

Г.І.Перчун, А.О.Самофалова, Г.А.Кононенко

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ БАЛІСТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛАСТИН БРОНІ

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України
Національна металургійна академія України*

Виконано аналітичні дослідження різних методів визначення балістичної стійкості пластин індивідуальної броні. Показано проблему обмеженості даних в результаті оцінки балістичної стійкості на рівні «задовільно - незадовільно». Розглянуто основні етапи д час проникненні ударника в металеву пластину і поставлено завдання для подальших досліджень.

Ключові слова: індивідуальна броня, балістична стійкість, методи визначення стійкості

Стан питання. Броня - засіб захисту людей, військової техніки, озброєння і оборонних споруд від впливу снарядів, куль і вражаючих факторів ядерного вибуху. Жодна броня не може повністю захистити тіло від ураження різними типами боеприпасів. Проте використання бронезахисту суттєво зменшує вірогідність та серйозність ураження.

Індивідуальна броня призначається для захисту тіла людини від дії холодної і вогнепальної зброї, а також від осколків снарядів, мін і гранат. Проте, навіть якщо засіб індивідуального захисту не пробито, проникаючий елемент може завдати травму або спричинити біомеханічне ураження. Сучасна індивідуальна броня повинна запобігати як пробою та нанесенню серйозної травми, так і біомеханічного ураження. Ударник повинен бути відбитий, або зупинений, а його енергія поглинута. Мається граничне значення енергії, котре може бути витримане людським тілом. Параметри людського тіла (вага, сила мускулатури, загальне здоров'я та вразливість різноманітних частин тіла) варіюються досить сильно та важко піддаються стандартизації. Проблему травмування тулуба при зупиненні проникаючого елемента бронезилетом почали вивчати лише останнім часом.

Завдання дослідження. Одним з компонентів броні, що йде на військові цілі є високоміцна сталь. Стійкість броні досягається шляхом легування, тобто введенням до складу сталей спеціальних присадок (кремнію, марганцю, хрому, нікелю, молібдену і ін.) і відповідної термічної обробки. Найважливішими параметрами броньованої сталі є міцність, в'язкість та пластичні властивості сталі, що знаходяться в постійному протиріччі, а саме - підвищення твердості і границі міцності сталі призводить до зниження її в'язкості та пластичності і навпаки. Завданням дослідження є аналіз методів оцінювання балістичної стійкості броні та розробка методики лабораторних досліджень для адекватної оцінки балістичної стійкості броньованої сталі в лабораторних умовах.

Результати досліджень. Характеристики броні можуть бути визначені двома методами випробувань, визначаючи балістичну стійкість або балістичну границю. Балістична стійкість оцінює характеристики матеріалу в порівнянні із заздалегідь визначеними вимогами. Балістична границя V_{50} визначає граничні характеристики матеріалу [1, 2]. Вибір типу випробування визначається метою випробування. В обох випадках методика випробувань повинна гарантувати надійність і відтворюваність результатів випробувань.

Випробування, що визначають балістичну стійкість броні, проводяться для оцінки характеристик матеріалу за критерієм успіху/неуспіху пробою при заданих умовах. Цей тип випробування не визначає ні границі, при котрих перестають задовольнятися деякі вимоги, ні границю початку пробиття. Критерій оцінки результатів випробування складається в виявленні, пробита ціль кулею або її осколками чи ні.

Метод на балістичну стійкість достатній, якщо вимагаються тільки висновки об успіху чи неуспіху системи. Але при цьому отримана інформація не дозволяє порівняти характеристики різноманітних систем або описати зміну властивостей в залежності від технологічних параметрів виробництва. Для отримання кількісних даних визначають балістичну границю V_{50} . Вимірювання V_{50} проводиться одним з чотирьох методів випробування (метод пробиття, метод Ленгли, метод OSTR, метод Брюстона), що визначають імовірність пробиття противобалістичних матеріалів [3-5]. Всі ці методи основані на визначенні деякої не кількісної характеристики пристрою в залежності від змінного впливу. Відмінності методів є процедурними, і, хоча результати аналогічні, їх надійність залежить від складності застосовуваної методики. Ці методи використовують для визначення імовірності пробиття броні в залежності від швидкості снаряду (рис.1).

Після проведення випробувань величина V_{50} становиться кількісною характеристикою бронезахисних властивостей, оцінює і відображає фізичну структуру зразка. Ступінь надійності величини V_{50} тим вище, чим вуже допустимий діапазон швидкостей кулі при обчисленні вірогідності пробиття. В залежності від потрібних рівнів надійності максимально допустимий розкид швидкості ударника приймають рівним 18, 27, 38 або 46 м/с. Допустимий діапазон розкиду швидкостей при визначенні V_{50} характеризує точність вимірювання.

Вимірювання V_{50} проводять, якщо треба порівняти властивості двох або декількох різних бронематеріалів, досліджується вплив навколишніх умов на властивості матеріала. Оскільки при вимірі V_{50} припускається, що випробувальний зразок однорідний, ці характеристики мають обмежену значимість при оцінці бронеконструкцій, маючих шви, зварні з'єднання, вузли збірки і т.п. В цих випадках зазвичай проводять випробування на балістичну стійкість.



Рис.1. Залежність імовірності пробиття броні від швидкості снаряду [3]

Механіка процесу пробиття металевої перешкоди істотно залежить від співвідношення її товщини b та діаметру кулі або сердцевини d . При співвідношенні $b/d < 1$, характерним для бронеелементів, перешкода вважається тонким ЗІЗ (засобом індивідуального захисту), а сам процес пробиття – багатофакторним, важко піддається теоретичному аналізу.

Взаємодія сердцевини (кулі) з перешкодою починається з ударно-хвильової стадії, котра характеризується наявністю ударних хвиль та хвиль розрядження як в перешкоді, так і у сердцевині. Оскільки сердцевина кулі має, як правило, головну частину в формі усіченого конуса, то тривалість початкової стадії мала та виникаючі ударні хвилі швидко затухають. Наступна стадія – стадія проникання сердцевини в перешкоду. В залежності від співвідношення характеристики міцності матеріалу сердцевини кулі та перешкоди і швидкості взаємодії, розрізняють проникнення деформуючих або недеформуючих тіл. Проникнення сталевих незміцнених сердцевин супроводжується інтенсивним динамічним деформуванням як сердцевини, так і перешкоди. При проникненні термозміцнених сердцевин, вони аж до руйнування відчувають малі деформації, що дає підстави вважати їх такими, що не деформуються.

Типи пробивання перешкод сердцевинами кулі, що не деформуються приведено на рис.2. Розрізняють три типи пробивання перешкоди проникаючим елементом, що не деформується: вибиття пробки з перешкоди (рис.2, 1); пластичне розширення отвору з переважно радіальною течією матеріалу перешкоди (рис.2, 2); пластичне деформування перешкоди з утворенням тильної виричнені та наступним її руйнуванням по типу зрізання пробки (для сердцевин з плоским торцем), або утворення пелюсткової пробоїни, або пластичне відгинання закраїн (для загострених сердцевин) (рис.2, 3). На практиці ці типи пробиття перешкод можуть деформуватися з утворенням тильної виричнені. Вибиття

пробки, як правило, передує проникненню серцевини кулі в перешкоду на відповідну глибину.

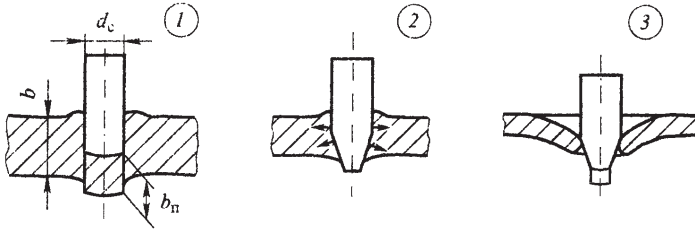


Рис.2. Механіка пробиття тонких перешкод: пробиття перешкоди проникаючим елементом, що не деформується: 1 – вибиття пробки; 2 – пластичне розширення отвору в перешкоді; 3 – пластичне деформування перешкоди з утворенням вирячені [5]

Розглянемо складаючи процесу пробивання металевої пробки, кінцевою стадією котрої є вибиття пробки. Нехай серцевина має плоский торець. Початкова стадія взаємодії серцевини з перешкодою супроводжується його проникненням в перешкоду по типу вдавнення пуансона в пластичний напівпростір (рис. 3).

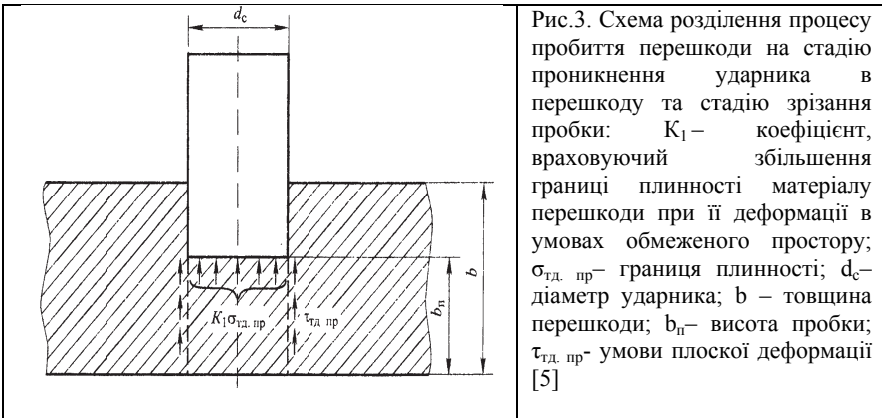


Рис.3. Схема розділення процесу пробиття перешкоди на стадію проникнення ударника в перешкоду та стадію зрізання пробки: K_1 – коефіцієнт, враховуючий збільшення границі плинності матеріалу перешкоди при її деформації в умовах обмеженого простору; $\sigma_{гд. пр}$ – границя плинності; d_c – діаметр ударника; b – товщина перешкоди; b_n – висота пробки; $\tau_{гд. пр}$ – умови плоскої деформації [5]

При пробиванні перешкоди проникаючим елементом, що не деформується, в залежності від співвідношення товщини перешкоди b та діаметру ударника d_c реалізуються наступні механізми:

1) При $b > 1,17 d_c$ зрізання пробки передує проникнення ударника в перешкоду на глибину $b - 1,17 d_c$;

2) При $0,58 d_c \leq b \leq 1,17 d_c$ пробиття перешкоди виконується за механізмом зрізання пробки;

3) При $b < 0,58d$, пробиття перешкоди передує утворенню тильної виричені з утворенням пелюсток.

Пробиття перешкод деформуючим ударниками відбувається, як правило, за механізмом вибиття пробки проникаючим елементом, що не деформується та може супроводжуватись деформуванням перешкоди з утворенням виричені.

Одним з компонентів броні, що йде на військові цілі є високоміцна сталь. Стійкість броні досягається шляхом легування, тобто введенням до складу сталей спеціальних присадок (кремнію, марганцю, хрому, нікелю, молібдену та ін.) і відповідної термічної обробки. Найважливішими параметрами броньованої сталі є міцність, в'язкість, пластичні властивості сталі та опір крихкому руйнуванню, що знаходяться в постійному протиріччі, а саме - підвищення твердості і границі міцності сталі призводить до зниження її в'язкості та пластичності і навпаки.

Вдосконалення сталі для бронежилетів має бути спрямоване на зменшення їх ваги та підвищення їх надійності за рахунок підвищення комплексу механічних властивостей сталей.

На першому етапі розробки заплановані дослідження металу бронепластин різного хімічного складу після прострелів. При виконанні досліджень в лабораторних умовах необхідно розробити методику, яка б давала можливість оцінити опір сталі руйнуванню при проникненні діючого елемента з урахуванням механізму процесу пробиття перешкоди. Запропоновано методику, яка поєднує випробування на твердість та ударну в'язкість, таким чином умови випробувань будуть наближені до реальних та буде проводитись оцінка ключових властивостей, що мають забезпечувати кульостійкість броні.

Окрема вдячність за співробітництво, надання зразків для дослідження та участь в обговоренні плану досліджень Борисенко А.Ю.

1. Частные вопросы конечной баллистики / Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. ЗукасДж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др. Динамика удара. Пер с англ. – М.: Мир, 1985.
3. В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников и др. Высокоскоростное взаимодействие тел. – Изд-во СО РАН, 1999.
4. «Легкие баллистические материалы» / Под ред. А. Бхатнагара. – М.: Техносфера, 2011. – 392с.
5. «Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования» / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков. Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд. Радио Софт, 2008. – 406с.

*Статтю рекомендовано до публікації
докт.тех.наук О.І.Бабаченко*

Г.И.Перчун, А.А.Самофалова, А.А.Конonenko

Методы определения баллистической стойкости пластин брони

Выполнены аналитические исследования различных методов определения баллистической стойкости пластин брони. Показана проблема ограниченности данных в результате оценки баллистической стойкости на уровне «удовлетворительно – не удовлетворительно». Рассмотрены основные этапы при проникновении ударника в металлическую пластину и поставлены задачи для последующих исследований.

Ключевые слова: индивидуальная броня, баллистическая стойкость, методы определения устойчивости

G.I.Perciun, A.A.Samofalova, G.A.Kononenko

Methods for determination of ballistic performance armor plates

Carried out analyzes various methods for determining the ballistic performance armor plates. It is shown that the problem of limited data from the evaluation at the level of ballistic performance «satisfactory - not satisfactory». The main stages of the penetration of striker into a metal plate, and set targets for future research.

Keywords: weapons, ballistic resistance, methods for determining stability