

Н.М. Яске, пров. інж.

О.М. Яхно, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

ГІДРОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОТОКУ ЗМАЩУВАЛЬНОГО РЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА У КОНІЧНИХ ЗАЗОРАХ

Розглянути питання визначення гідродинамічних параметрів потоку змащувального реологічного середовища у конічних зазорах

Вирішення проблем, пов'язаних із трибологічними процесами, оскільки процес контакту поверхонь тертя та їх змащування нерозривно пов'язані з гідродинамікою мастильних матеріалів у різноманітних щілинних зазорах. Зараз можна навести ряд публікацій [1, 2, 3], в яких розглянуті задачі подібного типу, пов'язані з реологічними властивостями використаних середовищ та їхнього впливу на зношення поверхонь тертя [4].

Як відомо [1, 6], для аналізу впливу властивостей поверхонь тертя та товщини змащувального прошарку, що розташованого між ними, на коефіцієнт тертя доцільно, відповідно до кривої Штрибека, розглядати три основних режими змащування [5]: гідродинамічне змащування, коли товщина прошарку мастила значно більше виступів шорсткості поверхонь тертя; часткове гідродинамічне змащування або так назване змішане змащування, коли дані два параметри сумірні за розміром та граничний змащуванням, коли виступи шорсткості перевищують товщину змащувального прошарку. Для даних трьох випадків і побудована крива Штрибека в системі координат "коефіцієнт тертя $C_{тр}$ " – безрозмірний параметр $\frac{\text{в'язкість} \times \text{швидкість}}{\text{навантаження}} = \frac{\mu \cdot U}{N}$. Таким чином, щоб одержати інформацію про тертя

поверхонь, крім геометричних параметрів, необхідно знати реологічні властивості змащувального матеріалу (μ), швидкість його руху в потоці (U) і одержанні при цьому навантаження.

Подібні задачі вирішені для ряду стандартних випадків у щілинних як циліндричних, так і площинних випадках [1, 2] стосовно до пар тертя у гідроприводі, металооброблювальних верстатах тощо. Проте поява нових мастильних матеріалів із реологічними складними властивостями (типу шахтол) в устаткуванні, де тертя здійснюється не тільки в циліндричних, але і конічних зазорах, потребує подальших досліджень, зокрема, пов'язаних із визначенням гідродинамічних параметрів потоку подібного середовища. У зв'язку з цим досліджувалися реологічні властивості мастил. Розглянуті мастила, що розроблені в галузевій науково-дослідній лабораторії мастил і робочих рідин Мінвуглепрому України, відносяться до пластичних. Вони є високоструктурованими тиксотропними дисперсіями, утворені тривимірним структурним каркасом дисперсної фази, частки якої в одному або двох вимірах мають колоїдні, а в третьому – макроскопічні розміри. До таких відносяться мастила, як згущувач в яких застосовуються солі вищих карбонових кислот – мила з катіонами металів Li^+ , Na^+ , Ca^{++} . СКП (картерол) і СКП $\leq P \geq$ – літєві мастила; шахтол (картерол) – кальцієві, редуктол – натрієві. Реологічні дослідження даних мастил на ротаційному віскозиметрі "Реотест" показали істотну відмінність їхніх реологічних характеристик від ньютонівських. Найчастіше реологічні криві даних середовищ зручніше описувати статичним законом Освальда де Віля. На рис. 1, як приклад подана реологічна крива редуктола ($\lg \dot{\tau} - \lg \dot{\gamma}$) при температурі 70 °С. Слід зазначити, що отримані результати можна розглядати як визначене наближення до реальних даних. У зв'язку з тим, що досліджувані мастила є складними багатоконпонентними середовищами з різноманітними властивостями вхідних компонентів, що входять до їх складу, то цілком описати їхні реологічні характеристики пристроєм «циліндр-циліндр» дуже складно.

Розглянуті зазори між конічними поверхнями (як нерухомими, так і такими, що одна з них обертається з деякою умовною швидкістю ω) при подовжньому (уздовж утворюючої) потоці мастила. Досліди проводилися як з використанням реальних мастил, так і з використанням реологічних властивостей полімерних розчинів, що моделюють їх. Схема аналізованих щілинних зазорів показана на рис. 2.

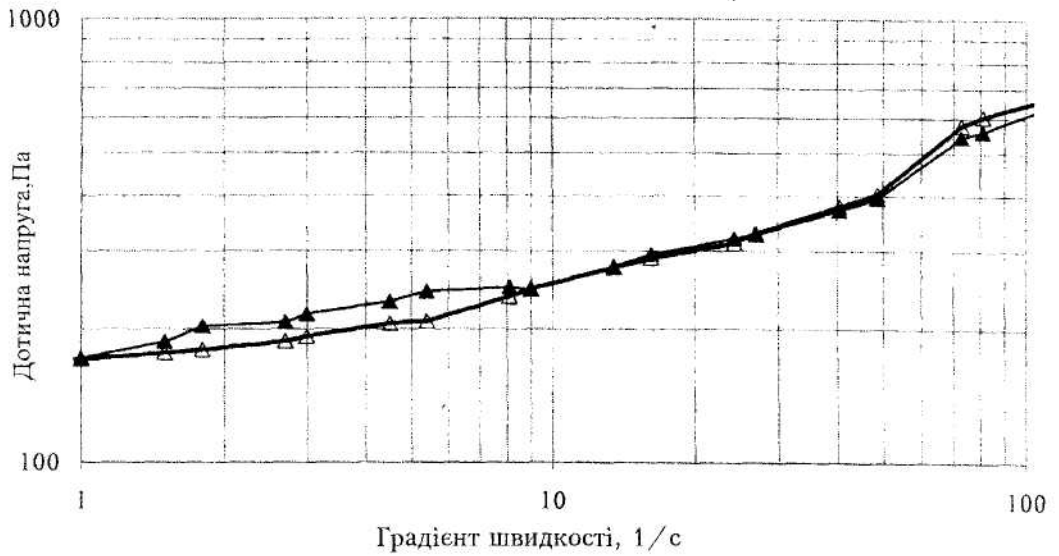


Рис. 1. Залежність $\tau - \dot{\gamma}$ для редуктола при $t = 70 \text{ }^\circ\text{C}$:
 $\triangle - \tau_1, \square - \tau_2$

Істотну роль на потік у такому зазорі може мати, серед інших чинників, кривизна конічних поверхонь, що змінюється уздовж потоку в зв'язку зі зміною радіусів R і r_0 . Проте, якщо відношення цих розмірів змінюється в межах $(0,4 \div 1,0)$, то аналізований потік подібний потоку між плоскими поверхнями. У зв'язку з цим досліджувався вплив кривизни поверхні на коефіцієнт гідравлічного тертя. Розглядаючи потік у зазорі між конічними поверхні з різноманітними кутами конусності та радіусами (кут конусності змінюється в межах від 36° до 60°) було встановлено, що коефіцієнт опору $C_{тр}$ істотно збільшується з ростом кривизни поверхні $(\frac{1}{R})$; таке збільшення для аналізованих типів рідин визначається експоненціальним законом. Крім того, зміна площі поперечного перетину потоку по довжині призводить до його дестабілізації, коли, поряд із силами в'язкого тертя, необхідно при визначенні періоду тиску враховувати сили інерції від конвективного прискорення ($\Delta p_{is} = \Delta p_{стаб} + \Delta p_{ст}$). Залежність між Δp_{is} і витратою Q у цьому випадку має характер, показаний на рис. 3.

Як із використанням аналізованих пластичних мастил, так і з використанням модельних рідин, в результаті експерименту були розглянуті для конічних зазорів залежності між співвідношеннями швидкостей на вході в зазор і в яких-небудь точках уздовж по потоку при обертанні внутрішнього конуса, а також криві розподілу тиску p . Оскільки потік розглядався на коротких ділянках щілинного каналу, то необхідно було при аналізі враховувати і вплив сил інерції (гідродинамічна початкова ділянка). Аналіз залежностей $(U(x)/U_{ср}(x)) = f(p)$ показав, що їхньою характерною рисою є наявність ексцентриситету. В зоні входу потоку в конічний зазор спостерігається різке падіння значення $U(x)/U_{ср}(x)$, істотно змінюється розподіл швидкостей, можливі появи вихроутворень. Умови плинину в даній зоні істотно впливають на довжину ділянки нестабілізованого потоку. В аналізованій залежності спостерігається істотна нелінійність. Проте при зростанні частоти обертання внутрішньої конічної поверхні ця нелінійність зменшується та при досягненні визначеного числа обертів ($n_{кр}$) зникає цілком. У аналізованому досліді при ламінарному потоці редуктола нелінійність не спостерігалася вже при $n \geq 5,3$ об./с.

Обертання конічної поверхні за інших рівних умов істотно впливало на розмір $p(x)$ у перехідній зоні. На рис. 4 показана залежність $p_{вх}$ від n для випадку потоку картеролу при різноманітних температурах. Ця залежність дуже близька до лінійної.

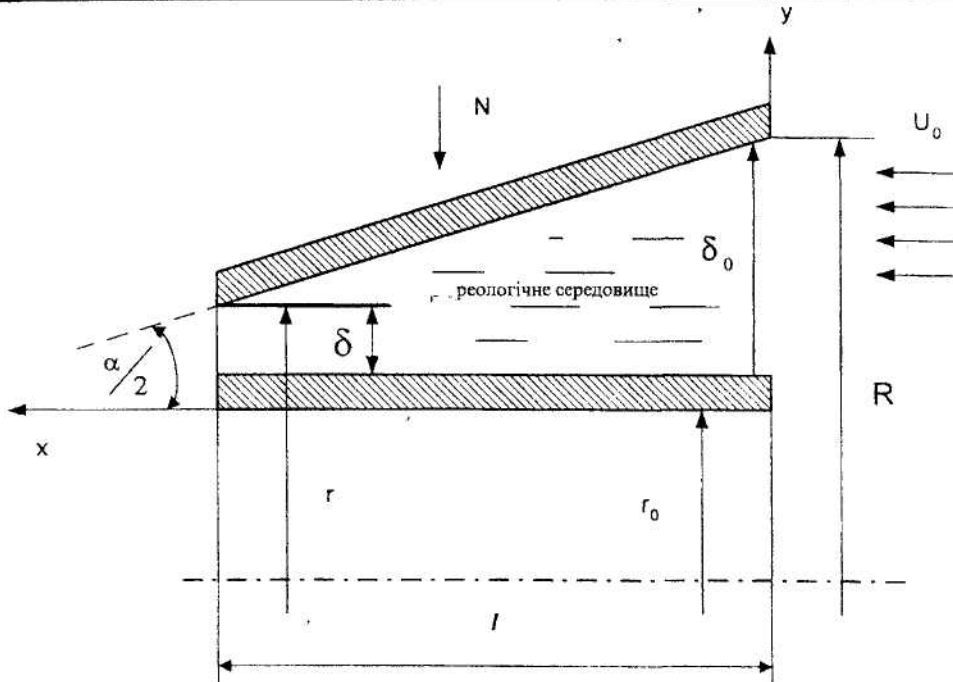


Рис. 2. Схема конічного щілинного зазору

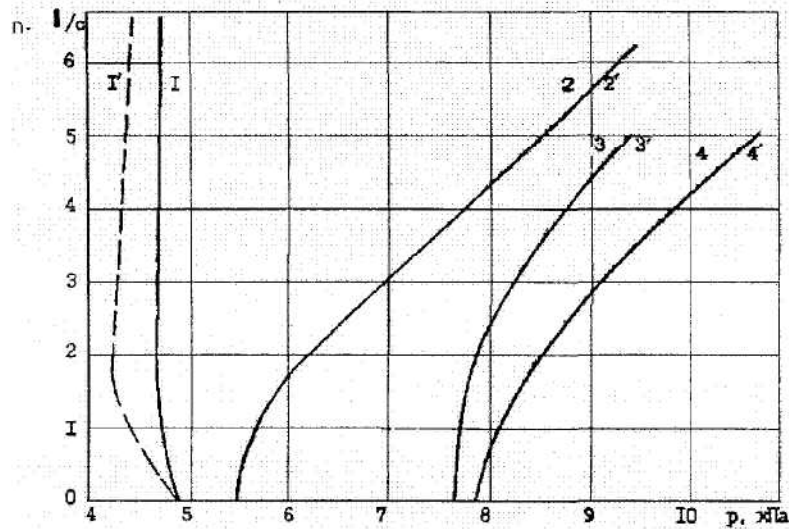


Рис. 3. Залежність тиску у вхідному перетині кільцевого конічного каналу від частоти обертання внутрішньої конічної поверхні при кутах конусності відповідно 58°08'; 1-1' = 90 °С; 2-2' = 80 °С; 3-3' = 60° С; 4-4' = 50 °С

Крім того, аналізуючи подібні залежності для різноманітних кутів конусності конічних щілинних каналів зі збільшуючою або зменшуючою площею поперечного перерізу, можна зробити висновок, що в розширюючих щілинних каналах ця залежність характеризується лініями більшої крутості, ніж в тих, що звужуються. Доречно також відзначити вплив обертання однієї з конічних поверхонь на розмір коефіцієнта "корисної дії" аналізованого типу конічних каналів:

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}}{0,5\rho(U_{\text{вх}}^2 - U_{\text{вих}}^2)},$$

який визначає ступінь зміни тиску, що забезпечується даним каналом. Залежність цього розміру η від частоти обертання носить близький до лінійного характер. Якщо максимальне значення η для прямих дифузорів відповідає оптимальному куту розчину (відповідно до

Шлихтингу) [7], що дорівнює $3-8^\circ$, то при обертанні внутрішнього конуса цей розмір можна змінити за рахунок частоти n .

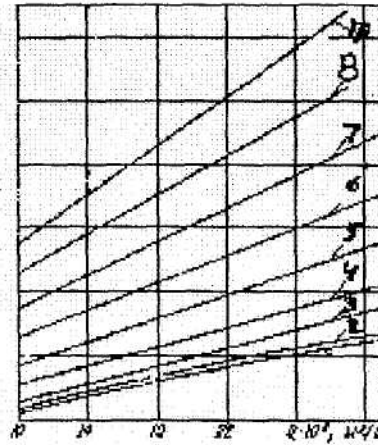


Рис. 4. Характер залежності $\Delta r = f(Q)$ для конічного зазору при обертанні внутрішнього конуса з різноманітною частотою:
 1- 10 с^{-1} ; 2- 100 с^{-1} ; 3- 300 с^{-1} ; 4- 400 с^{-1} ; 5- 500 с^{-1} ; 6- 700 с^{-1} ; 7- 800 с^{-1} ;
 8- 200 с^{-1} ; 10- 1000 с^{-1} ; (кути конусності - зовнішній конус $-58^\circ 13'$, внутрішній $-52^\circ 3'$)

На підставі наведених експериментальних даних можна ввести істотні корективи в основні залежності, що характеризують умови мастила аналізованих типів рідин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Войтов В.А., Яхно О.М., Аби Сааб Ф.Х. Принципи конструктивної зносостійкості вузлів тертя гідромашин. - К.: "Віпол", 1999 р. - 190 с.
2. Лейбензон Л.С. Сборник трудов. - Т. 3. - М.: Изд АН СРСР, 1955. - 678 с.
3. Гарбар И.И. О структуре и строении поверхностных слоев соединенных материалов трущихся пар. Трение инос. - 1990. - Т. 11. - № 4. - 581-593 с.
4. Прокофьев В.Н., Фурман А.Ф., Гельман А.С. Оценка влияния несовершенства распределения сноса на динамические свойства гидропередачи. Гидроавтоматика. - М.: Наука. - 1965. - 7-20 с.
5. Чихос Х. Системный анализ в трибошине. - М.: Мир, 1982. - 352 с.
6. Дерягин Б.В. Что такое трение. - М.: АН СССР, 1963. - 230 с.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: "Наука", 1974. - 711 с.

ЯСКЕ Надія Миколаївна - провідний інженер кафедри гідропневмоавтоматики і гідравліки Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- реологічні дослідження в'язких середовищ.

ЯХНО Олег Михайлович - доктор технічних наук, професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідравліки Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- гідродинаміка неньютонівських рідин в технологіях з переробки полімерних матеріалів і нафтопродуктів.

Подано 31.07.2001