

САФАРОВ Елман Гасанбей огли,

канд. техн. наук,

доцент кафедри автомобільного транспорту

та сучасної інженерії

Відкритий міжнародний університет розвитку людини

«Україна»

ORCID ID: 0000-0002-4584-5539

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ УДАРНОМУ СТИСНЕННІ

Для підвищення енергопоглинаючих властивостей конструктивних елементів сучасної техніки, схильних до імпульсних впливів, застосовуються нові, в тому числі і високопористі матеріали. При високошвидкісному навантаженні більшість матеріалів підвищують опір деформування, особливо в області швидкостей деформації вище 10^4 с^{-1} . Для пористих матеріалів таких даних недостатньо.

У цій роботі описані методики та наведені деякі експериментальні дані випробувань малощільних та маломіцних матеріалів на основі міді та нікелю при стисканні зі швидкостями до 70 м/с .

Методики випробувань на одновісне стиснення дозволяють досліджувати матеріали при статичному ($v = 3 \times 10^{-5} \text{ м/с}$) та динамічному ($5 < v < 300 \text{ м/с}$) навантаженні, що відповідає швидкостям деформування $1,2 \times 10^{-3} < \dot{\epsilon} < 1,2 \times 10^4 \text{ с}^{-1}$. Особливістю модифікованих методик є висока роздільна здатність використовуваного датчика.

Статичні випробування проводили на гідропресі з реєстрацією зусилля навантаження та поточного діаметра зразка. За цими даними будували діаграму стиску в координатах напруження – деформація.

При невеликих швидкостях навантаження (до 10 м/с) випробування¹ проводили на циліндричних зразках, що розміщуються між навантажувальним стрижнем, який сприймає удар баби, і опорним стрижнем з конічним індентором, що упирається в протарований силовимірjuвальний

¹ Степанов, Г. В., Сафаров, Е. Г. Авторське свідоцтво «Спосіб динамічних випробувань матеріалів» № 1434321 від 1.07.1988 р.; Сафаров, Е. Г., Романюк, О. О., Смачило, О. В. Механічні властивості поліамідів при динамічному навантаженні// *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк: ЛНТУ, 2025. № 1(24). С.375- 379.

елемент (диск з алюмінієвого сплаву). Зусилля деформування зразка визначали діаметром відбитка індентора.

При вищих швидкостях навантаження для оцінки опору деформування необхідно враховувати хвильові процеси, для чого використана методика² (рис. 1).

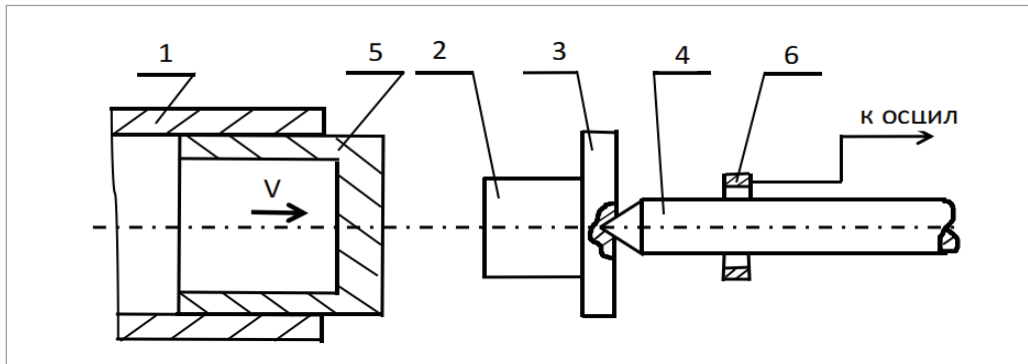


Рис.1. Схема випробувань на стиск при високих швидкостях навантаження

Співвісно каналу ствола 1 пневмогозового копра поблизу дульного зрізу встановлювали досліджуваний зразок 2, який через передавальну пластину 3 спирався на вершину циліндричного бойка 4 з конічною головною частиною. Навантаження зразка здійснювали ударом склянки 5, розігнаного по каналу ствола копра до необхідної швидкості. Зусилля деформування оцінювали пружною радіальної деформацією бойка, зареєстрованої за допомогою ємнісного датчика 6, при поширенні пружної хвилі навантаження від його вершини.

Ємність датчика, утворена бічною поверхнею бойка і латунним кільцем змінюється відповідно до зміни величини зазору в міру проходження хвилі навантаження. Довжина бойка визначається із співвідношення $L > t_{\text{и}} c / 2$ (L – довжина бойка; c – швидкість звуку в матеріалі бойка; $t_{\text{и}}$ – тривалість випробування зразка) що забезпечувало реєстрацію експериментальної діаграми до приходу поздовжньої пружної хвилі навантаження, відбитої від кінця бойка.

Тарування вимірювальної системи проводили ударом пружно деформованої масивної пластини з швидкістю v_0 по бойку з плоским торцем. Реєстрований осцилографом тарувальний сигнал з ємнісного датчика

2 Сафаров, Е. Г. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни “Поведінка матеріалів при імпульсному навантаженні”. Навчальне видання // Київ: Університет “Україна”, 2025. 24 с.

відповідає напруженню в бойку $\sigma = \rho x s v_0$, де ρ – щільність матеріалу бойка, s – швидкість звуку в матеріалі бойка.

Для отримання постійної швидкості деформування кінетична енергія ударяючого тіла, як мінімум, на порядок перевищувала втрати на деформуванні зразка.

Оскільки в процесі навантаження за даною методикою неможливо реєструвати поточний діаметр, то отримані діаграми стиснення є умовними. Однак, внаслідок малої величини коефіцієнта Пуассона для пористих матеріалів, умовні та дійсні діаграми досить близькі.

Були випробувані циліндричні зразки двох типорозмірів ($d\ 40*25\text{ мм}$, $d\ 16*8\text{ мм}$) з високопористих матеріалів на основі міді, нікелю, сплаву інвар та інші. Параметри досліджуваних зразків: густина $0,1...1\text{ г/см}^3$; міцність $0,1...10\text{ МПа}$, діапазон деформацій $1...200\%$, діаметр комірки $1...2\text{ мм}$; Деякі експерименти при швидкості навантаження $v = 5\text{ м/с}$ проводили як з можливістю вільного радіального розширення зразка, так і в обмеженій по діаметру обоймі ($d_{\text{зп}} = \text{const}$).

На рис. 2–4 наведені діаграми стиснення в координатах напруження – деформація.

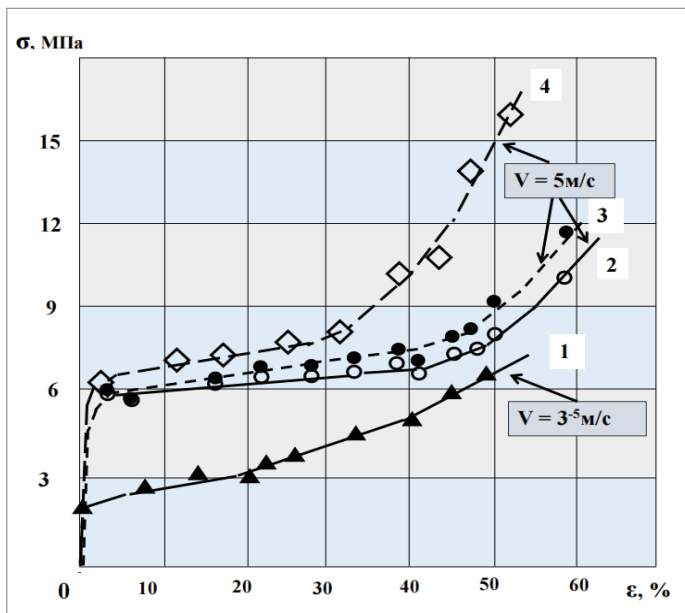


Рис. 2. Діаграма стиснення високопористого матеріалу на основі інвару ($\rho = 0.842\text{ г/см}^3$): 1 – статика ($\sigma^{\text{ст}}$), 2 – $v = 5\text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{ст}}$), 3 – $v = 5\text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{змов}}$), 4 – $v = 5\text{ м/с}$, $d = \text{const}$ ($\sigma^{\text{змов}} = \sigma^{\text{ст}}$).

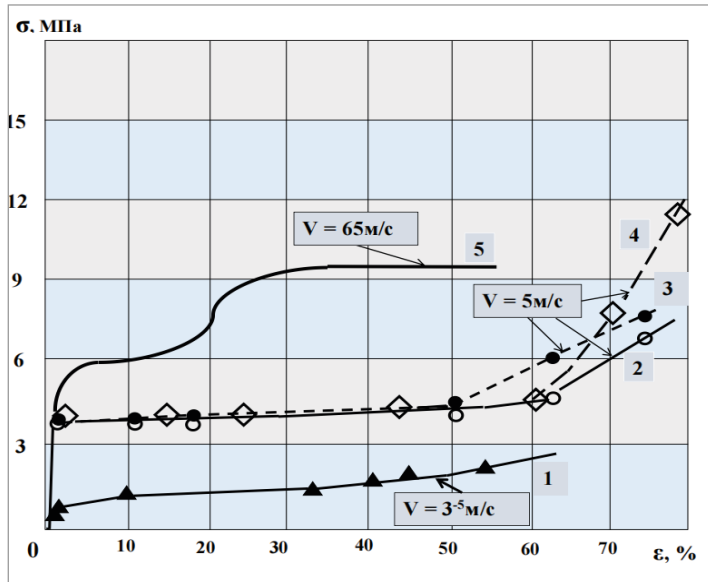


Рис. 3. Діаграма стиснення високопористого матеріалу на основі інвару ($\rho=0.39 \text{ г/см}^3$): 1-статика ($\sigma^{\text{сп}}$), 2- $v=5 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{сп}}$), 3- $v=5 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{мог}}$), 4- $v=5 \text{ м/с}$, $d = \text{const}$ ($\sigma^{\text{мог}} = \sigma^{\text{сп}}$), 5- $v=65 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{мог}}$).

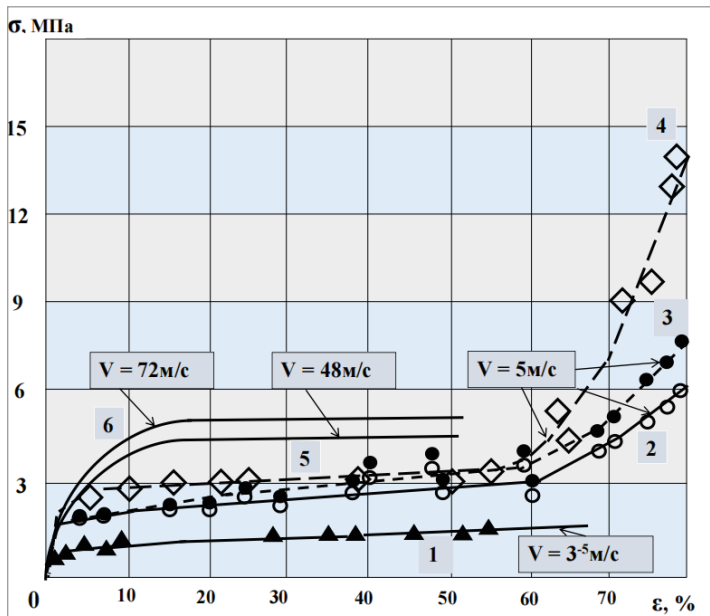


Рис. 4. Діаграма стиснення високопористого матеріалу на основі міді: 1- статика ($\sigma^{\text{сп}}$), 2 - $v=5 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{сп}}$), 3 - $v=5 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{мог}}$), 4 - $v=5 \text{ м/с}$, $d = \text{const}$ ($\sigma^{\text{мог}} = \sigma^{\text{сп}}$), 5 - $v=48,5 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{мог}}$), 6 - $v=72 \text{ м/с}$ ($\sigma^{\text{мог}}$).

При відносно невеликих швидкостях ($v < 10$ м/с) до значних деформацій $\varepsilon = 40\ldots 60\%$ (критична деформація ущільнення) стиснення відбувається з відносно постійним напруженням течії, причому обмеження радіальної деформації ($d_{zp} = const$) практично не збільшує опір деформування, що пов'язано з малою величиною коефіцієнта Пуассона внаслідок значних розмірів пір. Подальше стиснення призводить до зростання опору, причому при ($d_{zp} = const$) зростання значно більше.

Подальше збільшення швидкості призводить до значного зростання опору деформування. Вихід напруження на постійний рівень спостерігається при вищих значеннях деформації.

На рис. 5 наведена залежність постійного рівня напруження «течії» досліджуваних матеріалів від швидкості навантаження.

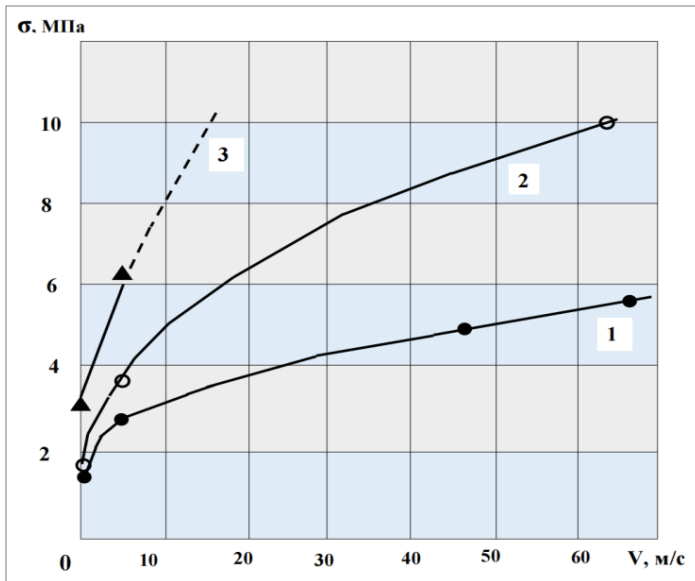


Рис. 5. Залежність постійного рівня напруження «течії» від швидкості навантаження: 1 – на основі міді; 2 – на основі інвару ($\rho = 0.392/\text{см}^3$); 3 – на основі інвару ($\rho = 0.842/\text{см}^3$)

Очевидно, що опір деформування зі зростанням швидкості навантаження підвищується в 3...5 разів, причому більш суттєво при високих швидкостях.