ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

ANNO CCCXX

1923

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXXII.

2° SEMESTRE.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1923

Fisica. — *Sull'efflusso di materie plastiche a piccola velocità.* Nota [1] di B. Marzetti presentata dal Socio G. Bruni [2].

1. È noto l'allontanamento dalla legge di Poiseuille, che presentano materie plastiche, quando vengono fatte effluire, da un'orifizio o da un tubo, sotto pressioni relativamente piccole: la velocità di efflusso non è funzione lineare della forza, ma presenta una convessità volta all'asse delle pressioni. Questo allontanamento viene, generalmente, attribuito a effetti secondari e perturbatori, quali lo slittamento della materia effluente sulle pareti del tubo, la filtrazione della fase liquida attraverso la fase sospesa nel caso, molto frequente, che la materia sperimentale sia costituita da un solido disperso in un liquido, ecc. [3].

Il caucciù non vulcanizzato e reso plastico mediante trattamento meccanico come usasi nell'industria della gomma elastica, si presta particolarmente bene allo studio del fenomeno in questione perchè, a motivo della sua adesività sulle superfici solide in generale, non presenta slittamento, mentre la sua omogeneità è garanzia da ogni altro effetto perturbatore.

I viscosimetri noti, anche nelle forme speciali per lo studio di materie plastiche (plastometri) non si prestano all'uso con caucciù crudo: infatti questi apparecchi richiedono che il materiale sperimentale possa colare sul fondo d'un recipiente pel solo effetto della gravità, ciò che non fa la gomma cruda, la quale conserva sempre una certa consistenza ed elasticità, anche se meccanicamente plastificata. Perciò è stato studiato un apparecchio apposito costituito da un recipiente a fondo conico, con orifizio d'efflusso al vertice: la massa di gomma cruda da sperimentare, grossolanamente foggiata a cilindro, viene premuta, nell'atto di chiudere l'apparecchio contro la superficie conica del fondo. Questo basta a iniziare la tenuta, per modo che, quando la pressione è applicata, la gomma si adagia sul fondo e trafila per l'orifizio senza che fuoriuscita d'aria turbi l'efflusso [4].

2. Sono note le obiezioni che si muovono alle misure ottenute mediante l'efflusso per un orifizio. Tuttavia i risultati sperimentali che sto per esporre mostrerebbero che, almeno pel materiale che ci interessa e per un certo intervallo delle pressioni, l'efflusso attraverso un orifizio segue una legge

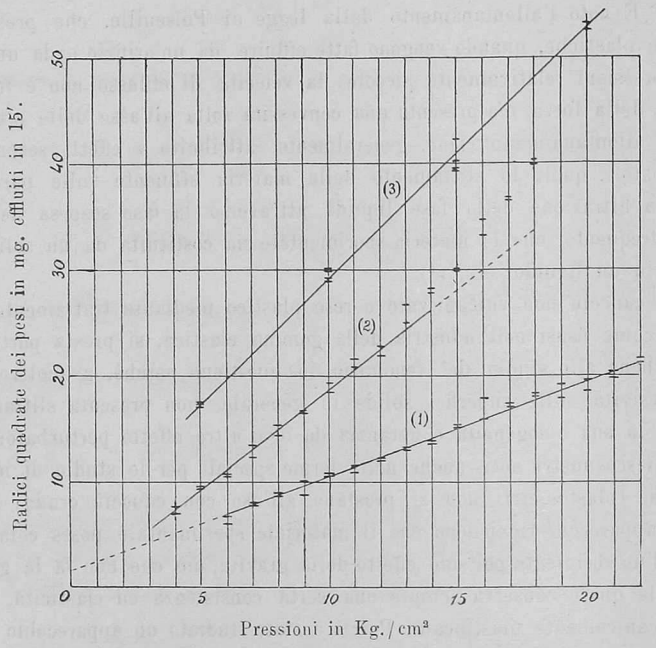
[1] Presentata nella seduta del 18 novembre 1923.

[2] Lavoro eseguito nel laboratorio fisico della Società Italiana Pirelli (Milano).

[3] E. C. Bingham, *Fluidity and Plasticity*, pag. 222 e seg.

[4] L'apparecchio e il suo funzionamento sono descritti nel Giornale di chimica industriale ed applicata, luglio 1923, pag. 342.

ben definita, non diversa da quella che si verifica per un tubo di dimensioni tali da poter ritenere telescopico il movimento della materia nel suo interno: *la velocità di efflusso è proporzionale al quadrato della forza.* La fedeltà con la quale questa legge è seguìta si vede nel diagramma (1) mostrante l'efflusso di caucciù greggio (first latex crèpe) sufficientemente lavorato alla macchina a cilindri per raggiungere la conveniente plasticità. L'orifizio dell'apparecchio misura 3 mm. di diametro. La temperatura dell'esperienza è



50° C. Ascisse sono le pressioni, ordinate le radici quadrate della velocità d'efflusso.

3. Estrapolando verso lo zero delle pressioni si trova che la retta non passa per l'origine, ma taglia un valore positivo sull'asse degli efflussi. Questo allontanamento dalla proporzionalità pura e semplice è stato confermato dalla gran parte delle numerose esperienze eseguite su gomme diversamente plastiche e per diversi trattamenti, e non è attribuibile a cause d'errore. Il risultato assurdo della estrapolazione significa che per le più piccole velocità d'efflusso non vale la stessa legge dei quadrati delle forze, cioè che la estrapolazione verso lo zero delle pressioni non è lecita.

Altra divergenza dalla legge enunciata si verifica per velocità di efflusso maggiori, come si vede nel diagramma (2) ottenuto con lo stesso materiale del diagramma (1), ma portato alla temperatura di 70° C. Dalla pressione di 14 Kg./cm² in poi, la funzione si allontana dalla forma lineare

(dei quadrati) ed è da notare che l'allontanamento, sino all'estremo superiore dell'intervallo esplorato, non è nel senso che dovrebbe condurre l'efflusso alla legge di Poiseuille o, peggio ancora, a quella di Torricelli: ma anzi, aumentando la pressione, le velocità aumentano ancor più rapidamente dei quadrati di quelle.

4. Malgrado queste divergenze, la legge della proporzionalità ai quadrati delle pressioni si verificava in un intervallo abbastanza vasto e con precisione sufficiente per meritare d'essere presa in considerazione.

Importava provare se in condizioni sperimentali più favorevoli ad un efflusso telescopico si potevano ottenere risultati analoghi. A questo scopo si è trovato opportuno plastificare la gomma (smoked sheet) con l'aiuto di un prolungato trattamento termico (4^h a 140° C.) oltre che con la masticazione alla macchina a cilindri. Il plastometro è stato munito di un tubetto del diametro di 4 mm. e della lunghezza di 50 mm. In tali condizioni e alla temperatura di 80° C. è stato ottenuto il diagramma (3). Si può osservare anche qui il singolare allontanamento dalla forma lineare del quadrato delle pressioni in prossimità dello zero, mentre non v'è accenno alla seconda divergenza per le maggiori velocità d'efflusso.

La tabella unita contiene le determinazioni sperimentali sulle quali i diagrammi (1) (2) e (3) sono stati costruiti.

Milligrammi effluiti in 15 minuti

Kg./cm²	(1)	(2)	(3)
4	—	57-47	—
5	—	87-90	300-290-295
6	35 45	115-110	—
7	60-82	180-150	—
8	77-75	235-205	—
9	100-75	270-270	—
10	105-105	370-337	897-885-845-840
11	130-115	465-434	—
12	145-147	520-477	—
13	170-172	712-620	—
14	185-192	800-775	—
15	235-222	887-895	1780-1530-1545-1617
16	314-243	1205-1100	—
17	285-300	1340-1335	—
18	325-320	1620-1597	—
19	365-312	—	—
20	382-340	—	2845-2765
21	415-390	—	—
22	460-450	—	—

Altre serie di determinazioni sono state fatte cambiando le dimensioni dell'orifizio (da 3 a 1 mm. di diametro). Si verifica sempre, in un certo intervallo, la proporzionalità degli efflussi ai quadrati delle pressioni.

5. Con altri materiali (uno stucco da vetraio e una pasta da pane) è stato fatto qualche tentativo per verificare la stessa legge, ma allora si sono presentate gravi difficoltà a motivo dello slittamento o della filtrazione che affettano le misure. Tuttavia alcune determinazioni fatte in condizioni meno sfavorevoli, sembrano mostrare lo stesso comportamento del caucciù, facendo escludere che la legge trovata sia peculiare di questo materiale.

6. Dai risultati sperimentali sopra esposti si possono trarre alcune considerazioni sul movimento della materia plastica.

L'equazione:

$$\frac{Q}{t} = K(F - f) \tag{1}$$

(ove Q è la quantità di materia effluita nel tempo t, F la forza applicata, K ed f due costanti) che si verifica per efflussi con velocità superiori a un certo valore, non è più valevole in prossimità dello zero delle forze.

Questo allontanamento non è attribuibile a cause perturbatrici che falsino l'esperienza, dal momento che è stato verificato anche con un materiale pel quale, secondo ogni probabilità, sono da escludere tali perturbazioni. Esso è un vero e proprio comportamento, diverso, della materia plastica sotto piccole pressioni, come lo prova anche il fatto che, per un intervallo abbastanza vasto, è seguita con precisione una legge esprimibile analiticamente in forma molto semplice. Allora la estrapolazione secondo la (1) verso lo zero delle pressioni non è più lecita e la costante f perde il suo significato fisico di forza per la quale non si ha efflusso, come a dire un attrito statico che impedisce lo scorrimento continuo delle particelle le une sulle altre (frizione). Anzi può essere posta la questione se un tale attrito statico esista realmente, vale a dire, ciò che distingue la materia plastica sia effettivamente l'assenza di efflusso sotto forze inferiori a un certo limite. Pel materiale sul quale ho esperimentato, non ho ottenuto un efflusso nullo anche alle pressioni più piccole con le quali ho lavorato.

D'altra parte se, come sembra evidente, non v'è motivo per ammettere che il movimento della materia nell'interno del tubo avvenga, in queste esperienze, in modo diverso da quello telescopico che si ha quando si verifica la legge di Poiseuille, allora si è condotti a supporre che la mobilità non sia costante, ma funzione della velocità di scorrimento; ad esempio, perchè l'efflusso sia funzione lineare del quadrato delle pressioni, come abbiamo verificato per un certo intervallo, la mobilità dovrebbe crescere proporzionalmente alla radice quadrata delle velocità. Ma in un successivo intervallo la curva degli efflussi in funzione delle pressioni deve raccordarsi con la forma lineare voluta dalla legge di Poiseuille e quindi la mobilità deve tendere ad un valore costante. Il valore espresso dalla costante K della (1) sarebbe, dunque, il limite della modibilità per velocità d'efflusso sufficientemente grandi.