

Літературак:

1. Smirnova Y., Huriia I., Loboda P. Liquid phase fabrication technology of layered Ti/Al composite. *U.P.B. Scientific bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*. 2021. Vol. 83, Iss. 4. P. 273–282.
2. Смірнова Я. О., Гурія І. М. Мікроструктура та механічні властивості шаруватого литого композиту ВТ-6/Al. *Метал і лиття України*. 2022. Том 30, №1. С. 84–90. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.084>
3. Nagpal P. K., Kumar S., Panwar R.S., Sharma J.D., Singla N., Mahla S. K. Effect of in-situ tribo-oxide-layer on the non-lubricated tribological behaviours of LM27/SiCp composites. *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2022. Vol. 13, Iss. 3. P. 267–280. <https://doi.org/10.1080/17515831.2022.2058797>
4. Gupta R., Sharma S., Nanda T., Pandey O.P. Wear studies of hybrid AMCs reinforced with naturally occurring sillimanite and rutile ceramic particles for brake-rotor applications. *Ceramics International*. 2020. Vol. 46, Iss. 10, Part B. P. 16849–16859. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.262>

Гурія І.М., Троснікова І.Ю., Смірнова Я.О.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)

МАТЕРІАЛИ ТА ФОРМА ОБЛИЦЮВАНЬ КУМУЛЯТИВНИХ ЗАРЯДІВ

E-mail: yana.luschay@gmail.com

Повномасштабне вторгнення країни-агресора в Україну призвело до суттєвого збільшення територій, що потребують проведення аварійно-рятувальних робіт з використанням спеціального вибухового обладнання. Вибухові роботи застосовують також у гірничій справі та будівництві. Тому аналіз матеріалів та технологій виготовлення основних елементів вибухових пристроїв – облицювань кумулятивних зарядів є актуальним [1].

Концентрацію дії вибуху в певному напрямку (кумулятивний ефект) забезпечують формою заряду вибухової речовини і наявністю облицювання, яке розташоване у протилежній від детонатора частині заряду. Під час ініціювання

вибуху продукти хімічної реакції утворюють спрямований потік, при цьому формується високошвидкісний кумулятивний струмінь з великою пробивною здатністю.

До основних факторів, що впливають на пробивну здатність кумулятивного заряду, відносять форму та матеріал корпусу, тип вибухової речовини, матеріал і геометрію облицювання, точність складання бойової частини, відстань від заряду до перешкоди тощо.

Ключову роль у ефективності кумулятивного заряду [2] відіграє матеріал облицювання, який має володіти високою щільністю і пластичністю за великих швидкостей деформації, та його геометрія.

Вплив матеріалу облицювання на формування кумулятивного струменя, утворення пенетратора, проникнення у перешкоду досліджували у роботах [3-7], зокрема за допомогою сучасного програмного забезпечення для моделювання цих процесів. Для отримання облицювань різної форми використовують переважно металеві матеріали: мідь; алюміній; тантал; свинець; залізо; сталь, алюмінієві, цинкові, титанові, молібденові, цирконієві сплави.

Мідь, яка була одним з перших матеріалів для виготовлення облицювань, залишається широко використовуваною завдяки своїм властивостям, що забезпечують формування високощільних суцільних струменів з високою пробивною здатністю. Технічно чисте залізо та низьковуглецева сталь також мають високу ефективність. Алюмінієві облицювання утворюють струмені із частинок, проте дозволяють збільшити отвори пробиття.

Подвійна система міді та вольфраму відрізняється своєю ефективністю, так як вольфрам завдяки своїй високій щільності та пластичності підвищує пробивну здатність кумулятивного струменя більш ніж на 30 % [8-9]. Такі високі характеристики демонструють як спечені W-Cu облицювання, так і отримані механічним обробленням.

За останні двадцять років поширилося використання композиційних матеріалів для виготовлення облицювань, у тому числі на полімерній основі. Так,

реакційні облицювання (наприклад PTFE/Al) дозволяють збільшувати руйнування завдяки їх здатності запалювати та детонувати перешкоди.

Окрім матеріалу облицювань суттєвий вплив на формування кумулятивного струменя та його динамічні характеристики справляє їх геометрія. В багатьох роботах [10-12] досліджені конічні, трубоподібні, еліпсоїдні, сферичні форми облицювань, найбільш ефективною серед яких є конічна форма з кутом розкриття 30-60°. Разом з тим продовжується робота над розробленням нових геометричних форм облицювань кумулятивних зарядів [13] та технологій їх виготовлення.

Огляд літературних джерел і відомості щодо матеріалів та технологій отримання облицювань кумулятивних зарядів є підставами для їх удосконалення та практичного застосування.

Література:

1. Войтенко Ю.І., Гошовський С.В., Костюк О.О., Пасічник А.М. Про оптимальні конструкції і матеріали кумулятивних зарядів для деяких практичних застосувань. *Технічна інженерія*. 2023. Том 1, № 91. – С. 287–297. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-287-297](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-287-297)
2. Walters W.P., Zukas J.A. *Fundamentals of shaped charges*. NJ, 1989. – 398 p.
3. Zaki S., Uddin E., Rashid B., Mubashar A., Shah S.R. Effect of liner material and explosive type on penetration effectiveness of shaped charge. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2019. Vol. 233, № 7. – P. 1375–1383. <https://doi.org/10.1177/1464420717753233>
4. Pyka D., Kurzawa A., Bocian M., Bajkowski M., Magier M., Sliwinski J., Jamroziak K. Numerical and experimental studies of the ŁK type shaped charge. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, № 19. 6742. <https://doi.org/10.3390/app10196742>
5. Wang C., Xu W., Yuen S.C.K. Penetration of shaped charge into layered and spaced concrete targets. *International Journal of Impact Engineering*. 2018. Vol. 112. – P. 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.10.013>
6. Gerami N.D., Liaghat G.H., Moghadas G.H.R.S., Khazraian N. Analysis of liner effect on shaped charge penetration into thick concrete targets. *Journal of the*

Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2017. Vol. 39, № 8. – P. 3189–3201. <https://doi.org/10.1007/s40430-017-0797-6>

7. Zygmunt B., Wilk Z. Formation of jets by shaped charges with metal powder liners. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2008. Vol. 33, №6. – P. 482–487. <https://doi.org/10.1002/prop.200800015>

8. Wang Z., Wang H., Hou Z., Xu H., Li Y. Dynamic consolidation of W-Cu nano-alloy and its performance as liner materials. *Rare Metal Materials and Engineering*. 2014. Vol. 43, №5. – P. 1051–1055. <https://doi.org/10.12442/j.issn.1002-185X.2014.43.5.10511055>

9. Gao Y., Gu X., Liu T. Sintering effect on the performance of tungsten-copper powder liner. *Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition*. 2012. Vol. 27, № 6. – P. 1133–1136. <https://doi.org/10.1007/s11595-012-0616-y>

10. Liu Z., Zhai J., Su S. Numerical simulation on conical shaped charge with copper liner in several typical shapes. *The International Journal of Multiphysics*. 2019. Vol. 13, № 3. – P. 231–240. <https://doi.org/10.21152/1750-9548.13.3.231>

11. Fu J.P., Chen Z.G., Hou X.C., Li S.Q., Li S.C., Wang J.W. Simulation and experimental investigation of jetting penetrator charge at large stand-off distance. *Defence Technology*. 2013. Vol. 9, № 2. – P. 91–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2013.06.001>

12. Elshenawy T., Li Q.M. Breakup time of zirconium shaped charge jet. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2013. Vol. 38, № 5. – P. 703–708. <https://doi.org/10.1002/prop.201200191>

13. Sun S., Jiang J., Wang S., Men J., Li M. Structural design of the fluted shaped charge liner using multi-section optimization method. *Defence Technology*. 2023. Vol. 25. – P. 249–262. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.01.008>