



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2015

## **CONSIDERAȚII PRIVIND UTILIZAREA EFECTULUI CUMULATIV AL JETURILOR DE GAZE LA PERFORAREA BLINDAJELOR**

Maria-Costina AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

### **CONSIDERATIONS FOR USE CUMULATIVE EFFECT OF GAS STREAMS PUNCTURE ARMOR**

This paper presents an application of the linear characteristics of the fumes generated by the chemical reaction of burning of explosives, the cumulative effect. By directing the energy of the explosion we obtain a jet of gas able to penetrate machines fight casings.

Keywords: jet gas, explosive, cumulative jet, armour, fighting machine, surge, movement potential

Cuvinte cheie: jet de gaze, exploziv, jet cumulativ, blindaj, mașină de luptă, undă de șoc, mișcare potențială

#### **1. Introducere**

Generarea jeturilor de gaze este o consecință a reacțiilor termochimice în care anumite substanțe combustibile ard în prezența oxigenului.

Fenomenele gazodinamice datorate exploziilor, elementele de teoria jeturilor și a efectului cumulativ al acestora sunt fundamentate de mecanica fluidelor.

Un caz special de generare a jeturilor îl reprezintă descompunerea unor substanțe explozive.

Explozia reprezintă de fapt o reacție chimică într-o substanță explozivă solidă, în urma căreia aceasta se transformă instantaneu în gaze de ardere la temperaturi și presiuni foarte ridicate [2], [5].

Dacă prin diferite procedee aceste gaze pot fi dirijate pentru formarea unor jeturi de mare energie, atunci poate apărea fenomenul de cumulație, adică o creștere locală accentuată a acțiunii exploziei.

Efectul cumulației are aplicații în domeniile mineritului, petrolier, dar cu precădere în domeniul militar pentru perforarea blindajelor mașinilor de luptă.

## 2. Natura fizică a efectului cumulativ

Au fost efectuate experimente sistematice utilizând în principal substanțe explozive solide, de formă cilindrică, deoarece acestea se utilizează cel mai frecvent în practică [5].

Efectul exploziei s-a urmărit prin realizarea diferitelor configurații ale substanțelor explozive (figura 1), așezate pe o placă din oțel, de grosime mai mare de 200 mm.

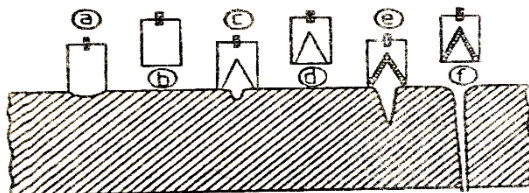


Fig.1 Prezentarea schematică a experimentului

Efectul maxim (perforarea plăcii) se obține în cazul „f”, când substanța explozivă are forma cilindrică, cu o scobitură conică în partea dinspre placă, conul fiind captușit cu tablă metalică ambutisată.

Efectul de perforare a plăcii este denumit efect cumulativ și reprezintă o acțiune explozivă mărită într-o anumită direcție, ca rezultat al utilizării unor configurații adecvate ale substanțelor explozive [3].

Prin explozie substanțele se transformă instantaneu în gaze, la presiuni ridicate (câteva sute de mii de atmosfere), produsele exploziei tind (sub influența undei de detonație) către centrul de curbură al scobiturii, ciocnindu-se între ele și producând un șoc hidraulic. Acest șoc hidraulic produce o redistribuire a energiei de explozie și la o creștere a vitezei de mișcare a maselor care se ciocnesc.

Ca rezultat, se obține un jet de gaze care are și o secțiune minimă numită focar, aflat la o distanță oarecare față de încărcătură.

În evoluția parametrilor gazodinamici în interiorul jetului se produce o creștere însemnată a presiunii sub acțiunea căreia și viteza jetului capătă viteze foarte mari.

În cazul când căptușeala forme conice a scobiturii este confecționată din metale inoxidabile (platină, iridiu), sub acțiunea presiunii și temperaturii gazelor acest înveliș metalic se comprimă, formând o așa-zisă pastă cumulativă, care în final se transformă într-un jet metalic cu o stabilitate în timp și spațiu, apreciabile, ceea ce înseamnă o perforare a unor blindaje mult mai groase.

### 3. O metodă de calcul pentru parametrii jetului cumulativ

O configurație cilindrică a substanței explozive, cu o scobitură conică căptușită cu material metalic în partea din față a acesteia, constituie modelul ce se regăsește în practică, la forma corpurilor de revoluție subțiri [1]. Sub acțiunea exploziei căptușeala metalică se deplasează spre interior și înainte, tinzând să se adune pe axa  $A_1A_2$ , care este și axă de simetrie pentru corpul de revoluție (proiectil, rachetă) (figura 2), formând jetul cumulativ metalic [5].

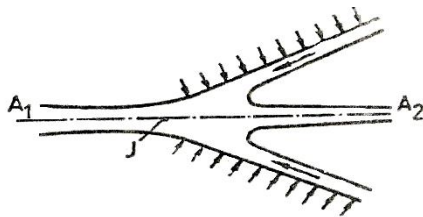


Fig. 2 Formarea jetului cumulativ metalic

Fenomenul poate fi schematizat utilizând unele ipoteze simplificatoare [3], [6]:

- explozia are loc instantaneu, cu acțiune inițială, perpendiculară pe suprafața căptușelii, continuând până la deformarea ei completă pe axa  $A_1A_2$ ;

- forțele ce acționează asupra căptușelii sunt de mărimi apreciabile ( $10^7$  N/mm<sup>2</sup>), transformând metalul într-un fluid incompresibil, considerat ideal;

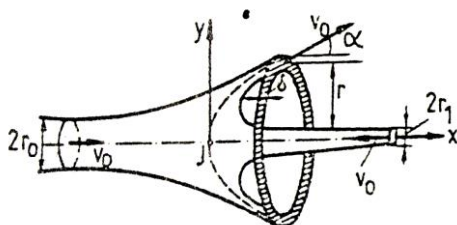
- mișcarea fluidului ideal incompresibil în raport cu o axă legată de punctul „J” (punct de întâlnire al deformațiilor căptușelii) se consideră permanentă;

- suprafața căptușelii se consideră frontieră liberă.

În baza ipotezelor de mai sus problema deformării și mișcării metalului din căptușeală, a formării jetului perforant se reduce la o problemă de tip Helmholtz referitoare la ciocnirea jeturilor [4], [6].

Schema de principiu în ciocnirea a două jeturi axial-simetrice (figura 3) cu axă de simetrie comună, arată că după ciocnire fluidul tinde să se îndepărteze de axă formând, la o distanță suficient de mare de punctul „J”, o pânză de forma unui con circular având unghiul de evazare  $2\alpha$  și grosimea  $\delta$ .

Fig. 3  
Schema  
ciocnirii a  
două jeturi  
axial-  
simetrice



Mișcarea rezultantă a jetului se studiază în condițiile [4], [6]:

- la  $x \rightarrow \infty$  jetul din stânga tinde asimptotic către un cilindru de rază  $r_0$  și se mișcă în sensul  $x > 0$  cu viteza  $v_0$ ;
- la  $x \rightarrow \infty$  jetul din dreapta tinde către un cilindru cu raza  $r_1 < r_0$  și se mișcă în sensul  $x < 0$  cu viteza  $v_0$ ;
- pe suprafețele libere ale jeturilor presiunea este constantă și  $v = v_0 = \text{const.}$  Ambele jeturi au aceeași densitate, iar fluidul este incompresibil.

Punctul de joncțiune „J” se găsește pe axa x, iar  $\delta \ll r$ , fluidul fiind incompresibil, atunci rezultă condiția de continuitate [6] exprimată de relația:

$$\pi r_0^2 v_0 + \pi r_1^2 v_0 = 2\pi r \delta v_0 \quad (1)$$

din care rezultă grosimea pânzei conice

$$\delta \approx \frac{r_0^2 + r_1^2}{2r} \quad (2)$$

Se observă că  $\delta$  variază cu  $r$ , tinzând către zero când  $r \rightarrow \infty$ .

Aplicând teorema impulsului la suprafața de control (figura 3) se determină unghiul de evazare a conului [6]:

$$2\pi r \delta \rho v_0^2 \cos \alpha - \pi r_0^2 \rho v_0^2 + \pi r_1^2 \rho v_0^2 = 0 \quad (3)$$

sau ținând cont de relația (2)

$$\cos \alpha = \frac{r_0^2 - r_1^2}{r_0^2 + r_1^2} \quad (4)$$

În cazul când sunt îndeplinite următoarele condiții [6], [7] (figura 4):  
 - jeturile au viteze diferite,  $v_0$  și  $v_1$ ; - cele două jeturi sunt formate din fluide cu densități diferite,  $\rho_0$  și  $\rho_1$ , mișcarea are suprafețele libere  $S_0$  și  $S_1$  și suprafața de separație a celor două medii  $S$ .

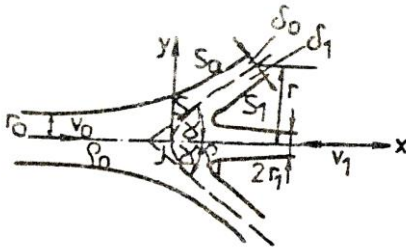


Fig. 4 Ciocnirea a două jeturi cu parametri diferiți

Deoarece mișcarea este permanentă, presiunea într-un punct va fi dată de formula lui Bernoulli [6]:

$$p = p_J - \rho \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

unde  $p_J = \text{const.}$  este presiunea în punctul  $J$  ( $v = 0$ )

Relația (5) se scrie pentru cele două medii, punând condiția ca pe suprafața de separație presiunile să fie egale pe ambele fețe:

$$\rho_0 v_0^2 = \rho_1 v_1^2; \quad v_1 = \chi v_0; \quad \chi = \left( \frac{\rho_0}{\rho_1} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Dacă se notează  $\delta = \delta_0 + \delta_1$  grosimea pânzei conice la o rază oarecare  $r$ , din condiția de continuitate pentru fluidele incompresibile rezultă:

$$\pi r_0^2 v_0 = 2\pi r \delta_0 v_0; \quad \pi r_1^2 v_1 \approx 2\pi r \delta_1 v_1$$

$$\text{din care prin adunare: } \delta_0 + \delta_1 = \delta \approx \frac{r_0^2 + r_1^2}{2r} \quad (7)$$

#### 4. Fenomenul de perforare a blindajelor de către jetul cumulativ

Problema ciocnirii a două jeturi coaxiale (figura 4) folosind un sistem de coordonate în care jetul din stânga (cu raza  $r_0$ ) este fix, iar jetul din dreapta mobil, având viteza

$$v_j = v_0 + v_1 = \frac{1 + \chi}{\chi} v_1 \quad (8)$$

Fenomenul de perforare a blindajelor este asemănător celui prin care un jet de lichid pătrunde într-un alt lichid care se găsește în repaus. Mișcarea lichidului din jet se consideră permanentă [3], [7].

Dacă se notează cu  $v_p$ , viteza de pătrundere a jetului (perforare) în blindaj și egală cu viteza în punctul de ciocnire  $v_0$ , atunci

$$v_p = v_0 = \frac{v_1}{\chi} = \frac{v_j}{(1+\chi)}, \quad (9)$$

adică viteza de perforare este mai mică decât viteza jetului; dacă jetul și blindajul sunt din același material (metal) [3], [6]: ( $\chi = 1$ ),  $v_p = \frac{v_j}{2}$ .

Dacă o secțiune oarecare a jetului se deplasează pe distanța  $l_j$  într-un timp  $t$ , punctul corespunzător de perforare se va deplasa pe distanța

$$l_p = v_p t = v_j \frac{t}{(1+\chi)} = \frac{l_j}{(1+\chi)} \quad (10)$$

iar jetul se scurtează cu

$$l_c = l_j - l_p = l_j \frac{\chi}{(1+\chi)} \quad (11)$$

denumită lungimea consumată a jetului [3].

Dacă se ține cont de următoarele relații:

$$\frac{l_c}{l_p} = \chi \quad ; \quad l_p = \left( \frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}} l_0, \quad (12)$$

și  $l_{tj}$  este lungimea totală a jetului, atunci întregul jet se consumă pentru perforarea unui blindaj de grosime (adâncime) [3]:

$$l_{ap} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}} l_{tj} \quad (13)$$

## 5. Aspectul nestaționar al jetului cumulativ

În formarea nestaționară a jetului cumulativ se ține seama, în afara ipotezelor specifice mișcării staționare, de durata efectului de detonație, astfel că dacă la momentul  $t = 0$  încărcătura cumulativă se prezintă ca în figura 5, la un moment intermediar, după inițierea exploziei dar înainte de sfârșitul ei, încărcătura se poate reprezenta ca în figura 6.

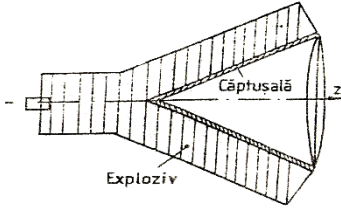


Fig. 5 Forma inițială a încărcăturii

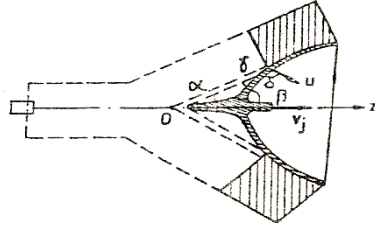


Fig. 6 Forma finală a încărcăturii

Se presupune că mișcarea jetului cumulativ este potențială [3], [6] și se notează cu  $v_j$  viteza frontului jetului. Mișcarea nestaționară a jetului evoluează într-un sistem mobil de coordonate cilindrice  $(z, r, \theta)$ , fixat în vârful conului de deschidere  $\beta$  (figura 7) care se deplasează în raport cu sistemul fix  $(Z, r, \theta)$  - cu origine în vârful  $O$ , cu viteza  $v_o \left( v_o \approx \frac{u}{\sin \beta} \right)$ .

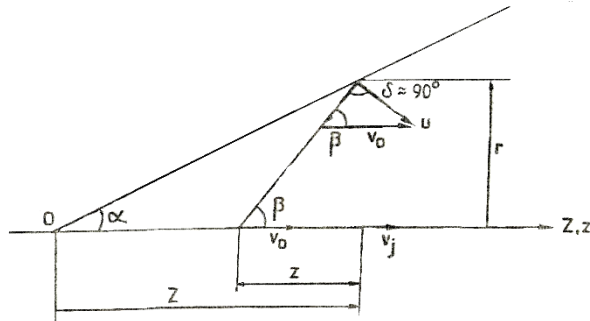


Fig.7 Schema formării jetului cumulativ

În ipoteza mișcării nepermanente, potențiale, iar fluidul considerându-se ideal, din legea Cauchy-Lagrange din mecanica fluidelor se obține ecuația diferențială a jetului cumulativ [6]:

$$z_j \frac{d\Psi(t)}{dt} + \frac{1}{2} \Psi^2(t) + \frac{p_j}{\rho} + U = \frac{1}{2} v_{o\infty}^2 + \frac{p_o}{\rho} \quad (14)$$

În final, în raport cu sistemul fix  $(Z, r, \theta)$ , cu originea în  $O$ , viteza absolută a jetului devine:

$$V_j = v_j + v_0 = v_j + \frac{u}{\sin \beta} \quad (15)$$

expresie care permite determinarea cantitativă a perforării [3], [6].

## 6. Concluzii

- Viteza  $v_0 \approx \frac{u}{\sin \beta}$  depinde de unghiul de evazare și modulul vitezei  $u$  care se determină din caracteristicile explozivului și a cantității acestuia.

- Pentru un unghi de evazare dat, viteza jetului depinde de dimensiunile și forma căptușelii numai prin intermediul vitezei  $u$ .

- Faza inițială nestaționară a procesului de perforare se poate neglija în cazul când grosimea conului este mică în comparație cu înălțimea acestuia.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Avădanei, C., *Contribuții în studiul optimizării fenomenelor gazodinamice din dispozitivele armamentului de calibru redus*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 1999.
- [2] Bodin, C., *Fizica explozivilor*, Editura Academiei Militare, București, 1972.
- [3] Bucnaru, G., Cherecheș, T., *Cu privire la efectul de perforare al proiectilelor* - a XXVI-a Sesiune de comunicări științifice a Academiei Tehnice Militare, Buletin, vol. I, Editura Academia Tehnică Militară, București, 1995.
- [4] Dragoș, L., *Principiile mecanicii mediilor continue*, Editura tehnică, București, 1983.
- [5] \* \* \* *Construcția, exploatarea, efectele și calculul munițiilor*, Editura Academia Tehnică Militară, București, 1980.
- [6] Ștefan, S., *Ecuatiile Mecanicii Fluidelor*, Editura Academia Tehnică Militară, București, 1996.
- [7] Ștefan, S., ș.a., *Simularea fenomenelor mecanice și hidraulice*, Editura Academia Tehnică Militară, București, 2000.

Informatician Maria-Costina AVĂDANEI, Cluj-Napoca  
Lector univ. Dr.ing. Constantin AVĂDANEI  
membru AGIR