

© В.Є. Олішевська<sup>1</sup>, Г.С. Олішевський<sup>1</sup>, Г.П. Іванова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АВТОМОБІЛІВ

V. Olishavska<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-3098-1351>

H. Olishavskyi<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-9576-7527>

H. Ivanova<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4219-7916>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## PERSPECTIVE STRUCTURAL MATERIALS FOR AUTOMOBILE MANUFACTURING

**Мета.** Метою є огляд і систематизація перспективних конструкційних композиційних матеріалів для виробництва деталей автомобілів, а також аналіз сучасних тенденцій їх подальшого розвитку.

**Методика.** В роботі використані наступні методи дослідження: теоретичні дослідження (класифікація, систематизація), аналіз та узагальнення відомих наукових результатів, емпіричні методи (порівняння, спостереження), експериментальні дослідження (металографічний аналіз, випробування на мікротвердість та ударну в'язкість).

**Результати.** Виконано аналіз сучасного стану, властивостей, переваг і недоліків конструкційних композиційних матеріалів, проблем їх використання для виробництва деталей автомобілів. Досліджено можливості створення композиційних металевих шаруватих матеріалів сталі 12X18H10T – сталі 20 зварюванням вибухом. Композиційні матеріали мають границі з'єднання шарів хвилеподібної форми. Збільшення тиску у фронті хвилі детонації викликає зростання ступеня зміцнення зварюваних металів і ширини зони зміцненого шару.

**Наукова новизна.** Виділено проблеми та основні тенденції розвитку конструкційних композиційних металевих матеріалів для деталей автомобілів. Обґрунтовано використання композиційних металевих шаруватих матеріалів, які отримані зварюванням вибухом, в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування. Експериментально досліджено параметри хвиль у зварних з'єднаннях і характеристики ударної в'язкості композиційних матеріалів, отриманих зварюванням вибухом. Отримані залежності параметрів хвиль у зварних з'єднаннях та ударної в'язкості від параметрів режимів зварювання вибухом.

**Практична значимість.** Використання композиційних металевих шаруватих матеріалів, які отримані зварюванням вибухом, дозволяє підвищити в'язкість руйнування матеріалу деталей автомобілів. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень може бути використана при дослідженні в'язкості руйнування традиційних конструкційних матеріалів і композиційних матеріалів. Отримані в роботі результати можуть бути використані для підготовки бакалаврів спеціальності J8 «Автомобільний транспорт».

**Ключові слова:** композиційні матеріали, технології виробництва композиційних матеріалів, фізико-механічні властивості, експлуатаційні властивості, автомобільні деталі.

**Вступ.** Автомобільний транспорт виконує важливу роль у перевезеннях вантажів і пасажирів, але функціонування автомобільного транспорту супрово-

джується споживанням дефіцитних ресурсів та забрудненням навколишнього середовища. Так, сьогодні 99,8 % автомобільного транспорту в світі працює на двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), і, можливо, що, незважаючи на інноваційний розвиток електромобілів і гібридів, до 2040 року 85...90 % транспортної енергії буде надходити від звичайного рідкого палива, яке приводить у дію ДВЗ [1]. Тому, проблеми ресурсозбереження і екології на автомобільному транспорті сьогодні стають надзвичайно важливими і вирішуються різними шляхами, наприклад, вдосконаленням конструкції автомобілів, створенням електро- та гібридних автомобілів, розробкою нових технологій діагностування, технічного обслуговування і ремонту автомобілів, підвищенням якості експлуатаційних матеріалів, впровадженням нових стандартів, використанням нових конструкційних матеріалів для виробництва деталей автомобілів [2–6].

При виробництві деталей автомобілів широко використовують металеві конструкційні матеріали: сталі, чавуни, кольорові сплави [5–6]. Сьогодні у масі сучасного легкового автомобіля сталь може складати від 40 до 45 %, чавун – від 13 до 15 %, пластмаси – від 7 до 10 %, цинк – до 1 % [7].

Найбільш широко для виробництва деталей автомобілів використовують сталі і чавуни, але застосування цих конструкційних матеріалів має певні недоліки: чорні метали і сплави мають високу густину, схильні до корозії, потребують ремонту для підтримки працездатності таких деталей.

Виробництво деталей автомобілів з кольорових металів і сплавів більш перспективне, тому, що легкі, міцні, корозійностійкі сплави дозволяють в декілька разів зробити автомобілі більш легкими, в 10 разів скоротити витрати на ремонт і у 2 рази – на автомобільне паливо. Але кольорові метали і сплави, у порівнянні з чорними металами і сплавами, мають більш високу вартість, потребують більш складних технологій з'єднання. Крім того, використання кольорових металів і сплавів має ресурсні обмеження [5–6].

Тому розвиток автомобільного транспорту ставить нові вимоги до конструкційних матеріалів.

Одним із перспективних шляхів розв'язання проблем ресурсозбереження і підвищення екологічності автомобільного транспорту є розробка нових конструкційних композиційних матеріалів, а дослідження структури, фазового складу, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів є актуальною науково-технічною задачею.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є огляд і систематизація перспективних конструкційних композиційних матеріалів для виробництва деталей автомобілів, а також аналіз сучасних тенденцій їх подальшого розвитку.

Для досягнення мети поставлені завдання:

- проаналізувати інформацію про будову і властивості конструкційних композиційних матеріалів;
- розкрити функціональні можливості конструкційних композиційних матеріалів;
- виконати аналіз проблем використання конструкційних композиційних матеріалів для деталей автомобілів та тенденції подальшого розвитку;

– дослідити можливості композиційних шаруватих матеріалів, що отримані вибухом, підвищувати в'язкість руйнування.

До основних проблем, які сьогодні пов'язані з конструкційними матеріалами для виробництва деталей автомобілів, можна віднести наступні:

– висока густина матеріалів, внаслідок чого збільшується маса автомобіля, витрати паливно-мастильних матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу;

– потреба забезпечення міцності і надійності автомобільних конструкцій;

– потреба забезпечення пасивної і активної безпеки;

– схильність матеріалів до корозії, про масштаби якої дозволяє судити той факт, що приблизно 20 % одержуваної у світі сталі йде на покриття втрат від корозії;

– задача зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище;

– розробка нових матеріалів, які задовольняють сучасним вимогам;

– вибір та обґрунтування конструкційних матеріалів для деталей автомобілів;

– підготовка до повоєної відбудови, потреба економії ресурсів.

Вирішення цих проблем, які пов'язані зі зниженням матеріаломісткості, підвищенням безпеки та відповідністю екологічним нормам, наразі є важливим та актуальним.

В роботі використані наступні методи дослідження: теоретичні дослідження (класифікація, систематизація), аналіз та узагальнення відомих наукових результатів, емпіричні методи (порівняння, спостереження), експериментальні дослідження (металографічний аналіз, випробування на мікротвердість та ударну в'язкість).

**Основна частина.** Композиційний матеріал (КМ) – це матеріал, який складається із двох або більше компонентів та має нові фізико-механічні і експлуатаційні властивості, що відрізняються від суми властивостей складових елементів [3, 8–10].

Створення композицій дозволяє регулювати властивості матеріалів за рахунок вибору компонентів, їх концентрації, розмірів, форми, орієнтації та міцності з'єднання один з одним [5].

Композиційні армовані матеріали залежно від матеріалу матриці можна розбити на три групи: з металевою матрицею, в яких частіше використовують Al, Mg, Ni, Fe, Ti та їх сплави; з полімерною матрицею, в яких часто використовують епоксидну, фенольну, поліамідну матриці; з керамічною матрицею [10].

КМ за схемою розміщення наповнювача поділяють на три групи: з одноосним розташуванням у вигляді волокон, ниток, нитковидних кристалів у матриці паралельно один одному; з двоосним розташуванням наповнювача (матриці з нитковидних кристалів, фольги у паралельних площинах); з трьохосним розташуванням і відсутністю переважного напрямлення його розташування.

За орієнтацією та типом арматури всі конструкційні матеріали поділяють на дві групи: ізотропні; анізотропні [5].

Шаруватими КМ називаються системи, що складаються з набору двомірних армувальних компонентів, які чергуються у вигляді листових, пластинчастих і фольгових матеріалів, жорстко пов'язаних між собою по всій поверхні.

За призначенням КМ можна розбити на матеріали загальноконструкційного призначення (наприклад, несучі конструкції автомобілів, двигунів); жароміцні (наприклад, камери згорання та інші вироби, що працюють при підвищених температурах); термостійкі (для виробів, які експлуатуються в умовах різких теплових змін); фрикційні та антифрикційні (підшипники ковзання, шестерні та ін.); ударотривкі; теплозахисні; зі спеціальними властивостями (електричними, оптичними та ін.).

За способом отримання металеві КМ ділять на ливарні і деформовані.

Велику кількість технологій виготовлення металевих композиційних матеріалів можна умовно поділити на традиційні методи формування композицій (наприклад, технології лиття, порошкова металургія) та новітні технології (3D-друк, лазерне спікання, ультразвукова обробка та ін.) [4, 10–11].

Ефективним методом одержання композиційних матеріалів є самопоширюваний високотемпературний синтез (СВС-процес) [8]. Зносостійкий КМ на основі сплаву системи NiCrBSi, модифікований композиційним матеріалом, одержаним СВС з порошків титану марки ПТМ-1, технічного вуглецю марки П-803, вогнетривкої глини марки ПГОСА-0, алюмінію марки ПАП-1, оксиду заліза ( $Fe_2O_3$ ) та порошку ПТ-НА-01, дозволяє збільшувати мікротвердість та зносостійкість плазмового покриття за рахунок зміцнення сплаву частинками карбідів титану TiC та кремнію SiC, а також диборидів титану  $TiB_2$  [8].

Перспективним напрямом створення КМ є метод модифікації волокон шляхом введення в їх склад значних кількостей мінеральних наповнювачів (до 60 % об.), який дозволяє отримати композитні волокна.

Нове покоління КМ пов'язано з металоматричними композитами (ММК), які отримують шляхом армування металевими частинками: інтерметаліди ( $Ni_3Al$ ,  $TiAl$ ); об'ємні металеві стекла; сплави з високою ентропією; сплави з пам'яттю форми [12].

Потенційною сферою застосування КМ є зносостійкі елементи ДВЗ. Наприклад, використання в ДВЗ деталей з КМ, який складається з 70 %  $Al_2O_3$  і 30 % Cr, дозволило підвищити робочу температуру на 50 %, знизити витрати автомобільного палива на 30 % [13].

Новітній напрям у створенні ММК є використання в якості армуючих елементів частинок типу «ядро-оболонка» [14]. КМ мають кращі механічні (підвищення міцності, твердості, зносостійкості) та термічні властивості (покращення теплопровідності та термостабільності) [14]. Для деталей автомобілів такі КМ надають можливість забезпечити: зменшення ваги (покращення паливної ефективності); стійкість до високих температур (надійність у двигунах та гальмах); зносостійкість (довговічність деталей); інтелектуальні властивості (можливість адаптації матеріалу до умов експлуатації) [10].

ММК використовуються в автомобільних системах, де потрібна висока міцність та теплопровідність, наприклад, у компонентах двигуна, гальмівних сис-

темах та теплообмінниках. ММК мають покращені характеристики з точки зору зносостійкості, стійкості до високих температур та міцності порівняно з конструкційними металевими матеріалами [15].

Перспективним напрямом розвитку КМ є створення нанокомпозитів з використанням наповнювачів з розміром частинок від декількох нанометрів до десятків нанометрів [9]. В якості наповнювачів використовуються: органоглини на основі монтморилоніта; вуглецеві нановолокна; вуглецеві нанотрубки; наноксид кремнію; наноксид алюмінію; наноксид титану [5].

Суттєво впливають на структуру і властивості композиційних матеріалів нанорозмірні армувальні фази (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, графен, CNTs) [11].

Електрифікація автомобільного транспорту стикається з проблемою покращення теплового управління акумуляторами. Ця задача може бути вирішена використанням нанокомпозитів з металевою матрицею HfB<sub>2</sub>-Al з покращеними механічними властивостями [16].

Визначення фізико-механічних характеристик КМ і оцінка властивостей виробу з КМ являє собою складну задачу, яка включає визначення ефективних фізико-механічних характеристик на основі даних про характеристики складових КМ і його структуру, формулювання і апробацію критеріїв міцності, які ураховують складний напружений стан і анізотропію властивостей композиту, експериментальну перевірку отриманих результатів та ін.

Фізико-механічні властивості КМ визначаються співвідношенням властивостей матриці та армуючих елементів, а також міцністю зв'язку між ними.

КМ відрізняються від металевих сплавів більш високими значеннями тимчасового опору, питомої міцності, межі витривалості, модуля пружності, коефіцієнта жорсткості, зносостійкості. Умови руйнування КМ значно відрізняються від умов руйнування металевих матеріалів. Наявність границь розділу між компонентами КМ суттєво підвищує тріщиностійкість композиційного матеріалу, що приводить до підвищення характеристик в'язкості руйнування [5].

КМ на металевій основі мають високі характеристики міцності і жароміцності, але малу пластичність [17]. Дисперсні частинки в КМ зменшують швидкість зростання тріщин, які зароджуються в матриці, і значно зменшують вірогідність крихкого руйнування матеріалу.

КМ достатньо широко використовуються у різних галузях, але найбільш активне впровадження композиційних матеріалів (31 %) відбувається в автомобілебудуванні [4, 10, 17]. Сьогодні моделі автомобілів мають у своїй конструкції до 50 % пластмасових та композиційних матеріалів [18].

Композити мають високу стійкість до ударів та корозії, що підвищує довговічність автомобіля та знижує витрати на його обслуговування [4].

КМ (вуглепластики) застосовують для виготовлення деталей автомобіля: шатунів, ресор, карданних валів, при цьому вироби стають дуже легкими [4, 9, 10, 13]. Компанія «Форд» з композиційних матеріалів виготовляє понад 1000 видів деталей автомобіля.

Керамічні КМ відрізняються високими тепло-, жаро- та ерозійною стійкістю, тому вони надзвичайно привабливі для виготовлення відповідальних важко навантажених виробів (підшипників, деталей ДВЗ та ін.) [13].

КМ, які мають високу міцність та низьку густину, дозволяють виготовляти панелі кузова та інші елементи, які мають підвищену жорсткість при низькій вазі. Компанія Volvo повідомила про створення технології, яка дозволяє інтегрувати конденсатори великої ємності між шарами вуглецевого волокна, що перетворить кузов автомобілів в акумулятор [13].

Сьогодні технологічний процес виготовлення кузовів з композитних матеріалів дуже трудомісткий, потребує багато часу, дорого коштує. Серйозним недоліком є неможливість відновлення кузовів з КМ після деформації при ДТП.

У статті [2] запропоновано інженерний підхід до проєктування та впровадження КМ для виробництва деталей автомобілів з метою зменшення маси та збереження експлуатаційної міцності. Порівняння між новими конфігураціями та традиційною сталеву версією показало зниження ваги приблизно на 55 % для рішення з полімеру, армованого вуглецевим волокном, та близько 18 % для рішення з полімеру, армованого скловолокном.

В роботі [18] виконано аналіз можливості заміни металевих елементів автомобільної конструкції (зокрема дверей) на композитні.

Для підвищення трибологічної ефективності деталей, агрегатів та вузлів автомобілів пропонується використання зносостійких КМ [19]. Автори пропонують управління трибологічною ефективністю з метою підвищення експлуатаційної надійності основних робочих вузлів та агрегатів. Використання антифрикційних КМ дозволить значно зменшити витрати на ремонт автомобіля та виробництво запасних частин, підвищити їх експлуатаційну надійність при досягненні задовільних техніко-економічних та екологічних результатів.

У статті [3] матеріали для батарей розглядаються в контексті структурної інтеграції композитів в електромобілях, де акумулятор перестає бути лише джерелом енергії й одночасно виконує несучу функцію. Автори акцентують увагу на структурних композитах для батарейних систем, зокрема на полімерних КМ, армованих вуглецевими та скляними волокнами, які застосовуються для корпусів батарей, піддонів і захисних елементів. КМ дозволяють зменшити масу, забезпечити високу жорсткість і корозійну стійкість, підвищену ударну та вогнестійкість, що є критично важливим для безпеки акумуляторів.

Новим напрямом розробок акумуляторних батарей електромобілів є наноматеріали. Для виробництва літій-залізо-фосфатного акумулятора частинки з літій-залізо-фосфату було зроблено пластинчастою форми і покрито шаром нановуглецю [6, 20]. Модифікування нанопокриттів відкриває можливості для створення акумуляторів з часом зарядження до 3 хвилин, терміном експлуатації акумулятора до 10 років [20].

До переваг композиційних матеріалів в якості конструкційних матеріалів для деталей автомобілів можна віднести: високу питому міцність, високий опір втоми, високу жорсткість, низьку густину, стійкість до корозії, високу зносостійкість, високу ударну в'язкість, можливість керування властивостями КМ.

Однак, КМ мають і певні недоліки: високу наукоємність і вартість виробництва, анізотропію властивостей, відсутність єдиних стандартів для оцінки властивостей і надійності, складність виконання ремонту деталей автомобіля.

Одним із перспективних шляхів вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності деталей автомобілів, що працюють в складних умовах навантаження, можуть бути композиційні металеві шаруваті матеріали (КМШМ), які дозволяють формувати структуру з границями розділу шарів та забезпечувати рівень властивостей відповідно до умов експлуатації деталей.

КМШМ виготовляють прокаткою та пресуванням, термодифузійним зварюванням, литтям та ін. Одним із способів, що характеризується високою технологічністю та економічністю, є створення КМШМ зварюванням вибухом.

Переваги зварювання вибухом полягають у наступному: можливість з'єднання практично будь-яких матеріалів та сплавів при забезпеченні високої міцності зв'язку шарів у композиції; можливість зміни в процесі зварювання структури та властивостей матеріалу, а також зони з'єднання; зняття обмежень на габарити виробу; простота технологічного оснащення та відсутність спеціального обладнання. Як недолік методу можна назвати необхідність створення спеціальних умов щодо проведення зварювання вибухом.

Авторами роботи у якості вихідних компонентів для отримання композиційних шаруватих матеріалів були обрані легована сталь 12Х18Н10Т (з аустенітною структурою) та вуглецева сталь 20 (з ферито-перлітною структурою) [21].

Хімічний склад сталей 20 і 12Х18Н10Т наведений в табл. 1 (ДСТУ 7809:2015 і ДСТУ 8934:2019, відповідно). Механічні характеристики сталей наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Хімічний склад сталей

Марка сталі	Масова частка елементів, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	S	P
20	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	не більше ніж 0,25			осн.	не більше ніж 0,040	не більше ніж 0,035
12Х18Н12Т	не більше ніж 0,12	не більше ніж 0,80	Не більше ніж 2,00	17,0–19,0	9,0–11,0	0,6–0,8	осн.	не більше ніж 0,020	не більше ніж 0,035

Таблиця 2

Механічні характеристики сталей

Марка сталі	$\sigma_s$ , МПа	$\delta_5$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>
20	430	34	55
12Х18Н12Т	625	51	215

З метою дослідження впливу параметрів ударно-хвильового навантаження на зону зварювання і властивості, композиційні матеріали сталь 12Х18Н10Т – сталь 20 були отримані при різних параметрах зварювання вибухом (табл. 3).

Механізм зварювання металів вибухом визначається процесом пластичної деформації металів у зоні з'єднання. Однак, зварювання вибухом має ряд особливостей, що є наслідком високої інтенсивності пластичної течії і короткочасності дії високих тисків і температур в приконтактних шарах пластин. У специфічних умовах зварювання вибухом, як однією з найбільш вигідних форм перетворення кінетичної енергії соударяться тіл в роботу пластичної деформації, є процес хвилеутворення, який істотно впливає на будову зварного шва і навколошовної зони і, відповідно, на властивості композиту в цілому.

Таблиця 3

Параметри зварювання вибухом композицій сталь 12Х18Н10Т – сталь 20

Номер режиму зварювання	Швидкість метання пластини $V_c$ , м/с	Швидкість руху точки контакту $V_k$ , м/с	Кут зіткнення $\gamma$ , °	Тиск на межі зіткнення $p$ , ГПа
1	256,9	1821	8°20'	5,92
2	416,9	2016	11°26'	9,60
3	557,1	2146	13°35'	12,83

При оптимальному процесі зварювання поверхня розділу має хвилеподібну форму, що характеризується параметрами хвиль (довжиною та амплітудою, їхньою формою, наявністю або відсутністю розплавлених ділянок). Приклад границі розділу металів, отриманої при зварюванні вибухом на режимі 1, показано на рис. 1. Параметри хвиль визначали за допомогою мікроскопів зі збільшенням 24; на кожному зразку проводили щонайменше 50 вимірів, потім розраховували відповідні середні величини. Розкид серед вимірюваних величин знаходився в межах 10 %.

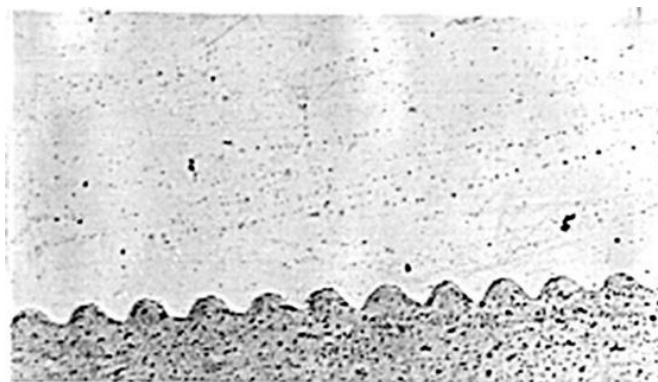


Рис. 1. Мікроструктура з'єднань сталь 12Х18Н10Т – сталь 20, х50

Результати вимірювань наведено у табл. 4, а графіки залежностей параметрів хвиль від тиску на межі зіткнення представлені на рис. 2.

Параметри хвиль в композиціях сталь 12X18Н10Т – сталь 20

Номер режиму зварювання	Середнє значення довжини хвилі $\lambda$ , мм	Середнє значення амплітуди хвилі $a$ , мм
1	0,616	0,107
2	0,783	0,124
3	1,045	0,165

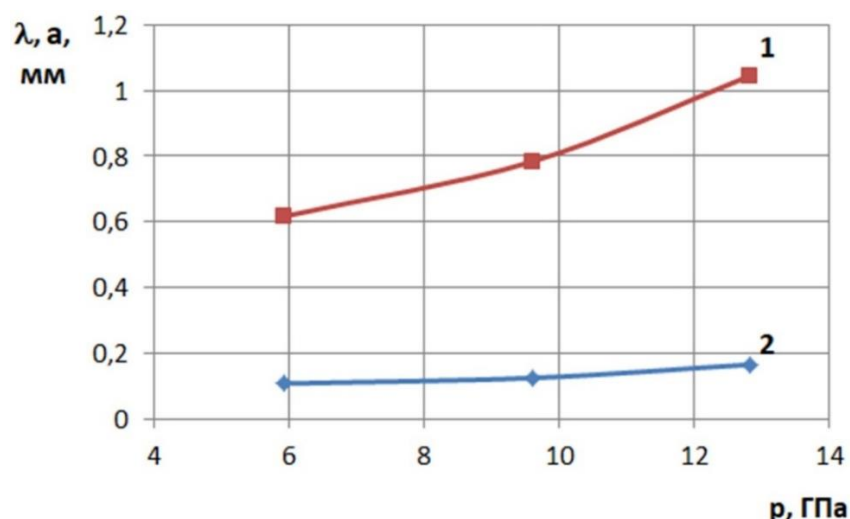


Рис. 2. Залежність параметрів хвиль в композиціях сталь 12X118Н10Т – сталь 20 від тиску на межі зіткнення: 1 – довжина хвилі  $\lambda$ ; 2 – амплітуда хвилі  $a$

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням тиску значення довжини хвиль і амплітуди зростали, причому довжина хвилі збільшилася в два рази, а амплітуда хвилі змінилася незначно.

Властивості та працездатність КМ значною мірою визначаються неоднорідною за складом зоною з'єднання шарів. Найбільші структурні зміни і пластичне деформування ШМКМ сталь 12X18Н10Т – сталь 20 відбувалося в зоні зварювального шва, яка не перебільшувала за глибиною 0,1 мм в кожній із зварюваних пластин.

Зварювання вибухом супроводжувалося значним зміцненням металів в зоні з'єднання. Вихідна мікротвердість сталі 12X18Н10Т склала 295 HV, сталі 20 – 180 HV. При зварюванні на режимі 1, мікротвердість сталі 12X18Н10Т в зоні з'єднання збільшилися до 441 HV, сталі 20 – до 298 HV. При зварюванні на режимах 2 і 3, мікротвердість в зоні з'єднання збільшилися в сталі 12X18Н10Т до 461 HV і 524 HV, а в сталі 20 – до 346 HV і 374 HV, відповідно (рис. 3).

В результаті дослідження встановлено, що збільшення тиску у фронті хвилі детонації викликає зростання ступеня зміцнення зварюваних металів і ширини зони зміцненого шару.

Важливою характеристикою матеріалу, яка значною мірою визначає його схильність до крихкого руйнування, є ударна в'язкість [5].

Випробування на ударний вигин шаруватих зразків з надрізом Менаже було проведено при температурі 20 °С згідно з ДСТУ ISO 148–1:2022 на маятниковому копрі з максимальною енергією удару 300 Дж. Дно надрізу розташовувалося на відстані 4 мм від межі з'єднання шарів. Площина руйнування зразків була перпендикулярна до площини з'єднання сталей. Ударна в'язкість КСВ композиції, в яких взаємодія тріщини з різними ділянками композиційного матеріалу характеризувалася роботою зародження тріщини в аустенітній сталі і розповсюдженням в зоні з'єднання і потім в сталі 20, зайняла проміжне положення між значеннями ударної в'язкості сталі 12Х18Н10Т і сталі 20. Ударна в'язкість КМШМ сталь 12Х18Н10Т – сталь 20 складала: 140 Дж/см<sup>2</sup> (режим зварювання 1); 110,5 Дж/см<sup>2</sup> (режим зварювання 2); 100 Дж/см<sup>2</sup> (режим зварювання 3). Дослідження показали, що із збільшенням параметрів зварювання вибухом ударна в'язкість композиційних матеріалів знижується (рис. 4).

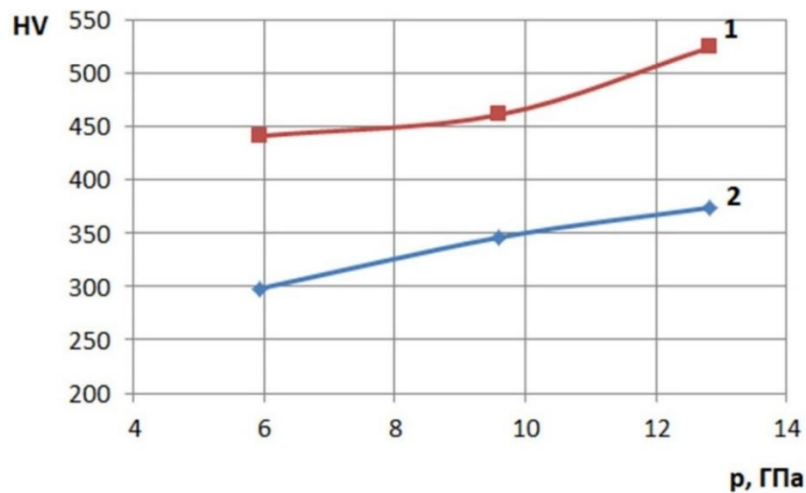


Рис. 3. Залежність мікротвердості в зоні з'єднання сталь 12Х18Н10Т – сталь 20 від тиску на межі зіткнення:  
1 – сталь 12Х18Н10Т; 2 – сталь 20

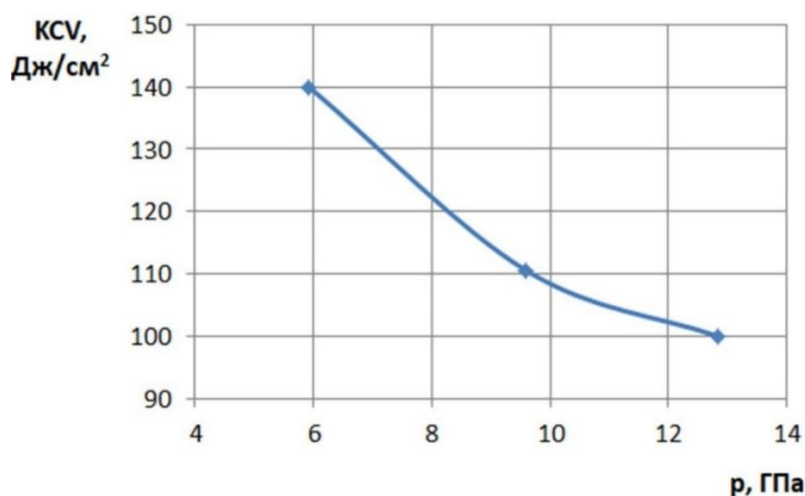


Рис. 4. Залежність ударної в'язкості композиційних матеріалів сталь 12Х18Н10Т – сталь 20 від тиску на межі зіткнення

КМ, що зварювалися на 2-му та 3-му режимах, мали ударну в'язкість на 21 % та 29 %, відповідно, нижче, порівняно з КМ, що зварені на режимі 1. Зниження ударної в'язкості пов'язане зі зміцненням металів у зоні з'єднання, що відбувається при зварюванні вибухом. Зміцнена зона призводить до блокування пластичної деформації під час руйнування та активізує перехід навколошовної зони у крихкий стан.

**Висновки.** Виконано аналіз сучасного стану, властивостей, переваг і недоліків конструкційних композиційних матеріалів, проблем їх використання для виробництва деталей автомобілів.

Досліджено можливості створення КМШМ сталь 12Х18Н10Т – сталь 20 зварюванням вибухом. КМ мають границі з'єднання шарів хвилеподібної форми. Зварювання вибухом супроводжується значним зміцненням металів в зоні з'єднання. Збільшення тиску у фронті хвилі детонації викликає зростання ступеня зміцнення зварюваних металів і ширини зони зміцненого шару. Випробування композиційних матеріалів на ударну в'язкість показало, що зі збільшенням параметрів зварювання вибухом ударна в'язкість композиційних матеріалів знижується. Найкращу ударну в'язкість (140 Дж/см<sup>2</sup>) показали композиції, які зварені вибухом на режимі 1.

Розроблена методика проведення експериментальних досліджень може бути використана при дослідженні в'язкості руйнування традиційних конструкційних і композиційних матеріалів.

Виділено проблеми та основні тенденції розвитку конструкційних композиційних металевих матеріалів для деталей автомобілів. Акцентовано увагу, що створення нових конструкційних композиційних металевих матеріалів та інноваційних технологій їх отримання є важливим кроком до вирішення проблем ресурсозбереження та екологізації автомобільного транспорту. Обґрунтовано використання КМШМ, які отримані зварюванням вибухом, в якості матеріалів з високою в'язкістю руйнування.

#### Перелік посилань

1. Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering, 1*, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>.
2. Tomasi, I., Grandi, S., & Solazzi, L. (2025). Implementation of Composite Materials for an Industrial Vehicle Component: A Design Approach. *Journal of Composites Science, 9*(4), 168. <https://doi.org/10.3390/jcs9040168>.
3. Spasenović, J., & Blagojević, I. (2021). Composite materials in automotive industry — a review. *Industrija, 49*(2), 34540. <https://doi.org/10.5937/industrija49-34540>.
4. Aznaw, G. M. (2025). Advances in Composite Structures: A Systematic Review of Design, Performance, and Sustainability Trends. *Composite Materials, 9*(1), 1–17. <https://doi.org/10.11648/j.cm.20250901.11>.
5. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С., & Іванова Г. П. (2025). Металеві конструкційні матеріали для виробництва і ремонту деталей автомобілів: практика та перспективи. *Наука та прогрес транспорту, 3*(111), 111–129. <https://doi.org/10.15802/stp2025/341197>.
6. Олішевська, В. Є., Олішевський, Г. С., & Іванова, Г. П. (2025). Акумуляторні батареї електромобілів: технічні та екологічні аспекти. *Наука та прогрес транспорту, 2*(110), 35–49. <https://doi.org/10.15802/stp2025/332155>

7. Рудасьов, В. Б., Якубовський, О. М., & Головіна, О. В. (2022). Сучасні тенденції застосування сталей підвищеної міцності в автомобілебудуванні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 33(72), 1, 12–18. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/03>
8. Ситников, П. А. (2024). *Підвищення ресурсу деталей машин наплавленням та плазмовим напиленням композиційними матеріалами*: дис. ... д-ра філософії : 132 Матеріалознавство. Харків. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/74315>.
9. El Etri, H., Polat, M. Z., & Özyılmaz, E. B. (2024). Classification, applications, and impact behavior of composite materials: A review. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 31. <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2326665>.
10. Bhong, M., Khan, T. K. H., Devade, K., Krishna, B. V., Sura, S., Eftikhaar, H. K., Thethi, H. P., & Gupta, N. (2023). *Review of composite materials and applications*. *Materials Today: Proceedings*, 80, 1234–1241. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.10.026>.
11. Sarmah, P., & Gupta, K. (2024). Recent Advancements in Fabrication of Metal Matrix Composites: A Systematic Review. *Materials*, 17(18), 4635. <https://doi.org/10.3390/ma17184635>.
12. Alem, S. A. A., Sabzvand, M. H., Govahi, P., Poormehrabi, P., Azar, M. H., Siouki, S. S., Rashidi, R., Angizi, S., & Bagherifard, S. (2025). Advancing the next generation of high-performance metal matrix composites through metal particle reinforcement. *Adv Compos Hybrid Mater*, 8, 3. <https://doi.org/10.1007/s42114-024-01057-4>.
13. Колієв, М., Коробкін, Р., & Жуков, В. (2021). Приклади застосування композитних матеріалів в автомобілебудуванні. *Науковий пошук молодих дослідників*, (4), 79–87.
14. Dudina, D. V., & Georgarakis, K. (2022). Core–Shell Particle Reinforcements - A New Trend in the Design and Development of Metal Matrix Composite. *Materials*, 15(7), 2629. <https://doi.org/10.3390/ma15072629>.
15. Caseo, H. (2024). Advancements in Composite Materials for Automotive Applications. *Journal of Nanosciences: Current Research*, 9, 6. <https://doi.org/10.37421/2572-0813.2024.9.264>
16. Binghua, Ma. (2021). *Aluminum matrix nanocomposites for applications in automobile industry*. Sorbonne Université. [https://theses.hal.science/tel-03680513/file/MA\\_Binghua\\_these\\_2021.pdf](https://theses.hal.science/tel-03680513/file/MA_Binghua_these_2021.pdf)
17. Шека, І.В., Салєєв, І.А., Шишов, М.В., Малова, О.К., Почепов, В.М., & Мамайкін, О.Р. (2023). Аналіз використання композитних матеріалів для подальшого застосування у кріпленнях гірничих виробок. *Збірник Наукових праць НГУ*, 72, 6, 62–76. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.062>.
18. Gheorghe, V., Scutaru, M.L., Ungureanu, V.B., Chircan, E., & Ulea, M. (2021). New Design of Composite Structures Used in Automotive Engineering. *Symmetry*, 13(3), 383. <https://doi.org/10.3390/sym13030383>.
19. Гурка, А., Аulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67–73. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>.
20. Бажинов О. В., & Кравцов М. М. (2022). *Небезпека транспортних засобів* : монографія. Харків : ЧП Стариченко Л. А.
21. Olishevskaya, S. O., & Olishevskaya, V. Ye. (2025, March). Research of impact viscosity of composite materials. *Naukova vesna 2025 : materialy XV mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii aspirantiv ta molodykh vchenykh* (pp. 50-51). Dnipro, Ukraine. [https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific\\_Spring\\_2025.pdf](https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2025.pdf)

### ABSTRACT

**Purpose.** The purpose of this study is to review and systematize perspective structural composite materials used in the manufacturing of automotive components, as well as to analyze current trends in their further development.

**The methods.** The study employs the following research methods: theoretical methods (classification, systematization), analysis and synthesis of known scientific findings, empirical methods (comparison, observation), and experimental investigations (metallographic analysis, microhardness and impact toughness testing).

**Findings.** An analysis of the current state, properties, advantages, and disadvantages of structural composite materials, as well as the challenges associated with their use in automotive components, has been carried out. The possibilities of producing composite metallic layered materials based on 12X18H10T + 20 using explosive welding were investigated. The composite materials exhibit wavy interfaces between the layers. An increase in pressure at the detonation wave front leads to enhanced strengthening of the welded metals and a widening of the strengthened zone.

**The originality.** The study identifies key challenges and major trends in the development of structural metallic composite materials for automotive components. The justification for using composite metallic layered materials produced by explosive welding as high-fracture-toughness materials is presented. The wave parameters in welded joints and the characteristics of the impact toughness of composite materials obtained by explosion welding are experimentally investigated. The dependences of the wave parameters in welded joints and impact toughness on the parameters of the explosion welding modes are obtained.

**Practical implementation.** The use of composite metallic layered materials produced by explosive welding makes it possible to increase the fracture toughness of automotive components. The developed methodology for conducting experimental studies can be applied to the investigation of fracture toughness in both traditional structural materials and composite materials. The results obtained in this study may be used in the training of bachelor students specializing in J8 «Automotive Transport».

**Keywords:** *composite materials, composite material manufacturing technologies, physical and mechanical properties, performance properties, automotive components.*

дата першого надходження статті до видання	02.10.2025
дата прийняття до друку статті після рецензування	05.11.2025
дата публікації (оприлюднення)	29.12.2025