

Ivan Košč

TiB₂ keramické/42CrMo zliatinové vrstvené gradientné materiály odolné voči dynamickým nárazom¹

Informácia na základe recenzie medzinárodnej práce svetového významu v oblasti zbrojného, vojenského a obranného výskumu:

Dynamic impact of TiB₂-based ceramics/42CrMo alloy layered gradient materials,
LU MINGYUAN, HAN BAOHON, HE WANHENG, ZHAO ZHONGMIN,
Mechanical Engineering College, Hebei, Shijiazhuang, 050003, PR China

Anotácia: Tento článok sa zaoberá popisom problematiky zložených keramicko-zliatinových materiálov na báze TiB₂/42CrMo s veľmi vysokou mierou odolnosti voči dynamickým nárazom určených pre využitie v oblasti moderných bezpečnostných technológií. Kompozičné a materiálové vlastnosti TiB₂/42CrMo sú analyzované pomocou metód röntgenovej difrakcie XRD a skenovacej elektrónovej mikroskopie. Zároveň je navrhnutý, popísaný a optimalizovaný dynamický gradientný model deformácií vplyvom dopadu projektilov. Článok sa taktiež venuje príslušným numerickým simulačným metódam pre získanie výsledkov relevantných simulačných analýz pomocou dynamických modulov v prostrediach ANSYS a AutoDyn. Dosiagnuté výsledky TiB₂/42CrMo zložených materiálov preukazujú vynikajúcu odolnosť voči nárazom, efektívne zníženie rýchlosti vystrelených projektilov, ako aj zvýšenú absorpciu energie pri dopade projektilov.

Kľúčové slová: gradientné materiály, odolnosť voči nárazom, simulácie.

Súčasný stav problematiky

Výskum v oblasti materiálov, dynamickej mechaniky a mechanizmov proti prenikaniu cudzích telies cez ochranu krycieho panciera vždy zohrával zásadnú úlohu v oblasti moderných vojenských technológií. Keramické kompozitné materiály sa postupne stali kľúčovými materiálmi pre technológie pasívnej ochrany prioritne bojového vybavenia na celom svete. Práve oblasti dynamickej mechaniky a mechanizmov proti prenikaniu predstavujú v súčasnosti jadro výskumu.

Krehkosť keramického materiálu sa prejavuje v poruchách spôsobených neelastickou deformáciou, čo vychádza z rozličnej povahy mechanizmu rozptylu energie u keramického panciera a panciera z ocele. V súčasnosti spočíva relatívne vyspelá technológia v kombinácii vysokej pevnosti keramických materiálov s charakteristickou húževnatosťou kovových materiálov, a to najmä v ťahu, pomocou využitia pomerne jednoduchých metód lisovania a spájania do formy vrstvených kompozitných ochranných pancierov (keramický panel a kovová zadná doska).² Avšak výskum dynamickej mechaniky deformácií poukazuje

¹ Oboznámenie sa s poznatkami aktuálneho výskumu patrí k esenciálnym potrebám rozvoja. Modernizácia novodobej munície nutne evokuje a stimuluje rozvoj obranných prostriedkov. Problematika nepriestrelných materiálov je neoddeliteľnou súčasťou policajnej praxe, zároveň oblasť nepriestrelných materiálov a ich vlastností patrí k štandardom polície a vybraných zložiek na každodennej báze. Obstarávanie a modernizáciu kľúčových prvkov osobnej ochrany ako aj ochrany vozidiel, infraštruktúry a budov je potrebné robiť so zreteľom na moderné požiadavky bezpečnosti a ochrany. Tento článok-informácia sprostredkúva pohľad na najmodernejší výskum novej generácie nepriestrelných materiálov s vynikajúcou prierezovou výdržou, vysokou tvrdosťou a odvodom tepla, zvýšenou stabilitou a zároveň výrazne zníženou hmotnosťou. Potenciálne nasadenie a využitie týchto materiálov je ako v rámci polície a MINV, tak aj pre potreby armády (Ozbrojených síl SR) a MOSR a to primárne pre: nepriestrelné vesty, obrnené vozidlá a tanky, bunkre, kryty infraštruktúry a budovy.

² CHEN, J. et al. 2016. Toughening mechanisms of ZTA ceramics at cryogenic temperature. *Ceramics International*,43(5): 788-802.

na nízku priečnu pevnosť v šmyku medzi keramickými a kovovými vrstvami, čoho príčinou je možný výskyt defektov a poškodení pozdĺž adhézneho spojenia fáz keramiky a kovu. Vplyvom vystavenia vonkajšiemu zaťaženiu dochádza k javu oddelenia práve na rozhraní týchto dvoch fáz. V prípade takéhoto oddelenia vysokopevnostného keramického materiálu od podkladovej kovovej platne s nižšou pevnosťou, je práve slabší kovový materiál priamo vystavený vonkajšiemu prostrediu, čo následne môže viesť k jeho ľahšiemu prierazu vplyvom opätovného zásahu. Preto kvôli poruchám štruktúry rozhrania nemožno tento druh keramicko-kovového vrstveného kompozitného panciera využívať vo veľkom meradle, avšak na druhej strane vyriešenie problematiky súvisiacej s adhéziou rozhraní vykazuje značný potenciál pre nasledovný výskum.³

V posledných rokoch bol výskum zbraňových systémov zameraný aj na dynamický prienik strely panciermi z keramických materiálov. Na základe simulácií, ako aj reálnych testov a experimentov živou muníciou bolo získané veľké množstvo výsledkov. Mechanizmus prieniku je popísaný značne komplexne, čím poskytuje dostatočný teoretický základ pre modifikáciu a modernizáciu keramického kompozitného obranného materiálu.

V tejto štúdií je skúmaný gradientný kompozitný materiál TiB₂/42CrMo pripravený pomocou technológie odstredivého tavenia a odlievania so zavedením procesu predhrievania. Následne bola stanovená predbežná dynamicko-mechanická konfigurácia antipenetračného procesu použitím ANSYS a AutoDyn s cieľom získania analýzy penetračnej simulácie materiálu.

Záver

- Intenzívnym výskumom modifikácie a optimalizácie procesov prípravy materiálov boli získané vrstvené gradientné kompozity TiB₂/42CrMo.
- Skúmala sa tvrdosť rozhrania keramiky a zliatiny TiB₂/42CrMo a získala sa závislosť medzi materiálovými parametrami a obsahom keramického materiálu v rámci laminovaného 10 vrstevného gradientného materiálu.

TAN, M. et al. 2021. Long pole bombs hit armor crush/ceramic interface penetration characteristics. EXPLOSION AND SHOCK WAVES,41(3): 63-74.

VATULYAN, A. et al. 2021. On the Determination of the Mechanical Characteristics of Rod Elements Made of Functionally Graded Materials. Mechanics of Solids, 55(6): 907-917.

YU, W. et al. 2018. The reaction mechanism analysis and mechanical properties of large-size Al₂O₃/ZrO₂ eutectic ceramics prepared by a novel combustion synthesis. Ceramics International, 44(11): 987-995.

ZENG, Y. et al. 2014. Armor protection materials. Beijing:National Defense Industry Press: 215-230.

ZHOU, Y. et al. 2021. Optimal design of functionally graded material for stress concentration reduction. Structures, 29: 561-569.

³GARSHIN, A. et al. 2019. Analysis of Occurrence, Properties, and Methods of Minimizing Production Defects in Ceramic Composites with a SiC-Matrix Prepared by Liquid-Phase Siliciding. Refractories and Industrial Ceramics,60(4): 376-384.

GATZEN, C. et al. 2019. YAlO₃—A Novel Environmental Barrier Coating for Al₂O₃/Al₂O₃—Ceramic Matrix Composites. Coatings, 9(10): 609.

LI, D. et al. 2020. Static and dynamic response analysis of functionally graded material plates with damage. Mechanics of Advanced Materials and Structures,27(2): 94-107.

LI, W. et al. 2018. Armor ceramic materials is reviewed. Special casting and nonferrous alloys.38(3): 259-262.

ZHAO, K. et al. 2020. Microstructure and mechanical properties of titanium alloy/zirconia functionally graded materials prepared by laser additive manufacturing. Journal of Manufacturing Processes.56(Pt A): 616-622.

ZHAO, Z. et al. 2016. Titanium boride base gradient nano-structured titanium alloy/ceramic composite materials organization evolution and damage failure and resistance to study. Generation of ceramic technology,37(6): 412-424.

- Charakterizovali sa a vyšetrili 4 štádiá anti-penetračného mechanizmu gradientného kompozitného materiálu TiB₂/42CrMo. Z výsledkov vyplýva využitie keramiky ako oderu vzdornej vrstvy, zatiaľ čo zliatina poskytuje podpornú úlohu a zaručuje celistvosť cieľovej platne panciera.
- Štúdium rozloženia pnutia a absorpcie energie nárazu dokázalo u gradientného kompozitného TiB₂/42CrMo materiálu zjavný efekt zníženia rýchlosti strely sprevádzaný zvýšenou schopnosťou absorpcie energie. Bolo dosiahnuté a overené výrazné zlepšenie proti-prieražového výkonu cieľa na báze spojitých gradientných keramicko-kovových materiálov.

Literatúra

- CHEN, J., XIE, Z., ZENG, W. et al. 2016. *Toughening mechanisms of ZTA ceramics at cryogenic temperature*. *Ceramics International*,43(5): 788-802. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.11.072
- GARSHIN, A., KULIK, V., NILOV, A. 2019. *Analysis of Occurrence, Properties, and Methods of Minimizing Production Defects in Ceramic Composites with an Sic-Matrix Prepared by Liquid-Phase Siliciding*. *Refractories and Industrial Ceramics*,60(4): 376-384. DOI: 10.1007/s11148-019-00371-5.
- GATZEN, C., MACK, D., GUILLON, O. et al. 2019. *YAlO₃—A Novel Environmental Barrier Coating for Al₂O₃/Al₂O₃—Ceramic Matrix Composites*. *Coatings*, 9(10): 609. DOI: 10.3390/coatings9100609.
- LI, D., YANG, X., QIAN, R. et al. 2020. *Static and dynamic response analysis of functionally graded material plates with damage*. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 27(2): 94-107. DOI: 10.1080/15376494.2018.1459974
- LI, W., HAN, B., ZHAO, Z. 2018. *Armor ceramic materials is reviewed. Special casting and nonferrous alloys*. 38(3): 259-262. DOI: 10.15980/j.tzzz.2018.03.008.
- TAN, M., ZHANG, X., BAO, K. et al. 2021. *Long pole bombs hit armor crush/ceramic interface penetration characteristics*. *EXPLOSION AND SHOCK WAVES*,41(3): 63-74. DOI:10.11883/bzycj-2020-0338.
- VATULYAN, A., YUROV, V. 2021. *On the Determination of the Mechanical Characteristics of Rod Elements Made of Functionally Graded Materials*. *Mechanics of Solids*, 55(6): 907-917. DOI: 10.3103/S0025654420660036.
- YU, W., ZHENG, Y., YU, Y. et al. 2018. *The reaction mechanism analysis and mechanical properties of large-size Al₂O₃/ZrO₂ eutectic ceramics prep-ared by a novel combustion synthesis*. *Ceramics International*, 44(11): 987-995. DOI:10.1016/j.ceramint.2018.04.116.
- ZENG, Y., ZHAO, B. 2014. *Armor protection materials*. Beijing: National Defense Industry Press, p. 215-230.
- ZHAO, K., ZHANG, G., MA, G. et al. 2020. *Microstructure and mechanical properties of titanium alloy/zirconia functionally graded materials prepared by laser additive manufacturing*. *Journal of Manufacturing Processes*.56(Pt A): 616-622. DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.05.044.
- ZHAO, Z., PENG, W. 2016. *Titanium bo-ride base gradient nano-structured titanium alloy/ceramic composite materials organization evolution and damage failure and resistance to study*. *Generation of ceramic technology*,37(6): 412-424. DOI:

10.16253/j.cnki.37-1226/tq.2016.09.002.

ZHOU, Y., LIN, Q., HONG, J. et al. 2021. *Optimal design of functionally graded material for stress concentration reduction*. Structures,29: 561-569. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.11.053

Ing. Ivan Košč, PhD.

Katedra európskeho integrovaného riadenia hraníc

Akadémia Policajného zboru v Bratislave

e-mail: ivan.kosc@akademiapz.sk