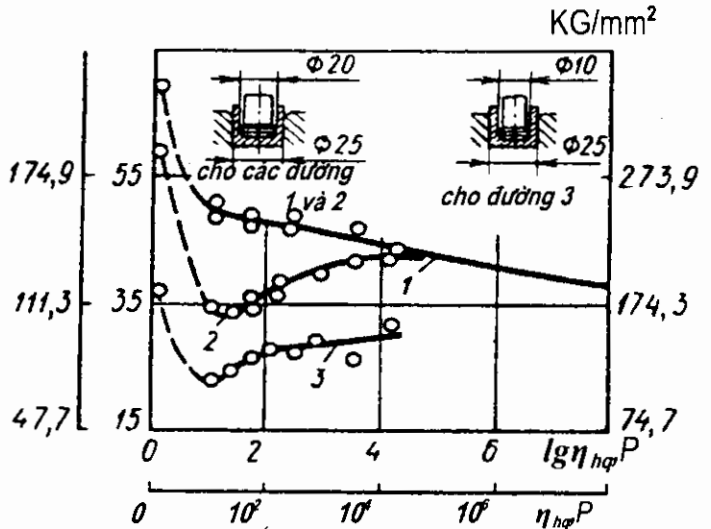
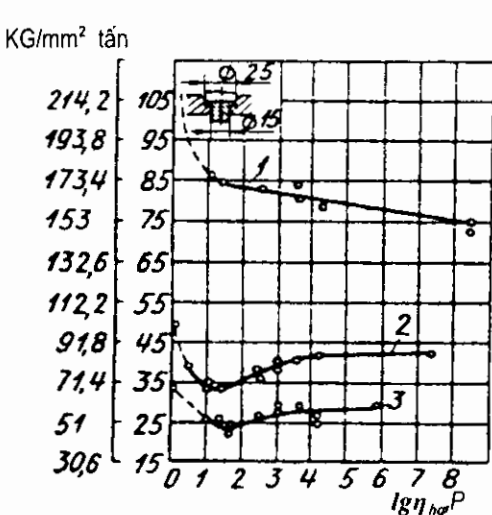
Kết quả thí nghiệm cho phép nhận ra không chỉ sự giảm áp lực chảy và ứng lực biến dạng cùng với việc tăng độ nhớt động học của chất bôi trơn, mà còn làm cho tính chất bề mặt vật mẫu trở nên tốt hơn. Trong bảng 4.3 có nêu kết quả thí nghiệm ép chảy các chi tiết từ thép 10 (ép chảy thuận).

Bảng 4.3: Sự thay đổi lực và áp lực chảy dẻo khi ép chảy nguội

(thép C10; $d_n=25$ mm; $d_{ph}=24,9$ mm; $d_M=15$ mm; vận tốc biến dạng $1,43.10^{-4}$ m/s)

Dạng bôi trơn	Lực biến dạng, tấn	áp lực chảy, KG/mm ²	Độ giảm áp lực chảy, %	Tác dụng của lực ma sát
Không bôi trơn	123,28	253,00	-	Chi tiết mẫu dính chặt với vùng dẫn hướng của cối. Có vết xước.
Dầu thầu dầu	85,76	174,72	30,9	Kim loại phôi bám dính nhiều vào vùng dẫn hướng của cối. Có vết xước.
20% nhựa thông+80% dầu thầu dầu	84,96	173,08	31,7	Như trên.
70% nhựa thông+30% dầu thầu dầu	78,52	159,98	36,8	Kim loại phôi bám dính không đáng kể vào vùng dẫn hướng của cối. Vết xước nhỏ.
90% nhựa thông+10% dầu thầu dầu	73,43	149,60	40,8	Không có sự bám dính, bề mặt sạch.

Khi sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt thấp, tiếp xúc giữa bề mặt dụng cụ và phôi dẫn đến tạo thành trên bề mặt sản phẩm những vết xước và xây xát và làm cho kim loại bị dính vào các vùng tạo hình của cối, đặc biệt là vào vùng định hướng. Càng tăng độ nhớt của chất bôi trơn thì độ sâu của những vết xước trên bề mặt sản phẩm cùng với số lượng kim loại bám dính vào bề mặt công tác của cối giảm. Với độ nhớt là $\eta = 4,2.10^6 \div 4,3.10^6$ P đã đạt được sự tách hoàn toàn các bề mặt ma sát bằng một lớp bôi trơn dày. Trong trường hợp đó vật mẫu có bề mặt sạch, mà không hề có dấu vết của sự tiếp xúc.



Hình 4.9. Áp lực chảy và lực biến dạng phụ thuộc vào độ nhớt của chất bôi trơn khi ép chảy thuận

1: Thép 10; 2: Đồng M1; 3: Nhôm hợp kim AMuAM ($v_{đđ}=1,43.10^{-4}$ m/s)

Hình 4.10. Áp lực chảy và lực biến dạng phụ thuộc vào độ nhớt của chất bôi trơn khi ép chảy ngược

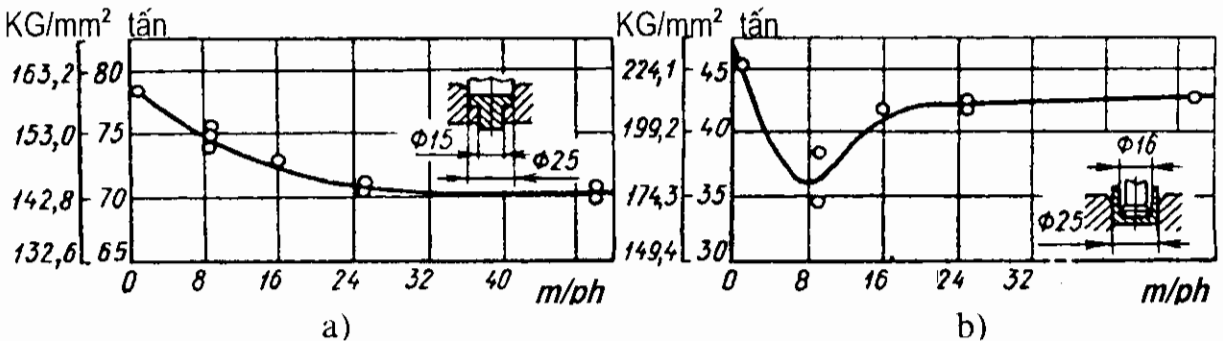
1: Thép 10; 2: Đồng; 3: AMuAM ($v_{đđ}=1,43.10^{-4}$ m/s)

Theo các kết quả thực nghiệm để xác định lượng chuyển động tương đối của chày, người ta đã xây dựng được các liên hệ tổng quát giữa sự biến thiên áp lực chày (và ứng suất biến dạng) với độ nhớt hữu ích của chất bôi trơn đối với ép chày thuận (Hình 4.9) và ép chày ngược (Hình 4.10). Từ hình 4.10 thấy rằng ảnh hưởng của vật liệu bôi trơn là khác nhau tùy theo độ nhớt của nó. Lực biến dạng lớn nhất quan sát được khi hoàn toàn không có chất bôi trơn (phôi và dụng cụ đều không được bôi trơn). Tùy theo mức tăng độ nhớt của chất bôi trơn mà lực biến dạng và áp lực chày càng giảm cho đến mức giới hạn, sau đó các tham số này lại từ từ tăng lên.

Những điểm trên các đường cong ứng với áp lực chày nhỏ nhất đã xác định độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn áp dụng cho điều kiện dập cho trước.

Khi ép chày xuôi độ nhớt của chất bôi trơn tối ưu đối với nhôm $\eta=26,1P$ (trong dầu thầu dầu 25% nhựa thông), đối với đồng là $\eta=22P$ (trong dầu thầu dầu 15% nhựa thông) và đối với thép cacbon thấp là $\eta=2,21 \cdot 10^8 P$ (90% nhựa thông). Độ nhớt tối ưu này của chất bôi trơn (có sai khác một chút đối với nhôm) cũng thu được trong ép chày ngược.

Những phương pháp đã có để lựa chọn vật liệu bôi trơn cho biến dạng thể tích nguội không tính đến ảnh hưởng của vận tốc biến dạng đối với điều kiện tiếp xúc của phôi và dụng cụ. Kết quả thực nghiệm cho thấy sự biến thiên vận tốc biến dạng có ảnh hưởng đến các tham số của quá trình khi các điều kiện khác không thay đổi (cơ tính của vật liệu ban đầu, kích thước hình học của dụng cụ, chất bôi trơn cũng như các vị trí bôi trơn trên sản phẩm). Các thí nghiệm đã được tiến hành trong ép chày xuôi và ép chày ngược trên các chi tiết mẫu làm từ thép cacbon thấp C10 với vận tốc 0-50 mm/phút. Đã sử dụng chất bôi trơn tối ưu dưới dạng dung dịch nhựa thông (90%) trong dầu thầu dầu (10%) có độ nhớt $\eta_{hq}=4,21 \cdot 10^8 P$. ảnh hưởng của vận tốc biến dạng còn được đánh giá theo sự thay đổi của biểu đồ Lực-Hành trình chày ép. Kết quả thí nghiệm được nêu trong hình 4.11a, b. Từ hình vẽ thấy rằng, vận tốc biến dạng càng tăng thì độ nhớt tối ưu cần thiết của vật liệu bôi trơn càng giảm.



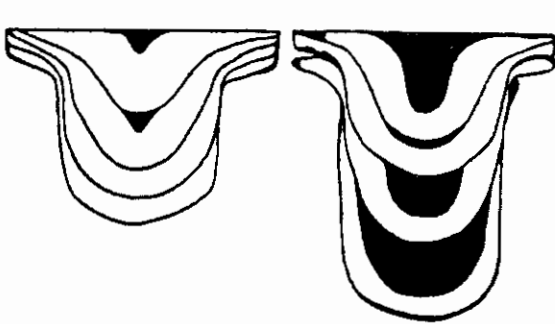
Hình 4.11. Áp lực chày và ứng lực lên chày phụ thuộc vào tốc độ biến dạng
a: ép chày thuận; b: ép chày ngược (thép 10; $\eta=4,21 \cdot 10^8 P$)

Ảnh hưởng của lực ma sát tiếp xúc và chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu đối với tính chất của quá trình biến dạng dẻo trong ép chảy nguội có thể minh họa trực quan bằng các thí nghiệm về dập các phôi dạng bó với các điều kiện ma sát khác nhau trên ranh giới các lớp. Sự biến dạng của các phôi được bó với nhau từ các tấm đồng cho thấy tính chất khác nhau của sự phân bố và độ biến dạng dẻo của chúng dưới tác động của ma sát ngoài.

Trên hình 4.12 và 4.13 cho thấy mặt cắt ngang phức tạp của các bó mẫu được biến dạng thuận và nghịch bằng cách ép chảy trong những điều kiện ma sát khác nhau tại các ranh giới giữa các lớp. Như đã thấy, tính chất chảy và sự phân bố biến dạng đã bị biến đổi một cách cơ bản khi sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu. Các sơ đồ trạng thái ứng suất-biến dạng là khác nhau ở những vùng khác nhau của phôi biến dạng. Nó biến đổi từ trạng thái nén ba chiều sang trạng thái kéo hoặc nén phẳng trong những vùng thể tích khác nhau của phôi. Như vậy, trong điều kiện ép chảy nguội, sơ đồ trạng thái ứng suất-biến dạng là không đồng nhất trên tiết diện của vật mẫu.

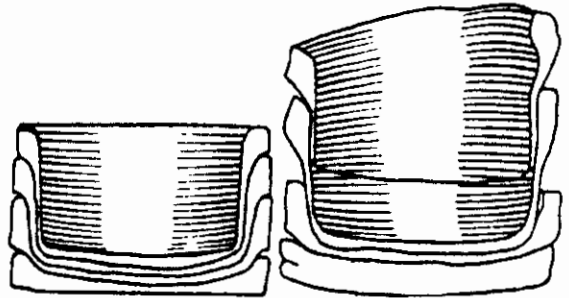
Khác với kết quả của những nghiên cứu trước đây, việc phân tích quá trình chảy cho thấy rằng trên tiết diện của vật mẫu được biến dạng theo sơ đồ ép chảy thuận hay ép chảy nghịch thì ứng suất và biến dạng được phân bố một cách khác nhau. Trong khe hở giữa cốt và chày (khi ép chảy ngược) vật liệu chịu ứng suất nén và kéo phân bố không đều dọc theo khe hở.

Trong trường hợp đang xét, lực ma sát ngoài làm tăng sự không đồng đều của phân bố ứng suất và biến dạng, làm giảm hiệu quả tác động của ứng suất kéo ở vùng tiếp xúc giữa phôi với dụng cụ, làm thay đổi đột ngột tính chất chảy của vật liệu.



Hình 4.12 Đặc trưng chảy khi ép chảy thuận nguội phôi từ đồng M1, được ghép lại thành khối từ những tấm dày 1,5mm

a: Bề mặt lớp ghép và dụng cụ được khử sạch dầu mỡ; b: Bề mặt lớp ghép và dụng cụ được phủ một lớp bôi trơn có độ nhớt tối ưu



Hình 4.13 Đặc trưng chảy khi ép chảy ngược nguội phôi lớp từ đồng M1, được ghép lại thành khối từ những tấm dày 1,5mm

a: Bề mặt lớp ghép và dụng cụ được khử sạch dầu mỡ; b: Bề mặt lớp ghép và dụng cụ được phủ một lớp bôi trơn có độ nhớt tối ưu

Việc tính toán định lượng ảnh hưởng của lực ma sát ngoài tới trạng thái ứng suất-biến dạng và đánh giá mức độ giảm ma sát ngoài nhờ sử dụng các loại bôi trơn khác nhau có thể làm được nhờ áp dụng các nguyên lý của lý thuyết thủy động Petrov-Giucôvski và lý thuyết ma sát giới hạn. Theo các lý thuyết này có thể sử dụng các đặc điểm thống nhất để đánh giá tác dụng bôi trơn của các loại bôi trơn khác nhau.

Tiêu chuẩn chính để đánh giá các chất bôi trơn trong điều kiện ma sát ướt là độ nhớt của chúng.

Các qui luật tác động chính của lớp bôi trơn được mô tả trong trường hợp này, cũng như trong dập tấm, bằng các phương trình thủy động. Ở dạng đơn giản nhất, qui luật chảy nhớt được xác định bởi mối liên hệ:

$$F = \eta \cdot S \frac{dv}{dy} \quad (4.25)$$

trong đó:

- F: lực ma sát;
- η : độ nhớt chất bôi trơn;
- S: diện tích bề mặt tiếp xúc trong ổ biến dạng;
- $\frac{dv}{dy}$: gradien vận tốc.

Đối với các điều kiện biến dạng cụ thể, lúc nào cũng có thể lựa chọn độ nhớt của chất bôi trơn sao cho ở những nơi lực ma sát phải nhỏ nhất thì phân bố dầu như được nâng lên bởi lớp bôi trơn. Điều đó cũng chỉ có tính chất qui ước vì theo độ dày, có những nhấp nhô tế vi trên bề mặt biến dạng và tách biệt hoàn toàn khỏi lớp bôi trơn, tiếp xúc trực tiếp với dụng cụ. Các thể tích tế vi của phân tử khí đó tiếp xúc với lớp bôi trơn thì nằm trong điều kiện nén ba chiều, tức là trong những điều kiện biến dạng dẻo thể tích tốt nhất. Chính điều này giúp giải thích bản chất tác động biến dạng dẻo của lớp bôi trơn mà người ta đã coi hiện tượng này là sự làm mềm hấp phụ hay là sự “cày xới” của lớp bề mặt.

Điều này cho phép công thức hoá các bài toán chủ yếu cần phải giải để thúc đẩy quá trình biến dạng dẻo - thể tích nguội:

- 1) Tạo ra chế độ bôi trơn thủy động và giảm tiêu hao năng lượng do kim nhám tiếp xúc sự biến dạng dẻo trong những vùng thể tích của phân tử. Lý thuyết ma sát thủy động cho phép mô tả tương đối hoàn chỉnh các qui luật cơ bản trong những điều kiện biến dạng khối - dẻo khác nhau.
- 2) Xây dựng sơ đồ nén dẻo ba chiều trong toàn bộ thể tích bị biến

dạng của sản phẩm. Nói cách khác, điều kiện chảy xuất hiện trên lớp bề mặt của khối bị biến dạng khi có chế độ thủy động của chất bôi trơn cần được phân bố trên toàn thể tích phối. Điều đó đạt được bằng cách nén khối bị biến dạng nhờ áp suất thủy tĩnh thích hợp trong các vùng chảy tự do của vật liệu, qui ước là bằng trở lực biến dạng của vật liệu dập.

3) Sử dụng sơ đồ biến dạng phù hợp với năng lượng biến dạng nhỏ nhất.

Mỗi bài toán nêu trên đều rất có hiệu quả đối với việc thúc đẩy các quá trình khác nhau của biến dạng dẻo - thể tích nguội. Tuy nhiên, hiệu quả cao nhất trong biến dạng các kim loại và hợp kim cứng có độ bền cao chỉ có thể đạt được khi giải quyết đồng thời cả ba bài toán đó trong cùng một quá trình. Chẳng hạn trong các quá trình biến dạng với đối áp bằng vật cứng và đặc biệt là bằng chất lỏng (xem bảng 4.1).

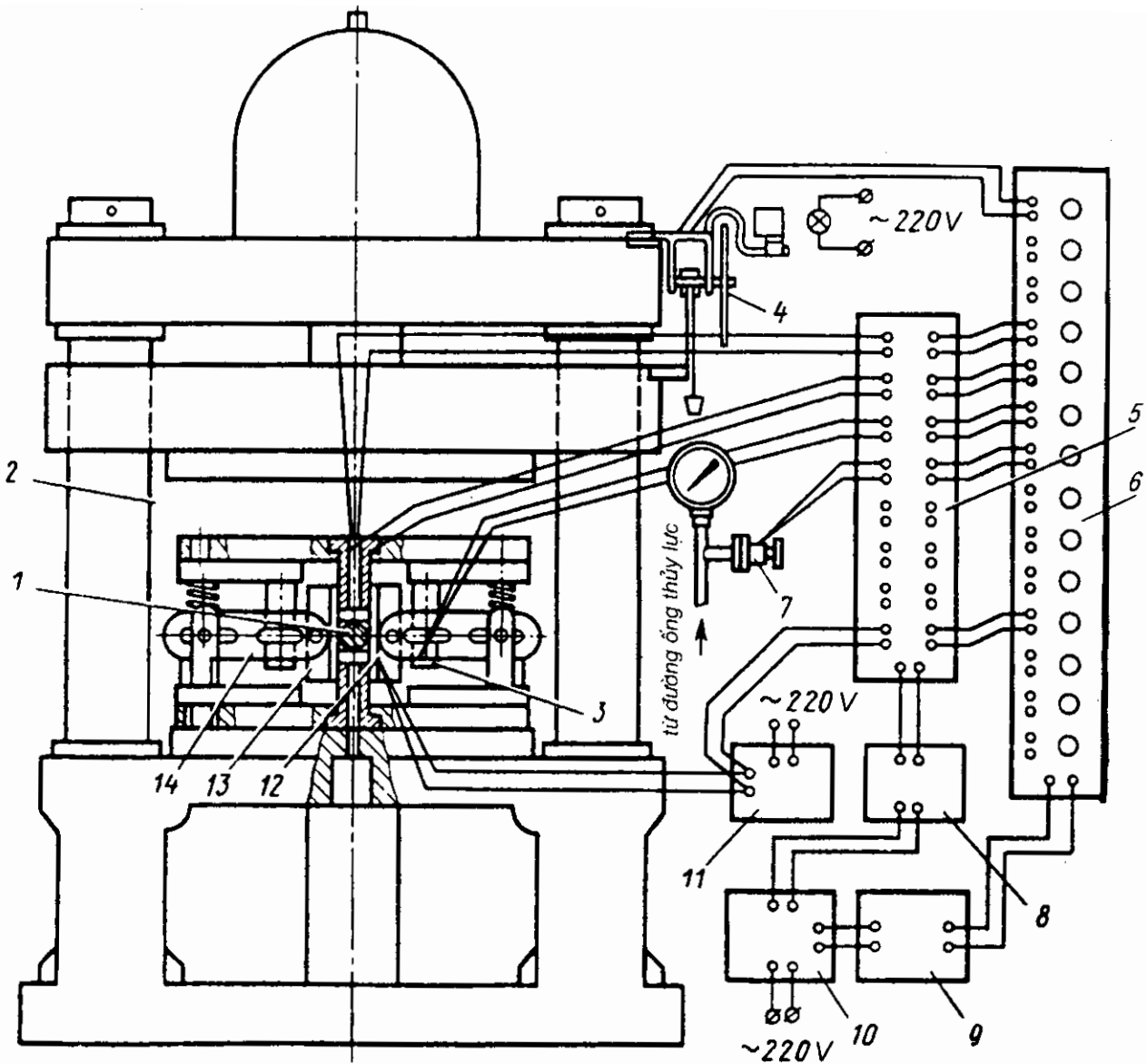
Như vậy, hướng chủ yếu để thúc đẩy các quá trình chảy khối - dẻo nguội cần phải dựa trên cơ sở điều chỉnh (bằng cách sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu) lực ma sát tiếp xúc giữa sản phẩm và bề mặt công tác của khuôn dập.

4.3. TĂNG KHẢ NĂNG ÉP CHẢY NHỜ SỬ DỤNG LỰC MA SÁT TIẾP XÚC TÍCH CỰC

Như đã nhận xét, việc tính toán đúng và điều chỉnh được lực ma sát tiếp xúc có thể thúc đẩy các quá trình đã biết và nghiên cứu đưa ra những quá trình mới hoàn thiện hơn của biến dạng khối.

Dưới đây sẽ xem xét một ví dụ điển hình về xây dựng phương pháp ép chảy dựa theo kết quả nghiên cứu của Ia.M.Ôkhrimenkô và V.L.Bereginiui [8]. Thực chất của phương pháp là sự dịch chuyển tương đối của đĩa ép và buồng ép so với cối theo hướng chảy của kim loại với những tốc độ khác nhau. Hơn nữa, buồng ép dịch chuyển nhanh hơn đĩa ép nên phương pháp ép chảy này đảm bảo lực ma sát tiếp xúc có tác dụng tích cực.

Sau đây mô tả việc xác định đặc trưng của ma sát trong buồng ép, chế độ lực và biến dạng của một quá trình được chỉ định đối với ép chảy xuôi và ép chảy ngược. Thí nghiệm được tiến hành trên máy ép thủy lực 100 tấn có gắn thiết bị (Hình 4.14) để đồng thời ghi lại trên dao động ký toàn bộ lực ép chảy, lực trên đĩa ép, lực ma sát tiếp xúc dẻo trên bề mặt công tác của buồng ép, chuyển động của đĩa ép có gắn vòng đệm, nhiệt độ của vật mẫu và thời gian ép chảy. Việc thực hiện ép chảy xuôi, ngược hay phương pháp đang được nghiên cứu đạt được bởi sự hoán đổi tương ứng tay đòn 14.



Hình 4.14. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm

1: Nhiệt kế đặt trong mẫu; 2: Tenxơ mét cấu trên máy ép; 3: Tenxơ mét cấu trên đòn bẩy; 4: Đèn ốt quang đồ thị hành trình; 5: Bộ tăng áp; 6: Dao động kế; 7: Cảm biến áp kế đo lực ép tổng; 8: Chính lưu của bộ tăng áp; 9: Chính lưu của dao động kế; 10: Ổn áp; 11: Bộ ổn nhiệt; 12: Nhiệt kế trong buồng ép; 13: Lò nung-buồng ép; 14: Thiết bị kiểu đòn để ép

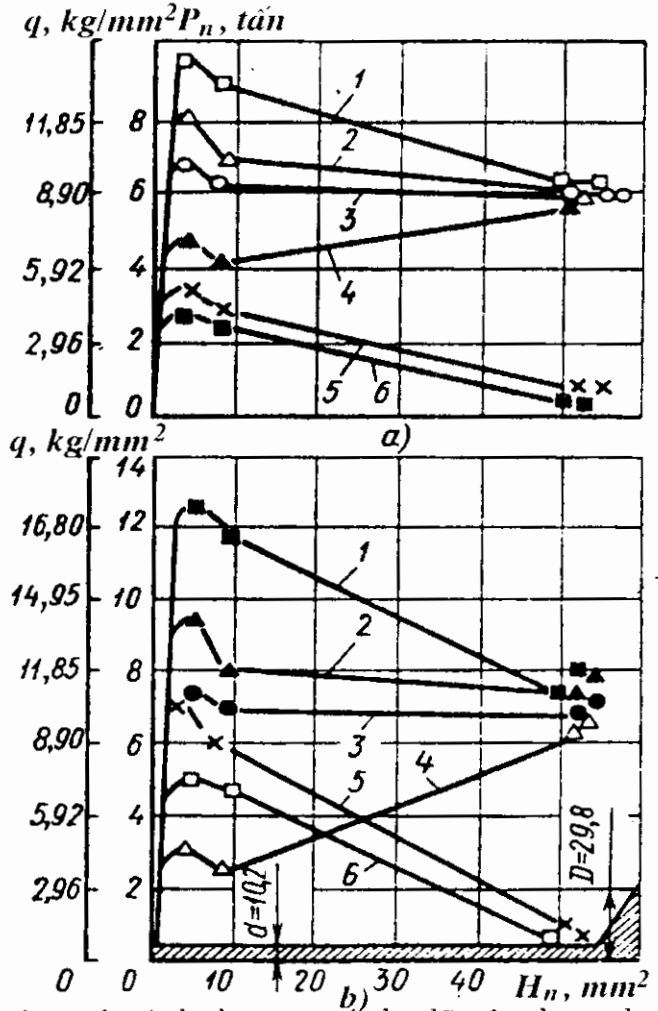
Nghiên cứu quá trình ép chảy các vật mẫu bằng chì C1 và nhôm A00 với các điều kiện khác nhau về kích thước hình học, nhiệt độ và điều kiện biên, nhưng có cùng vận tốc ép chảy trung bình (3mm/s), cùng kích thước vật mẫu (29,5x60mm),

cùng mức độ biến dạng nén trung bình ($\varepsilon_{cp} = \frac{F-f}{F} \cdot 100 = 88\%$), chiều cao của vành cối (4mm) và vận tốc chuyển động tương đối của buồng ép ($\frac{v_k}{v_n} = 1,5$).

Để ngăn ngừa kim loại chảy tràn vào khe hở giữa cối và buồng ép người ta gắn một vòng cắt hình nón bằng thép 3X2B8 để che khe hở trong suốt quá trình ép chảy.

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đã biết về ép chảy xuôi và ngược chủ yếu là để xác định được độ lớn các lực. Điều đó làm dễ dàng cho việc so sánh phương pháp ép chảy đã được sử dụng rộng rãi với các phương pháp mới.

Hình 4.15. Đồ thị lực và lực ma sát khí ép chảy không bôi trơn a) và có lớp phủ ma sát b)
 1: lực khi ép chảy thuận; 2: lực khi ép chảy tích cực; 3: lực khi ép chảy ngược; 4: lực ép trên đĩa ép khi dùng phương pháp tích cực; 5: lực ma sát ở buồng ép khi dùng phương pháp ép chảy tích cực; 6: lực ma sát ở buồng ép khi dùng phương pháp ép chảy thuận; P_n và H_n lần lượt là ứng lực và hành trình chày

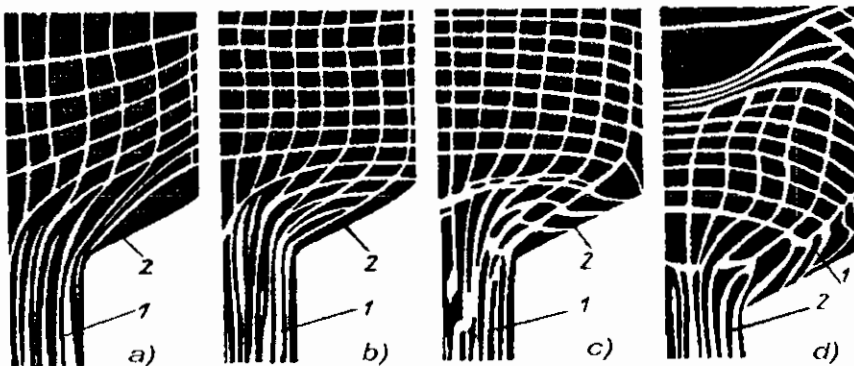


Theo biểu đồ dao động ký của các quá trình được so sánh, đã xây dựng được biểu đồ lực trên đĩa ép, lực ma sát trên bề mặt công tác của buồng ép và các lực ép chảy toàn bộ theo áp kế (Hình 4.15). Chỉ được ép qua cối có góc 2α bằng 120, 180 và 210°. Trên hình 4.15 chỉ đưa ra biểu đồ của cối có góc $2\alpha = 120^\circ$.

Từ hình 4.15a thấy rằng, lực tổng lớn nhất của ép chảy ngược ứng với lực tổng lớn nhất của ép chảy tích cực và ép chảy thuận là 1:1: 15:1,4 trong các điều kiện giống nhau.

Ép chảy với buồng ép có “độ nhám tuyệt đối” (Hình 4.15b) được tiến hành trên các mẫu chì có mặt bên được phủ lớp chịu mài mòn (keo làm từ nhựa thông và dầu hoả), cũng như khi không có chất bôi trơn với buồng ép có bề mặt công tác nhám. Với các điều kiện biên $\tau = \tau_{max}$, lực ép chảy tổng lớn nhất với ma sát tích cực sẽ nhỏ hơn khoảng 33% so với lực ép chảy tổng lớn nhất so với phương pháp ép chảy xuôi thông thường. Khi đó, lực trên đĩa ép (ở giai đoạn thứ nhất) nhỏ hơn 5 lần so với khi ép chảy xuôi (đường cong 1) và nhỏ hơn 2,5 lần so với ép chảy ngược (đường cong 3). Trong khi đó lực ma sát có tác dụng tích cực trên buồng ép (đường cong 5) lại lớn hơn 40% so với lực ma sát có hại ở theo phương pháp ép chảy xuôi (đường cong 6). Do đó tỉ số giữa lực tổng lớn nhất khi ép chảy ngược, ép chảy tích cực và ép chảy xuôi là 1:1,3:1,7 với các điều kiện như nhau.

Khi có ma sát đáng kể trên bề mặt công tác của buồng ép, khi buồng ép chuyển động cưỡng bức theo hướng chảy với vận tốc cao hơn vận tốc của đĩa ép thì trong kim loại bị biến dạng sẽ hình thành ổ biến dạng hiệu quả có chu vi mở rộng tới toàn bộ chiều cao của phôi. ứng suất tiếp xúc tác động theo phương chảy là nguyên nhân làm cho phương pháp đang nghiên cứu này khác biệt hẳn so với ép chảy xuôi. Trong khi đó diễn ra sự chảy mãnh liệt kim loại ở vùng biên về phía lỗ cối (Hình 4.16c và 4.16d) làm triệt tiêu vùng khó biến dạng (khi dùng cối phẳng có vùng chết, kim loại ở vùng này rất khó bị biến dạng) ở phần góc giữa buồng ép và cối, thường xảy ra khi ép chảy xuôi (Hình 4.16a). Dạng ổ biến dạng như vậy cho phép cân bằng đáng kể tốc độ chảy kim loại ở vùng trung tâm 1 và vùng biên 2, việc điều khiển cho quá trình ép chảy trong điều kiện có tác động tích cực của ma sát khác biệt hẳn so với các quá trình ép chảy thuận hiện nay.

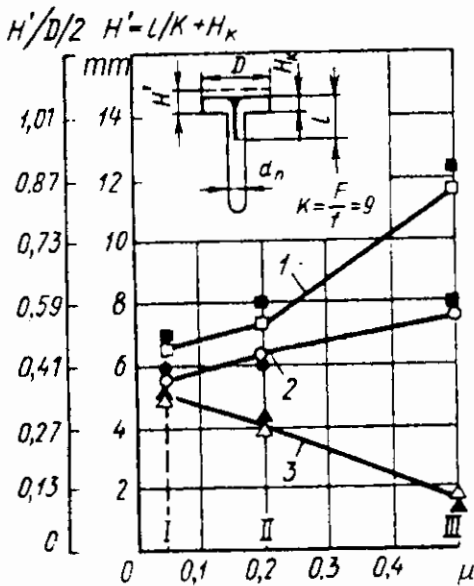


Hình 4.16. So sánh đặc điểm chảy của kim loại khi ép chảy
 a: ép chảy thuận; b: ép chảy ngược; c: khi có tác dụng tích cực của ma sát tiếp xúc với lớp phủ ma sát; d: Khi có tác động tích cực của ma sát tiếp xúc trong buồng ép nhám và đĩa ép lồi

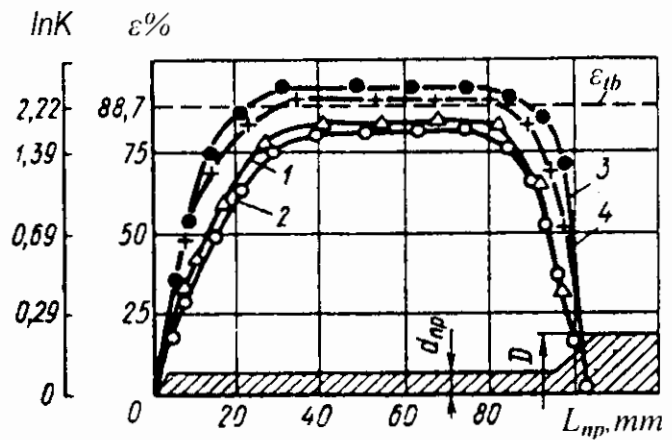
Điều kiện để giảm tối đa lực cần thiết là khả năng vận tốc tương đối lớn nhất có thể của buồng ép v_k/v_n và ma sát lớn nhất trên bề mặt công tác của buồng ép $[\tau_k = \tau_{\max} = (0,5 \div 0,58)\sigma_s]$. Tuy nhiên sự tăng đáng kể vận tốc v_k/v_n (lớn hơn 2) bị hạn chế bởi độ dài giới hạn của giá đỡ cối do độ bền uốn của nó quyết định. Vì vậy các thí nghiệm đã xác định được đại lượng v_k/v_n nhỏ nhất mà khi đó sự ép ở vùng tâm của sản phẩm ép chảy đạt cao hơn mức độ ép trung bình.

Với mức độ nén trung bình là $\epsilon_{tb} = 88\%$ (hệ số vuốt $K_{tb} = 9$) vận tốc tương đối tối ưu của buồng ép $v_k/v_n = 1,5 \div 1,6$ (trong nghiên cứu là $1,4 \div 2$).

Cùng với việc sử dụng sơ đồ ép chảy mới còn xuất hiện những yếu tố bổ sung để khắc phục sự co ngót do nén. Phương pháp triệt để nhất để giảm sự co ngót do nén loại 1 là biến đổi tính chất chảy của kim loại khi ép chảy để cân bằng vận tốc chảy của nó ở vùng trung tâm và vùng biên.



Hình 4.17. Đồ thị sự hình thành độ co ngót loại I khi ép chảy
I: có chất bôi trơn; II: không bôi trơn; III: buồng ép nhám; 1: ép chảy thuận chi và nhôm; 2: ép chảy ngược; 3: ép chảy tích cực; H': hành trình chảy ép khi $P = \text{hằng số}$.



Hình 4.18. So sánh sự phân bố biến dạng dọc trong các giai đoạn ép chảy
1: Có ma sát tích cực với nhôm nguội; 2: ép chảy ngược nhôm nguội; 3 và 4: có ma sát tích cực khi ép chảy nhôm nóng trong buồng ép nguội và trong buồng ép nóng; L_{np} : chiều dài ép chảy; d_{np} : đường kính sau khi ép chảy; $\ln K = \ln F/f$ (F : tiết diện phôi; f : tiết diện bán thành phẩm sau ép); D : đường kính phôi.

Sự kéo kim loại bởi buồng ép ở vùng biên đã tạo điều kiện cân bằng sự chảy của kim loại ở vùng chết, giúp cho khắc phục hoàn toàn hoặc giảm đáng kể sự trượt của kim loại theo bề mặt tiếp xúc của đĩa ép mà sự trượt này chính là nguyên nhân gây ra sự co ngót ở vùng tâm. Điều này được khẳng định qua

hình 4.17, trên đó thấy rõ sự tăng co ngót do ép loại 1 (co ngót gây ra do sự biến dạng không đồng đều của các lớp, các phần của vật thể) theo các phương pháp ép chảy chì ở nhiệt độ 20°C và nhôm sạch kỹ thuật ở nhiệt độ 400-440°C.

Tăng cường sự chảy của kim loại ở vùng tiền tiếp xúc (trước biến dạng) và triệt tiêu vùng khó biến dạng với phương pháp ép chảy tích cực, như thí nghiệm đã chứng minh, đã loại trừ được sự hình thành co ngót loại 2 và 3 khi ép nóng chì và nhôm (co ngót do ép loại 2 là do sự biến dạng không đồng đều giữa các tinh thể kim loại; co ngót do ép loại 3 là do sự biến dạng không đồng đều giữa các vùng trong nội bộ hạt tinh thể).

Phương pháp ép chảy tích cực nhôm ở trạng thái nguội (buồng ép có độ nhẵn bề mặt Ra=0,63μm) chỉ đạt được sự hạn chế không đáng kể sự co ngót so với các kết quả tương ứng trong ép chảy xuôi và ngược.

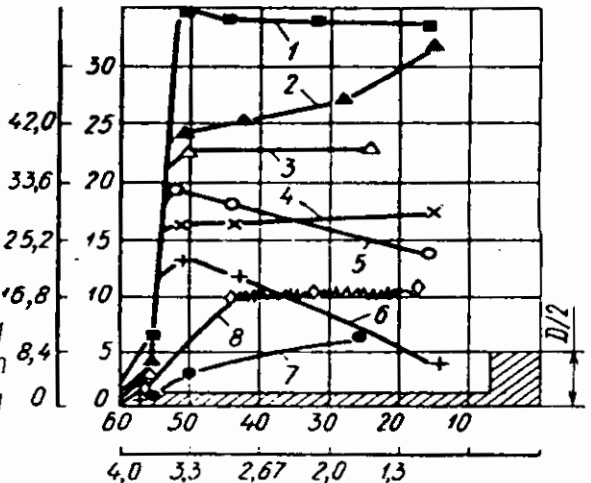
Đối chiếu với phương pháp ép chảy ngược (đường cong 2), trong phương pháp ép chảy tích cực nhôm ở trạng thái nguội (Hình 4.19, đường cong 1) độ biến dạng của vùng tâm của sản phẩm ép tăng không đáng kể còn mức biến dạng của phôi nhôm khi ép chảy nóng bằng phương pháp tích cực (đường cong 3) cao hơn 20% (theo hệ số vướ) so với khi ép chảy nguội. Lưu ý rằng khi ép chảy nguội chì trong buồng ép nhôm và nhôm (với nhiệt độ sản phẩm 400-440°C trong buồng ép nguội hoặc được sấy nóng cũng thu được kết quả tương tự.

Khi sấy nóng buồng ép lên 300-350°C thì có giảm đôi chút mức độ biến dạng ở vùng tâm phôi (đường cong 4) điều đó được giải thích là do giảm ma sát trên thành buồng ép.

Phân tích kết quả nghiên cứu (xem hình 4.17 và 4.18) cho thấy ưu điểm vượt trội của ép chảy nóng với ma sát tích cực: tăng năng suất nhờ loại bỏ hoặc giảm sự co ngót do ép và rút ngắn đáng kể thời gian biến dạng không xác định ban đầu của quá trình ép chảy.

Hình 4.19. Chế độ lực trong phương pháp ép chảy tích cực phụ thuộc vào nhiệt độ và điều kiện biên

1, 8: ứng lực và lực ma sát khi ma sát tích cực đối với nhôm nguội không dùng chất bôi trơn; 2, 5: ứng lực và lực ma sát khi ma sát tích cực đối với nhôm nóng không dùng chất bôi trơn trong buồng ép nguội; 3, 7: ứng lực và lực ma sát khi ma sát tích cực đối với nhôm nóng có chất bôi trơn trong buồng ép nguội; 4, 6: ứng lực và lực ma sát khi ma sát tích cực đối với nhôm nóng không có chất bôi trơn trong buồng ép được nung nóng



Phân tích chế độ lực của phương pháp ép chảy tích cực nhôm ở trạng thái nguội và nóng trong các điều kiện biên và nhiệt độ khác nhau (Hình 4.19) xác định được như sau:

- Khi ép chảy trong điều kiện ma sát tiếp xúc khô ở 20°C, các biểu đồ của phương pháp ép chảy tích cực và ép chảy ngược thực ra không có gì khác biệt về độ lớn của ứng lực cũng như hình dạng của đường cong 1. Khi ấy quan sát thấy đồ thị của lực ma sát tiếp xúc (đường cong 8) có sự dao động nhỏ.

- Trong phương pháp ép chảy được nghiên cứu nhôm nóng (400÷440°C) trong buồng ép nguội có chất bôi trơn (dầu vapo T và graphit dạng vẩy theo tỉ lệ 1:3) sự tăng lực ma sát trên buồng ép có thể giải thích là do sự ép chất bôi trơn (đường cong 7). Cũng vì lí do đó mà tăng đôi chút ứng lực ép chảy tổng (đường cong 3). Như đã xác định được, điều đó không đem lại hiệu quả đáng kể bởi vì các điều kiện biên được áp dụng làm cho sơ đồ ép chảy xuôi trở nên không khác nhiều lắm so với ép chảy ngược.

- Trong phương pháp ép chảy tích cực nhôm nóng trong buồng ép nguội không bôi trơn, đã ghi nhận thấy tác dụng tích cực tăng cường của ma sát tiếp xúc giảm dần theo độ chảy của kim loại (đường cong 5). Đường cong 5 ứng lực tổng tăng lên khi làm nguội mẫu vật.

- Nếu nung nóng buồng ép đến 350°C trong khi giữ nguyên các điều kiện khác thì giảm khoảng 45% tác dụng tích cực của lực ma sát tiếp xúc (đường cong 6) so với ép chảy trong buồng ép nguội. Khi đó tổng ứng lực ép chảy giảm gần hai lần (đường cong 4).

Hai chế độ sau tạo ra điều kiện đạt được hiệu quả từ tác dụng ma sát tiếp xúc (xem hình 4.18).

Tuỳ theo giá trị lớn nhất $\tau_k = (0,5 \div 0,58)\sigma_S$ đạt được nhờ lực ma sát tiếp xúc riêng mà kim loại ở vùng tiền tiếp xúc bị trượt dẫn tới sự hình thành lớp ngoài bị ép trên buồng ép. Còn trên buồng ép di động, lớp ngoài bị ép này có thể chảy tràn vào khe hở giữa cối và buồng ép và làm kẹt dụng cụ. Qua thực nghiệm xác định được rằng có thể tránh khỏi hiện tượng này bằng cách sử dụng cối hình nón bôi trơn nhẵn. Các loại cối phẳng và gợn sóng ($2\alpha > 180^\circ$) cần được dùng kèm theo những vòng khoá cắt.

Đối với các phương pháp ép chảy đã biết (khi $K_{10} = 12$) có đặc điểm là giảm hệ số trượt từ vùng biên vào trung tâm tới 30% hoặc hơn nữa. Điều đó đòi hỏi phải có sự tăng tương ứng hệ số trượt hình học trung bình.

Như đã xác định, khi ép chảy trong điều kiện có tác dụng tích cực của lực ma sát, hệ số trượt ở vùng tâm có thể cao hơn hệ số trượt trung bình với chi phí năng lượng giảm đáng kể.

Điều đã trình bày cho phép đưa ra kết luận rằng việc tăng ứng lực riêng trên cối, khoảng 25% trong phương pháp tích cực không phải là trở ngại chính để đưa phương pháp ép chảy này vào áp dụng.

Trong quá trình nghiên cứu ép chảy với chuyển động cưỡng bức của buồng ép theo hướng chảy với vận tốc lớn hơn vận tốc chuyển động của đĩa ép đã thu được các kết quả như sau:

- 1) Lực ép chảy lớn nhất (khi $\tau_k \rightarrow \tau_{\max}$) theo các phương pháp ép chảy ngược, ép chảy tích cực và ép chảy thuận có tỉ lệ là 1:1,3:1,7;
- 2) Xác định được khả năng tăng mức độ biến dạng ở vùng trung tâm của phôi ép lên tới giá trị cao hơn mức độ ép trung bình trong khi rút ngắn đáng kể các giai đoạn chảy không xác định;
- 3) Khi tạo ra các điều kiện ma sát tiếp xúc tích cực lớn nhất trên bề mặt công tác của buồng ép chuyển động với tốc độ tối ưu có thể tránh khỏi sự co ngót do ép;
- 4) Vai trò tích cực và tiêu cực của ma sát tiếp xúc trong ép chảy đã được chứng minh là như nhau.

Kết quả thí nghiệm đã xác định được rằng cần phải có hệ thống dẫn động riêng cho buồng ép để tăng ứng lực chiếm tới 75% ứng lực ép chảy tổng.

Phương pháp ép chảy được nghiên cứu có thể được áp dụng vào sản xuất các bán thành phẩm từ hợp kim nhôm và các hợp kim khác để chế tạo các chi tiết có yêu cầu cao về tổ chức tế vi và chất lượng bề mặt.

5.5. CƠ CHẾ MA SÁT ƯỚT KHI KÉO DÂY

Sự phân loại các quá trình kéo dây theo nguyên lý đã được nêu trong bảng 4.4 có liên quan tới lĩnh vực gia công trong đó ma sát tiếp xúc ở vùng ổ biến dạng có ảnh hưởng xấu tới khả năng công nghệ của các quá trình đó. Lưu ý rằng, cơ chế tiến hành của các quá trình này theo các sơ đồ khác nhau hoàn toàn có lợi cho việc tạo ra chế độ ma sát thủy động khi có một tỉ lệ thích hợp giữa vận tốc kéo với tải trọng tiếp xúc trong ổ biến dạng, các thông số hình học của cối và độ nhớt của môi trường bôi trơn.

Trong trường hợp tổng quát, khi có ma sát ướt trở lực cắt là một đại lượng biến thiên và tăng tỉ lệ với độ nhớt của chất bôi trơn và vận tốc dịch chuyển của chất bôi trơn, tức là tuân theo định luật Niuton:

$$\tau = -\eta \frac{dv}{dy} \quad (4.26)$$

Vào năm 1883 N.P.Petrôv đã đặt cơ sở cho lý thuyết thủy động của ma sát ướt và đưa ra công thức xác định lực ma sát trong các ổ trục có ma sát ướt là:

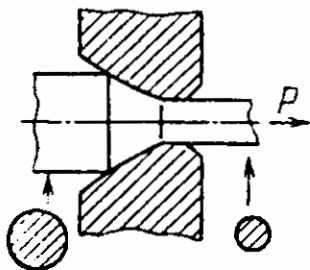
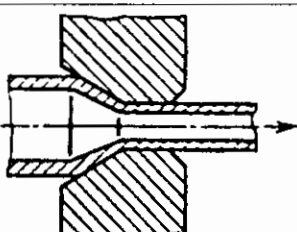
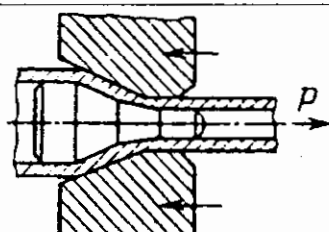
$$T = \eta \frac{vF}{\Delta} \quad (4.27)$$

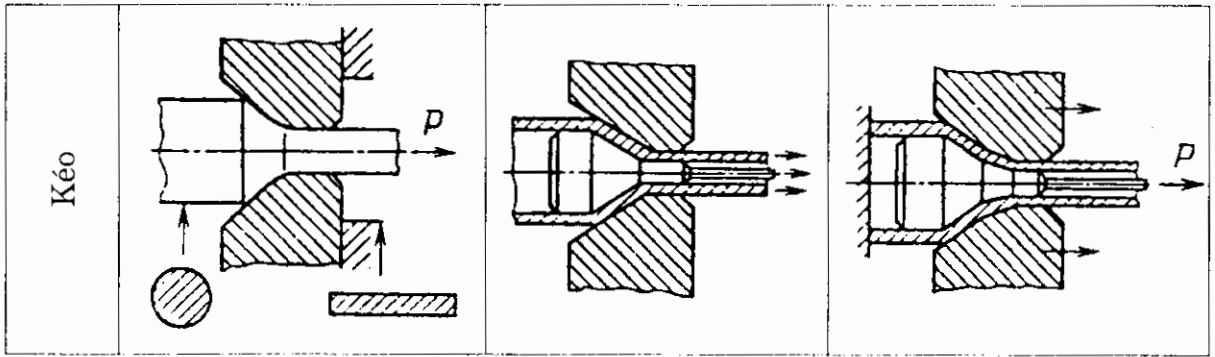
Từ công thức (4.27) suy ra rằng lực ma sát trong chế độ ma sát ướt không phụ thuộc vào tải trọng một cách rõ ràng mà gián tiếp thông qua độ dày lớp bôi trơn là yếu tố làm biến thiên tải trọng. Áp suất trong lớp chất lỏng cũng phụ thuộc vào độ dày lớp bôi trơn, độ nhớt của nó và vận tốc chuyển dịch. Do đó, ma sát ướt thuần túy có thể đạt được nhờ tác động thủy động của chất bôi trơn thể hiện ở việc xuất hiện áp suất dư có khả năng tách hoàn toàn hai bề mặt tiếp xúc. Áp suất này có thể tính toán được nếu chấp nhận một số qui ước cho phép tương tự như đã dẫn trong hình 4.13.

Theo các qui ước này, có thể thiết lập các phương trình vi phân cân bằng lực tác động lên phân tử thể tích chất bôi trơn, và giải chúng với điều kiện dòng chảy chất lỏng là liên tục và dựa vào định luật Niuton ta thu được các phương trình vi phân tổng quát của cân bằng thủy động. Sau đó thay các điều kiện biên vào sẽ có được công thức để tính ma sát ướt cho từng trường hợp cụ thể. Bằng cách này có thể xác định được sự bắt đầu phân tách hai bề mặt tiếp xúc, tức là khi bắt đầu có ma sát thủy động; độ dày nhỏ nhất và độ dày tối ưu của lớp bôi trơn; sự phân bố áp suất thủy động giữa hai vật thể theo những hướng khác nhau, lực ma sát, sự phân tán chất bôi trơn, các hiện tượng về nhiệt trong lớp bôi trơn và kích thước hình học tối ưu của dụng cụ cùng có tác dụng tạo ma sát ướt.

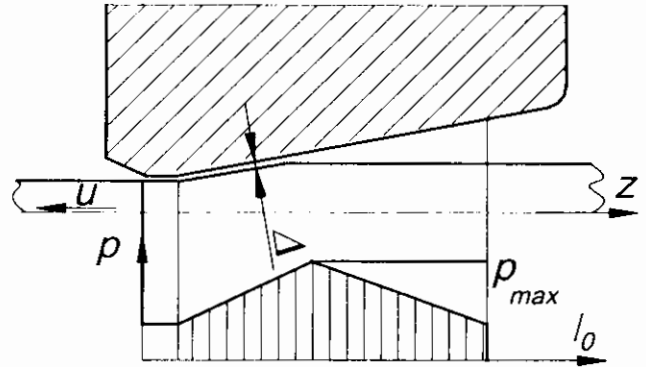
Dưới đây sẽ trình bày kết luận mối liên hệ để xác định các điều kiện ma sát ướt khi kéo dây (Hình 4.20). Vùng ngoài ổ biến dạng chính là phần được điền đầy chất bôi trơn và bị giới hạn bởi hai mặt tròn xoay, trong đó một là bề mặt dụng cụ, và một là bề mặt của kim loại được kéo.

Bảng 4.4: Phân loại quá trình kéo dây

Dạng biến dạng chủ đạo	Phôi ban đầu		
	Đặc	Rỗng	
		Đặc trưng biến dạng	
Nén		Tự do	Kẹp
			



Hình 4.20. Sơ đồ ổ biến dạng và vùng trước biến dạng khi kéo. Biểu đồ phân bố áp lực của chất bôi trơn
 p_{max} : áp lực tiếp xúc lớn nhất trong ổ biến dạng



Để rút ra mối liên hệ này, ta chọn hệ tọa độ trụ có trục Z trùng với trục kéo dây và hướng ngược với véc tơ vận tốc kéo.

Đối với trường hợp đang xét sử dụng các ký hiệu sau:

- r : véc tơ bán kính, xác định vị trí chất lỏng trong khe vòng;
- p : áp suất của chất bôi trơn;
- η : độ nhớt của chất bôi trơn;
- v_z : vận tốc của chất bôi trơn theo phương z;
- u : vận tốc tương đối giữa chi tiết và dụng cụ (ở phần vào);
- a : bán kính vật tròn xoay chuyển động, tạo khe hở hướng tâm;
- b : bán kính vật tròn xoay cố định, tạo khe hở hướng tâm;
- a_0 và b_0 : các giá trị tương ứng với a và b ở phần đầu vùng biến dạng;
- Δ : độ dày lớp bôi trơn ở phần đầu vùng biến dạng;
- z_0 : tọa độ đầu của vùng biến dạng;
- z_1 : tọa độ đầu của phần côn của cốt kéo dây hay lõi (bắt đầu xuất hiện áp suất thủy động).

Để tính sự chảy của chất lỏng nhớt ở giữa hai bề mặt tròn xoay, theo lý thuyết thủy động tổng quát có thể thiết lập các phương trình vi phân gần đúng sau đây:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z}; \quad \frac{\partial p}{\partial r} = 0 \quad (4.28)$$

Khi giải những phương trình này, đã giả thiết rằng chất lỏng chảy theo hướng kéo dãn, còn khe hở Δ giữa các bề mặt là không lớn.

Lấy tích phân biểu thức (4.28) theo r , ta có:

$$v_z = \frac{1}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial z} r^2 + C_1 \ln r + C_2 \quad (4.29)$$

trong đó C_1 và C_2 là các hằng số tích phân.

Bởi vì $\frac{\partial p}{\partial r} = 0$ cho nên đối với tiết diện đã cho $\frac{\partial p}{\partial z} = const$

$$\frac{1}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial z} = k \quad (4.30)$$

Có thể coi đây là một đại lượng không đổi, khi đó:

$$v_z = kr^2 + C_1 \ln r + C_2 \quad (4.31)$$

Để xác định các hằng số tích phân ta sử dụng các điều kiện biên sau: $v_z = -u$ khi $r=a$ và $v_z=0$ khi $r=b$.

Thay các điều kiện biên đó vào biểu thức (4.31) ta có:

$$v_z = -u \frac{\ln \frac{r}{b}}{\ln \frac{a}{b}} + k \left(r^2 - \frac{a^2 \ln \frac{r}{a} - b^2 \ln \frac{r}{a}}{\ln \frac{a}{b}} \right) \quad (4.32)$$

Áp dụng điều kiện liên tục của chất lỏng cho trường hợp đang xét:

$$\Phi = 2\pi \int_b^a r dr v_z = const \quad (4.33)$$

trong đó, Φ - thể tích chất bôi trơn trong 1 giây đi qua tiết diện đã cho.

Thay vào phương trình (4.33) giá trị v_z từ phương trình (4.32) và lấy tích phân từ a đến b , ta có:

$$\Phi = 2\pi \left\{ \frac{u}{\ln \frac{a}{b}} \left[a \left(1 - \ln \frac{a}{b} \right) - b \right] + \frac{k}{3} (b^3 - a^3) - \frac{ka^2}{\ln \frac{a}{b}} \left[a \left(1 - \ln \frac{a}{b} \right) - b \right] - \frac{kb^2}{\ln \frac{a}{b}} \left[b \left(1 - \ln \frac{b}{a} \right) - a \right] \right\} \quad (4.34)$$

Sự chảy chất bôi trơn theo hướng kéo dãn chỉ có thể xảy ra trong trường hợp áp suất của chất bôi trơn từ phần ra của dây được tăng lên và ở phần đầu ở

biến dạng thì đạt đến giá trị bằng áp suất giữa kim loại và dụng cụ. Và bởi vì ở ổ biến dạng, ứng với phần ra của dây, áp suất giữa kim loại và dụng cụ là lớn nhất cho nên đường cong áp suất chất bôi trơn ở vùng đó sẽ đạt giá trị cực đại (xem hình 4.20).

Khi $p = p_{max}$; $a = a_0$; $b = b_0$; $\frac{\partial p}{\partial z} = 0$ thì:

$$\Phi = 2\pi \frac{u}{\ln \frac{a_0}{b_0}} \left[a_0 \left(1 - \ln \frac{a_0}{b_0} \right) - b_0 \right] = const \quad (4.35)$$

Cân bằng các đẳng thức (4.34) và (4.35) nhận được:

$$k = 3u \frac{(a - a_0) - (b - b_0)}{(a - b)^3} \quad (4.36)$$

Biểu thức (4.36) chính là phương trình chuyển động gần đúng của chất lỏng trong khe hở hướng kính. Giải phương trình này áp dụng cho trường hợp kéo dây có tiết diện đặc (Hình 4.21). Ở ngay phần đầu tọa độ giao điểm của phần côn kéo dây với trục kéo, ta có $b=T.z_0$; $b_0=T.z_0$; $a_0=a$; $a-a_0=0$; $b-b_0=T(z-z_0)$ ($T=tg\alpha_1$, xem hình 4.21), nhưng:

$$a = Tz_0 - \Delta = T \left(z_0 - \frac{\Delta}{T} \right)$$

Ký hiệu $\frac{\Delta}{T} = \psi$ ta có $a = T(z_0 - \psi)$

Khi đó:

$$a - b = T(z_0 - z - \psi) = -T(z - z_0 + \psi)$$

Thay các biểu thức vừa có vào (4.36) ta tìm được:

$$k = \frac{3u(z - z_0)}{T^2(z - z_0 + \psi)^3} \quad (4.37)$$

Thay giá trị k từ phương trình (4.30) vào (4.37), ta có:

$$\frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{12u}{T^2} \frac{z - z_0}{(z - z_0 + \psi)^3} \quad (4.38)$$

Vì vế phải của biểu thức chỉ phụ thuộc vào z cho nên tách các biến số ta có:

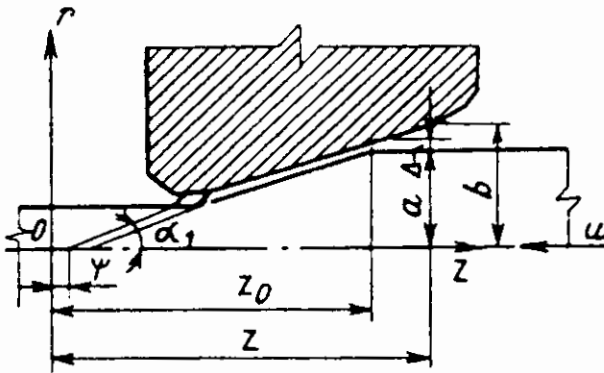
$$\frac{1}{\eta} dp = \frac{12u}{T^2} \frac{z - z_0}{(z - z_0 + \psi)^3} dz \quad (4.39)$$

Sau khi tích phân biểu thức này:

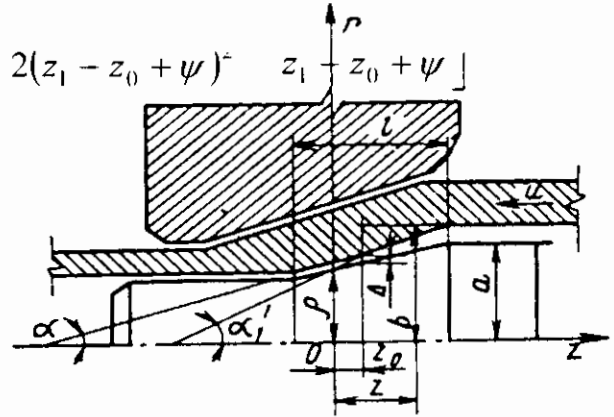
$$p = -\frac{12.\eta.u}{T^2} \left[\frac{1}{z - z_0 + \psi} - \frac{\psi}{2.(z - z_0 + \psi)^2} \right] + C \quad (4.40)$$

Chấp nhận rằng khi $z = z_1$ thì $p = 0$, ta sẽ có:

$$(4.41)$$



Hình 4.21. Sơ đồ xác định áp lực thủy động xuất hiện khi kéo dây trong vòng nêm chất bôi trơn, trường hợp một bề mặt, tạo nêm, có hình côn



Hình 4.22. Sơ đồ xác định áp lực thủy động xuất hiện khi kéo dây trong vòng nêm chất bôi trơn, trường hợp cả hai bề mặt, tạo nêm, có hình côn (kéo ống có lõi tự định vị)

Khi $z = z_0$ (ở phần đầu vùng biến dạng dẻo) $p = p_{\max}$, suy ra:

$$p_{\max} = -\frac{6\eta u}{T\Delta} \left\{ 1 - \frac{2\Delta}{R - a_0} \left[1 - \frac{\Delta}{2(R - a_0)} \right] \right\} \quad (4.42)$$

trong đó, $R = T.z_1$ - bán kính phần đầu hình côn làm việc của cối kéo.

Phương trình (4.36) áp dụng với trường hợp kéo ống có lõi tự định vị (Hình 4.22) có thể giải như sau. Lưu ý đến các điều kiện biên đối với biểu thức (4.37) trong đó $a=R_T$ (a là biến số bán kính trong của ống); $b=R_{tu}$ (b là biến số bán kính phần côn của lõi) và ký hiệu $tg\alpha=T_{tu}$, $tg\alpha'_1 = T_T$, p - bán kính vòng tròn tạo ra đi qua giao điểm của lõi đỡ và trục Or . Đồng thời lấy giao điểm cắt của mặt phẳng của vòng tròn đó với trục kéo là gốc tọa độ, ta có:

$$\begin{aligned}
 a &= \rho + T_T \cdot z; \quad b = \rho + T_{t,u} \cdot z \\
 a_0 &= \rho + T_T \cdot z_0; \quad b_0 = \rho + T_{t,u} \cdot z_0
 \end{aligned}
 \tag{4.43}$$

trong đó, a_0 - bán kính trong của phôi ống;

b_0 - bán kính ngoài phần hình trụ của lõi đỡ.

Khi đó đại lượng không đổi có giá trị là:

$$k = \frac{3u}{(T_T - T_{t,u})^2} \frac{z - z_0}{z^3}
 \tag{4.44}$$

Thay vào biểu thức (4.44) giá trị k từ phương trình (4.44) và giải nó theo $\frac{\partial p}{\partial z}$, ta có:

$$\frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{12u}{(T_T - T_{t,u})^2} \left(\frac{1}{z^2} - \frac{z_0}{z^3} \right)
 \tag{4.45}$$

Biểu thức này có thể được viết bằng cách sao cho vế phải của nó phụ thuộc vào giá trị z :

$$\frac{1}{\eta} dp = \frac{12u}{(T_T - T_{t,u})^2} \left(\frac{1}{z^2} - \frac{z_0}{z^3} \right) dz
 \tag{4.45'}$$

Sau khi lấy tích phân biểu thức này:

$$p = -\frac{12 \cdot u \cdot \eta}{(T_T - T_{t,u})^2} \left(\frac{1}{z} - \frac{z_0}{2z^2} \right) + C
 \tag{4.46}$$

Lấy $p = 0$ khi $z = z_1$ ta tìm được hằng số tích phân, sau đó thay giá trị của nó vào biểu thức (4.46) ta có:

$$p = -\frac{12 \cdot u \cdot \eta}{(T_T - T_{t,u})^2} \left(\frac{1}{z} - \frac{z_0}{2 \cdot z^2} - \frac{1}{z_1} + \frac{z_0}{2 \cdot z_1^2} \right)
 \tag{4.46'}$$

Khi $z = z_0$ (ở phần đầu vùng biến dạng dẻo) và $p = p_{max}$, biểu thức để tính p_{max} có dạng:

$$p_{max} = - \frac{6u\eta}{(T_T - T_{tu})^2} \frac{(1 - z_0)^2}{z_0 \cdot z_1^2} \quad (4.47)$$

Nếu tính đến giá trị $Z_0(T_T - T_{tu}) = \Delta$ thì biểu thức (4.47) cuối cùng có dạng:

$$p_{max} = - \frac{6u\eta}{(T_T - T_{tu})\Delta} \left(1 - \frac{z_0}{z_1}\right)^2 \quad (4.48)$$

Các công thức (4.42) và (4.48) thu được đã xác định sự phụ thuộc của áp lực lớn nhất của chất bôi trơn xuất hiện khi kéo dây có tiết diện đặc và tiết diện ống, vào hiệu ứng thủy động. Từ việc xem xét các công thức này có thể rút ra kết luận rằng chúng có cùng dạng trong đó η đặc trưng cho tính chất lưu biến của chất bôi trơn, u - vận tốc kéo, T và $(T_T - T_{tu})$ tang của góc nêi bôi trơn, Δ - độ dày nhỏ nhất của lớp bôi trơn ở phần đầu của vùng biến dạng dẻo. Các kích thước hình học của vùng trước ổ biến dạng được xác định đồng thời với T và $(T_T - T_{tu})$ bởi các đại lượng không thứ nguyên $\left\{1 - \frac{2\Delta}{R - a_0} \left[1 - \frac{\Delta}{2(R - a_0)}\right]\right\}$ hay

$\left(1 - \frac{z_0}{z_1}\right)^2$. ảnh hưởng của các thành phần có trong các công thức này là không giống nhau.

Rõ nhất là ảnh hưởng T hay $(T_T - T_{tu})$ thực tế ở dưới dạng lũy thừa bậc hai trong các công thức (4.41) và (4.47). Đại lượng áp suất chịu ảnh hưởng đáng kể của góc chêm. Độ lớn của p_{max} tăng lên không phải là vô hạn bởi vì nó không thể cao hơn áp suất hướng tâm tại một điểm cụ thể xác định bởi điều kiện dẻo.

Chương V

CHẤT BÔI TRƠN VÀ VẬT LIỆU BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC

5.1. YÊU CẦU ĐỐI VỚI CHẤT BÔI TRƠN

Từ nghiên cứu đã nêu ở trên, chất bôi trơn trong gia công áp lực kim loại cần được hiểu là môi trường thứ ba phân cách hoàn toàn hay một phần khỏi sự tiếp xúc trực tiếp phôi bị biến dạng với dụng cụ. Về bản chất, môi trường bôi trơn có thể là môi trường cứng, dẻo, dẻo-nhớt, ướt hay khí hoặc kết hợp của chúng, có khả năng trong một số điều kiện nhất định đóng vai trò hoàn toàn hay một phần của một chất bôi trơn.

Các yêu cầu chính đối với chất bôi trơn để gia công áp lực bao gồm như sau:

- 1) Khả năng có tính chất cơ-lý đa dạng (độ nhớt hữu ích) trong phạm vi rộng để chọn những tính chất tối ưu thích hợp với từng chế độ cụ thể trong ổ ma sát, ứng với độ lớn của áp suất tiếp xúc, vận tốc trượt và hình dạng hình học của ổ ma sát;
- 2) Tính ổn định của các tính chất cơ-lý (trước hết là độ nhớt hữu ích và trở lực cắt) phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất thủy tĩnh.
- 3) Độ bám dính tốt vào bề mặt của phôi biến dạng và dễ dàng làm sạch.
- 4) Tính đẳng hướng của tính chất cơ lý.
- 5) Độ bền chịu ma sát bên ngoài và trung tính đối với kim loại gia công cũng như dụng cụ.
- 6) Phù hợp với các nguyên tắc an toàn công nghệ.

5.2. CÁC VẬT LIỆU BÔI TRƠN

Theo các cơ sở lí luận để lựa chọn chất bôi trơn trong gia công áp lực kim loại thì độ phức tạp và tính đa thành phần của chúng mà trước đây phải đương đầu đã không còn là bất buộc nếu đáp ứng được các yêu cầu nêu trong phần trên. Nhưng phạm vi áp suất tiếp xúc lớn (đến 300-400 KG/mm²) và vận tốc chảy (từ 0 đến 340-500 m/s) ở trong ổ biến dạng lại yêu cầu các vật liệu bôi trơn

hay các thành phần của chúng phải có dải độ nhớt rất rộng. Loại vật liệu cơ bản được sử dụng như chất bôi trơn hoặc thành phần của nó để gia công áp lực kim loại được nêu trong bảng 5.1.

Sự kết hợp theo tỉ lệ khác nhau các vật liệu đã giới thiệu trong bảng 5.1 chính là cơ sở để xây dựng chất bôi trơn tổ hợp có độ nhớt theo yêu cầu (tối ưu). Trong từng công đoạn cụ thể của quá trình công nghệ, ứng với mỗi chế độ gia công (áp suất tiếp xúc, vận tốc trượt, nhiệt độ) phải chọn độ nhớt tối ưu của chất bôi trơn.

Bảng 5.1: Vật liệu được sử dụng làm chất bôi trơn trong gia công áp lực

Chất bôi trơn	Giới hạn bền, MPa	Độ nhớt hữu ích, P
Kim loại dẻo và hợp kim nền đồng, chì, cadimi, thiếc v.v...	50÷100	-
Chất rắn phi kim loại hữu cơ và vô cơ (graphit, bột tan, bột phấn, sunphua moliptden, oxít kim loại, bột gỗ, thủy tinh, mica v.v...)	đến 1000	-
Chất dẻo và dẻo-nhớt hữu cơ và vô cơ có gốc paraphin, stearin, dầu mỡ, cao su, nhựa thông, bitum, hợp chất silic hữu cơ sau khi chưng cất v.v...	-	đến $10^5 \div 10^8$
Môi trường dẻo-nhớt, bột nhão và lỏng ở dạng muối của axit béo (xà phòng)	-	đến 10^8
Chất lỏng có nguồn gốc hữu cơ (chế phẩm dầu mỡ, mỡ động vật v.v...)	-	đến 10^3
Chất lỏng có nguồn gốc vô cơ (nước, dung dịch v.v...)	-	đến 10^6

5.3. ĐỘ NHỚT - ĐẶC TRƯNG CƠ-LÝ CƠ BẢN CỦA MÔI TRƯỜNG BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC

5.3.1. Những khái niệm chung, Hệ thống đơn vị, Phương pháp xác định

Đặc trưng cơ-lý cơ bản của môi trường bôi trơn (không phụ thuộc vào cấu tạo của vật liệu bôi trơn) quyết định tính chất bôi trơn trong các điều kiện ma sát cụ thể là độ nhớt. Cần phân biệt hai loại độ nhớt:

- Độ nhớt thực đối với các chất lỏng lý tưởng và các môi trường nhớt.
- Độ nhớt hữu ích đối với các môi trường linh động không lý tưởng dạng huyền phù, thể rắn, các chất dạng sợi, các môi trường đàn-dẻo, dẻo-nhớt và các tổ hợp của các môi trường đó.

Vai trò của độ nhớt tương tự vai trò của môđun cắt trong biến dạng đàn hồi. Đơn vị độ nhớt tuyệt đối được định nghĩa bởi Clack Măcxoen là: "Lực làm chuyển dịch một đơn vị diện tích bề mặt với vận tốc bằng một đơn vị so với một bề mặt phẳng khác cách nó một lớp chất lỏng có độ dày cũng bằng một đơn vị".

Định nghĩa này được rút ra từ giả thuyết Niuton mà theo đó trở lực của môi trường nhớt tỉ lệ với vận tốc:

$$\tau = \eta \left(\frac{dv}{dz} \right) \quad (5.1)$$

trong đó:

- τ : ứng suất cắt trên một đơn vị diện tích;
- η : độ nhớt động lực, P;
- dv/dz : gradien vận tốc;
- v : tốc độ dịch chuyển;
- z : khoảng cách giữa các bề mặt ma sát.

Nếu $\tau = 1 \frac{N}{m^2}$; $\frac{dv}{dz} = 1 \frac{m}{m}$ tức là $1s^{-1}$ thì η bằng một đơn vị độ nhớt tuyệt đối

có tên gọi là poadơ, ký hiệu là P.

Thứ nguyên độ nhớt là:

$$\frac{ML}{T^2 L^2} T = \frac{M}{LT}; \quad (5.2)$$

trong đó:

- M: khối lượng;
- L : độ dài;
- T : thời gian.

Theo tiêu chuẩn của Anh (BS), trong kỹ thuật người ta sử dụng đơn vị độ nhớt tính theo phút (foot) inch và giây. Đơn vị độ nhớt này gọi là Reynold. Theo tiêu chuẩn châu âu (EU) người ta sử dụng đơn vị đo lường hệ mét (như kg, cm, s), cho nên độ nhớt được thể hiện bằng $g.s/cm^2$.

Độ nhớt có thể mang tính chất động học:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{M}{M} \frac{LT}{L^3} = \frac{L^2}{T} \right] \quad (5.3)$$

trong đó:

- η : độ nhớt động lực, P;
- ρ : khối lượng riêng, kg/m^3 .

Đơn vị độ nhớt động học được đo bằng stocks, ký hiệu là St (cm^2/s). Các đơn vị poadơ và stocks là quá lớn đối với các loại dầu bôi trơn rất linh động, do vậy người ta sử dụng centipoadơ (cP) và centistocks (cSt). Phương pháp bình thường để tính độ nhớt là xác định thời gian chảy một thể tích dầu nhất định qua ống nhỏ giọt dưới tác dụng của trọng lượng bản thân. Ví dụ, bằng thiết bị

đo độ nhớt (nhớt kế), người ta đo độ nhớt động học bằng Engler ($^{\circ}E$) hoặc stocks (St). Trong trường hợp đó, tỷ trọng của loại dầu thử nghiệm có giá trị lớn. Lấy độ nhớt động học nhân với khối lượng riêng ta thu được độ nhớt động lực.

Các đơn vị Redvud ("R) và Seibolt ("S) cho biết thời gian chảy tính bằng giây của 1 thể tích dầu nhất định qua ống nhỏ giọt; độ Engler - là tỉ số giữa thời gian chảy một lượng nhất định của loại chất lỏng được đo với thời gian của nước lấy làm đơn vị.

Trong các nhớt kế để đo độ nhớt động học có sử dụng các ống đường kính nhỏ làm bằng mã nã để đo bằng đơn vị Redvud và bằng platin để đo với đơn vị Engler. Các ống này rất ngắn để đo được giới hạn nhớt trong một dải rất rộng, thực sự đó là các ống đếm giọt. Tuy theo mức giảm độ nhớt mà mật độ và tiếp theo đó là động năng của chất lỏng chảy ra bị giảm xuống. Điều đó có nghĩa là không có hệ số để chuyển đổi trực tiếp các đơn vị khác nhau sang centi-Stocks. Độ nhớt của các chất lỏng có độ nhớt cao và các môi trường dẻo - nhớt được tính toán 1 cách hợp lý bằng cách chuyển dịch các ống trụ được mô tả trong chương II (xem hình 2.8).

5.3.2. Qui đổi giữa các đơn vị độ nhớt

Trong bảng 5.2 cho thấy qui đổi giữa các đơn vị độ nhớt. Còn có những bảng chuyển đổi đầy đủ hơn, tuy vậy những giá trị dẫn ra ở đây cũng đủ để tính toán cho thực tế kỹ thuật. Các hệ số để chuyển đổi các đơn vị centi-stocks thành đơn vị Redvud và Seibolt còn phụ thuộc vào nhiệt độ làm nóng chất bôi trơn thử nghiệm. Trong số các đơn vị đo độ nhớt khác cần lưu ý giây N⁰2 Redvud liên quan đến giây N⁰1 Redvud như sau: các giây N⁰2 (đối với các giá trị >100s) nhân với 10 thì bằng giây N⁰1. Còn các đơn vị Seibolt-Phurôl, độ nhớt tính bằng giây Seibolt-Phurôl, nhân với 9.7 (với các giá trị >100s) thì bằng độ nhớt tính bằng giây Seibolt - tổng hợp. Đôi khi độ nhớt còn được thể hiện bằng độ Bacbie. Tích của độ nhớt đo bằng độ Bacbie nhân với độ nhớt tính bằng CentiStock (cSt) là bằng 4850.

Bảng 5.2: Qui đổi các đơn vị độ nhớt

CentiStock (cSt)	Seibolt, ("S)	Redvud, giây N ⁰ 1	Engler, $^{\circ}E$	CentiStock (cSt)	Seibolt, ("S)	Redvud, giây N ⁰ 1	Engler, $^{\circ}E$
2	33	31	1,1	15	77	68	2,3
4	39	36	1,3	20	98	86	2,9
6	46	41	1,5	30	141	125	4,1
8	52	46	1,7	50	232	205	6,6
10	59	52	1,8	>50	X =4,6 cSt	giây N ⁰ 1 =4,1 cSt	$^{\circ}E=0,132$ cSt

Chuyển đổi đơn vị Poado sang Rein

Độ nhớt cP được tính bằng đơn vị của hệ CGS (centimeter, gram, second), tức là đo bằng *din* (đơn vị lực), centimét vuông và giây. Theo tiêu chuẩn Anh, người ta đo độ nhớt bằng rein [fun (453,6g), inch vuông và giây] vì đơn vị độ nhớt bằng thương số của lực và thời gian với diện tích. Vì $1\text{fun}=453,6 \times 980,7\text{din}$ và $1\text{inch}=2,54\text{cm}^2$ nên:

$$\frac{1\text{fun} \cdot 453,6 \cdot 980,7}{\text{inch}^2 \cdot 2,54^2} = 1P$$

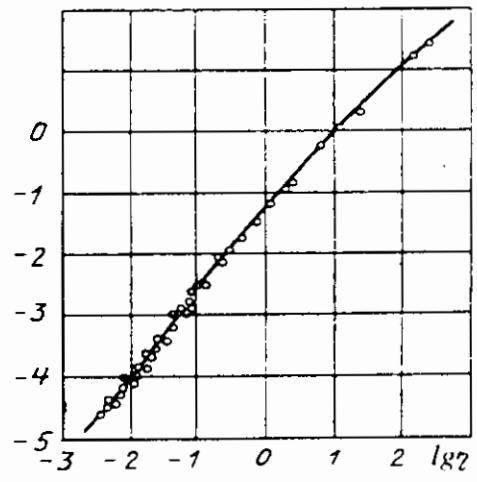
Có nghĩa là độ nhớt tính bằng Rein (fun.inch².s) bằng độ nhớt đo bằng poado nhân với $1,45 \times 10^{-5}$. Nếu độ nhớt được đo bằng cSt, nhân với hệ số $\frac{\rho}{100}$ sẽ được độ nhớt đo bằng poado. Hệ số nhân để chuyển đổi poado thành rein; tức là $1,45 \cdot 10^{-5}$ thường gặp trong các nghiên cứu tương tự về lý thuyết bôi trơn.

5.3.3. Sự phụ thuộc của độ nhớt vào nhiệt độ

Một trong những vấn đề đang tồn tại làm cho việc tính toán chế độ bôi trơn trở nên phức tạp là xác định qui luật để dựa vào đó tính độ nhớt và mức độ biến thiên của nó trong các chế độ nhiệt độ khác nhau. Rất nhiều nghiên cứu vấn đề này vẫn chưa đưa đến giải pháp thống nhất.

Vấn đề là tìm 1 qui luật đơn giản liên hệ sự biến thiên độ nhớt với nhiệt độ. Cần phải tìm được một phương trình trong đó $\frac{d\eta}{dt}$ đóng vai trò như một hàm số nhiệt độ hoặc độ nhớt. Điều đó có nghĩa là sau khi lấy tích phân đại lượng đã chỉ ra thì có thể đưa ra một công thức trong đó độ nhớt dường như là một hàm số của nhiệt độ. Dưới đây sẽ xem xét những khó khăn và những vấn đề gặp phải có liên quan tới việc giải bài toán quan trọng này.

$$\lg \frac{d\eta}{dt}$$



Hình 5.1. Sự thay đổi của $d\eta/dt$ vào độ nhớt η

Khi đạo hàm $\frac{d\eta}{dt}$, tức là có sự biến thiên độ nhớt theo nhiệt độ, được dùng để tính toán các loại chất bôi trơn thì điểm đánh dấu sự phụ thuộc của $\frac{d\eta}{dt}$ vào độ nhớt η phân bố trên một đường cong đều. Khi giá trị $\frac{d\eta}{dt}$ được coi phụ thuộc vào nhiệt độ, thì không nhận được đường cong đều. Điều đó chứng tỏ rằng, yếu tố quan trọng hơn đối với sự thay đổi cơ lí tính của chất bôi trơn theo sự biến thiên nhiệt độ chính là độ nhớt. Các chất bôi trơn được nghiên cứu có những chỉ số độ nhớt khác nhau (được xác định dưới đây).

Tuy nhiên những khác biệt giữa các loại bôi trơn khác nhau có độ nhớt giống nhau trong một nhiệt độ cụ thể nào đó thì lại không đáng kể. Điều này không cho phép kết luận về sự biến đổi độ nhớt theo mức biến thiên nhiệt độ, bởi vì yếu tố quyết định chủ yếu là bản thân độ nhớt.

Phương pháp thông thường biểu diễn sự biến thiên độ nhớt theo nhiệt độ là chọn một phương trình, thường là có tính chất thực nghiệm, áp dụng cho các độ nhớt có trong thực tế, ở những chế độ nhiệt khác nhau và sử dụng một trong các hằng số trong phương trình như một tham số cần thiết.

Có một số phương trình mang tính thực nghiệm liên hệ độ nhớt với nhiệt độ như dưới đây.

1. Phương trình Slôt:

$$\eta = \frac{k}{(t + \theta)^m} \quad (5.4)$$

trong đó:

- k, θ và m: các hằng số của chất bôi trơn;
- t: nhiệt độ, $^{\circ}\text{F}$.

Phương trình có khả năng ứng dụng hạn chế, được khuyến cáo để tính độ nhớt ở nhiệt độ lớn hơn -18°C .

2. Phương trình Phoghel:

$$\eta = k \cdot \exp\left(\frac{b}{t + a}\right) \quad (5.5)$$

trong đó:

- k, b và a: hằng số của chất bôi trơn:
 - o a=95 cho đa số chất bôi trơn;
 - o b: phụ thuộc vào độ nhớt.

3. Phương trình Vanter:

$$\nu = b \cdot e^{-\frac{1}{T^c}} \quad (5.6)$$

trong đó

- ν : độ nhớt, cSt;
- b, c : hằng số đối với mỗi loại chất bôi trơn;
- T : nhiệt độ, $^{\circ}\text{K}$.

4. Phương trình do Basta G.M đề xuất:

$$\eta = \eta_{20} \left(\frac{20}{t} \right)^n \quad (5.7)$$

trong đó:

- η và η_{20} : các độ nhớt động học ứng với nhiệt độ t và nhiệt độ 20°C .

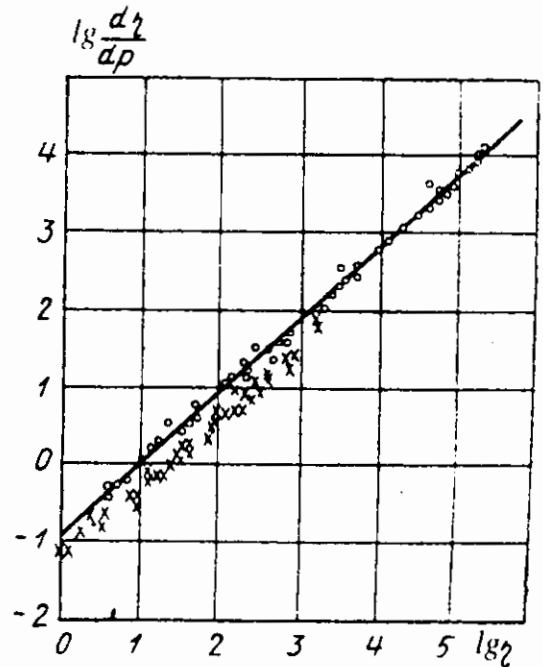
5.3.4. Sự phụ thuộc độ nhớt vào áp suất

Độ nhớt của các môi trường bôi trơn thực tế biến đổi phụ thuộc vào áp suất mà nó chịu tác dụng. Do đó, sự thay đổi độ nhớt theo áp suất có ý nghĩa lớn trong việc lựa chọn chất bôi trơn để gia công áp lực kim loại khi mà áp suất tiếp xúc lên tới 30.000-40.000 KG/cm^2 .

Việc xác định được sự liên hệ biến thiên độ nhớt thực và hơn nữa là độ nhớt hữu ích của các môi trường bôi trơn là một bài toán lớn, phức tạp. Tuy nhiên triển vọng giải được nó đã được cải thiện nhờ đưa vào hàm số phụ thuộc vào biến thiên độ nhớt theo áp suất, đồ thị biến thiên gradient độ nhớt theo chính

độ nhớt đó, có nghĩa là $\frac{d\eta}{dp} = f(\eta)$.

Hình 5.2. Sự thay đổi của $d\eta/dp$ phụ thuộc vào độ nhớt η trong hệ tọa độ logarit (p - kg/cm^2 ; η -cP)
 \circ : ở 99°C ; \times : ở 218°C



Một số kết quả nghiên cứu đối với mỡ dầu mỏ được nêu trong hình vẽ 5.2.

Từ hình 5.2 suy ra, đối với mỡ dầu mỏ, hàm số $\frac{d\eta}{dp} = f(\eta)$ có dạng gần như đường thẳng có cùng một hệ số góc với các giá trị độ nhớt và các mức nhiệt độ dưới 218°C. Phương trình tính sự phụ thuộc đó có dạng:

$$\lg \frac{d\eta}{dp} = b + k \cdot \lg \eta \quad (5.8)$$

trong đó:

- k: hệ số góc bằng 0,93;
- Giá trị b tùy theo áp suất biến đổi không đáng kể.

Như vậy:

$$\frac{d\eta}{dp} = b\eta^k \quad \text{hay} \quad \frac{d\eta}{\eta^k} = b \cdot dp \quad (5.9)$$

Từ đó:

$$\eta^{1-k} = b(1-k)p + C \quad (5.10)$$

Nếu k = 1 thì:

$$\lg \eta = \alpha \cdot p + C; \quad \eta = a \cdot e^{\alpha p} \quad (5.11)$$

Sự liên hệ giữa $d\eta$, dp và η cho thấy rằng hệ số biến thiên độ nhớt theo áp suất chủ yếu được xác định bởi độ nhớt ban đầu của chất bôi trơn.

5.3.5. Các hệ thức tổng quát

Từ các hệ thức đã biết khái quát hóa ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất đối với độ nhớt của môi trường bôi trơn (tạm thời đối với riêng các chất bôi trơn có gốc dầu mỏ), hãy xem xét sự phụ thuộc mà V.G.Kuzimôv đã dùng:

$$\eta_{(p_1)} = \eta_1 \cdot e^{\alpha(p-p_1)} \frac{1}{1 + A(p_1 - p) + B(p_1 - p)^2} \quad (5.12)$$

trong đó:

$$A = \frac{\beta + 2\gamma \cdot t_u}{m \cdot h \cdot \rho (1 + \beta \cdot t_u + \gamma \cdot t_u^2)} \quad (5.13)$$

$$B = \frac{\gamma}{m^2 \cdot \rho^2 \cdot h^2 (1 + \beta \cdot t_u + \gamma \cdot t_u^2)} \quad (5.14)$$

- β , γ : hệ số nhiệt của độ nhớt đối với 1 số môi trường bôi trơn (xem dưới đây);

- m: đương lượng cơ của nhiệt = 427, kg.m/kCal;

- h: nhiệt dung riêng của chất bôi trơn, kCal/kg, °C;

- p : khối lượng riêng của chất bôi trơn, kg/m^3 ;
- t_u : nhiệt độ ban đầu;
- α : hệ số áp suất của độ nhớt.

	β	γ
Glyxerin kỹ thuật	- 0,0248	0,00635
Dầu máy MC	-0,064	0,005
Dầu biến áp	-0,0063	0,004

5.4. MÔ HÌNH VẬT LÝ CỦA CƠ CHẾ TÁC ĐỘNG CỦA CHẤT BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG ÁP LỰC KIM LOẠI

Trước khi lập các mô hình vật lý tác động của chất bôi trơn trong gia công áp lực kim loại cần phải làm rõ các điều kiện làm việc của chất bôi trơn trong ổ biến dạng. Các điều kiện này được đặc trưng bởi phạm vi rất rộng của các tham số chế độ và hàm số mà chất bôi trơn thể hiện trong các quá trình công nghệ khác nhau.

Các công dụng của chất bôi trơn là:

- Giảm hoặc tăng trở lực cắt;
- Tăng chất lượng bề mặt;
- Tăng tuổi thọ dụng cụ;
- Làm nguội phôi và dụng cụ;
- Các tác dụng cách nhiệt;
- Phòng ngừa sự tạo gỉ.

Chế độ cơ nhiệt hoạt động của chất bôi trơn:

Tải trọng tiếp xúc, KG/cm^2	1 ÷ (50÷100). 10^3
Vận tốc trượt, m/s	0,01 ÷ (6÷9). 10^3
Nhiệt độ trong ổ ma sát, $^{\circ}\text{C}$	20 ÷ (2÷3). 10^3
Áp suất thủy tĩnh, KG/cm^2	0 ÷ (100÷500). 10^3

Các đặc điểm đặc trưng cho việc sử dụng chất bôi trơn trong gia công áp lực là thay đổi một phần hay toàn bộ của lớp bề mặt và sự xuất hiện của ma sát của kim loại hay hợp kim sạch trên các bề mặt tiếp xúc với chất bôi trơn.

Khi đánh giá các dạng đặc trưng có tính khái quát của các chất bôi trơn được ứng dụng, đáng chú ý là phạm vi rộng lớn của chúng: từ những lớp màng

cứng, dày đặc hay phân tán (kim loại, ôxít kim loại, vật liệu phi kim) đến các môi trường dẻo, lỏng hay khí. Vì thế các phương pháp và đặc điểm bôi trơn rất đa dạng (bằng cách nhúng phôi, phun, dùng chổi quét, cán qua các trục có chất bôi trơn, bằng các phương pháp hoá học, điện phân với qui trình cơ khí hoá, tự động hoá).

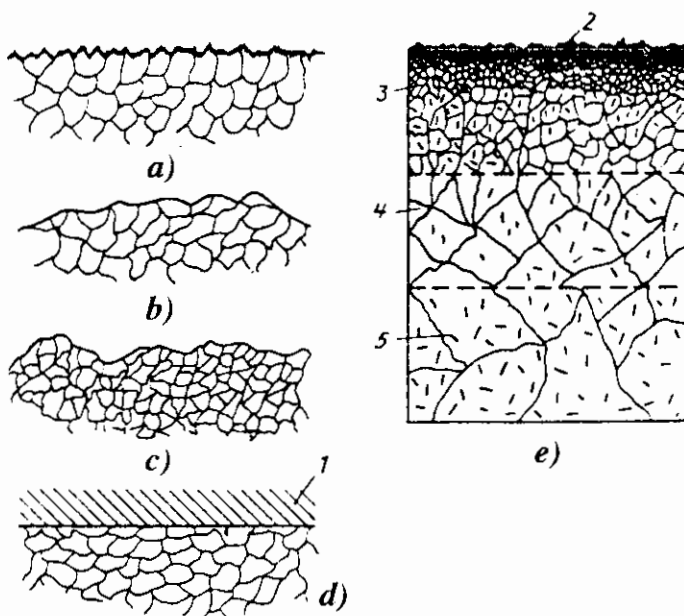
Những biến đổi đặc trưng nhất trong lớp bề mặt vật liệu kim loại trong gia công áp lực là những thay đổi tổ chức tế vi của bề mặt tự do. Trên hình 5.3 giới thiệu mô hình mẫu của sự biến đổi đó vốn có dạng phức tạp hơn nhiều trong thực tế.

Hình ảnh thực của cấu trúc gần bề mặt lớp hợp kim sau khi nung nóng trong không khí được trình bày trên hình 5.3e. Như có thể thấy, lớp bề mặt được phủ 1 lớp dày ôxít ngăn cách kim loại gia công với chất bôi trơn và bề mặt dụng cụ ở thời điểm bắt đầu ma sát.

Hình 5.3. Mô hình thay đổi cấu trúc tế vi bề mặt khi gia công bằng áp lực

a: Bề mặt chưa gia công; b: Sau khi gia công bằng áp lực ở nhiệt độ thấp; c: Sau khi gia công ở nhiệt độ cao; d: Bề mặt sau khi tiếp xúc với dụng cụ; e: Cấu tạo của lớp bên ngoài phôi thép bền nóng sau khi nung nóng trong không khí;

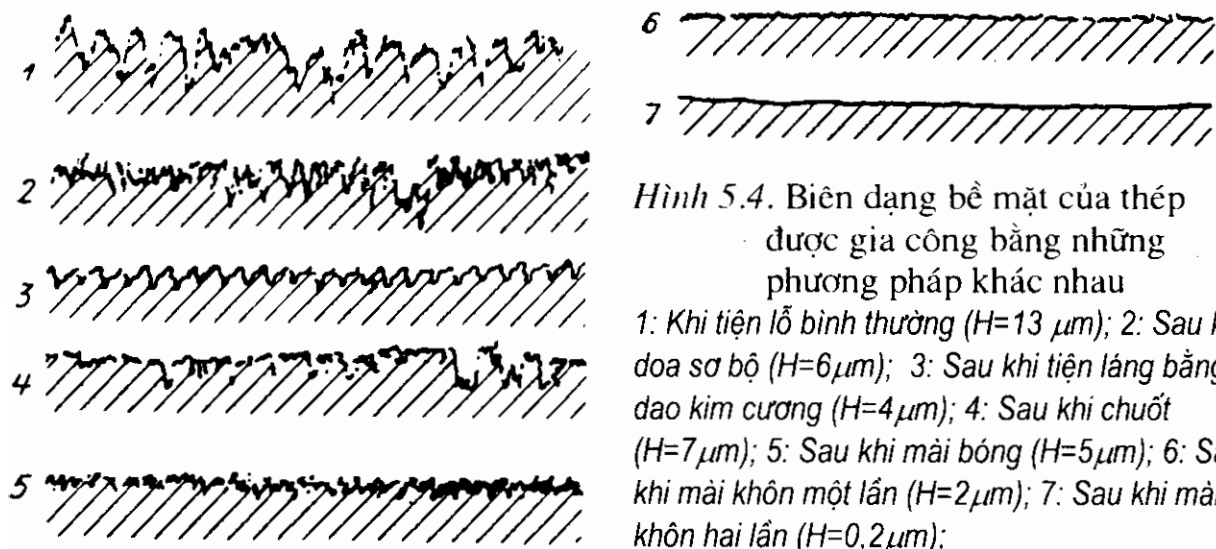
1: Bề mặt dụng cụ; 2: Lớp ôxít; 3: Lớp tổ chức bị ôxi hóa theo biên giới hạt; 4: Lớp bị thay đổi thành phần hóa học; 5: kim loại nền



Dưới lớp ôxít là 1 lớp hạt bị ôxi hoá theo biên giới hạt, rồi đến lớp có thành phần hoá học bị biến đổi và dưới nó là lớp kim loại nền.

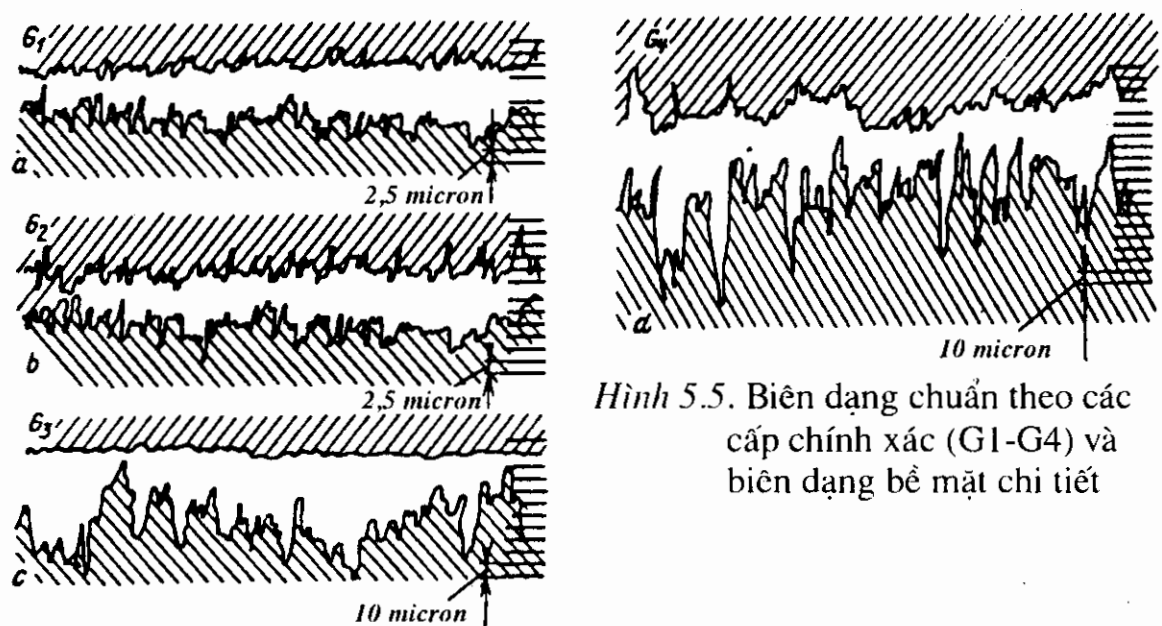
Cấu trúc tế vi ban đầu của các bề mặt ma sát của phôi biến dạng với kim loại cứng bởi các phương pháp gia công cắt gọt còn phức tạp hơn nhiều.

Trên hình 5.4 cho thấy biên dạng bề mặt của thép sau khi gia công bằng một số phương pháp cắt gọt: tiện, doa thông thường với độ cao nhấp nhô tế vi $H=12\text{--}13$ micron đến mài bóng như gương, khi $H<0,2$ micron. Chất bôi trơn lỏng hoặc dạng kem được bôi lên các bề mặt sẽ lấp đầy các chỗ mấp mô. Trong điều kiện đó tác dụng của chất bôi trơn được xác định chủ yếu là do độ nhớt của nó.



Hình 5.4. Biên dạng bề mặt của thép được gia công bằng những phương pháp khác nhau
 1: Khi tiện lỗ bình thường ($H=13\ \mu\text{m}$); 2: Sau khi doa sơ bộ ($H=6\ \mu\text{m}$); 3: Sau khi tiện láng bằng dao kim cương ($H=4\ \mu\text{m}$); 4: Sau khi chuốt ($H=7\ \mu\text{m}$); 5: Sau khi mài bóng ($H=5\ \mu\text{m}$); 6: Sau khi mài khô một lần ($H=2\ \mu\text{m}$); 7: Sau khi mài khô hai lần ($H=0,2\ \mu\text{m}$);

Trên hình 5.5 đối chiếu biên dạng của các bề mặt có độ bóng chuẩn khác nhau (từ G_1 đến G_4) với các bề mặt chi tiết gia công (a, b, c và d). Phía bên phải cho thấy tỉ lệ xích theo micron. Độ không bằng phẳng về hình dáng của bề mặt chuẩn có thể tương đối đa dạng, có thể thấy được trên các biểu đồ biên dạng (Hình 5.6) ghi được khi phóng đại theo chiều dọc 40.000 lần và theo chiều ngang 150 lần.



Hình 5.5. Biên dạng chuẩn theo các cấp chính xác (G_1 - G_4) và biên dạng bề mặt chi tiết

Nhờ tính đến điều vừa nói trên về hình dạng thực tế của bề mặt kim loại và bản chất ma sát bôi trơn (xem chương 2 và chương 3) có thể rút ra kết luận về mô hình vật lý tác động thể tích của chất bôi trơn trong các quá trình gia công áp lực kim loại khác nhau. Có nghĩa là, độ nhớt hữu ích của môi trường bôi trơn được chọn trong điều kiện áp suất tiếp xúc và vận tốc biến dạng đã cho

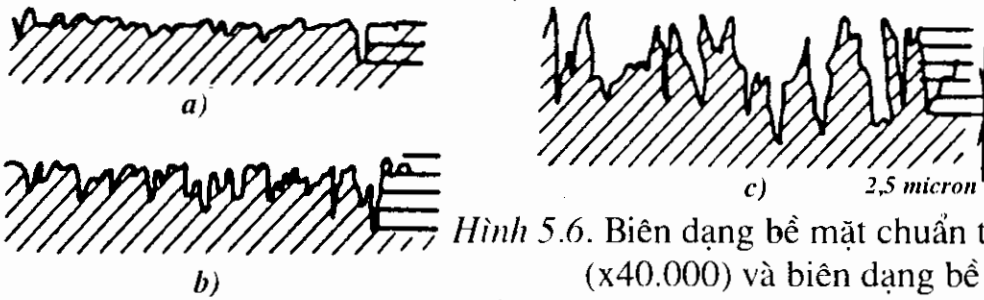
phải đảm bảo được sự cân bằng phản lực giữ lớp bôi trơn đủ để ngăn ngừa sự tiếp xúc của các bề mặt dụng cụ với chi tiết biến dạng. ảnh hưởng chủ yếu là do độ phức tạp về hình dạng tế vi của bề mặt thực khi chịu các dạng gia công khác nhau đặc trưng bởi sự có mặt của các vùng nhấp nhô.

Từ các biểu đồ biên dạng (Hình 5.4) suy ra rằng chức năng tạo màng của chất bôi trơn chỉ có thể thực hiện được trong trường hợp bên dưới nó là bề mặt nhám.

Duy trì ứng suất nhỏ nhất và theo đó là trở lực cắt nhỏ nhất trong lớp bôi trơn chỉ có thể được khi độ nhớt cho phép của nó là nhỏ nhất. Nếu độ nhớt của môi trường bôi trơn thấp hơn mức cho phép thì lớp bôi trơn bị ép ra, và các bề mặt tiến lại gần nhau và tiếp xúc với nhau. Sự tiếp xúc này diễn ra lúc đầu theo đỉnh của các nhấp nhô tế vi, sau đó các đỉnh này bị phá hủy (hay bị mềm hóa) và xuất hiện sự ép thủy tĩnh các thể tích vi mô của môi trường thứ ba (bôi trơn) đọng lại ở những vùng trũng của các bề mặt dang tiến lại gần nhau. Hiện tượng đó gọi là chế độ ma sát nửa khô, chính là sự chuyển tiếp rất phức tạp pha trộn các yếu tố ma sát khô với ma sát ướt đặc trưng cho sự chảy trong quá trình trượt của các thể tích vi mô của chất bôi trơn từ khoảng lõm tế vi này sang khoảng lõm tế vi khác tạo ra những vùng bôi trơn thủy động rất nhỏ, các vùng ma sát bán khô và khô. Sự tạo thành chế độ ma sát bán khô là bởi những rãnh tế vi trên hình dạng thật của các bề mặt ma sát của phôi và dụng cụ. Rõ ràng là với độ nhẵn lý tưởng, không có các nhấp nhô tế vi trên bề mặt ma sát, thì có thể xuất hiện chế độ ma sát thủy động khi dùng chất bôi trơn có độ nhớt thấp. Từ đó rút ra kết luận về ảnh hưởng quyết định của chất lượng và hình dạng của bề mặt tới các điều kiện tạo thành chế độ ma sát ướt. Nói cách khác, trong các phần vi mô và vi mô của bề mặt đã diễn ra 1 quá trình phức tạp tác động qua lại của 3 môi trường, trong đó đặc điểm trượt trên bề mặt ma sát có thể biến đổi rất nhiều do các vùng đều có áp suất và nhiệt độ rất lớn chịu ảnh hưởng của áp suất và nhiệt độ trong những vùng thể tích lớn của các bề mặt ma sát. Chính điều này có thể giải thích cho sự mâu thuẫn và tính chất không ổn định của ma sát và bôi trơn bề mặt mặc dù cùng một loại, cùng chế độ ma sát, vận tốc và nhiệt độ như nhau. Rõ ràng là trong chế độ ma sát bán khô, tính chất ma sát ổn định có thể đạt được nếu giữ được các điều kiện sau đây không đổi:

- 1) Bản chất của các bề mặt ma sát;
- 2) Kích thước tế vi, địa hình bề mặt và cấu trúc lớp bề mặt;
- 3) Định hướng hình dạng tế vi của biên dạng các bề mặt tương đối với nhau;
- 4) Áp suất tiếp xúc;
- 5) Vận tốc trượt;
- 6) Độ dài của bề mặt;
- 7) Bản chất lý-hóa và độ nhớt của môi trường bôi trơn;

- 8) Nhiệt độ biến dạng và điều kiện trao đổi nhiệt;
- 9) Môi trường không khí xung quanh và áp suất của môi trường;
- 10) Bản chất hoá - lý, độ dày lớp ôxit và các chất hoá học trên các bề mặt ma sát.



Hình 5.6. Biên dạng bề mặt chuẩn theo ba cấp (x40.000) và biên dạng bề mặt chi tiết
 a: dung sai chính xác; b: dung sai +0,003; c: dung sai +0,01

Tính đến điều đã trình bày trên đây có thể kết luận rằng các mô hình vật lý cơ chế tác động của chất bôi trơn trong gia công áp lực là rất đa dạng và sẽ hình thành xuất phát từ những điều kiện cụ thể ở ổ ma sát bởi những yếu tố đã nêu.

Những điều kiện ma sát thường gặp nhất trong gia công kim loại bằng áp lực có thể được thể hiện theo các mô hình vật lý sau đây:

1. **Ma sát khô lí tưởng** (Hình 2.35a). Có thể xảy ra trong điều kiện chân không tuyệt đối, độ sạch tuyệt đối thậm chí không có lớp hấp phụ hơi hoặc khí của bề mặt. Ở ma sát bao gồm vô số mối liên kết nguyên tử của kim loại gia công với dụng cụ ở khoảng giữa các mảnh vụn ôxit và các hợp chất hoá học khác của các lớp bề mặt trên các bề mặt ma sát. Các mảnh vụn ôxit đó thường tập trung ở những rãnh nhấp nhô tế vi. Khi đó số lượng mảnh vụn ôxit sẽ có nhiều hơn ở bề mặt nào có trở lực cắt giới hạn nhỏ hơn.

2. **Ma sát không khí khô**. Loại ma sát này là phổ biến nhất. Vùng ổ ma sát tương tự như trong ma sát khô (Hình 5.7e) nhưng có những bọt khí-hơi nước trong các nhấp nhô tế vi và các lõm vĩ mô của bề mặt chịu những áp suất khác nhau. Các bọt khí-hơi nước xuất hiện do trong môi trường không khí luôn tồn tại một lượng nước nhất định. Trong những rãnh bề mặt tích tụ các mảnh vụn ôxit và các hợp chất hoá học của bề mặt ma sát cứng của phôi và dụng cụ. Điều kiện ma sát bắt đầu bị ảnh hưởng của các hiện tượng nhiệt động lực học phức tạp liên quan tới sự ép các thể tích khí rất nhỏ và chuyển động của chúng từ rãnh tế vi này tới rãnh tế vi khác cạnh đó dưới một áp suất khác. Khi xảy ra trong một môi trường khí khác không phải là môi trường khí quyển thì mọi việc cũng diễn ra tương tự so với sự tham gia của môi trường này.

3. **Ma sát bán khô hoặc bán ướt** (Hình 5.7d và 2.35c). Ở điều kiện khí quyển loại ma sát này đặc trưng bởi tác dụng của không khí có chứa

hơi nước. Mô hình vật lý tác động của chất bôi trơn có thể trình bày dưới dạng các điều kiện khi mà giữa các bề mặt kim loại ma sát có sự tiếp xúc với mức độ khác nhau thông qua cầu nối là các liên kết nguyên tử và các khoang chứa đầy chất bôi trơn (hỗn hợp môi trường bôi trơn và không khí), cũng như thông qua các khoang vi mô và vi mô chứa đầy không khí của môi trường, cũng như thông qua các mảnh vụn ôxit và kim loại bề mặt rải rác trên các phần tiếp xúc khô, lỏng, lỏng-khí hay khí ở các hốc tế vi. Trong quá trình chuyển dịch của các bề mặt còn diễn ra một quá trình phức tạp hơn của sự biến đổi nhiệt động lực học trong các rãnh ở ranh giới tiếp xúc giữa các bề mặt. Tương quan giữa các tổng diện tích tiếp xúc khô và thông qua lớp huyền phù có tính chất thủy khí động lực sẽ gần giống điều kiện ma sát khô trong khí quyển hoặc ma sát ướt thuần túy.

4. **Ma sát ướt** (Hình 5.7b và 2.35d). Mô hình vật lý của ma sát ướt có những hình thái như sau:

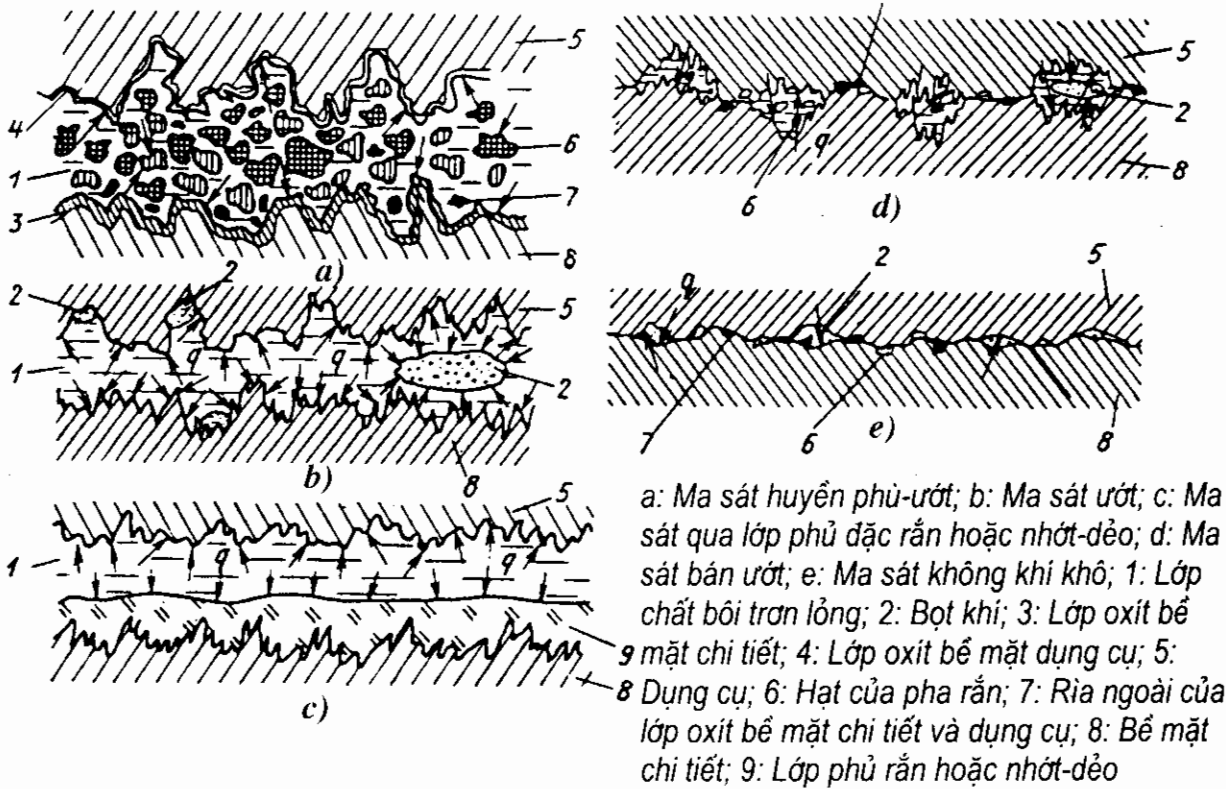
- Ma sát ướt - khí quyển trong môi trường chất lỏng là không khí;
- Ma sát ướt - khí (trong môi trường khí khô);
- Ma sát ướt - chân không (khi không có môi trường khí bao quanh).

Trong các điều kiện đó, khi dịch chuyển các bề mặt sẽ xảy ra trượt theo bề mặt có trở lực nhỏ hơn, tức là theo môi trường bôi trơn thể tích. Sự lẫn khí có thể ảnh hưởng đến sự tương tác giữa các bề mặt và chế độ bôi trơn. Trong quá trình biến dạng, trên bề mặt phôi có thể tách ra lớp màng ôxit bị phá hủy và các hợp chất hoá học gây hại lẫn vào lớp bôi trơn. Khi số lượng nhỏ thì vai trò của các yếu tố này là không đáng kể. Khi có nhiều các phần tử này, sẽ tạo thành một lớp dày các mảnh vụn ôxit giòn trong lớp bôi trơn và tạo thành một dạng huyền phù, làm biến đổi độ nhớt tối ưu của nó. Cần phải tính đến sự tạo thành huyền phù đó bởi vì trong gia công kim loại bằng áp lực bao giờ trên bề mặt kim loại ma sát cũng tạo thành các ôxit.

5. **Ma sát lỏng - huyền phù** (Hình 5.7a) rất phổ biến trong thực tế, nhất là khi trong môi trường bôi trơn có những loại huyền phù đa dạng chế từ các dầu graphit có độ linh động cao, nước - graphit, các dạng kem và chất bôi trơn cứng dạng hạt. Ở loại sau cùng này, các phần tử rắn phân tán của graphit, của bột tan, của điôxit mômipđen hay sunfua mômipđen, cũng như các phần tử rắn có độ phân tán cao khác phân bố đều với nồng độ nhất định trong paraffin, sáp, xà phòng dân dụng, trong xerezin, stearin, bitum hoặc các sản phẩm từ dầu mỏ có độ nhớt cao khác. Mô hình vật lý của chất bôi trơn dạng huyền phù (trên hình 5.7a) thể hiện một quá trình phức tạp sự tác động qua lại của các bề mặt ma sát, của môi trường phân tán (các phần tử rắn của huyền phù). Ở đây đã xảy ra một quá trình thủy động rất phức tạp không chỉ riêng trong toàn bộ thể tích môi trường

bôi trơn mà còn ở ngay trong chính vật liệu bôi trơn (huyền phù). Việc sử dụng huyền phù trong môi trường bôi trơn rất đáng được quan tâm trong thực tế bởi vì làm xuất hiện khả năng tránh được sự tiến lại gần nhau và sự tiếp xúc trực tiếp của các bề mặt ma sát khi trở lực cắt của phần tử bảo vệ (môi trường bôi trơn) là nhỏ nhất với mật độ tối ưu của các pha rắn trong môi trường phân tán.

6. **Ma sát thông qua lớp phủ rắn đặc hoặc lớp phủ dẻo-nhớt** (Hình 5.7c) có bôi trơn hoặc không. Dạng ma sát này là một biến thể của ma sát huyền phù, khi mà các phân tử của pha phân tán tạo thành 1 lớp dày đặc trên bề mặt ma sát của sản phẩm hay dụng cụ. Các chất bôi trơn dưới dạng màng sơn dầu, sơn màu, lớp ôxit mỏng, kim loại và hợp kim dẻo rất có hiệu quả trong việc gia công áp lực các loại hợp kim có độ bền cao, nhất là các loại hợp kim yêu cầu có tải trọng tiếp xúc lớn. Các môi trường đó đảm bảo một lớp màng bảo vệ tốt cho bề mặt nhưng lại không loại bỏ được trở lực cắt lớn. Vì vậy, song song với việc tạo ra những lớp màng bảo vệ như thế cần phải sử dụng các chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu.



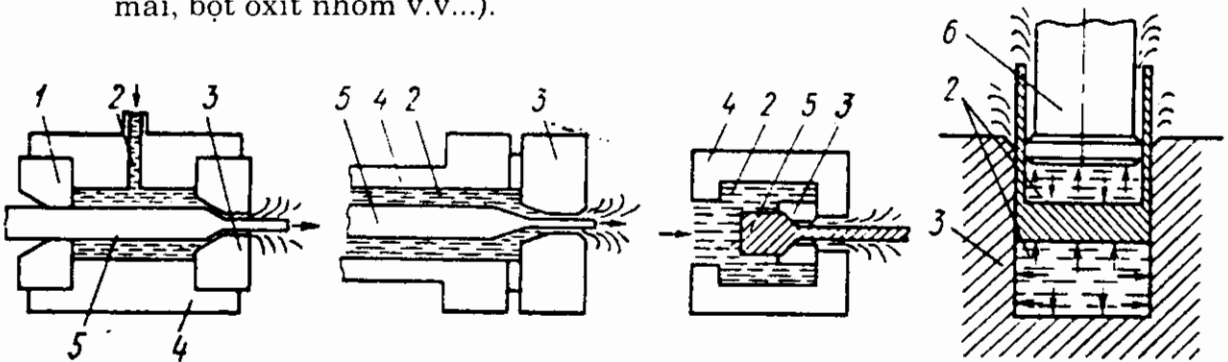
Hình 5.7. Sơ đồ minh họa mô hình vật lý của cơ chế bôi trơn khi gia công kim loại bằng áp lực

7. **Chế độ ma sát ướt hay thủy động** (Hình 5.8 và 3.13). Điều kiện lí tưởng của chất bôi trơn phải là tạo ra được chế độ thủy động nhưng môi

trường bôi trơn chỉ cần có độ nhớt thấp nhất. Những điều kiện này được hình thành do chế độ thủy động của ma sát. Môi trường bôi trơn có thể là các chất lỏng linh động trong đó trở lực ma sát trở nên không đáng kể. Môi trường bôi trơn hợp lý nhất trong trường hợp này là nước.

8. **Ma sát qua chất chống bôi trơn** (có sử dụng chất tăng cường ma sát). Điều kiện lý tưởng để thực hiện quá trình tạo hình là khi trên những phần chịu tác dụng tiêu cực của ma sát tiếp xúc người ta sử dụng các chất bôi trơn hữu ích, còn trên các phần chịu ảnh hưởng tốt thì dùng các chất tăng cường ma sát hay chất chống bôi trơn. Chất chống bôi trơn cần được hiểu như là điều kiện ma sát mà trong đó triệt tiêu được hoặc đưa về giá trị nhỏ nhất sự trượt ở ranh giới giữa các bề mặt cần có tác dụng hãm giữa vật liệu gia công và dụng cụ. Chẳng hạn như tạo ra trên bề mặt dụng cụ những vết khắc, những vân nhám có biên độ nhất định để duy trì sự liên kết cơ học với bề mặt phôi.

Để làm chất chống bôi trơn có thể sử dụng các vật liệu dưới dạng bột hoặc kem có độ cứng cao hơn độ cứng bề mặt dụng cụ (như bột đá mài, bột ôxít nhôm v.v...).



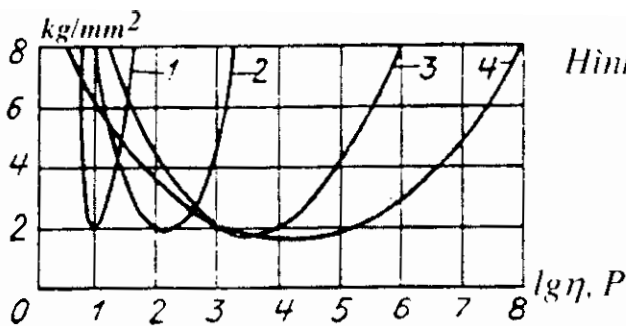
Hình 5.8: Sơ đồ đặc trưng quá trình thực sự tạo ma sát thủy động của chất bôi trơn có độ nhớt thấp

a: Kéo dây trong chất bôi trơn có áp; b: Kéo dây thủy động; c: ép chảy thủy động; c: ép chảy ngược thủy động; 1: Đĩa bịt kín; 2: Chất lỏng có áp; 3: Cối; 4: Bướm ép; 5: Bán thành phẩm ban đầu; 6: Chày

Lưu ý rằng cả 8 mô hình vật lý của ma sát được mô tả trên đây trong một chừng mực nhất định là những chế độ ma sát tổng quát ban đầu, liên quan lẫn nhau và có thể chuyển hóa lẫn nhau trong những điều kiện nhất định.

5.5. CHẤT BÔI TRƠN VÀ VẬT LIỆU BÔI TRƠN CHO DẬP TẤM

Phương pháp lựa chọn chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu cho dập vuốt đã được dẫn ở trên (Hình 3.12).



Hình 5.9. Sự thay đổi ứng suất dập (tại tiết diện nguy hiểm) phụ thuộc vào độ nhớt động lực của chất bôi trơn đối với những tốc độ dập vượt khác nhau, chi tiết nhôm hợp kim có độ bền cao ($r_M=8s_0=8 \text{ mm}$)
1: 100 m/s; 2: 50 m/s; 3: 5 m/s; 4: 0,5 m/s

Lưu ý rằng trong các giai đoạn khác nhau của dập tấm thậm chí cả khi gia công cùng một loại vật liệu thì cơ-lý tính của chất bôi trơn cũng có thể rất khác nhau và biến đổi tùy theo các điều kiện tiếp xúc như ta đã biết vốn được qui định bởi áp lực tiếp xúc, tốc độ trượt và nhiệt độ tại ổ ma sát. Vì vậy, phạm vi chính để chọn độ nhớt tối ưu cho chất bôi trơn cần được căn cứ vào đặc điểm biến dạng tại ổ ma sát, nơi sinh ra áp lực ma sát cao nhất và tốc độ trượt thấp nhất. Chất bôi trơn được lựa chọn theo cách đó (khi nhiệt độ ở các ổ ma sát là như nhau) sẽ đảm bảo duy trì một chế độ thủy động ở tất cả các vùng khác.

Đối với quá trình dập tấm môi trường bôi trơn ban đầu có thể dùng các vật liệu được nêu trong bảng 5.3.

Trong các quá trình biến dạng có vận tốc cao, chẳng hạn như trong dập nổ, dập xung điện-thủy lực hay dập xung lực từ trường, tùy theo tốc độ trượt thực tế và tải trọng tiếp xúc mà chọn độ nhớt hợp lý của chất bôi trơn theo đồ thị trên hình 3.12, đồng thời được định hướng theo biểu đồ trên hình 5.9. Khi dập nổ chi tiết từ hợp kim nhôm có độ bền cao (ví dụ khi vận tốc dập đạt đến 100-150 m/s) hợp lý nhất là dùng chất bôi trơn có độ nhớt tối ưu là dầu vazelin hay huyền phù nước xà phòng 10%. Khi dập chi tiết từ các hợp kim độ bền cao khác nhau thì độ nhớt của chất bôi trơn cần được tăng tỷ lệ với sự tăng độ bền của hợp kim so với độ bền của hợp kim nhôm.

Bảng 5.3: Các chất bôi trơn trong công nghệ dập tấm
(nên dùng khi vận tốc biến dạng nhỏ hơn 0,3 m/s)

Vật liệu gia công	Chất bôi trơn công nghiệp	Độ nhớt động lực hữu ích, P
Thép cacbon hợp kim hóa chịu mài mòn	Xà phòng công nghiệp đã được làm khô	$5 \cdot 10^5$
	Dầu mỡ đã oxi hóa (oxi hóa cao)	$3 \cdot 10^4$
	Nhựa đường bitum + 50% dầu mỡ đã oxi hóa	$6 \cdot 10^5$
	Paraphin công nghiệp	$4 \cdot 10^5$
	Xerezin (sáp mỡ)	$6 \cdot 10^6$
	Keo graphit (80%) trong dầu xilanh	$5 \cdot 10^6$

Thép cacbon thấp	Keo graphit (40%) + dầu xilanh	5.10^3
	Dầu mỡ đã oxi hóa + 80% dầu xilanh	8.10^3
Hợp kim nhôm, đồng mềm, đồng thau	Vazolin công nghiệp	5.10^2
	Dầu mỡ đã oxi hóa (50%) + dầu xilanh	6.10^2
	Xà phòng công nghiệp (50%) + nước	4.10^2

5.6. CHẤT BÔI TRƠN VÀ VẬT LIỆU BÔI TRƠN DÙNG TRONG DẬP THỂ TÍCH NGUỘI

Các quá trình biến dạng thể tích nguội thuộc về các quá trình biến dạng có triển vọng nhất, ngày càng được ứng dụng nhiều hơn nhờ có những ưu điểm vượt trội sau đây so với các quá trình khác của phương pháp gia công kim loại bằng áp lực:

1. Rút gọn đến mức tối thiểu số nguyên công chuẩn bị (nung nóng, cắt bavia, tinh chỉnh v.v...).
2. Giới hạn và tập trung hoá ở biến dạng trong vùng biến dạng.
3. Khả năng chế tạo các chi tiết chính xác không cần đến gia công cắt gọt.
4. Năng suất cao.

Tuy nhiên, tải trọng tiếp xúc quá lớn và năng lượng của quá trình quá cao trong khi tuổi thọ của dụng cụ lại thấp đã dẫn tới chỗ cần phải thúc đẩy quá trình trước hết là thông qua điều khiển lực ma sát tiếp xúc.

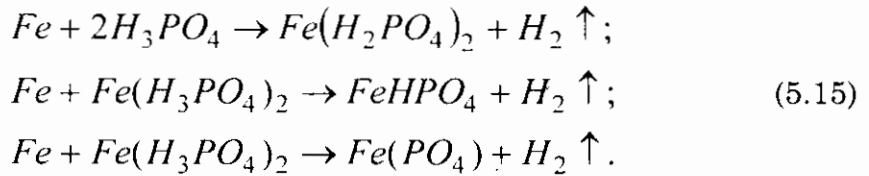
Việc giảm lực ma sát tiếp xúc nhờ sử dụng các chất bôi trơn hữu ích tạo ra sự chảy tự do của kim loại và sự điền đầy tốt nhất trong khuôn dập. Dập thể tích nguội không dùng chất bôi trơn hoặc do không có khả năng áp dụng công nghệ bôi trơn sẽ kéo theo sự mài mòn và giảm độ bền của dụng cụ dập, đồng thời lại tăng hao phí năng lượng lên rất nhiều.

Khi dập thể tích nguội các chi tiết từ hợp kim nhôm thì chất bôi trơn hiệu quả có thể là 40% nước xà phòng thể huyền phù và tiếp theo là paraffin công nghiệp đã sấy khô hay xerezin. Bề mặt của phôi được phủ bằng cách nhúng hay dùng máy phun xi.

Tuy vậy dập thể tích các chi tiết từ thép cacbon và các hợp kim có độ bền cao lại sử dụng chất bôi trơn có độ nhớt hiệu quả cao đã giới thiệu kết hợp với việc phủ lên bề mặt phôi từ trước đó những kim loại dẻo như kẽm, đồng cadimi, thiếc v.v... Khi đó, tất nhiên cũng sử dụng các phương pháp điện phân để tạo lớp phủ bằng kim loại nguyên chất. Nhược điểm lớn của phương pháp phủ này là khó bóc tách chất bôi trơn khỏi bề mặt sản phẩm sau khi đã tạo

hình. Để bảo vệ bề mặt phải tránh tiếp xúc với bề mặt dụng cụ người ta sử dụng các lớp phủ hoá học.

Phương pháp hoá học là phốt phát hóa nguội và nóng. Người ta thường cho rằng sự phốt phát hoá các bề mặt bằng thép diễn ra trong hai pha:



Trong thực tế thu được các lớp phủ phốt phát khác nhau: phốt phát magiê, phốt phát sắt và phốt phát kẽm.

Lớp phủ phốt phát kẽm là tốt nhất, bởi vì khi phản ứng với một số vật liệu bôi trơn dùng trong dập thể tích nguội, chúng tạo các xà phòng kim loại. Các yếu tố kiến về độ dày lớp phủ phốt phát rất khác nhau thậm chí còn trái ngược nhau.

5.6.1. Chuẩn bị bề mặt trong gia công nguội bằng áp lực các loại thép đặc biệt

Các loại thép đặc biệt có trở lực biến dạng rất cao, chính vì vậy mà các lớp phủ bề mặt phải thỏa mãn các yêu cầu rất cao về tính chất bôi trơn. Các bề mặt phôi thép đặc biệt cần phải qua công đoạn gia công sơ bộ như:

- 1- Mạ đồng;
- 2- Canxi hoá (nhúng vào huyền phù $CaOH_2$ có thêm NaCl);
- 3- Phủ graphit hay hỗn hợp graphit với chất dính kết để tạo thành một lớp bôi trơn;
- 4- ôxi hoá.

Ba phương pháp đầu không bảo vệ được lớp bề mặt, lớp màng có thể bị phá vỡ và để lộ phần kim loại nền của phôi biến dạng. Được sử dụng rộng rãi nhất là phương pháp ôxi hoá. Ưu điểm của phương pháp này là tạo được lớp phủ bền vững bằng ôxit sắt có tác dụng tương tự với lớp màng phốt phát trong phương pháp phốt phát hoá các loại thép chứa ít cacbon. Để ôxi hoá người ta sử dụng các chất có thành phần chính là các muối của axit cacbon $C_2O_4H_2$, sắt $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ hoặc $Fe_2(C_2O_4)_3$, hoặc phốt phát mangan $Mn_3(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$ và các chất phụ gia hoạt tính khác có tác dụng hạ nhiệt độ nóng chảy.

Tốt nhất là sử dụng các chất phủ bề mặt đã nói trên kết hợp với xà phòng pha kim loại (tương tự như phương pháp phốt phát hoá).

Chất bôi trơn sử dụng tạo lớp màng bảo vệ có tác dụng giảm trở lực trượt, nên bắt buộc phải dùng các chất bôi trơn dẻo có hiệu quả dưới dạng các huyền

phù rắn (pha trong paraffin) disulphit molybden, wolframit, xà phòng pha các kim loại nặng, graphit v.v... Khi dùng disulfit molybden cần phải tính đến độ bền chịu nhiệt kém của nó. Ở nhiệt độ trên 400°C nó nhanh chóng phân giải thành MoO₂ và axit sulfuric là chất làm hư hại bề mặt của sản phẩm và dụng cụ.

Trong các tài liệu liên quan, đã mô tả các chất bôi trơn có gốc dầu mỡ có bổ sung stearin và các oleat kim loại, còn trong 1 số trường hợp có cho thêm graphit có độ phân tán cao dưới dạng bột phấn. Dưới đây dẫn một số công thức pha chế điển hình các chất bôi trơn cho biến dạng thể tích nguội:

Số thứ tự	1	2	3	4	5	6
Gốc	Dầu mỡ					
Chất bổ sung, %	Có lưu huỳnh	5 stearat canxi	5 stearat natri	5 stearat thiếc	5 oleat natri	5 oleat đồng
Số thứ tự	7	8	9	10	11	12
Gốc	Dầu mỡ				Dầu khoáng vật	
Chất bổ sung, %	5 oleat thiếc	1 axit polmetic	1 axit stearic	1 axit oleic	2 Bột phấn graphit	2 Keo graphit

5.7. CHẤT BÔI TRƠN VÀ VẬT LIỆU BÔI TRƠN ĐỂ GIA CÔNG ÁP LỰC NÓNG

5.7.1. Các yêu cầu chung đối với chất bôi trơn và vật liệu bôi trơn

Các yêu cầu đối với chất bôi trơn đã được nêu trong V.I. Các yêu cầu bổ sung cần có là phải giữ được độ nhớt bôi trơn đã xác định ở nhiệt độ cao khi gia công. Theo khuyến cáo của các nhà sản xuất vật liệu bôi trơn, đối với gia công áp lực nóng nên dùng các vật liệu bôi trơn nêu trong bảng 5.4.

Một số lượng lớn công thức chất bôi trơn có nguồn gốc và tính chất đa dạng được giới thiệu cho gia công nóng kim loại. Ví dụ như các loại vật liệu sau: 75%CaCl₂ và 25%KCl hoặc 70%CaCl₂ và 30%NaCl.

Bảng 5.4: Chất bôi trơn dùng trong rèn - dập khối kim loại và hợp kim

Kim loại và hợp kim	Chất bôi trơn kỹ thuật	Phương pháp bôi trơn
Hợp kim nền nhôm	Dầu có phụ gia graphit. Nước có các phần tử huyền phù graphit. Dung dịch 20% xà phòng công nghiệp trong nước.	Phun sương
Các loại thép không gỉ, thép cacbon và thép dụng cụ	Xà phòng có phụ gia graphit. Xà phòng có phụ gia điôxit. Molipden và muối ăn. Dung dịch nước muối.	Phun sương
Hợp kim nền titan	Dầu có phụ gia graphit. Chất bôi trơn thủy tinh.	Phun bụi Tạo lớp phủ bên ngoài bằng cách nhúng hay phun bụi trước.
Môlipden, Niôbi, volfram*	Chất bôi trơn thủy tinh.	Phun bụi, tạo lớp phủ trước bằng cách nhúng.

* Có thể rèn - dập không cần bôi trơn. Hiệu quả bôi trơn có được nhờ lớp màng ôxit lỏng.

Các nghiên cứu tỉ mỉ về các loại chất bôi trơn chịu nhiệt độ cao được tiến hành bởi X.Ia Veilơ và V.I.Likhman (bảng 5.5).

Bảng 5.5: Chất bôi trơn ở nhiệt độ cao

Chất bôi trơn	Số thứ tự và thành phần % của chất bôi trơn																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Chất cơ bản: Nước																	
nước	97-95	94	90	90	95	97	93	92	84	77	84	59	68	60	62	80	67
muối	3-5	3	5	5	-	-	-	1	3	10	3	3	-	5	3	5	3
graphit	-	3	-	-	-	-	-	5	3	13	-	-	2	-	-	-	2
cao lanh	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bột tan	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
criolit (3NaF.AIF ₃)	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
đất sét bentonit	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xa phòng công nghiệp:	-	-	-	-	-	2	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
axit oleic	-	-	-	-	-	-	1	0,5	-	-	4	4	2,5	-	2	-	4
tri Etanol	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2,5	-	-	-	-
dầu bôi trơn máy	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	20	10	-	-	20
rượu trắng	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
sôđa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	3	-	4
dầu hỏa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	5	25	20	10	-
paraphin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
bitum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-

Chất bôi trơn	Số thứ tự và thành phần % của chất bôi trơn									
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Chất cơ bản: Axit oleic										
axit oleic	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
graphit	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chất cơ bản: Dầu hỏa										
dầu hỏa	74,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dầu bôi trơn máy	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
axit oleic	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chất cơ bản: 25% nhũ tương										
25% nhũ tương	-	-	100	95	95	97	98	94	-	85
hợp chất natri	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
criolit (K·1)	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
graphit	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
đất sét bentonit	-	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-
Xa phòng công nghiệp:	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-
muối	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-
dầu hỏa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
dầu mỡ đã ôxi hóa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

5.7.2. Chất bôi trơn thủy tinh cho dập khối nóng

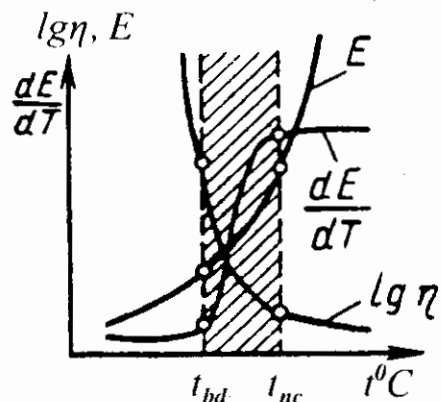
Được ứng dụng rộng rãi như một vật liệu bôi trơn có hiệu quả sử dụng trong gia công kim loại bằng áp lực ở nhiệt độ cao, đặc biệt là thép và các hợp kim chịu nhiệt, thủy tinh có các đặc tính sau đây:

- 1- Tạo được chế độ bôi trơn thủy động đáng tin cậy bởi vì ở nhiệt độ cao thủy tinh trở thành một chất lỏng bôi trơn lý tưởng;
- 2- Tạo nên những đặc tính bảo vệ rất tốt chống ôxi hoá lớp bề mặt của kim loại biến dạng;

- 3- Có khả năng làm bôi trơn bề mặt kim loại ở nhiệt độ cao;
- 4- Có độ trung tính cao đối với kim loại gia công.

Nhược điểm chính của thủy tinh khi dùng như một chất bôi trơn là khó tách khỏi bề mặt phôi hay vật dập. Sự biến thiên một số tính chất của thủy tinh theo nhiệt độ được chỉ ra trên hình 5.10.

Hình 5.10. Sự thay đổi một vài tính chất của thủy tinh phụ thuộc vào nhiệt độ
 η : Độ nhớt của thủy tinh; E : Thể tích riêng; dE/dT : Hệ số giãn nở nhiệt; Vùng gạch chéo tương ứng với sự bất thường giữa nhiệt độ biến dạng t_{bd} (độ nhớt 10^{13} P) và nhiệt độ nóng chảy của thủy tinh t_{nc} (độ nhớt 10^9 P)



Thủy tinh là chất vô định hình nhận được bằng cách làm lạnh những chất lỏng nhớt đã được nấu chảy ở nhiệt độ cao. Nhiệt độ nấu chảy thủy tinh không phụ thuộc vào thành phần hóa học và vùng nhiệt độ đông đặc mà được chọn theo độ nhớt phù hợp với vật rắn cần bôi trơn. Khi đó quá trình chuyển đổi từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn là thuận nghịch.

Thủy tinh được phân thành các loại đơn chất và hợp chất: loại đơn chất chỉ bao gồm 1 chất có tính chất hoá học tạo thủy tinh; loại hợp chất bao gồm chất tạo thủy tinh và chất biến tính.

Trong số những chất tạo thủy tinh (các ôxit) quan trọng nhất là ôxit silic và các hỗn hợp của nó (silicat), cũng như các anhydrit boric và photphoric. Tùy theo các ôxit mà chia ra các loại thủy tinh silicat, photphoric hay boric. Người ta còn sử dụng thủy tinh hỗn hợp bo-silicat, bo-phosphat v.v... Các loại thủy tinh silicat hỗn hợp được tạo trên cơ sở nung nóng chảy điôxitsilic với các ôxit kim loại dạng Me_2O , MeO , Me_2O_3 , Me_2O_5 , MeO_3 .

Thủy tinh có tính chất hoá-lý chung là khi nung nóng không bị nóng chảy giống như các chất kết tinh mà dần dần bị mềm đi, chuyển từ trạng thái rắn sang trạng thái nhớt và lỏng. Khi đó, không chỉ riêng độ nhớt, mà cả đặc tính khác cũng biến đổi liên tục (xem hình 5.10) và có tính thuận nghịch tùy theo mức độ làm nguội. Thành phần hoá học của thủy tinh quyết định các tính chất bôi trơn cơ bản của chúng là: độ nhớt ở nhiệt độ đã cho, hệ số giãn nở nhiệt tuyến tính, tính dẫn nhiệt, tính bôi trơn.

Độ nhớt của thủy tinh là một trong những tiêu chuẩn chính quyết định việc lựa chọn thủy tinh bôi trơn, và như thực nghiệm cho thấy nó có giá trị nằm

trông khoảng $(50-10^{13})P$. Cùng với sự thay đổi nhiệt độ, độ nhớt của thủy tinh bôi trơn cũng biến thiên trong một khoảng rộng (Hình 5.11). Các loại ôxit làm giảm độ nhớt của thủy tinh bôi trơn là Li_2O , Na_2O , K_2O , PbO , BaO ; các loại ôxit làm tăng độ nhớt của thủy tinh bôi trơn là SiO_2 , Al_2O_3 .

Công thức pha chế thủy tinh bôi trơn được nêu trong bảng 5.6.

Bảng 5.6: Thành phần hóa học của thủy tinh bôi trơn (%)

Nước	Thứ tự	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	B_2O_3	BaO	MgO
Nga	-	72 \bar{u} 6 0	-	12 \bar{u} 0, 5	23 \bar{u} 2	17 \bar{u} 0	2 \bar{u} 0	-
Pháp	1	60	5	15	14	-	-	-
	2	72	4	8	13	-	-	-
	3	65	4	14	8	-	-	-
Thụy Sĩ	1	52,68	5,98	5,52	26,54	3,91	-	-
	2	51,26	6,55	3,06	31,72	8,12	-	-
	3	54,80	9,39	8,63	23,15	7,68	-	-
Anh	-	80 \bar{u} 3 5	21 \bar{u} 6	14 \bar{u} 6	16,2	12 \bar{u} 0	3 \bar{u} 0	3,2
Nhật	-	58,5	1,5	7	16	1	0,5	-

5.7.3. Cơ khí hoá và tự động hoá việc sử dụng chất bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực

Vai trò của chất bôi trơn trong gia công áp lực kim loại là rất quan trọng. Tuy nhiên việc bôi trơn và tách lớp bôi trơn khỏi bề mặt phôi chỉ là quá trình phụ, kéo dài thêm chu trình sản xuất và tăng chi phí lao động cho việc tạo phôi và chi tiết. Do đó việc sử dụng các phương pháp cơ khí hóa và tự động hoá bôi trơn, và sau đó là tách chất bôi trơn khỏi bề mặt sản phẩm có vai trò rất lớn để nâng cao năng suất lao động.

Khi chọn phương pháp và thiết bị cơ khí hoá và tự động hoá cần phải tính đến không chỉ quá trình công nghệ gia công và kết cấu của chi tiết cần gia công mà còn phải tính đến hình thức và công dụng của chất bôi trơn.

Khi sử dụng thủy tinh bôi trơn để chế tạo chi tiết có hình dáng phức tạp thì phương pháp bôi trơn bằng huyền phù là thích hợp nhất. Thủy tinh bôi trơn dưới dạng huyền phù được làm từ bột thủy tinh có thể sản xuất bằng máy nghiền rung (có kích thước hạt 70 \bar{u} 90 micron), chất định hình dạng đất

sét (5÷8% khối lượng thủy tinh và 0,4÷0,5 lít nước trong 1 kg hỗn hợp). Ta được hỗn hợp dạng sữa đặc, cho thêm nước khuấy kỹ trong các tang quay bằng sứ, gang hay kim loại cho đến khi đạt đến tỷ lệ cần thiết (1,53÷1,75 kg/m³, giới hạn dưới dùng khi bôi trơn trước khi đập, còn giới hạn trên là dùng khi tạo hình nóng).

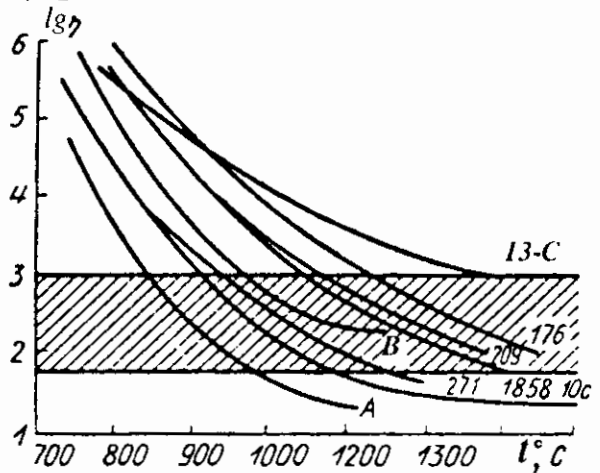
Sơ đồ cơ khí hoá việc bôi chất huyền phù thủy tinh và công đoạn sấy khô sau đó, được nêu trong hình 5.12.

Phôi ban đầu làm từ hợp kim khó biến dạng được làm sạch dầu mỡ hoặc phun cát, đưa vào vị trí gia công và được định vị bằng vấu theo chiều thẳng đứng trên chạc cắm số 4 được nối chặt với chốt 5 của xích truyền động 6. Dẫn động từ động cơ điện 1, qua hộp giảm tốc 2, truyền đến đĩa xích 3 của xích truyền động 6. Phôi được treo đưa vào bể 7 chứa huyền phù, rồi sau đó được đưa sang buồng sấy 8.

ở phần dưới bể có gắn cánh quạt 9 để thường xuyên khuấy hỗn hợp, quay được nhờ động cơ điện. Phôi đã được sấy khô sau khi đã qua vị trí gia công được gỡ khỏi giá treo và xếp vào các khay có tấm sấy hoặc xếp vào các ngăn sấy sản phẩm trong lò sấy tự động hay bán tự động.

Hình 5.11. Sự phụ thuộc lôgarit của độ nhớt thủy tinh vào nhiệt độ (vùng gạch chéo là độ nhớt tối ưu của thủy tinh khi ép chảy)

A, B, 13-C, 176, 209, 271, 10c, 1858:
Các số hiệu thủy tinh theo ГОСТ

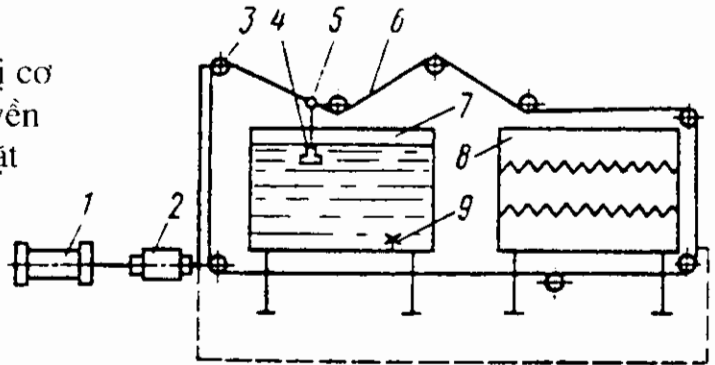


Khi sản xuất hàng loạt chi tiết có cơ khí hoá các thao tác làm bằng tay để cố định hay tháo dỡ sản phẩm sau khi sấy khô, có thể xây dựng dây chuyền tự động hoá tạo lớp phủ bề mặt phôi bằng huyền phù thủy tinh trước khi nung để đập nóng cũng như trước khi nhiệt luyện.

Sau khi nung và đập, phần còn lại của màng thủy tinh được tẩy sạch và bề mặt được chuẩn bị để phủ lớp bọc tiếp theo trong trường hợp phải đập qua nhiều nguyên công. Chất huyền phù được bôi lên bề mặt trước mỗi lần nung. Phần lớp màng thủy tinh sót lại nhất thiết phải được loại bỏ để chi tiết có lớp phủ bề mặt đồng đều và khi biến dạng ở bước tiếp theo không tạo thành nếp gập. Lớp thủy tinh sót lại được làm sạch bằng cơ học (thổi cát, bột kim loại,

hoặc phun bi) hay bằng phương pháp hoá học (hoà tan trong bể axit hay bể chứa kiềm).

Hình 5.12. Sơ đồ kết cấu thiết bị cơ khí hóa để bôi chất huyền phù thủy tinh lên bề mặt phôi rồi sấy khô



Khi sử dụng các chất bôi trơn khác (Bảng 5.7) người ta dùng các phương tiện cơ khí hoá và tự động hoá khác. Trong các tài liệu về bôi trơn, người ta đã chú ý đến sự kết hợp chức năng chống mài mòn và chức năng làm nguội của chất bôi trơn trong dập nóng. Việc nâng cao năng suất lao động trên cơ sở tự động hoá trên máy ép vụn năng và chế tạo ra các dạng thiết bị mới có năng suất cao có liên quan mật thiết đến việc tăng chế độ nhiệt của vật dập được gia công. Vì vậy vấn đề tăng độ bền của khuôn dập mà chi phí cho nó chiếm 35-40% giá thành sản phẩm là rất cần thiết. Hơn nữa, việc tối ưu hoá chế độ bôi trơn và chọn môi trường bôi trơn - làm nguội tối ưu là đóng vai trò quyết định để giải quyết vấn đề nêu trên. Lưu ý rằng, việc còn thiếu phương thức tính toán để xác định chế độ nhiệt tối ưu của khuôn dập đã làm phức tạp thêm sự lựa chọn hỗn hợp bôi trơn và nghiên cứu chế tạo phương tiện tự động hoá việc bôi trơn.

Bảng 5.7: Chất bôi trơn sử dụng khi dập nóng

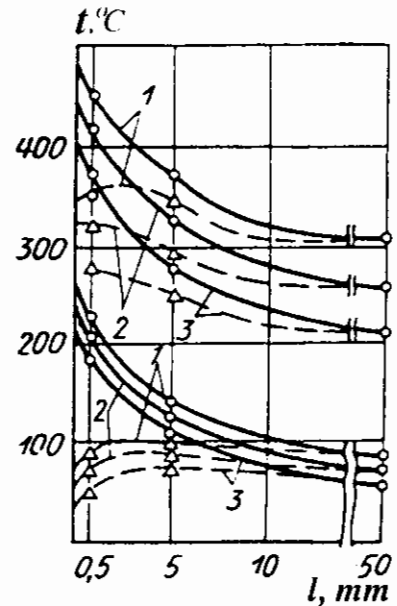
Thiết bị gia công áp lực	Chất bôi trơn
Máy búa hơi nước-không khí nén	Dung dịch nước muối
Máy ép vụn năng	Hỗn hợp dầu-graphit
Máy ép trục khuỷu dập nóng chuyên dụng	Hỗn hợp dầu-graphit
Thiết bị chuyên dụng	Dầu máy
Máy ép trục khuỷu dập nóng vụn năng	Nước huyền phù graphit
Máy ép trục khuỷu dập nóng chuyên dụng	Ucrinol-7 (Hãng Kaiser-National)
Máy tự động rèn ngang	Nhũ tương đặc biệt

Đối với thiết bị dập vụn năng trong chế tạo các vật rèn từ thép người ta sử dụng phổ biến các chất bôi trơn trên cơ sở graphit (huyền phù nước hoặc dầu) và thủy tinh - là những chất đảm bảo cho hoạt động của khuôn ở các nhiệt độ tương ứng là $700^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{max}} \leq 900^{\circ}\text{C}$ và $450^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{max}} \leq 750^{\circ}\text{C}$. Chế độ thiết lập này được coi là tối ưu khi $250^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{min}} \leq 450^{\circ}\text{C}$. Mặc dù có sự chênh lệch đáng kể về t_{max} của các chất bôi trơn nói trên, khi phân tích cũng cho thấy có sự khác biệt lớn về các giá trị thống kê trung bình của độ bền khuôn dập, kết quả của chế độ định lượng, chế độ bôi trơn không hợp lý.

Trên hình 5.13 nêu kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các phương pháp làm nguội khác nhau và nhiệt độ rèn tới nhiệt độ của khuôn. Khi nghiên cứu đã so sánh sự làm nguội trong không khí (áp suất không khí là 9 KG/cm^2) và làm nguội bằng nước-không khí trong đó luồng khí được đưa liên tục từ vòi phun vào lòng khuôn sau khi mở khuôn 1 giây.

Hình 5.13. Ảnh hưởng của các thành phần trong chất bôi trơn làm mát khi nhiệt độ nung phôi:

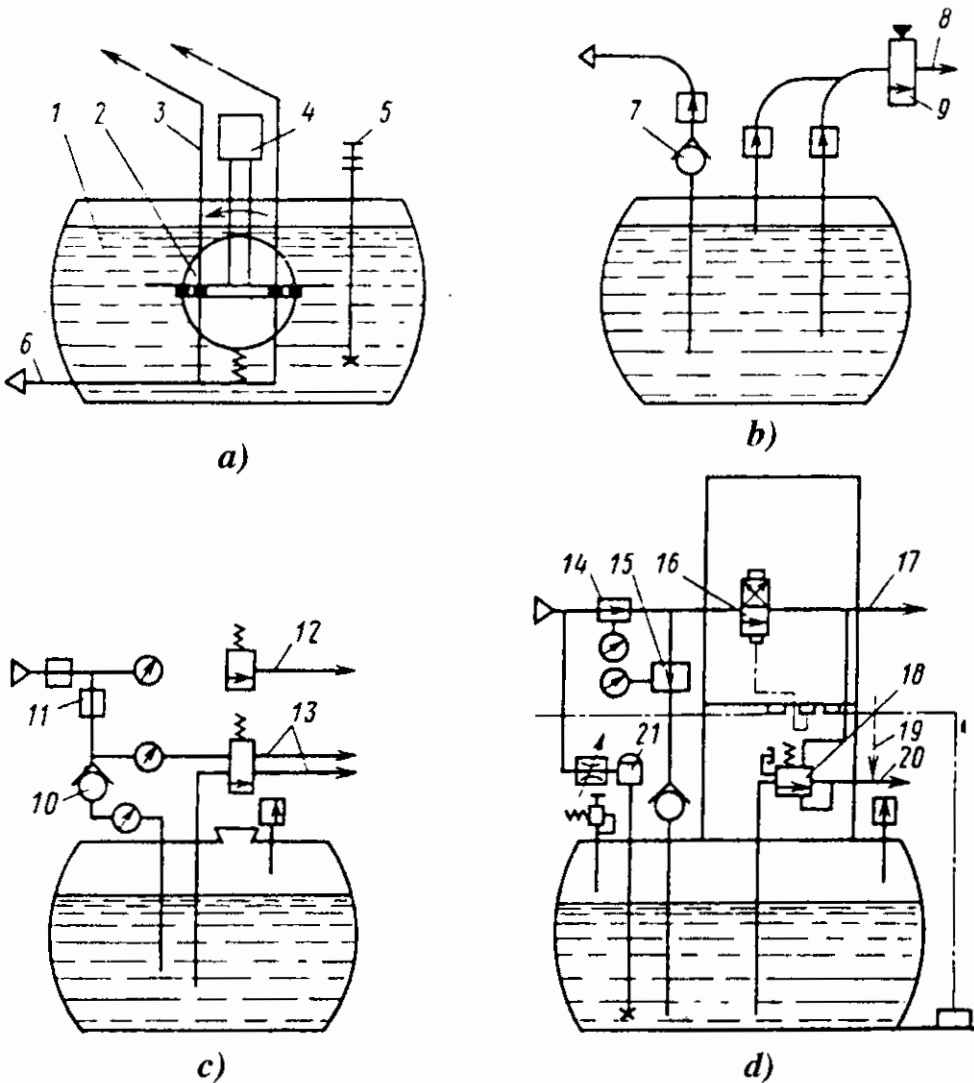
1-3: lần lượt tương ứng với $1150, 1050$ và 950°C ; l : khoảng cách từ vật dập nóng; Đường cong liền tương ứng với chu kì kết thúc sự tiếp xúc; Đường cong ngắt đoạn: đường phía trên-làm nguội trong không khí; đường phía dưới-làm nguội trong hỗn hợp không khí và nước



Theo phương pháp làm nguội bằng không khí thì việc tăng hay giảm nhiệt độ của khuôn là lớn hơn so với phương pháp làm nguội bằng nước-không khí. Khi dập phôi được nung nóng tới 1150°C , nhiệt độ t_{max} của khuôn khi làm nguội bằng nước-không khí thấp hơn 230°C so với làm nguội trong không khí. Nhiệt độ ở khuôn dập phụ thuộc vào nhiệt nung nóng phôi. Khi xác định nhiệt độ ở độ sâu 50 mm tính từ bề mặt lòng khuôn phát hiện thấy rằng việc tăng nhiệt độ phôi lên 100°C thì với phương pháp làm nguội bằng nước-không khí thì làm tăng nhiệt độ khuôn lên 10°C ; còn với phương pháp làm nguội bằng không khí thì nhiệt độ khuôn tăng lên 50°C . Như vậy, sự thay đổi thành phần và cường độ hỗn hợp làm mát có tác động lớn đến nhiệt độ của khuôn.

Trong công nghiệp đã chế tạo và khuyến cáo đưa vào áp dụng trong sản xuất rèn dập hai loại chất bôi trơn không khí: huyền phù graphit trong

nước và Ucrinol-7. Hiệu quả của chúng phụ thuộc vào khối lượng và cách thức bôi trơn.



Hình 5.14. Sơ đồ thiết bị để bôi trơn tự động khuôn dập

a: Sơ đồ của hãng NIIT; b: Hãng FIAT; c: Hãng Schmeral; d: Hãng Acheson;

1: thùng chứa; 2: Đĩa; 3: Ống dẫn chất bôi trơn; 4: Cơ cấu quay đĩa; 5: Thiết bị chuyển dịch; 6: Ống dẫn không khí nén; 7: Van một chiều; 8: Ống dẫn truyền chất bôi trơn; 9: Van; 10 và 11: Van bi và van truyền không khí nén vào bình; 12: ống dẫn khí nén; 13: ống dẫn khí nén và chất bôi trơn tới vòi phun; 14, 15: van bi trên đường khí nén; 16: van điện từ; 17: ống dẫn không khí tới vòi phun; 18: van điều khiển bằng khí nén; 19: ống dẫn nước; 20: ống dẫn chất bôi trơn vào vòi phun; 21: động cơ thủy lực để khuấy chất bôi trơn

Cần phân tích tối ưu hoá chế độ nhiệt của khuôn và nghiên cứu đưa ra các

chỉ dẫn thực hành đối với việc tạo ra thiết bị tự động bôi trơn trong điều kiện sử dụng khuôn khác nhau.

Một vài số liệu về sử dụng chất bôi trơn trong phân xưởng rèn dập được nêu trong bảng 5.7. Từ bảng đó thấy rằng, trong sản xuất rèn dập đã có một số kinh nghiệm sử dụng các thiết bị cơ khí hoá và tự động hoá để bôi trơn khuôn.

Đơn giản nhất là cơ khí hoá bôi trơn trong tạo hình sản phẩm bằng phương pháp ép chảy nguội xupap trên máy ép dập nóng chuyên dụng. Hỗn hợp dầu-graphit hoặc Ukrinol-7 được rót vào các thùng kín nối với hệ thống khí nén bằng một van mở thường xuyên. Từ đáy thùng, hợp chất bôi trơn qua một hệ thống van cơ học hay van khí nén điều khiển bằng điện sẽ theo ống dẫn chảy trực tiếp vào lòng khuôn sau mỗi lần dập. Van được tác động từ các cam gắn chặt vào đầu trượt của máy ép trong hành trình đi lên. Dung tích của thùng chứa dầu được tính toán đủ cho 1ữ2 ca làm việc của máy. Thành phần và lượng chất bôi trơn trong thùng đảm bảo cho sự đồng đều của hỗn hợp, không cần phải khuấy lên nữa.

Trên hình 5.14a giới thiệu thiết bị dùng cho việc bôi trơn đã được sử dụng để tự động hóa dây chuyền rèn dập các khớp nối chữ thập tại Nga. Hỗn hợp dầu graphit trong thùng được khuấy liên tục nhờ thiết bị được dẫn động bằng động cơ điện. Một đĩa có các lỗ khoan, được gắn lò xo và được quay tự động bởi cơ cấu sau mỗi chu trình làm việc của máy. Bộ phận đĩa, ở hành trình không tải đi lên của máy ép khi đầu trượt ở vị trí trên cùng, nằm trong môi trường bôi trơn khiến cho các lỗ hở được điền đầy chất bôi trơn (kích thước mỗi lỗ hở quyết định lượng chất bôi trơn nằm trong lỗ). Khi đĩa được quay đi một góc xác định thì lỗ chứa đầy chất bôi trơn sẽ trùng với lỗ ống dẫn không khí nén, chất bôi trơn được phun vào trong khuôn dập.

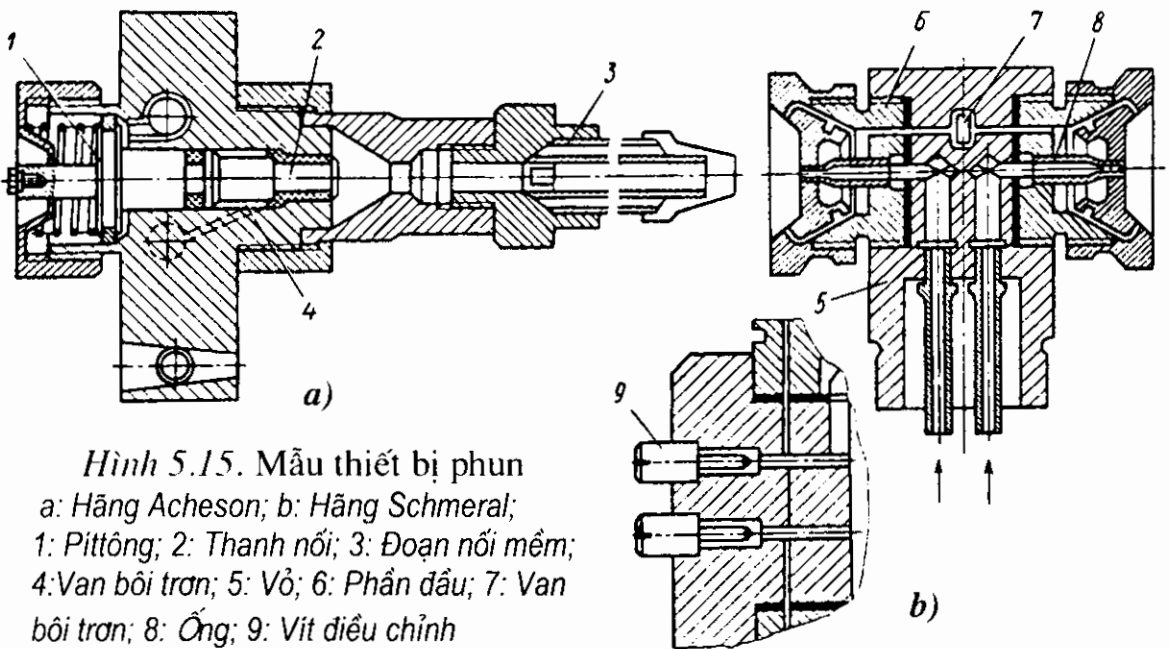
Khị cần phân bố lại chất bôi trơn, có thể lắp vòi phun ở đầu ra của ống dẫn chất bôi trơn để trộn chất bôi trơn với không khí nén và phun hỗn hợp ra dưới dạng sương. Thiết bị tương tự cũng được thiết kế để dùng cho hỗn hợp dầu-graphit và huyền phù graphit trong nước.

Các máy ép "Innochenti" có gắn thiết bị "Fiat-L66" (Hình 5.14b) để bơm tự động nước huyền phù graphit lên một hay nhiều lòng khuôn của máy rèn-dập vạn năng. Trong thùng chứa chất bôi trơn, không khí nén từ mạng đường ống đi qua van tiết lưu. Khi mở van cấp thì chất bôi trơn và không khí qua các van tương ứng đi vào ống dẫn gắn với thiết bị phun. Khi hạ áp suất thì không khí nén tràn vào phần trên (hoặc dưới) của thùng và chất bôi trơn được khuấy trộn, liều lượng bôi trơn được điều chỉnh bởi mức độ mở các van dẫn khí và bôi trơn.

Các thiết bị (Hình 5.14c) gắn với máy ép "Schmeral" được điều khiển bằng bàn đạp chân nạp khí qua van. Đầu tiên, không khí nén theo ống dẫn qua van đến các miệng phun để thổi vào khuôn. Sau đó, dưới tác dụng của không khí

nén đi vào thùng chứa đầy nước huyền phù graphit qua ống chỉnh lưu và van-khoá, chất bôi trơn cùng với không khí nén qua van đi theo ống dẫn đến vòi phun để khuấy trộn và phun vào lòng khuôn dập.

Thiết bị của hãng "Acheson" (Hình 5.14d) có hệ thống điều khiển phức tạp hơn. Qua van tiết lưu và van giảm áp, không khí nén đi vào van điều khiển điện tử sau đó đến van tiết lưu, van giảm áp và van khoá để vào thùng chứa chất bôi trơn. Khi mở van điện tử nhờ bàn đạp, không khí theo ống dẫn đi vào vòi phun để thổi sạch lòng khuôn và đồng thời đi đến van điều khiển. Khi xoay con trượt của van này thì chất bôi trơn đi vào vòi phun và hoà trộn với không khí. Thùng kín có van tiết lưu van giảm áp. ống dẫn đưa không khí đến vòi phun được nối với ống dẫn nước để rửa định kỳ hệ thống ống. Ở một số thiết bị còn có van tiết lưu và động cơ thủy lực để khuấy chất bôi trơn. Trên bàn điều khiển, được gắn trực tiếp trên thùng, ngoài hệ thống điều khiển bằng tay và hệ thống tín hiệu còn có hai role thời gian điều khiển quá trình phun và tiếp chất bôi trơn.



Hình 5.15. Mẫu thiết bị phun

- a: Hãng Acheson; b: Hãng Schmeral;
 1: Pittông; 2: Thanh nối; 3: Đoạn nối mềm;
 4: Van bôi trơn; 5: Vỏ; 6: Phần đầu; 7: Van
 bôi trơn; 8: Ống; 9: Vít điều chỉnh

Các thiết bị được mô tả này khác nhau về nguyên tắc hoạt động, cách thức và số lượng bộ phận điều khiển. Tuy vậy, kinh nghiệm sử dụng các thiết bị đơn giản hơn (chẳng hạn như "Fiat-L66") cho thấy rằng, nói chung chúng đều duy trì được chế độ tối ưu để phun chất bôi trơn cũng như mức độ khuấy trộn đều chất bôi trơn.

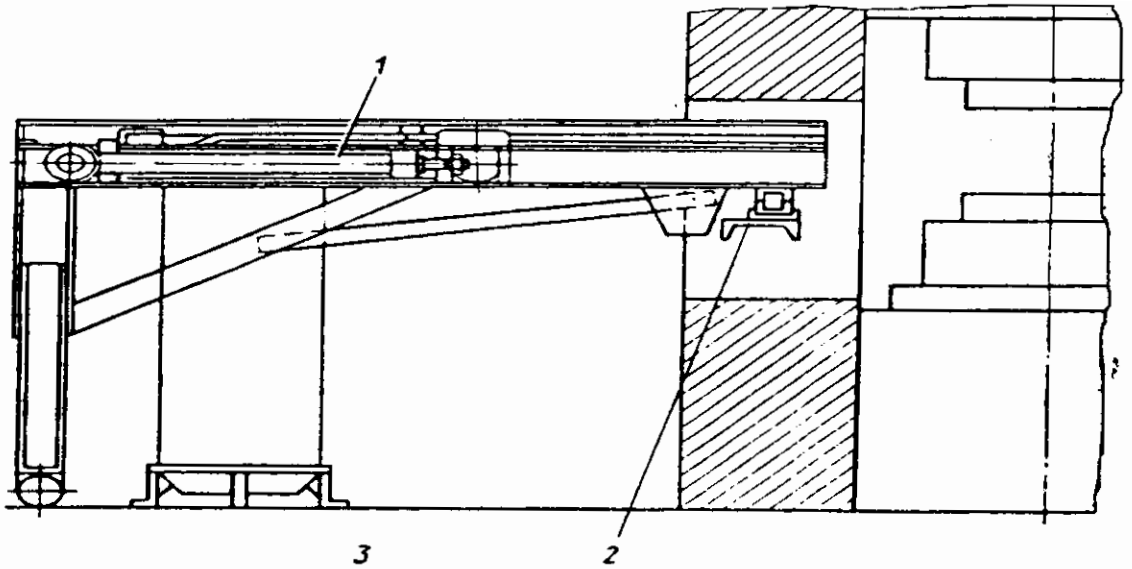
Các nghiên cứu đã khẳng định rằng hiệu quả của việc sử dụng thiết bị tự động còn phụ thuộc vào mức phun và sự đồng đều của hỗn hợp bôi trơn lên các lòng khuôn, có nghĩa là phụ thuộc vào cấu tạo của các thiết bị phun (vòi phun) và cách bố trí chúng trong không gian dập.

Có cấu tạo đơn giản nhất là thiết bị phun “Fiat-L66” bao gồm một hệ thống ống dẫn chất bôi trơn vào khuôn nhờ thiết bị cơ khí sau mỗi chu trình dập. Hỗn hợp bôi trơn theo các ống dẫn chính được đưa vào các cổng nhánh cắt ngang có vòi ra đối xứng với các phần của khuôn. Đường kính vòi giảm dần theo khoảng cách đến ống chính để đảm bảo mức độ phun giống nhau khi áp suất của hỗn hợp khác nhau theo chiều dài ống. Số lượng ống nhánh ngang và khoảng cách giữa chúng được xác định bởi số lượng và khoảng cách các lòng khuôn.

Các máy phun của thiết bị “Acheson” (Hình 5.15a) được gắn chặt vào các đế của khuôn. Chúng có các ống kim loại mềm kéo dài hoặc co gập lại được cho phép thay đổi khoảng cách giữa miệng phun với lòng khuôn. Tác động của không khí nén lên pittông duy trì sự chuyển dịch thanh nổi tương ứng với ống lót pôlyêtylen. Qua khoang mở và ống mềm chất bôi trơn từ van chảy vào khuôn dập. Khi ngừng cấp không khí nén vào pittông thì cũng ngừng việc cấp chất bôi trơn. Vòi phun của thiết bị “Schmeral” có cấu trúc rất phức tạp nhưng lắp ráp nhanh (Hình 5.15b). Khí nén theo hai ống dẫn được đưa đến vòi phun. Đầu ra của mỗi vòi phun này hướng về nửa khuôn tương ứng. Chất bôi trơn theo ống dẫn phun vào lòng khuôn dưới tác dụng của khí nén. Bằng cách xoay các đầu vòi tương ứng với nhau bằng các van khoá có thể điều chỉnh được thành phần và mức độ phun hỗn hợp chất bôi trơn. Trong quá trình sử dụng, các vòi phun có thể bị bẩn vì trong thời gian không tải thì chất bôi trơn đọng lại và làm ngẽn các ống dẫn và các vòi phun.

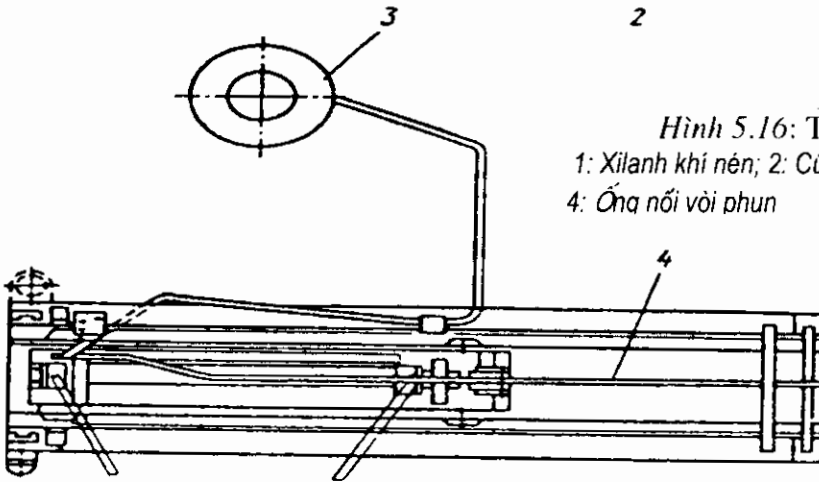
Trên hình 5.16 giới thiệu thiết bị của hãng “Fiat”. Thiết bị này được dùng cho máy ép trục khuỷu dập nóng, được lắp vào sườn bên trái của máy. Tuy vậy, có điều bất tiện là phía bên trái của máy là nơi thường bố trí các thiết bị nung phôi. Thiết bị này được cố định trên khung đỡ có lắp một xi lanh khí nén để đưa ống nối với những vòi phun nằm ngang vào một vị trí hoạt động của máy nén. Thùng đựng chất bôi trơn được nối với ống nhánh bằng một ống mềm. Xi lanh đưa vòi phun tới khuôn dập được tác động qua van diện từ khí nén, điều khiển bằng một bàn đạp chân hoặc bằng công tắc gắn với đầu trượt của máy ép. Ở mọi vị trí của đầu trượt, thiết bị khoá dùng khí nén sẽ đóng vòi phun, trừ vị trí trên cùng của đầu trượt. Hệ thống điều khiển, ngoài bộ phận khoá theo chu kỳ bằng bàn đạp còn có thiết bị khoá tự động sau mỗi hành trình hay sau một vài hành trình làm việc của máy ép.

Thiết bị đi kèm với máy ép “Schmeral” được đặt ở bên phải máy (tính từ phía cầu trục chuyển các phôi dập đến máy). Thiết bị bao gồm các vòi phun để thổi sạch khuôn và phun chất bôi trơn, thùng đựng chất bôi trơn với các chi tiết để dẫn chất bôi trơn, hệ thống điều khiển bằng điện-khí nén và cơ khí đưa vòi phun vùng dập. Thùng đựng chất bôi trơn có các phao cao áp, ống dẫn khí nén và máy phun.



Hình 5.16: Thiết bị của hãng FIAT

1: Xilanh khí nén; 2: Cờ chặn; 3: Thùng chứa dầu bôi trơn;
4: Ống nối vòi phun



Các vòi phun được đưa vào vị trí làm việc nhờ một động cơ nhỏ không đồng bộ được lắp vào bộ máy ép. Thông qua hộp giảm tốc và bánh răng, động cơ được nối với 1 thanh răng lắp trên ống dẫn mà từ đó chất bôi trơn được đưa qua các ống mềm tới vòi phun. Trên các ống dẫn đặt song song, để thổi khí nén làm sạch lòng khuôn người ta lắp các khóa chuyển mạch để truyền khí nén và chất bôi trơn vào vòi phun nhờ các van điện từ và van khí nén cũng như để đảo chiều động cơ từ bàn đạp.

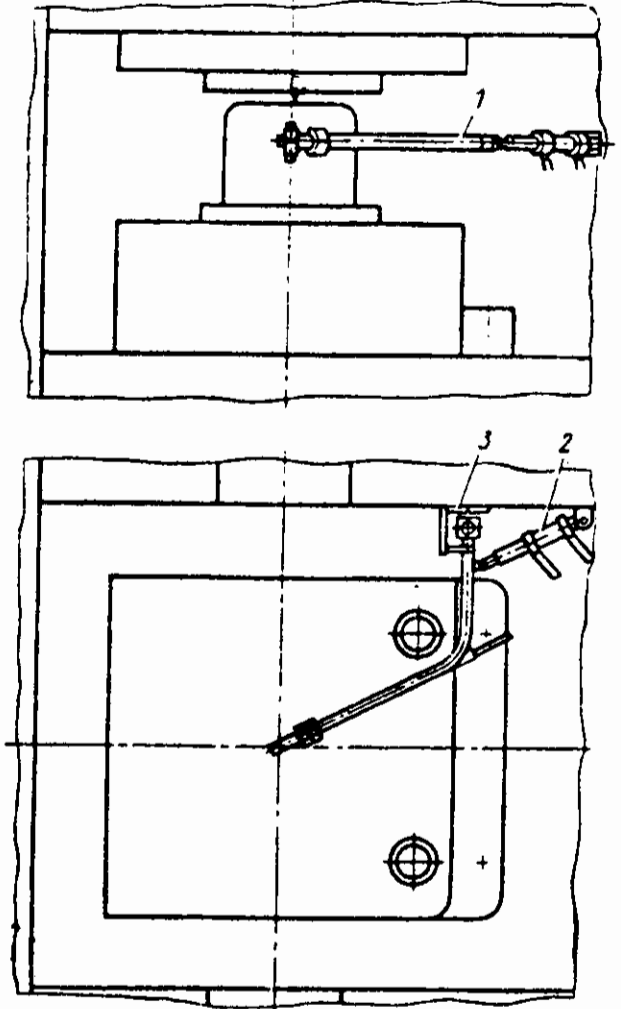
Trên hình 5.17 là một thiết bị tự động để bôi trơn cho khuôn dập có một lòng khuôn, được sử dụng dập trong lòng khuôn có đôi áp. Vòi phun được gắn chặt vào mặt mút của cần gạt có dạng ống, bên trong có ống mềm dẫn từ bộ phận trộn chất bôi trơn với không khí. Nhờ có chốt bản lề, cần gạt được nối bộ máy ép và xilanh khí nén; xilanh khí nén liên kết bản lề với khung máy. Trên bình cao áp có gắn hệ thống điều khiển. Thiết bị được khởi động từ bàn đạp và tự động từ dầu trượt của máy ép khi cho khí cao áp vào xilanh. Cần gạt khi

quay được truyền động bằng pittông của xilanh đến lòng khuôn dập là cách tiết kiệm thời gian nhất.

Khi cần gạt chạm vào khoá vòng thì khoá mở, đưa không khí vào vòi phun để thổi vào khuôn. Thời lượng thổi được điều khiển bằng role thời gian. Sau khi thổi qua vòi phun, chất bôi trơn làm mát được đưa vào qua vòi phun trong một khoảng thời gian điều khiển bởi một role thời gian khác.

Để điều chỉnh kích thước chùm tia phun hỗn hợp chất bôi trơn-làm mát, người ta thay đổi cự ly giữa các vòi phun và lòng khuôn dập cũng như thay đổi tỷ lệ chất bôi trơn với không khí trong thiết bị trộn bằng cách thay đổi áp suất của khí nén. Theo tín hiệu của role thời gian, nhờ con trượt mà pittông của xilanh cao áp và cần gạt gắn các vòi phun có thể chuyển dịch khỏi vùng công tác của máy ép. Cấu tạo của vòi phun đã được nghiên cứu, chế tạo đảm bảo cung cấp đủ liều lượng chất bôi trơn và làm sạch chỗ dính cặn một cách nhanh chóng. Thành phần và nồng độ cố định của chất bôi trơn trong thùng được đảm bảo nhờ việc cấp không khí vào thùng mỗi lần mở khoá thiết bị. Thiết bị được thiết kế này có thể sử dụng trên mọi máy ép và khi khuôn dập có số lòng khuôn bất kỳ.

Việc thử nghiệm thiết bị "Acheson" trong dập các thanh truyền cho thấy rằng khi việc phun chất bôi trơn tiến hành tốt thì việc gắn chặt các vòi phun vào nửa khuôn trên và nửa khuôn dưới cũng như khoảng cách tương đối lớn từ vòi phun đến lòng khuôn tạo nên một lớp sương mù trong không gian hoạt động của máy ép. Vì vậy cần sử dụng quạt gió hoặc tự động hoá quá trình dập. Khi có chế độ tự động hoá tối ưu cấp chất bôi trơn cho các khuôn rèn dập thì năng suất dập tăng 10-15%, chi phí cho dụng cụ giảm 20%, giảm hao phí chất bôi trơn, cải thiện điều kiện lao động trong các phân xưởng rèn dập.



Hình 5.17. Thiết bị MAMI

1: cần gạt; 2: xilanh khí nén; 3: công tắc mặt dầu

PHỤ LỤC
CÔNG THỨC MỘT SỐ CHẤT BÔI TRƠN CHO
GIA CÔNG ÁP LỰC NÓNG

Thành phần hóa học (theo %) của lớp phủ chịu nhiệt độ cao

SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	ZnO	BaO	Na ₂ O +K ₂ O	PbO	TiO ₂	Độ bền của ôxit	Nhiệt độ thử, °C	Công dụng, dạng gia công áp lực	Cho vật liệu
Silicat													
98-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2200	Chất bôi trơn, ép chảy	Hợp kim khó nóng chảy
96	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1930-2040		
69,7	-	-	-	4,8	-	-	20,8	4,7	-	-	-		
63,4	2,7	1,8	3,5	5,5	-	-	22	-	-	1,1	-	Bảo vệ không bị ôxi hóa, nung nóng	Hợp kim titan
73	3	2	-	5	-	-	17	-	-	1	-		
69	3	2	1	5	-	-	18	1	-	1	-		
63	1	-	3	-	-	-	7	25	-	1	1100-1400	Bôi trơn, ép chảy	
67	2	2	-	5	-	-	22	-	-	2	1000-1260	Bôi trơn, ép chảy	Thép và thép hợp kim
71	-	-	1	8	-	-	20	-	-	-	1000	Chống ôxi hóa, nung nóng	
71	1,4	-	3,5	7,8	-	-	15	-	-	1,3	1000	Bôi trơn, dập nóng	
57	0,4	-	0,9	6,7	-	-	35	-	-	-	-	Bôi trơn, dập nóng	
73	2	-	2,5	7,5	-	-	15	-	-	-	1000-1200	Bôi trơn, dập nóng	Thép chịu mài mòn
71	2,5	-	2	8	-	-	16	-	-	0,5			
65	3	-	-	10	-	-	15	-	-	7			
60	3	3	-	15	-	-	15	-	-	4			
56	2	2	-	15	-	-	23	-	-	2	<1200	Chất bôi trơn, ép chảy	Thép và hợp kim
50	-	3	-	15	-	-	24	-	-	8			

SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	ZnO	BaO	Na ₂ O +K ₂ O	PbO	TiO ₂	Độ bền của axit	Nhiệt độ thử, °C	Công dụng, dạng gia công áp lực	Cho vật liệu
Silicat													
72,5	1,5	1	2	5	-	-	16	2	-	-	650-850	Bảo vệ khỏi ôxi hóa và thoát cacbon bé mặt, khi gia công nóng	Thép
65	3	2	3	5	11	-	11	-	-	-			
43	-	-	-	4	43	-	-	2,5	5	2,5	1100		Thép không gỉ
53	2,6	-	2,8	4,8	25,5	-	-	5,6	2,6	3,1	1000-1200	Bôi trơn, bảo vệ khỏi ôxi hóa, khi ép chảy	Thép và hợp kim, titan
40	-	-	-	-	-	-	-	-	45	15	870-1090		
35	-	-	-	-	-	-	7,2	-	57,8	-			
40	-	20	-	2	-	-	18	17	-	3			Hợp kim bền nhiệt
63,1	1,7	15,5	0,5	4,7	-	-	14,8	-	-	0,2	1240		
72,3	2,8	17,5	0,7	1	-	-	5,3	-	-	0,2	1260		
72,3	1,2	3,9	0,3	2,9	-	-	18,7	-	-	0,7	1180-1220	Bôi trơn, khi ép chảy	Thép cacbon thấp
60,4	1,3	5,1	1,7	4,8	-	-	12,2	4,7	-	10	-	Bôi trơn, khi ép chảy	Hợp kim titan
74,8	1	18	-	0,3	-	-	5,9	-	-	-	đến 1200	Bôi trơn, khi dập nóng	Hợp kim niken
63	3	31,5	-	-	-	-	2	-	-	0,5	-	Bảo vệ khỏi ôxi hóa, khi nung	Thép
47,4	-	19	-	-	-	-	14,6	-	19	-	<1000	Bôi trơn, khi dập	Thép
BoroSilicat													
46-51	-	18-20	-	-	-	-	11-13	-	19-21	-	950-1050	Bôi trơn khi dập tốc độ cao	Hợp kim titan

BoroSilicat													
SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	ZnO	BaO	Na ₂ O+ K ₂ O	PbO	TiO ₂	Độ bền của ôxit	Nhiệt độ thử, °C	Công dụng, dạng gia công áp lực	Cho vật liệu
33,5	-	39,5	4,5	6	-	-	16,5	-	-	-			
61	3	12	-	6	-	-	15	-	-	3	950-1050	Bôi trơn, khí dập	Hợp kim titan
73- 75	-	17,18	-	4,5	-	-	18-20	-	-	-			
35	3	16	-	-	-	-	36	-	10	-	950	Bảo vệ khỏi ôxi hóa, khí nung	
33,7	1,7	35,6	4,8	7,5	-	-	16,7	-	-	-	750		
75	1	30	-	0,5	-	-	3,5	-	-	-	950	Chống ôxi hóa, khí dập	
70	1	28	-	-	-	-	-	-	-	-	1260-1700	Bôi trơn, khí ép chảy	Thép đặc biệt, hợp kim
74- 81	1,9-3,1	11- 13,4	-	0,5	-	-	3,9-	-	-	-	1540-2100		
72	-	8,1	0,4	1	1	-	17,5	-	-	-	1150	Chống thoát cacbon, khí nung	Thép vòng bi
40	-	30	-	-	-	30	-	-	-	-	1000-1160	Chống ôxi hóa, gia công nóng	Hợp kim bền nhiệt
31	1,5	5	-	2,5	33	-	-	-	2	25	1000-1100	Chống thoát cacbon, khí nung	Thép vòng bi
14	-	10	49	-	-	-	17	-	-	10	400-500	Bảo vệ khỏi ôxi hóa, dùng bôi trơn, khí dập	Hợp kim nhôm, thép
5,5	-	20	-	-	-	-	-	74,5	-	-	400-500		
2	2	12	-	-	-	-	-	84	-	-	320-430	Dùng bôi trơn, khí dập	Hợp kim nhôm
52, 6	3	16	3	-	-	-	20,4	-	-	5	650-850	Chống ôxi hóa, thoát cacbon, khí nung	Thép
72,5	1	20	0,5	0,5	-	0,5	5	-	-	-	1100-1200	Chống ôxi hóa, khí nung	Hợp kim niken

Nhôm-BoroSilicat													
SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	ZnO	BaO	Na ₂ O+ K ₂ O	PbO	TiO ₂	Độ bền của oxit	Nhiệt độ thử, °C	Công dụng, dạng gia công áp lực	Cho vật liệu
45	5	35	-	-	-	-	15	-	-	-	900-1000	Bôi trơn, khí dập	Hợp kim titan
30	7,5	20	2,5	-	-	-	27,5	-	7,5	5	900-1000	Bôi trơn, khí dập	Hợp kim titan
60	10	10	4	10	-	-	6	-	-	-	<1000	Chống ôxi hóa khi nung	Hợp kim titan
54	5	8,5	-	5	-	-	27,5	-	-	-	950	Bôi trơn, khí ren	Hợp kim titan
38,6	4,6	19,8	1,5	-	-	-	15,9	-	17,3	2,4	900-1000	Bôi trơn, khí dập	Hợp kim titan
56	15	7	-	18	-	-	2	-	-	2	-	Bôi trơn, khí dập	Thép hợp kim hòa
63,1	1,7	15,5	-	4,7	-	-	14	-	-	1	-	Bôi trơn, khí cán ống	Thép
51-57	2-9	2-9	-	3,15	-	-	20-30	-	-	-	-	Bôi trơn, khí cán ống	Thép
54,8	15,7	7,8	4	16,5	-	-	0,6	-	-	0,6	1000- 1200	Bôi trơn, chống ôxi hóa khi nung	Thép hợp kim hòa
50	21	7	-	14	-	3	-	-	-	5	-	Bôi trơn, chống ôxi hóa khi nung	Thép hợp kim hòa
80	3	12	-	-	-	1	4	-	-	-	-	Bôi trơn, chống ôxi hóa khi nung	Thép hợp kim hòa
50	10,5	18,5	3	5	-	-	13	-	-	-	950-1000	Chống ôxi hóa, khí nung	Hợp kim titan
35	30	17	-	5	-	-	13	-	-	-	1000- 1100	Chống ôxi hóa, khí nung	Hợp kim titan
42,9	12,8	18,3	11,5	-	-	-	-	-	-	14,5	980-1260	Chống ôxi hóa, thoát cacbon, khí nung	Thép và hợp kim

Nhóm-BoroSilicat													
SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	ZnO	BaO	Na ₂ O +K ₂ O	PbO	TiO ₂	Độ bền của oxit	Nhiệt độ thử, °C	Công dụng, dạng gia công áp lực	Cho vật liệu
55	14	13	-	16	-	-	2	-	-	-	1050-1150	Bôi trơn, chống ôxi hóa, khi dập	Thép không gỉ
55	20	15	5	5	-	-	-	-	-	1050-1250			
57	20	4	<12	<5,5	-	-	2	-	-	-	1500-1650	Bôi trơn, khi ép chảy	Thép và hợp kim
70	10	<30	-	-	-	-	-	<12	-	1250-1700			
52	16	14	-	18	-	-	-	-	-	-	1100-1200	Bôi trơn, khi ép chảy	Thép và hợp kim
20	20	60	-	-	-	-	-	-	-	-	1200	Chống ôxi hóa, bôi trơn, khi cán	Thép
54	5	8,5	-	5	-	-	27,5	-	-	-	950	Chống ôxi hóa, khi rèn	Hợp kim của titan
69,8	4,7	3,7	-	10	-	-	11,8	-	-	-	1050-1100	Chống ôxi hóa, khi cán	
69,8	4,9	2,7	-	5,6	-	-	17	-	-	-	1050-1150	Chống ôxi hóa, khi nung	
25- 80	1-16	8-25	0,5-5	15	-	3	1-25	-	10	8	650-1300	Chống ôxi hóa, thoát carbon, khi nung	

ТÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Гидродинамическая Смазка при Обработке Металлов Давлением*, Г.Л Конмогоров, Металлургия, Москва 1986.
2. *Контактное Трение и Смазки при Обработке Металлов Давлением*, Е.И Исаченков, Машиностроение, Москва 1978.
3. *Штамповка с Жидкостным Трением*, В.И Казаченок, Машиностроение, Москва 1978.
4. *Учет Контактного Трения в Штампах с Эластичными матрицами и пуансонами*, В.Е Исаченков, МДНП, 1976.
5. *Экспериментальное Исследование Закона Трения Резины В Широком Интервале Нормальных Давлений*, В.В Лаврентьев, "Доклады АН СССР", №. 4, 1957.
6. *Распределение Давлений в Смазочном Слое при Гидродинамической Вытяжке*, В.И Казаченок, "Удмуртия", с. 58-60, 1967.
7. *Гидродинамический Эффект Смазки при Осаживании*, В.И Казаченок - В.С Раков, "Кузнечно-Штамповочное Производство", №. 1, с. 3-5, 1964.
8. *Прессование с Активным Действием Сил Трения*, Я.М Охрименко - В.Л Березной, "Кузнечно-Штамповочное Производство", №. 1, с. 10-14, 1968.
9. *Трение и Смазка при Обработке Металлов*, А.К Чертавских, Metallurg-izdat, Москва 1955.
10. *Определение Эффективности Действия Смазки при Осаживании*, В.И Казаченок, в *ср: Теория и Практика Обработки Металлов Давлением*, Белгосиздат, с. 87-136, 1956.
11. *Определение Толщины Экранирующего Слоя Смазки при Горячем Гидродинамическом Выдавливании*, В.П Северденко & Э.Ш Суходрев, "Доклады АН БССР" Т.15-№12, 1971.
12. *Что Такое Трение*, Б.В Дерягин, изд-во АН СССР, 1952.
13. *Трение и Износ*, И.В Крагельский, Машиностроение, Москва 1968.
14. *О Законе Трения при Упругом Контакте Поверхностей*, Г.М Бартенев & В.В Лаврентьев, "Доклады АН БССР" Т.141-№2, 1961.
15. *Tribology in Manufacturing Processes*, P.Poloukhine V.Trourine P.Dacidkov D.Vitanov, Mir, Moscow 1987.
16. *Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing*, Erich G. Thomsen, Charles T. Yang & Shiro Kobayashi, The Macmillan Company - New York 1965, London.

MỤC LỤC

Chương I

PHÂN LOẠI CÁC QUÁ TRÌNH GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC VÀ

VAI TRÒ CỦA MA SẮT NGOÀI	9
1.1 Vị trí của gia công kim loại bằng áp lực trong các phương pháp biến dạng kim loại và hợp kim.....	9
1.2 Khái niệm về quá trình cơ bản của gia công kim loại bằng áp lực. Tác dụng của ma sát tiếp xúc đối với quá trình gia công	10
1.3. Phân loại các quá trình gia công kim loại bằng áp lực. vai trò của ma sát tiếp xúc đối với các quá trình tạo hình quan trọng.....	14

Chương II

CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHUNG VỀ MA SẮT NGOÀI TRONG BIẾN DẠNG ĐÉO	19
2.1. Các nguyên lý chung	19
2.2. Lý thuyết ma sát ngoài trong biến dạng dẻo.....	19
2.2.1. Ma sát khô trong biến dạng dẻo	19
2.2.2. Ma sát của các bề mặt được bôi trơn trong biến dạng dẻo.....	20
2.2.3. Lý thuyết ma sát giới hạn hay bôi trơn hấp phụ	21
2.3. Số liệu thực nghiệm chứng minh tính khả thi của nguyên lý ma sát thủy động cho quá trình dập tấm	24
2.3.1. Ảnh hưởng của độ nhớt và hoạt tính bề mặt của chất bôi trơn tới tác dụng bôi trơn trong biến dạng dẻo	26
2.3.2. Ảnh hưởng của các điều kiện nhiệt độ, vận tốc đến tác dụng bôi trơn	37
2.3.3. Ảnh hưởng của áp lực tiếp xúc trên phần bán kính lượn của cối đến ma sát ngoài trong dập tấm.....	41
2.4. Các số liệu thí nghiệm giải thích tác dụng thủy động của chất bôi trơn trong dập thể tích tự do.....	55
2.5. Biểu hiện tính chất thủy động của môi trường bôi trơn trong dập khối	60
2.6. Phân tích và khái quát lý thuyết ma sát tiếp xúc trong biến dạng dẻo có tính đến khả năng tồn tại chế độ thủy động	62
2.7. Cơ sở phương pháp luận đánh giá lực ma sát trong các quá trình gia công kim loại bằng áp lực dựa vào định luật ma sát ngoài tổng quát	70
2.8. Ma sát ngoài của cao su và polyuretan. cơ sở thực nghiệm của định luật tổng quát về ma sát đối với các môi trường đàn hồi ứng dụng trong gia công áp lực kim loại	74
2.8.1. Tổng quan về các công trình nghiên cứu ma sát tiếp xúc	74
2.8.2. Cơ sở thực tế dùng xây dựng định luật tổng quát về ma sát trên bề mặt vật rắn của các môi trường đàn hồi ứng dụng trong gia công kim loại bằng áp lực .	84
2.8.3. Phương pháp xác định các tính chất tổng hợp.....	86
2.8.4. Biểu thức lực ma sát riêng để tính toán định lượng ma sát tiếp xúc khi tạo hình bằng các môi trường chất lỏng-đàn hồi sử dụng cao su và polyuretan	90

Chương III

MA SẮT VÀ CHẤT BÔI TRƠN TRONG DẬP TẤM.....	92
3.1. luận điểm chung	92
3.2. Cơ sở của ma sát ướt trong dập vuốt	93

3.2.1. Ma sát trên phần hình trụ của cối khi khe hở giữa phôi và cối là nhỏ.....	97
3.2.2. Ma sát trên bán kính lượn của cối khi khe hở không thay đổi.....	101
3.2.3. Ma sát ở vành phôi khi khe hở không đổi.....	103
3.2.4. Các hệ thức động học bổ sung trong đập các chi tiết đối xứng trục.....	105
3.2.5. Những mối quan hệ chính từ lý thuyết thủy động đối với ma sát giữa phôi và tấm chặn phôi.....	108
3.2.6. Phương pháp chọn chất bôi trơn cho đập tấm.....	115
3.3. Phân tích ma sát ướt khi đập vuốt trong cối thủy cơ.....	115
3.3.1. Phần đáy sản phẩm.....	117
3.3.2. Phần hình trụ.....	119
3.3.3. Phần bán kính lượn của cối.....	121
3.3.4. Phần vành phôi.....	123
3.3.5. Độ dày tối ưu của lớp bôi trơn.....	125
3.4. Biểu thức gần đúng của lực ma sát đối với các quá trình khác nhau trong đập chi tiết từ vật liệu tấm bằng các môi trường đàn hồi, chất lỏng và chất khí.....	126
Chương IV	
CƠ SỞ MA SÁT TIẾP XÚC TRONG QUÁ TRÌNH BIẾN DẠNG ĐỀ Ở TRẠNG THÁI KHỐI.....	131
4.1. Điều kiện tạo ma sát ướt khi chôn.....	131
4.2. Tăng khả năng ép chảy nhờ điều khiển lực ma sát.....	141
4.3. tăng khả năng ép chảy nhờ sử dụng lực ma sát tiếp xúc tích cực.....	150
5.5. Cơ chế ma sát ướt khi kéo dây.....	157
Chương V	
CHẤT BÔI TRƠN VÀ VẬT LIỆU BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG KIM LOẠI BẰNG ÁP LỰC.....	165
5.1. Yêu cầu đối với chất bôi trơn.....	165
5.2. Các vật liệu bôi trơn.....	165
5.3. Độ nhớt - đặc trưng cơ-lý cơ bản của môi trường bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực.....	166
5.3.1. Những khái niệm chung, Hệ thống đơn vị, Phương pháp xác định.....	166
5.3.2. Qui đổi giữa các đơn vị độ nhớt.....	168
5.3.3. Sự phụ thuộc của độ nhớt vào nhiệt độ.....	169
5.3.4. Sự phụ thuộc độ nhớt vào áp suất.....	171
5.3.5. Các hệ thức tổng quát.....	172
5.4. Mô hình vật lý của cơ chế tác động của chất bôi trơn trong gia công áp lực kim loại..	173
5.5. Chất bôi trơn và vật liệu bôi trơn cho đập tấm.....	180
5.6. Chất bôi trơn và vật liệu bôi trơn dùng trong đập thể tích nguội.....	182
5.6.1. Chuẩn bị bề mặt trong gia công nguội bằng áp lực các loại thép đặc biệt.....	183
5.7. Chất bôi trơn và vật liệu bôi trơn để gia công áp lực nóng.....	184
5.7.1. Các yêu cầu chung đối với chất bôi trơn và vật liệu bôi trơn.....	184
5.7.2. Chất bôi trơn thủy tinh cho đập khối nóng.....	187
5.7.3. Cơ khí hoá và tự động hoá việc sử dụng chất bôi trơn trong gia công kim loại bằng áp lực.....	189
Phụ lục	
CÔNG THỨC MỘT SỐ CHẤT BÔI TRƠN CHO GIA CÔNG ÁP LỰC NÓNG.....	199
Tài liệu tham khảo.....	205
Mục lục.....	206

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Giám đốc: PHÙNG QUỐC BẢO

Tổng biên tập: PHẠM THÀNH HÙNG

Biên tập: NGUYỄN THỊ THOA

Sửa bản in: LÊ NGỌC Y

Trình bày bìa: TRẦN TIỂU LÂM

MA SÁT VÀ BÔI TRƠN TRONG GIA CÔNG ÁP LỰC

Mã số 1L-18ĐH2005

In 700 cuốn, khổ 19 x 27cm tại Công ty in Việt Hưng (Chi nhánh Hà Nội)

Số đăng ký KHXB: 22/1113-XB-QLXB, ngày 14/07/2005

In xong và nộp lưu chiểu Quý III năm 2005.