

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 6th International Research and Practical Conference

**CHEMICAL TECHNOLOGY:
SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VI Міжнародної науково-практичної конференції

**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



Фармак



ISSN 2786-4898

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки збройних сил України
Публічне акціонерне товариство «Фармак»
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 6th International Research and Practical Conference

CHEMICAL TECHNOLOGY: SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VI Міжнародної науково-практичної конференції
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 23-25 листопада 2022 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2022

УДК 66.01

Редакційна колегія:

Головний редактор Закусило Р.В., доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н., доцент.

Заступник головного редактора Павленко О.В., ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.

Відповідальний секретар Скуба Ю.Г. фахівець кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету

Члени редакційної колегії:

Лукашов В.К. – професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор;

Тур О.М. – завідувач кафедри економіки та управління, к.е.н.;

Худолей Г.М. – завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій, к.т.н.;

Бондар Н.Ю. – доцент кафедри економіки та управління, к.філ.н.;

Тимофіїв С.В. – ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.х.н.

Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 23 - 25 листопада 2022 року. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 267 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», що складаються з узагальнених матеріалів науково-дослідних робіт науковців різних галузей виробництв та наукових закладів України.

У збірнику висвітлюються актуальні питання спеціальної хімічної технології і виробництва боєприпасів, утилізації відходів виробництв різних галузей, енергозбереження, моделювання технологічних процесів, соціально-економічні аспекти виробництва та природокористування в умовах війни.

Збірник корисний робітникам хімічної промисловості, науковим співробітникам, аспірантам і студентам спеціальностей хіміко-технологічного та соціально-економічного профілів, фахівцям інформаційних технологій виробництва.

Наукові праці учасників конференції подаються в авторській редакції.

© Шосткинський інститут
Сумського державного університету, 2022
© Сумський державний університет, 2022

МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБУХОВОЇ КУМУЛЯЦІЇ

Ю.І. Войтенко¹, С.В. Гошовський², Р.В. Закусило³

¹ Інститут гідромеханіки НАН України, Київ, Україна

² Науковий гідрофізичний центр НАН України, Київ, Україна

³ Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, Україна
voytenkou@gmail.com

Для аналізу впливу матеріалу лайнера на глибину проникнення кумулятивного струменю (КС) в металічні і неметалічні матеріали доцільно розглядати дві групи матеріалів і основні фізичні процеси, які супроводжують формування КС і їх проникання в перепону:

- монолітні метали і сплави;
- пористі монометалічні матеріали і пористі композитні матеріали.

В першому випадку відмічається залежність між здатністю металу до швидкого обтиснення і типом кристалічної решітки. Важкі пластичні метали групи міді і деякі сплави утворюють суцільні струмені, щільність яких не більше, ніж на 10% нижча щільності матеріалу лайнера і деякі, при великому видовженні (~ в 10 разів у порівнянні з вихідною довжиною твірного облицювання) не розриваються і зберігають високу щільність [1, 2.]. Інші метали, наприклад, залізо та цинк спочатку утворюють суцільні струмені, які, на відміну від попередніх, розриваються значно раніше [3]. Крихкі метали, зокрема W, Ti, особливо з домішками неметалів, метали та композити з високою пористістю з порошків взагалі не утворюють суцільних струменів, або утворюють на короткий період часу [2, 3]. Вони утворюють дискретні струмені, які складаються з окремих твердих частин і конгломератів (кластерів) скупчень цих частин [3]. Незважаючи на це, у разі дотримання технологічного регламенту, точності виготовлення заряду і лайнера пробиття сталеві мішені ($H_B = 2,39$ ГПа) зарядом калібром 100 мм досягало 800 мм і вище при відстані до мішені 500 – 750 мм. Кращий результат – 10-11 калібрів був отриманий при відстані до мішені 7,5 – 10 калібрів і товщині лайнера 1,5 мм. Лайнер був виготовлений із псевдосплаву W-Cu щільністю $14,8$ г/см³. ВР – РВХ (95 % НМХ – октоген). Ці результати говорять на доцільність застосування важких сплавів і псевдосплавів, які отримують методами порошкової металургії.

Автор [4], характеризує різноманітні матеріали лайнерів, відмічає, що багатофазні матеріали є найгіршими. Струмені не компактні, з можливістю радіального розходження (розсіювання) і рано фрагментуються. Лайнери з твердих розчинів (табл. 1 [4]) можуть утворювати когерентні (не розпушені) КС, але не настільки пластичні, як їх чисті металеві складові. Струмені від евтектичних сплавів безперервні і добре проникають в сталеві мішені під нормальним кутом. Єдиний повністю протестований евтектоїд 78Zn – 22Al і його варіанти не показали якісних КС. При сплескуванні кінчних лайнерів утворюється хмара крихких часток, яка має тенденцію радіально розсіюватися. Пресовані, або спечені композити (крайній правий стовбець) продукують безперервні КС, але мають схильність радіально розсіюватись на великих відстанях.

Металічні гомогенні матеріали з відносно невеликою і середньою пористістю (5...25%) також утворюють суцільні струмені, проте час існування і руху до моменту розриву менший, ніж у монолітних металів. Про це зокрема свідчать

вигляд залежностей глибини пробиття $L/d_c(F/d_c)$ від відстані до мішені F , близький до параболічної (d_c – калібр заряду). Він показує, що після досягнення максимуму глибини пробиття для певного значення F (фокусної відстані для даного заряду) зменшується щільність матеріалу в КС [2, 4, 5, 6].

Таблиця 1 Сплави, випробувані в матеріалі облицювань кумулятивних зарядів

Багатофазний	Твердий розчин	Евтектичний	Евтектоїдний	Пресований/спечений
95Cu-5Al	90Cu-10Ni	38Pb-62Sn	78Zn-22Al	90W-7Ni-3Fe
90Cu-10Sn	70Cu-30Ni	89Pb-11Sb		78W-22Cu
90Cu-10Zn	50Cu-50Ni	28Cu-72Ag		70W-30Cu
70Cu-30Zn	30Cu-70Ni			

При цьому, чим більша пористість, тим вужча крива $L(F)$, тим швидше відбувається перехід від суцільного КС до дискретного (рис. 1) [6]. Крім того, криві на рис. 1 показують, що збільшення щільності матеріалу лайнера призводить до збільшення глибини пробиття. Це загальне правило, як для короткофокусних зарядів [6], так і для довгофокусних [3, 4]

У разі відсутності пористості при $m = \rho_0/\rho_{00} = 1$ (ρ_0, ρ_{00} – щільність монолітного і пористого металу, площа під кривою $L(F)$ найбільша. Тобто, видовження і час до руйнування КС максимальне для $m = 1$. Це підтверджують дані роботи [5] для міді і цирконієвого аморфного сплаву. Зменшення глибини пробиття відбувається значно повільніше. Максимальна глибина пробиття КС із цирконієвого сплаву $2,68d_c$ (d_c – діаметр (калібр) заряду), КС із мідного лайнера – $4,81d_c$. Відстань до мішені складала $3,5$ діаметру заряду d_c , кут у вершині конуса $2\alpha = 40^\circ$, товщина лайнера $\sim 1,4$ мм. Якщо відстань між зарядом і мішенню збільшували до $10d_c$, глибина пробиття зменшувалась на $\sim 25\%$.

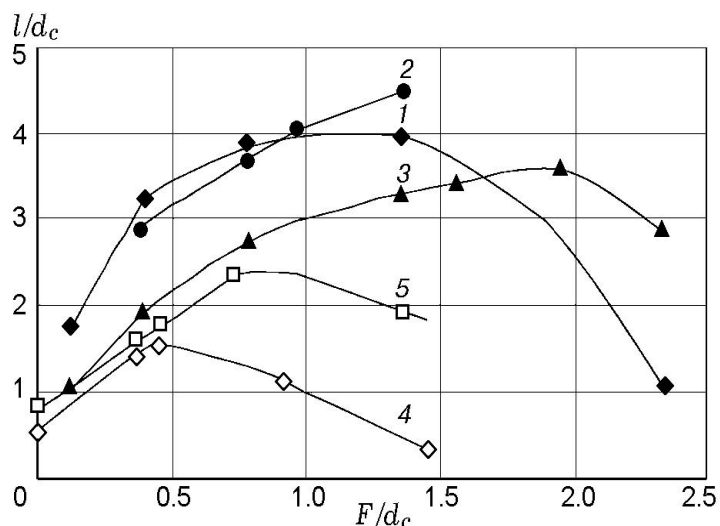


Рис. 1 Залежності глибини пробиття сталевій мішені від фокусної відстані для короткофокусного заряду калібром 26 мм з облицюванням із пористого композиту W-Cu-Sn ($\rho_{00}=10,16$ г/см³, крива 1), композиту W-Pb ($\rho_{00}=12,24$ г/см³, крива 2), міді ($\rho_{00}=6,6$ г/см³, крива 3), ($\rho_{00}=3,76$ г/см³, крива 4), нікеля ($\rho_{00}=4,57$ г/см³, крива 5).

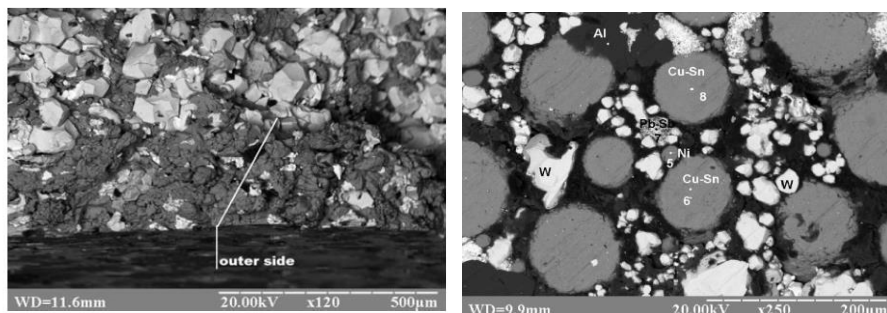


Рис. 2 Розподіл компонентів W, Pb (світлосірий) Cu (темний) в матеріалі лайнера виробництва НІЦ «Матеріалообробка вибухом» ІЕЗ ім. Є.О. Патона (зліва); W, Pb+Sb (світлосірий), Ni, Cu-Sn (темносірий), Al (темний) в матеріалі лайнера виробництва західної компанії

Зауважимо, що розмір елемента структури – розмір зерна в монолітних металах, орієнтація і форма зерен також впливають на еволюцію КС і його пробивну здатність. В роботі [4] показано, що збільшення розміру зерна в діапазоні матеріалі струменя (мідь) 30 – 50 мкм зменшує час до початку руйнування КС з моменту детонації і глибину пробиття мішені на різних відстанях від мішені (5 калібрів і 20 калібрів заряду).

Згідно грубій оцінці максимально досяжна швидкість КС $v_{j0,max} \approx$ в 2,34 рази перевищує об'ємну швидкість звуку матеріалу лайнера [7]. Тому практичний інтерес представляє порівняти цю та інші характеристики для різних металів [7].

Таблиця 2 Основні характеристики основних металів для лайнерів і прогнозні параметри КС

Матеріал	Al	Ni	Cu	Mo	Ta	U	W
Щільність (g/cm ³)	2.7	8.8	8.9	10.0	16.6	18.5	19.4
Об'ємна швидкість звуку (km/sec)	5.4	4.4	4.3	4.9	2.4	2.5	4.0
$v_{j0,max}$ (km/sec)	12.3	10.1	9.8	11.3	5.4	5.7	9.2
$v_{j0,max} \cdot \rho_j$	20.2	30.0	29.2	35.7	22.0	22.0	40.5
Рейтинг	7	3	4	2	6	5	1

Дані таблиці показують, що крім міді перспективними матеріалами для лайнерів кумулятивних зарядів є молібден і вольфрам. Це підтверджують результати експериментів в роботі [8]. Калібри зарядів 73 – 123 мм; ВР – октол 70/30, LX-14 та інші. Аналізуючи дані для октола 70/30, наведемо основні параметри для Cu, Mo, W: швидкість голови КС відповідно – $V_j = 8400 - 8500$ м/с; $V_j = 11250 - 11650$ м/с; $V_j = 8490 - 9330$ м/с; час початку руйнування КС (break-up time) $t_e = 149 - 193$ мкс; $t_e = 87 - 122$ мкс; $t_e = 114 - 123$ мкс; відношення $t_e/D = 1,84 - 2,38$; $t_e/D = 1,19 - 1,60$; $t_e/D = 1,41 - 1,52$.

Ці дані ще раз підкреслюють більшу пластичність міді, ніж молібдену і вольфраму в умовах високих швидкостей деформацій $\dot{\epsilon} \sim (10^4 - 10^5)$ с⁻¹.

На сьогоднішня W є основною складовою матеріалів лайнерів цивільних зарядів (W-Pb, W-Pb-Cu, Cu-Sn – W – Ni – Al та ін.). На рис. 2 показані мікрофотографії зразків композитних матеріалів лайнерів двох зарядів на основі W. Вони демонструють більш досконалу структуру матеріалу, показаного на правому рисунку: рівномірність розподілу складових по матеріалу, сферіодна форма основних компонентів (Cu-Sn, W, Ni). Порівняння цих матеріалів в зарядах одного калібру (25-26 мм) приблизно однакової конструкції показало кращу ефективність роботи заряду з лайнером із матеріалу Cu-Sn – W – Ni – Al, ніж заряду з лайнером із матеріалу Cu – W – Pb (\approx на 20...25 %), незважаючи на більшу щільність останнього.

Одним із шляхів підвищення енергії ударної взаємодії КС і УЯ з перепону є енергетичні добавки в складі матеріалу лайнера (Al, B, Mg) [9].

Висновок. Складові високої якості і оптимальний склад матеріалу лайнера – одна з основних умов успішного вирішення різноманітних технологічних задач.

Список літературних джерел

1. Физика взрыва / Под ред. Орленко Л.П./ М.: Физматлит. Изд. 3-е, перераб. в 2 т. – Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 650 с.
2. Тришин Ю.А. О некоторых физических проблемах кумуляции// Прикл. механика и техн. физика. – 2000. - Т41, №5. – С.10-26.
3. Voumard C., H.-P. Roduner, W. Santschi, H. Wister Performances and behavior of WCu- pseudoalloy shaped charges with a simple model for calculating the stand-off curve // Proc. 19th Int. Symp. on Ballistics. — Interlaken: Switzerland.- 2001. - V.1 - P. 1479-1487.
4. Walters W. Introduction to Shaped Charges. - Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5069, Army Research Laboratory. ARL-SR-150, - 2007, 110 p. Habera Ł. Hebda K. Koślik P. Sałaciński T. The Shooting Tests of Target Perforating Ability, Performed on Cast Concrete Cylinders. *Cent. Eur. J. Energ. Mater.* **2020**, 17(4): 584- 599.
5. Ping Cui, Deshi Wang, Dongmei Shi, Xinbao Gao, Jingqing Xu and Jianwei Zhen Investigation of Penetration Performance of Zr-based Amorphous Alloy Liner Compared with Copper// *Materials*. - 2020. - 13, 912. – P. 1-12; doi:10.3390/ma13040912
6. Войтенко Ю.И., Гошовский С.В., Драчук А.Г., Бугаец В.П. Механическое действие кумулятивных зарядов с пористыми облицовками // Физика горения и взрыва. – 2013. - № 1. - С. 125 – 131
7. Held M. Liners for shaped charges //JOURNAL OF BATTLEFIELD TECHNOLOGY, VOL. 4, NO 3, NOVEMBER 2001
8. J. D. Pham, E. L. Baker, S. De Fisher SHAPED CHARGE JET FLASH RADIOGRAPH DIGITIZATION. Technical Report ARAET-TR-05013.- Picatinny, New Jersey: U.S. ARMY ARMAMENT RESEARCH, DEVELOPMENT AND ENGINEERING CENTER, 39 p.
9. Voitenko Y.I. Zakusylo, R.V., Zaytchenko S. Influence of the Striker Material on the Results of High-Speed Impact at a Barrier. *Cent. Eur. J. Energ. Mater.* – 2021. – 18(3). – P. 405-423.