

**Мініцький А.В., Михайліченко В.В., Степанов О.В.,
Наконечний С.О., Юркова О.І.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)**

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАЦІЇ ТВЕРДОГО СПЛАВУ З
ВИСОКОЕНТРОПІЙНОЮ ЗВ'ЯЗКОЮ FeNiCrMoW ЗА УМОВ
ІНТЕНСИВНИХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

E-mail: wertyxa2002@ukr.net

З огляду на зростаючу потребу в більш бронебійних боєприпасах для стрілецької зброї, актуальним завданням стає удосконалення складу композиційних матеріалів, які використовуються для виготовлення сердечників куль. Існуючі бронебійні патрони для стрілецької зброї широко застосовують тверді сплави на основі карбіду вольфраму з кобальтовою зв'язкою, як матеріал для виготовлення сердечників куль. У сучасних дослідженнях [1, 2] заміна кобальтової зв'язки у твердих сплавах на основі карбіду вольфраму на багатокomпонентні сплави з високою ентропією змішування (ВЕС) розглядається як перспективний напрямок для покращення їхніх характеристик. Для економії ресурсів під час дослідження та розробки, а також для ефективної та надійної оптимізації дизайну нових виробів, зараз широко застосовується метод скінченних елементів для моделювання поведінки цих виробів у реальних умовах.

Тому мета роботи полягає в створенні моделі, яка описує процес деформації твердого сплаву на основі карбіду вольфраму з високоентропійною зв'язкою в умовах інтенсивних динамічних навантажень.

Композитний матеріал для дослідження було виготовлено за наступною методикою. Високоентропійний сплав NiFeCrWMo отримали методом механічного легування в планетарному млині з швидкістю обертання барабанів 400 об/хв протягом 10 год. Далі до отриманого сплаву додали карбід вольфраму і змішували в планетарному млині у відношенні 10 мас. % та 90 мас. % при швидкості обертання барабанів від 200 до 300 об/хв протягом 2 год, гранулювали та пресували у прес-формі при тиску 80-150 МПа. Отримані спресовані зразки спікали у вакуумі за температури від 1400 °С до 1500 °С. Встановлення механічних властивостей отриманих зразків відбувалось мікроіндентуванням алмазним індентором у формі

пірамідки за методом безперервного вдавлювання в дванадцяти різних точках, розміщених в центрі зразка.

Процес влучання кулі з початковою швидкістю руху 930 м/с в бронепластину моделювався за допомогою методу скінченних елементів, який був реалізований в програмному комплексі Ansys 2020 R2 Student Edition. За допомогою програмного комплексу SolidWorks були створені 3D-моделі бронебійної кулі 7,62×51 мм (типу Vofors Carl Gustaf FFV AP) та сталевих бронепластин різної товщини (6, 8, 10, 12 та 14 мм).

В результаті моделювання було встановлено, що кулі із сердечником WC–BEC повністю пробивають бронепластили товщиною від 6 мм до 10 мм, бронепластина товщиною 12 мм частково затримала кулю, а товщиною 14 мм повністю її зупинила. Для порівняння пробивної здатності куль із сердечником WC–BEC із існуючими версіями із WC–Co було проведено аналогічне моделювання, яке показало, що кулі із сердечником WC–Co повністю пробивають бронепластили товщиною від 6 мм до 12 мм і зупиняються а бронепластили товщиною 14 мм.

В результаті роботи встановлено, що кулі із сердечником WC–BEC та WC–Co мають близькі параметри пробивної здатності, а їх різниця не перевищує точності моделювання. Для підтвердження результатів моделювання необхідне проведення реальних балістичних випробувань. Можливими галузями застосування результатів роботи є військова промисловість, а користувачами – підприємства концерну «Укроборонпром», виробники боєприпасів для стрілецької зброї.

Література:

1. Дослідження впливу високошвидкісних режимів спікання на структуру та властивості тврдосплавного композита на основі WC з високоентропійною зв'язкою / О. А. Юркова, А. В. Мініцький, С. О. Наконечний [та ін.] // Надтверді матеріали. – 2024. – № 1.
2. Zhou P. F., Xiao D. H., Yuan T. C. Comparison between ultrafine-grained WC–Co and WC–HEA-cemented carbide [Text] // Powder Metallurgy. – 2017. – №60(1). – P. 1–6.