

ASPECTE TEORETICE PRIVIND REOLOGIA UNSORILOR LUBRIFIANTE

Prof. univ. dr. ing. Florin Nicolae PETRESCU , U.T.C.B. – Facultatea de Utilaj tehnologic
Conf. univ. dr. ing. Anton DAVIDESCU , U.T.C.B. – Facultatea de Utilaj tehnologic
Prep. Ing. Aristia - Ioana POPOVICI , U.T.C.B. – Facultatea de Utilaj Tehnologic

ABSTRACT

This paper is a first step of the authors, in a project of experimental investigation of rheological behavior of lubricating grease and the results analysis of knowledge accumulated so far on the field specified.

1. PROBLEME GENERALE [2][3][5]

Unsurile consistente sunt dispersii de săpunuri metalice (baza fazei solide-plastice) în uleiuri minerale (baza fazei lichide), la care se adaugă stabilizatori (apa) și aditivi care conferă unsořilor proprietăți speciale.

Ca agenți de îngoșare se folosesc săpunurile de sodiu, de calciu, de aluminiu, de bariu, de litiu, de plumb etc. sau săpunuri complexe care conțin elementele respective.

Comportarea unsořilor consistente privită sub aspect reologic este cu mult mai complexă decât a uleiurilor minerale lubrifiante.

Dacă s-ar face un clasament al comportării reologice a diverselor medii (materiale) uzuale utilizate în industrie uleiurile minerale ar fi cele mai simple, pe când unsořile consistente ar avea cel mai complex comportament reologic.

Așadar unsořile lubrifiante sunt materiale cu proprietăți compuse și complexe.

Comportamentul unsořilor consistente în raport cu modul și nivelul de solicitare este determinat de proprietățile de elasticitate, vîscozitate și starea de ungere, proprietăți intrinseci ale unsořii.

Curgerea unsořii consistente lubrifiante se poate realiza la gradient de viteză, la gradient de presiune și la combinația acestora.

Pentru curgerea Couette este semnificativ gradientul de viteză (S) și pentru curgerea Poiseuille gradientul de presiune (A_p).

Unsořile consistente lubrifiante sunt utilizate ca medii de ungere în cazul unor cuple de frecare industriale caracterizate prin valori ridicate ale presiunii de contact și variații semnificative ale vitezei de forfecare.

Presiunea de contact este situată frecvent în intervalul 1-3 [GPa], iar în ceea ce privește viteza de forfecare se remarcă variații mari de la 10^{-4} [s^{-1}] până la 10^5 - 10^6 [s^{-1}].

Numeroase lucrări de specialitate evidențiază direcțiile de cercetare privind reologia unsoarelor, diferențiate în funcție de parametrii de exploatare și caracteristicile unsoarelor. Astfel se disting cercetări teoretice și experimentale dirijate pe următoarele direcții:

- presiuni mici și viteze de forfecare medii;
- presiuni mici și viteze de forfecare mari;
- presiuni mari și viteze de forfecare mari;

Ecuția constitutivă este expresia comportării reologice ale materialelor în general și evident și a unsoarelor consistente, cunoscute ca medii reologice.

Ecuția constitutivă realizează legătura dintre tensiunea de forfecare din stratul de unsoare (τ) cu viteza de forfecare (S) și cu caracteristicile și proprietățile intrinseci ale unsoarelor (vâscozitatea aparentă η_p , tensiunea pragului de curgere τ_0).

Ecuțiile constitutive sunt legate direct de un model reologic pe care îl caracterizează și pe care îl definește în funcție de domeniul vitezelor de forfecare și a presiunilor de contact.

Principalele modele reologice, ecuațiile constitutive și constantele reologice caracteristice sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Model	Ecuția caracteristică	Constante reologice
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot S$	τ_0, η_p
Eyring	$\tau = \eta_p \cdot S + \beta \cdot \arg \cdot sh(\lambda \cdot S)$	η_p, β, λ
Sisko	$\tau = \eta_p \cdot S + \alpha \cdot S^n$	η_p, α, n
Baner	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot S + \alpha \cdot S^n$	$\tau_0, \eta_p, \alpha, n$
Casson	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + \eta_p \cdot S^{0.5}$	τ_0, η_p
Casson generalizat	$\tau^{1/n} = \tau_0^{-1/n} + (\eta_p \cdot S)^{1/n}$	$\tau, \eta_p, n > 1$
Herschel – Hulkley	$\tau = \tau_0 - m \cdot S ^{n-1} \cdot S$	τ_0, m
Legea puterii	$\tau = m \cdot (S)^n$	m, n

Constantele reologice sunt considerate ca proprietăți ale unsoarelor consistente și sunt determinate pe vîscozimetre și reometre cu capilare (curgere Poiseulle) și vîscozimetre cu cilindri rotativi (curgere Couette).

Se remarcă încercările unor cercetători de corelare a acestor constante reologice cu gradul de consistență apreciat prin penetrație.

Tensiunea pragului de curgere este o proprietate de material, dependentă de timp, astfel că fiecare valoare experimentală τ_0 corespunde duratei proprii de experimentare t_c .

Se disting două valori ale pragului de curgere τ_0 :

- valoarea inferioară care corespunde cazului în care unsoarea a fost forfecată inițial în reometru la diferite viteze;
- valoarea maximă care corespunde cazului în care unsoarea nu a fost forfecată în reometru, determinată pe baza măsurătorii deformației γ în funcție de tensiunea de forfecare τ .

OBSERVAȚIE: Tensiunea pragului de curgere se determină pe baza măsurătorilor statice de penetrație sau prin extrapolarea rezultatelor măsurătorii vîscozității cu ajutorul vîscozimetrelor capilare sau rotative.

Funcția de vîscozitate este considerată un parametru reologic esențial în descrierea comportării vîsco-plastice a unsoarelor.

Se definește funcția de vîscozitate, $\eta(S)$, ca relație între tensiunea tangențială de forfecare a stratului de unsoare de grosime infinit de mică $\tau(S)$ și viteza de forfecare a acestui strat (S):

$$\eta(S) = \frac{\tau(S)}{S} \quad (1)$$

Viteza reală de forfecare a stratului de unsoare variază în interstițiul reometrului, astfel că se poate scrie:

$$S = \Gamma(S_0) \cdot S_0 \quad (2)$$

unde,

- (Γ) este funcția de corelație cu modelul reologic și implicit cu ecuația constitutivă;
- (S_0) este viteza de forfecare pentru un comportament perfect vîscos (comportament newtonian) a unui fluid în reometrul considerat.

OBSERVAȚIE: Pentru reometrul de tip con-plan $S_0 = \frac{\omega}{\beta}$, cu ω – viteza unghiulară a conului [rad/s] și β – unghiul conului [rad].

Vîscozitatea aparentă (η_p) este o mărime cu caracter orientativ și poate fi considerată proprietate intrinsecă a unsoarelor dacă este asociată cu viteza reală de forfecare la care s-a măsurat vîscozitatea.

Vîscozitatea aparentă se determină pe baza curgerii unsoarelor prin tuburi calibrate ca urmare a unui gradient de presiune (A_p) sau pe baza forfecării între doi cilindri coaxiali.

Comportarea elastică a unsoarelor se cuantifică prin coeficientul primar $\psi_1(S)$ și prin coeficientul secundar $\psi_2(S)$ al tensiunilor normale.

Coeficientul primar ψ_1 poate fi asociat filmului subțire de unsoare de pe peretele fix al vîscozimetrelor, iar coeficientul secundar ψ_2 , poate fi asociat tensiunii reale de curgere a masei de unsoare.

Proprietățile de curgere ale unsoilor consistente prin conducte și prin interstiții sunt apreciate prin pompabilitate, definită ca timpul relativ de curgere printr-o conductă sau interstițiu etalon a unei anumite cantități de unsoare, la o anumită presiune de alimentare și temperatură.

Pompabilitatea unsoilor poate fi un criteriu pe baza căruia să se facă un clasament al performanțelor unsoilor lubrifiante, cu evidenșierea reacției reologice a acestor medii de ungere.

2. CARACTERISTICILE REOLOGICE ALE UNSORILOR CONSISTENTE [1][2][3][4][5]

Comportarea reologică a unsoilor consistente, mai complexă decât a uleiurilor minerale, este cuantificată prin caracteristici precum: tensiunea de forfecare, vîscozitatea aparentă, frecarea internă și echivalentul mecanic al frecării interne și puterea de ungere (onctuozitatea).

Caracteristicile reologice se referă la comportarea unsoarii sub aspectul deformațiilor și curgerilor ca acțiuni ale unor forțe exterioare.

Tensiunea de forfecare

Pentru realizarea mișcării elementelor cuplei de frecare în prezența unei unsoari consistente este necesară o tensiune tangențială τ_0 .

Valoarea tensiunii maxime de forfecare necesară pentru deplasare caracterizează rezistența opusă de unsoare în momentul începerii mișcării, acesta fiind influențat de frecarea internă a unsoarii.

Tensiunea maximă de forfecare se determină experimental cu ajutorul unor aparate numite plastometre (cilindrii coaxiali) sau prin analiza curgerii unsoarii prin tuburi capilare, care este descrisă de legea lui Poiseuille:

$$Q = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\Delta p \cdot R^4}{L \cdot \eta_a} \quad (3)$$

unde:

Q – debitul volumic,

Δp – căderea de presiune la distanța L,

R – raza tubului capilar,

η_a – vîscozitatea aparentă.

Facem precizarea că aprecierea comportării în lucrare a unsoilor considerate prin tensiunea maximă de forfecare nu limitează folosirea lor la temperaturi obișnuite. În cazul unsoilor care lucrează la temperaturi scăzute, tensiunea maximă de forfecare devine un parametru foarte important.

În cele mai multe cazuri nu se poate stabili o valoare critică a tensiunii de forfecare (tensiune la care începe mișcarea), pentru că valoarea acesteia este legată de condițiile concrete de lucru sau experimentare.

Vîscozitatea aparentă

Se definește vîscozitatea aparentă ca raportul dintre tensiunea tangențială de forfecare și viteza de forfecare (gradientul de viteză) și se exprimă în Poise (1 POISE = 0,1 [Nm/m²]).

Determinarea acestei caracteristici se face după o metodă standardizată; unsoarea de încercat este forțată să treacă printr-o serie de tuburi capilare cu ajutorul unui piston de flotație.

Cunoscând viteza de curgere prin tuburile capilare și măsurând presiunea de lucru se poate calcula vîscozitatea aparentă cu ajutorul formulei lui Poiseuille.

Frecarea internă

Determinarea experimentală a frecării interne a unsoarelor consistente se face cu ajutorul unui aparat în care unsoarea se pompează printr-un tub capilar cu presiune și viteză medie constantă, evaluându-se vîscozitatea aparentă.

Metoda nu oferă date asupra naturii curgerii prin capilare; de fapt mecanismul frecării interne a sistemelor coloidale, în special a acelor consistente și distribuția vitezelor în stratul coloidal nu este încă explicat complet.

Rezultatele unor determinări experimentale evidențiază ideea scăderii vîscozității cu creșterea vitezei, ajungând la o valoare relativ constantă, indiferent de valoarea vitezei fig. 1. De asemenea, vîscozitatea variază cu conținutul de săpun.

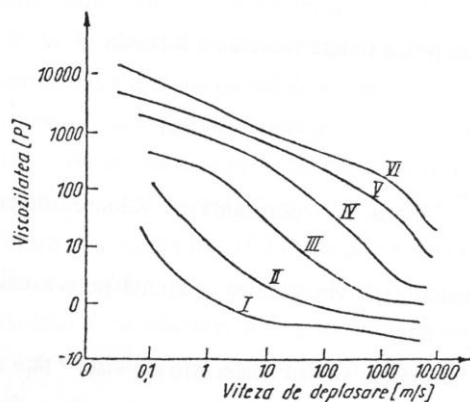


Fig. 1

În figură s-au notat cu II, III, IV, V, VI unsoarele preparate cu 2,6-10-1-13-6-18 și 22,5% săpun de calciu și cu I uleiul de bază neîngroșat cu săpun.

Echivalentul mecanic al frecării interne

Echivalentul mecanic al frecării interne a unei unsoare poate fi apreciat prin vîscozitatea dinamică a unui ulei care are același coeficient de frecare cu cel al unsoarei consistente, în aceleași condiții de viteză, sarcină și coeficient de frecare.

Echivalentul mecanic al frecării interne este aproximativ constant cu variația presiunii de contact și scade cu creșterea vitezei de alunecare.

Se poate afirma că toate proprietățile hidrodinamice ale unsoarelor sunt identice cu proprietățile uleiului care are același coeficient de frecare pentru o cuplă de tip lagăr cu alunecare.

Facem observația că o altă problemă de interes științific este și corelarea proprietăților reologice ale unsoarelor cu unele proprietăți mecanice ale acestora.

Pompabilitatea unsoarelor consistente

Aceasta poate fi considerată ca un alt parametru important pentru aprecierea comportării reologice a unsoarelor, devenind astfel un semnificativ parametru reologic.

Pompabilitatea este definită în funcție de mărimile măsurate și calculate după cum urmează:

- pompabilitatea ca o corelație a debitului și pragului de tensiune la nivelul peretelui conductei;
- pompabilitatea ca valoare a coeficientului Darcy;
- pompabilitatea ca valoare a căderii de presiune în conductă;
- pompabilitatea ca debit diferențial de curgere;
- pompabilitatea ca timp diferențial de curgere.

Dintre aceste metode se consideră că timpul diferențial de curgere, numit și timp de pompare, are o importanță deosebită pentru stabilirea unui clasament al proprietăților reologice ale unsoarelor din punct de vedere al pompabilității.

3. CONCLUZII

Din analiza efectuată rezultă:

- reologia unsoarelor consistente este un domeniu de interes științific teoretic și practic încă de actualitate, multe probleme specifice nefiind încă rezolvate;
- determinarea constantelor reologice trebuie realizată prin metode îmbunătățite care să considere toate influențele asupra comportării vîsco-plastice a unsoarelor consistente;
- este de interes practic considerarea pompabilității ca un mod de apreciere a comportamentului reologic al unsoarelor consistente;
- viitoarele cercetări ale autorilor au ca țintă corelarea aspectelor particulare evidențiate de fiecare constantă reologică în parte.
- tixotropia unsoarelor consistente este un alt aspect interesant și care impune continuarea culegerii de date experimentale menite să lămurească acest fenomen.

BIBLIOGRAFIE

- [1] BALAN, C. – A procedure to determinate the material function of lubricating greases. In: Proc. 8th Int. Colloquium Tribology 2000, Esslingen, 1992
- [2] NĂSUI, G.V., - Contribuții asupra proprietăților reologice ale unsoarelor lubrifiante utilizate în instalații de ungere centralizate, Teză de doctorat, UPB, București, 1998
- [3] BRIANT, s.a., - Proprietes rheologique des lubrificante, Edition Tehnica Paris, 1985
- [4] TUDOR, A., - Influența prezenței unor polimeri în unsoarea consistentă asupra mărimii coeficientului de frecare, Tribotehnica, 1990, vol. I, Cluj Napoca, 27-29.09.1990
- [5] RĂDULESCU, Al., - Metode actuale experimentale utilizate în lubrificație, UPB, 1994